



HORTÍCOLES

La desinfección como medio de control de la fatiga del suelo

V. Cebolla i Rosell⁽¹⁾,
J.V. Maroto i Borrego⁽²⁾

(1) INSTITUTO VALENCIANO DE INVESTIGACIONES AGRARIAS
(2) UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



Es un hecho conocido desde la antigüedad que la reiteración de cultivos en una misma parcela conduce a una disminución progresiva de los rendimientos.

Las razones por las que se produce esta disminución radican principalmente en lo que se conoce como “fatiga de suelos” o “tierra cansada”. También se define este término como la perturbación de la fertilidad del suelo debida a causas múltiples que puede ser acumulativas, sucesivas o simultáneas resultando de gran dificultad establecer el diagnóstico de la fatiga a través de una relación simple causa-efecto por que los factores limitantes son numerosos, su acción puede superponerse, sinergizarse o acumularse con lo cual la posibilidad de la determinación de su etiología es generalmente muy difícil (Bouhot, 1983).

Los factores limitantes que pueden conducir a la “fatiga” suelen agruparse en los siguientes grupos (Maroto, 2000):

- Factores fitopatológicos de naturaleza parasitaria.
- Factores nutricionales y de mal manejo de suelos.
- Factores alelopáticos.

Los factores parasitarios son los mejor estudiados y conocidos dentro de algunos límites. Después del cultivo reiterado de una determinada planta los microorganismos mejor adaptados a vivir de ella, es decir sus enemigos naturales, aumentan sus poblaciones y intensifican sus ataques, entre ellos podemos mencionar: insectos, ácaros, nematodos, hongos, malas hierbas, bacterias y virus. De todos ellos, los patógenos que producen más daños económicos son los hongos del suelo y los nematodos, a pesar de que los demás agentes no son despreciables a la hora de producir una mengua de los rendimientos.

Respecto a los factores relacionados con la nutrición y el cultivo de suelos, hay que señalar que como consecuencia del cultivo reiterado, se produce un empobrecimiento gradual de los horizontes de suelo colonizados por las raíces de la especie vegetal en función de

los elementos nutritivos extraídos por las mismas raíces. Por otra parte la práctica de un sistema de laboreo similar puede conducir a un manejo deficiente del suelo, que lleva a la falta de estabilidad estructural, a la tendencia a la fisuración y a la compactación de algunos horizontes del suelo.

Los factores alelopáticos son los derivados de la excreción al terreno de determinadas toxinas por parte de las plantas o microorganismos que pueden ser autotóxicos o inhibir la germinación y el desarrollo de otras plantas. La constitución de estas toxinas puede ser la de ácidos orgánicos o patrones ácidos que incluyen fenoles, fenilpropanos, flavonoides, terpenoides, alcaloides, poli-acetilenos, glucosinolatos, etc.

LA FATIGA DEL SUELO

La **fatiga del suelo**, conocida también como tierra cansada o mal de replantación (en inglés soil sickness, soil fatigue, tired soil, replant disease), es un término que, como ya se ha indicado, describe un crecimiento deficiente y anómalo de plantas así como una pérdida de producción en sistemas de



Foto 1. Un gran número de malas hierbas poseen propiedades alelopáticas que tienen efectos de inhibición del crecimiento de los cultivos.

cultivo continuado como los huertos replantados y los monocultivos en huerta y ornamentales.

La **fatiga del suelo** fue descrita por primera vez con un enfoque más próximo a la realidad, a finales del siglo XIX (Chen et al., 1991). No obstante hay referencias claras a la misma en textos agrarios clásicos como el de Columela, Abú Zacarías, etc. Resulta curioso que en el siglo XVIII, el inglés Jethro Tull, considerado como el padre de la Agronomía moderna, en su obra más famosa, sólo implicaba como factores de la **fatiga del suelo** aspectos físicos y nutricionales del mismo y de su manejo, de manera que pensaba que este fenómeno podía soslayarse mediante la aportación de estiércol y un adecuado laboreo (curiosamente realizado con caballo) (Maroto, 1998). En muchas ocasiones el agente causal acaba siendo un patógeno importante que no habría podido ser identificado en un principio. El problema que surge con las replantaciones suele referirse al retraso en el crecimiento (árboles conocidos en Valencia como “endurits”) de plantas jóvenes re-

plantadas, normalmente con la misma especie, en un huerto recién arrancado, tal como se conoce en los cítricos, melocotoneros y manzanos. Un fenómeno similar ha sido descrito en cultivos anuales bajo agricultura intensiva en explotaciones continuadas y sobre todo en invernadero. La **fatiga del suelo** es un asunto importante en la fitopatología moderna, especialmente en cultivos de alto valor económico.

Las plantas cultivadas en suelos cansados muestran retraso en el crecimiento y en la floración y son menos productivas; curiosamente en el cultivo del fresón las plantas suelen proporcionar cosechas más tempranas, pero pronto detienen su producción. Normalmente los síntomas de fatiga en plantas no están bien definidos, variando en función de las distintas circunstancias concurrentes en cada situación agroecológica.

Hay dos hipótesis principales que se han propuesto para explicar los factores que intervienen: causas químicas y microbiológicas.

La propuesta química se centra en la acumulación de sus-

tancias fitotóxicas mientras que la biológica apunta a un desequilibrio microbiológico en el suelo que conduce al establecimiento de microorganismos perjudiciales en detrimento de los beneficiosos.

La **fatiga del suelo** en la que se aprecia retraso en el crecimiento pero no aparecen síntomas claros hace que el diagnóstico del problema sea más difícil que cuando se identifica una enfermedad convencional, debida a un patógeno importante.

Las propuestas para controlar la fatiga incluyen la rotación de cultivos, el control biológico y la aplicación de plaguicidas. La desinfección del suelo es, en la mayoría de los casos, el mejor instrumento para controlar el problema. Las medidas para mejorar la fatiga permanecen en el umbral entre el control convencional de los patógenos importantes y la evolución de la respuesta de aumento de producción de suelos libres de patógenos conocidos. (Chen et al., 1991).

FACTORES QUÍMICOS INVOLUCRADOS EN LA FATIGA DE SUELO

La posible intervención de sustancias tóxicas, sea por exudación de las raíces o por descomposición de residuos vegetales como ácidos orgánicos, fenoles, y benzaldehídos ha sido descrita (Borner, 1960) y es considerada normalmente como el resultado de un proceso de transformación en toxinas de origen. En la naturaleza la amigdalina se degrada en los suelos a benzaldehído, el cual es tóxico para las plántulas de melocotón. Residuos de sorgo, arroz, trigo, y otros cultivos cuando se descomponen en un suelo producen efectos fitotóxicos en los cultivos posteriores de la misma especie pero no se registran estos efectos si se cambia de cultivo (Kimber, 1973).



Foto 2. La desinfección del suelo es, en la mayoría de los casos, el mejor instrumento para controlar la **fatiga del suelo**. A la izquierda desinfección mediante aplicación de un fumigante a máquina, a la derecha solarización del suelo.

La palabra que representa modernamente este síndrome debido a toxicidad es el de alelopatía (Allelopathy en inglés). Los metabolitos tóxicos están distribuidos en todos los tejidos de la planta (Anurag et al., 1999) y las hojas son unas fuentes potentes de sustancias químicas alelotóxicas. Los efectos principales de la alelopatía en el transcurso de un cultivo son las toxinas liberadas por los propios tejidos en los despojos de las plantas o en el suelo. La *Acacia tortilis* y *A. nilotica* no permiten el crecimiento de garbanzos, mijo perla o mostaza india en áreas 5 ó 6 veces el tamaño de su copa. Un gran número de malas hierbas como *Cyperus rotundus*, *Amaranthus palmerii*, *Chenopodium album*, y *C. murale* poseen propiedades alelopáticas que tienen efectos de inhibición del crecimiento de los cultivos. Sin embargo la alelopatía también juega un papel importante en la supresión del crecimiento en malas hierbas de los géneros *Cerastium* y *Lactuca*.

En plantaciones de espárragos se ha visto que tras su alzamiento, quedan restos de ácidos esparrágico, cafeínico, ferúlico, etc que

pueden ser autotóxicos y algunos de ellos coadyuvar los ataques de fusariosis. Restos de algunas umbelíferas, como el apio, pueden aportar al suelo moléculas orgánicas como psolareno, cumeno, limoneno, furocumarinas, etc, que pueden ser tóxicas para las lechugas, pero al mismo tiempo actuar como fitoalexinas contra algunos patógenos, como *Sclerotinia*, *Erwinia*, etc Algunas plantas como la lechuga pueden emitir al suelo unas moléculas de bajo peso molecular con una gran facilidad para captar el hierro de los suelos, llamadas *sideróforos*, lo que puede ser negativo para el desarrollo de ciertos patógenos como *Fusarium oxysporum*, al competir desventajosamente por este elemento nutritivo (Maroto, 2000; Shilling et al., 1992).

Aún así el bromuro de metilo, dibromuro de etileno y aldicarb resultaron interesantes para controlar la fatiga del suelo en cultivos de vid (Loubster, 1997), los dos primeros productos mejoraron significativamente el crecimiento de las plantas en experimentos repetidos hasta tres años sin embargo el bromuro de metilo permitió el cultivo

hasta seis años con una cosecha significativamente superior a los demás tratamientos y al testigo, demostrando que en ausencia de patógenos la fumigación del suelo evita la fatiga.

EL PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS EN LA FATIGA DE SUELO

La implicación de los microorganismos en la **fatiga de suelo** se piensa que está relacionada o bien con la producción de fitotoxinas o bien al parasitismo directo de las raíces de las plantas.

A mediados del siglo pasado (Martin, 1948) ya se informaba que aunque los problemas de la replantación en cítricos podrían ser controlados por la desinfección de suelos, el crecimiento de los plantones de cítricos era mejor en tierras donde no se habían cultivado cítricos con anterioridad, y se relacionaba el problema de la fatiga de suelos por la acumulación de hongos de escaso poder parasitario en condiciones normales como *Penicillium* spp. y *Aspergillus* spp. que podían ser los agentes

causales del problema de replantación de agrios.

El BM puede inducir una merma en el crecimiento de plántones de cítricos, debido a la destrucción de micorrizas, y por tanto no suele ser utilizado en la desinfección de suelos para la producción de plantas de vivero de cítricos. En el caso de utilizar este fumigante el tratamiento debe ser complementado con la introducción de micorrizas (Calvet y Cambrubí, 1996) como *Glomus intraradicis* Schlenk y Smith., o la combinación de *G. intraradicis* y *Trichoderma aureoviride* Rifai (Camprubí et al., 1995) lo cual mejora sustancialmente el desarrollo de los plántones.

Hay evidencias que indican (Catska et al., 1982) que los hongos que producen fitotoxinas son los responsables del problema de replantación de manzanos. La inoculación artificial con estos hongos o las mezclas de tierra en donde se han cultivado manzanos con tierra no infestada producía la inhibición del crecimiento de plántulas igual como ocurría con la tierra cansada. Las poblaciones del hongo *Penicillium* spp. aumentaban en las raíces mientras que las de hongos patógenos disminuían.



Foto 3. Plantas de alcachofa de crecimiento reducido (izquierda) como consecuencia de la fatiga producida por la repetición del cultivo, comparado con un cultivo en suelo desinfestado (derecha).

Otros estudios recientes informan de la pérdida de cosecha en trigo, alfalfa o *Gypsophila* spp., la cual era atribuida a infecciones de *Pythium* spp. También han sido relacionados hongos de los géneros *Cylindrocarpon*, *Thielaviopsis*, y algunos actinomicetos. (Handcock, 1985).

También se ha sugerido que un aumento de *Pseudomonas* spp. y otras bacterias pueden estar relacionadas con la fatiga de suelo. Los mecanismos involucrados (Fredrickson y Elliot, 1985) serían

la producción de cianuro o otras toxinas por bacterias perniciosas.

Además de los microbios de tierra, la fatiga del suelo puede estar potenciada por poblaciones de patógenos de debilidad, nematodos, y otra microfauna nociva. Trabajos realizados en Valencia (Barreda G.De, 1988) demuestran el papel de los nematodos *Tylenchulus semipenetrans* en el problema de replantación de cítricos y el efecto de la aplicación de fenamifos en el agua de riego. Este nematodo no había sido considerado un problema (Rivero Del y Martí-Fabregat, 1965) importante, la divergencia de criterios entre ambas fuentes puede haber sido producida por la gran variabilidad de las muestras. En todo caso el comportamiento de los árboles de cítricos replantados en huertos viejos mejora, con un tratamiento nematocida previo según estos últimos autores.

Con todo, debe señalarse que algunos microorganismos del suelo pueden actuar en sentido contrario al patógeno. Además del efecto beneficioso de bacterias como *nitrosomas*, *nitrobacter*, *Azotobacter*, etc, existen p.e. otras bacterias como cepas de *Pseudomonas putida* o *Ps. fluorescens* que pueden excretar los



Foto 4. Plantas fresón mostrando fatiga (primer plano) por la repetición del cultivo, comparado con plantas en suelo desinfestado (segundo plano).



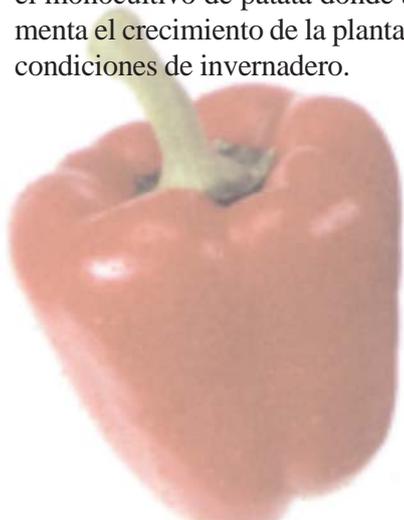
Foto 5. En primer plano plantas pimentero de crecimiento reducido como consecuencia de la **fatiga** producida por la repetición del cultivo, al fondo plantas en suelo desinfectado.

mencionados sideróforos, contribuyendo a disminuir los ataques de ciertos patógenos criptogámicos del suelo; *Trichoderma* puede actuar como un claro antagonista de patógenos como *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, etc (Maroto, 2000).

LA DESINFECCIÓN DEL SUELO

TRATAMIENTOS DE CALOR

El vapor de agua controla de manera eficaz el problema de la replantación de cítricos (Martin, 1948) y el monocultivo de patata donde aumenta el crecimiento de la planta en condiciones de invernadero.



FUMIGACIÓN Y BIOCIDAS PRINCIPALMENTE FUNGICIDAS.

La fumigación con disulfuro de carbono, 1,3-dicloropropeno, cloropicrina, bromuro de metilo, dibromuro de etileno, y metam-Na es efectiva para controlar el problema de replantación de acuerdo con muchos autores (Jackson, 1960). En algunos casos se aprecia una inhibición del crecimiento, que fue primero atribuida (Tucker y Anderson, 1972) a la supresión de micorrizas, por otra parte el análisis de los nutrientes minerales en tierra después de la fumigación suele revelar escasas variaciones y también se reducen las poblaciones de nematodos como *Pratylenchus* spp., sin embargo también se apreció un aumento de la respuesta al crecimiento en suelos donde el número de nematodos era bajo, sugiriendo que los nematodos no eran la única causa.

Otros experimentos con fumigantes en replantación de manzanos mostraban una reducción de *Pythium* spp., sugiriendo que este era el agente de la **fatiga** de suelo. La aplicación de metalaxyl resultó efectiva, indicando que *Pythium* spp. puede estar implicado. El fumigante más valorado para el control del problema de la tierra cansada es el bromuro de metilo según la mayoría de los autores.

SOLARIZACIÓN DEL SUELO

Por ser un método relativamente moderno, desarrollado en Israel a partir de mediados de 1970, la solarización ha sido estudiada recientemente en monocultivos anuales pero los efectos parecen similares a los observados en la fumigación del suelo (Katan, 1980) En efecto la solarización en suelos en monocultivo mejoraba el crecimiento de algodón (Gamliel et al., 1993) y re-



Foto 6. Árbol de naranjo de 7 años con escaso crecimiento (endurit) por reposición entre árboles adultos.

ducía enormemente el número de *Penicillium* spp. y *Aspergillus* spp. los cuales también reducían el crecimiento de algodón en experimentos en invernadero. En España los efectos de la solarización han sido estudiados por diversos autores, con resultados en general bastante satisfactorios (p.e. Cenís, 1987).

En suelo de monocultivo de *Gypsophila* el crecimiento de la planta y la cosecha mejoraban después de la solarización. En algunos casos se obtuvo una cosecha más precoz y un aumento de la producción muy interesante desde el punto de vista económico a lo largo de tres años de cultivo. Las poblaciones de algunos *Aspergillus* spp, de los que se probó que retardaban el crecimiento de *Gypsophila*, quedaron reducidas y permanecieron en número bajo al nivel de la rizosfera y raíces a lo largo de tres años de cultivo, demostrando así el efecto a largo plazo de la solarización. Las poblaciones de *Pythium* menguaban también a niveles bajos y el número de hongos patógenos, (Gamliel et al., 1993) los cuales eran suprimidos por el testigo de monocultivo sin tratamiento, se multiplicaba en raíces y rizosfera en las parcelas solarizadas.

CONCLUSIÓN

De lo expuesto queda claro el papel de la desinfección tanto física (Calor y solarización) como química en la recuperación de suelos fatigados, por la destrucción o reducción de poblaciones de los agentes involucrados, aún sin una relación parasitaria claramente establecida, en suelos en los que se repite el cultivo con plantas de la misma especie o especies afines.

BIBLIOGRAFÍA

- Anurag. S.; Singh, D.V.; Joshi, N.L.; Saxena, A.; Faroda, A.S. (ed.); Joshi, N.L. (ed.); Kathju, S. (ed.); Amal K. 1999. Allelopathy in cropping and agroforestry systems of arid regions. Recent advances in management of arid ecosystem. Proceedings of a symposium held in India, March 1997, 187-198.
- Barreda, D.G. De.; Tarancon, J.; Lorenzo, E.; Legaz F. 1988. Replanting problems in citrus. A case of Washington Navel on Troyer Citrange. *Proc. of the 6th International Citrus congress*. Goren R. And Mendel K. (Ed.) p 977- 981
- Borner, H. 1960. Liberation of organic substances from higher plants and their role in sickness problem. *Bot. Rev.* 26: 393-399.
- Bouhot, D. 1983. La fatigue des sols. Position du probleme et principe du diagnostique. *23 Colloque de la Soc. Fr. de Phytop.* INRA. Paris. Pp. 9-22
- Calvet, C.; Camprubí A. 1996. Integración de las micorrizas arbusculares en el proceso de producción de patrones de cítrico. *Levante Agrícola*. 62-66.
- Camprubí, A.; Calvet, C.; Estaun, V. 1995. Growth enhancement of *Citrus reshni* after inoculation with *Glomus intraradices* and *Trichoderma aureoviride* and associated effects on microbial populations and enzyme activity in potting mixes. *Plant and Soil* 173: 233-238.
- Catska, V.; Vankura, V.; Hudska, G.; Prikryl, Z. 1982. Rhizosphere microorganisms in relation to apple replant problem. *Plant Soil*. 69. 187.
- Chen, Y.; Gamliel, A.; Stapleton, J.J.; Aviad, T. 1991. Chemical, physical, and microbial changes related to plant growth in disinfested soils. En *Soil solarization*. Katan J. y De Vay J.E.(Ed) pp.103-129.
- Cenís, J.L., 1987. La solarización: nueva tendencia en el control de los patógenos del suelo. *Agricultura*, 664: 808-809.
- Fredrickson, J.K; Elliot, L.F.1985. Effects on winter wheat seedlings growth by toxin producing rhyzobacteria. *Plant Soil*. 83. 399-405.
- Gamliel, A.; Hadar, E.; Katan J. 1993. Improvement of growth and yield of *Gypsophila paniculata* by solarization or fumigation of soil or container mediums in continuous cropping systems. *Plant Disease*. 77: 933-938
- Handcock, J.G. 1985. Fungal infection of feeder rootlets of alfalfa. *Phytopathology*. 75. 1112
- Jackson, J.E. 1960. Effects of soil fumigation on the growth of apple and cherry rootstocks on land previously cropped with apples. *Ann. Appl. Biol.* 74. 99
- Katan, J. 1980. Survival of soil-borne plant pathogens with special reference to their control by solar heating: short and long term effects. *Proc. V Congress of Medi. Phyt. Univ. Patras*. 77-80.
- Kimber, R.W. 1973. Phytotoxicity from plant residues. III. The relative effects of toxins and nitrogen immobilization on the germination and growth of wheat. *Plant Soil*. 38. 543.
- Loubser, J.T. 1997. Research on replant problems in vineyards. *Deciduous Fruit Grower*. 47: 12, 483-488.
- Maroto, J.V. 1998. Historia de la Agronomía. Ed. Mundi-Prensa. S.A. Madrid. 371 pp.
- Maroto, J.V. 2000. Elementos de Horticultura General. Ed. *Mundi prensa*. 2ª Ed. 424 pp.
- Martin, J.P. 1948. Effect of fumigation, fertilisation, and various soil treatments on growth of orange seedlings in old citrus soil. *Soil Sci*. 66, 273.
- Rivero, J.M. Del.; Martí-Fabregat F. 1965. Ensayos previos sobre la desinfección previa del suelo a la replantación de agrios. *Boletín de patología vegetal y Entomología Agrícola*. 28: 125-129.
- Shilling, D.J., Dusky, J.A., et al., 1992. Allelopathic potentials of Celery residues on Lettuce. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(2):308-312.
- Tucker, D.P.H.; Anderson, C.A. 1972. Correction of citrus seedling stunting on fumigated soils by phosphate application. *Fla. Hort. Soc.* 85. 10