

[ADICIÓN COMPOST]

Efecto a largo plazo del manejo orgánico sobre la fertilidad química del suelo y la producción de los cultivos

Sebastiana Melero*

Juan Francisco Herencia

Juan Carlos Ruiz

IFAPA, Centro Las Torres-Tomejil.
Junta de Andalucía.

* Autor

Engracia Madejón

Instituto de Recursos Naturales y
Agrobiología de Sevilla, CSIC.

El presente trabajo abarca el estudio a largo plazo, desde el cuarto al noveno año, de la fertilidad del suelo bajo manejo orgánico, en parcelas ya establecidas a dicho manejo desde 1995, comparándolas a su vez con parcelas manejadas convencionalmente. Para ello fue estudiado el efecto de la adición sucesiva de compost sobre algunas propiedades químicas tales como, carbono orgánico total (COT), sustancias húmicas, fósforo-Olsen, N-Kjeldahl, potasio disponible y su posterior incidencia sobre los rendimientos del cultivo.



Los resultados muestran un aumento de la cantidad y calidad de la materia orgánica bajo fertilización orgánica, así como un incremento de los contenidos en macronutrientes (N-Kjeldahl, P-Olsen y potasio). La respuesta de los cultivos frente al tipo de fertilización no fue uniforme, siendo superior la producción en las parcelas fertilizadas mineralmente cuando se observaron algún tipo de incidencias.

[Introducción

El actual sistema de agricultura convencional basado en el uso intensivo de productos químicos disminuye la fertilidad de los suelos, contribuye a la desertificación y a la contaminación de los recursos hídricos, promueve la salinización, incrementa la dependencia de fuentes de energía no renovables y destruye los recursos genéticos de flora y fauna (Menéndez de Luarda y Rodríguez 1994).

La degradación de un suelo supone ante todo una disminución de su capacidad productiva, debido a cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas que conducen a la pérdida o disminución de su fertilidad (García et al., 1994).

Ello nos lleva a formular propuestas distintas que ayuden a favorecer la fertilidad natural del suelo con la mejora de sus condiciones físico-químico y biológicas. Por ello, la agricultura ecológica concede gran importancia a la protección del recurso suelo a largo plazo, evitando procesos de degradación tales como la erosión, contaminación, salinización y manteniendo o mejorando su fertilidad natural, a través de la recuperación de los ciclos de la materia orgánica y del fomento de la biodiversidad en los agroecosistemas (Rovira, 1993).

En el anexo I-A del Reglamento (CEE) 2092/91 del Consejo, se exponen las técnicas de cultivo que se deberían seguir para mantener o incre-

[Materiales y Métodos]

Localización y manejo del sistema

El presente estudio se ha llevado a cabo en la finca experimental ubicada en el Centro IFAPA "Las Torres" dentro del Término Municipal de Alcalá del Río (Sevilla).

El suelo es un típico *Xerofluvent* (Soil Survey Staff, 1996) de textura franco-limosa. Al inicio del experimento (año 1995) el suelo presentaba un pH básico (8,1) lo cual es debido a su alto contenido en carbonato cálcico ($175 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), no se observaba problemas de salinización (conductividad eléctrica, $0,42 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) (Richards 1954). El contenido en carbono orgánico total (COT) era bajo ($7,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) típico en los suelos agrícolas de Andalucía (Costa et al., 1991).

El diseño experimental consistió en ocho subparcelas de 75m^2 . La distribución de los distintos tratamientos se ajusta a un diseño al azar con cuatro repeticiones por tratamiento.

El tratamiento convencional (C) consistió en la aplicación de fertilización mineral con la salvedad del no uso de fitosanitarios por lo que la flora arvense se controló mecánicamente. Los aportes de nutrientes en fondo y cobertera en las parcelas convencionales (C) se muestran en la **Tabla 1**.

El manejo orgánico se llevó a cabo siguiendo las normas reguladoras (Reglamento (CEE) N° 2092/91) y el control de la flora arvense se realizó mecánicamente. El tratamiento orgánico consistió en la adición ($30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) de compost vegetal (restos de cultivos, podas y césped) en el primer, tercer y cuarto ciclo de cultivo y de ($30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) de compost animal en el quinto ciclo de cultivo. Las características más relevantes de las distintas partidas de compost utilizadas en los distintos ciclos de cultivo se muestran en la **Tabla 2**.

Los datos del estudio incluyen los resultados obtenidos desde 1998 a 2003 durante cinco ciclos de cultivos.

Muestreo y Análisis del suelo

La toma de muestras de suelo se realizó a una profundidad de 0-15 cm. La toma de muestra se realizó al



Fuente: MEC

mentar la fertilidad y la actividad biológica en el suelo, como son las rotaciones de cultivo, asociación de cultivos y la incorporación de materia orgánica.

Las rotaciones de cultivo son fundamentales, en agricultura ecológica, para mantener la fertilidad del suelo y restaurar la biodiversidad en el agroecosistema a lo largo del tiempo. Las asociaciones de cultivos, cultivo múltiple o sistemas de policultivo son sistemas en los cuales dos o más especies de vegetales se desarrollan con suficiente proximidad espacial para dar como resultado una competencia interespecífica o complementación, introduciendo biodiversidad en el agroecosistema (Altieri, 1995).

Ambas técnicas tratan de paliar los problemas fitosanitarios y de plantas adventicias, que suelen ser consecuencia de la reiteración de un mismo cultivo en una parcela.

La materia orgánica juega un

papel muy importante en la fertilidad del suelo, lo que se traduce en la productividad, y en general en el desarrollo de una agricultura afín con el medio ambiente. La estrecha relación existente entre el contenido de materia orgánica de un suelo y su fertilidad es un hecho ampliamente constatado y aceptado universalmente (Smith et al., 1993), por lo que una de las vías más importantes en la regeneración de los suelos consiste en la incorporación de materia orgánica con objeto de restablecer sus propiedades físicas, químicas y biológicas.



La degradación de un suelo supone ante todo una disminución de su capacidad productiva, debido a cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas

Tabla 1:

Dosis aplicada de fertilizantes orgánico e inorgánico en cada ciclo de cultivo

Periodo	Cultivo	Fertilización Inorgánica ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-2}$)			Compost ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-2}$)		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P	K
octubre (1998)- marzo(1999)	Lechuga	214	150	150	263	115	127
octubre(1999)-abril (2001)	Habas	-	-	-	-	-	-
abril-agosto (2001)	Sandia-melón	251	150	518	217	72,2	85,7
marzo-mayo (2002)	Patata	260	282	525	247	115	89,4
octubre (2002)-junio (2003)	Fresa-cebolla	300	129	409	179	94	175

Tabla 2:

Características químicas de los compost aplicados a los diferentes cultivos en las parcelas orgánicas

Cultivo	Compost	Parámetros								
		Humedad (g·kg ⁻¹)	pH (1: 2,5)	CE (dS·m ⁻¹)	COT (g·kg ⁻¹)	CEH (g·kg ⁻¹)	CAH (g·kg ⁻¹)	N-Kjeldahl (g·kg ⁻¹)	P-Olsen (g·kg ⁻¹)	K-EAA (g·kg ⁻¹)
Lechuga-Brocoli-Coliflor	Vegetal	217	7,30	1,46	163,4	57,4	32,7	11,2	4,90	5,40
Melón-Sandía	Vegetal	247	7,80	1,30	147,7	35,8	19,6	9,60	3,20	3,80
Patata	Vegetal	255	7,70	1,47	228	45,4	24,6	11,1	5,16	4,00
Fresa-Cebolla	Vegetal	271	7,64	5,56	148	34,1	21,4	8,20	4,30	8,00

Los datos se expresaron en peso seco de compost. CE: conductividad eléctrica; COT: carbono orgánico total; CEH: carbono del extracto húmico; CAH: carbono de los ácidos húmicos; K-EAA: potasio extraído con acetato de amonio.

Tabla 3:

Valores medios del carbono orgánico total y nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) en el suelo

LAS TORRES					
Cultivo	Tratamiento	COT (g·kg ⁻¹)	N-Kjeldahl (g·kg ⁻¹)	P-Olsen (g·kg ⁻¹)	K-EAA (g·kg ⁻¹)
Lechuga-brocoli-coliflor	C	8,15 a	1,06 a	11,8 a	580 a
	O	16,0 b	2,08 b	51,4 b	794 b
Habas	C	8,34 a	1,10 a	23,8 a	320 a
	O	22,0 b	2,40 b	93,6 b	550 b
Melón-Sandía	C	8,70 a	1,10 a	22,3 a	266 a
	O	20,5 b	2,00 b	65,3 b	353 b
Patata	C	10,4 a	1,00 a	24,7 a	388 a
	O	24,60 b	2,10 b	80,5 b	580 b
Fresa-cebolla	C	10,6 a	1,10 a	37,2 a	417 a
	O	23,3 b	2,10 b	81,8 b	465 b

C: fertilización inorgánica ; O: fertilización con compost; COT: carbono orgánico total; K-EAA: potasio extraído con acetato de amonio. Valores de los diferentes parámetros en el mismo cultivo y en la misma columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente (p < 0.05).

final de la recolección de cada ciclo de cultivo. Se determinó el carbono orgánico total (Walkley y Black, 1934), el contenido en N-Kjeldahl (Hesse, 1971), el P-Olsen (Olsen et al. 1954) y el potasio extraído con acetato de amonio (K-EAA) 1 M a pH 7 (Richards, 1954). El extracto húmico (EH) de las muestras de suelo fue extraído con pirofosfato de sodio (0.1M) e hidróxido de sodio (0.1M). El carbono del extracto húmico total (CEHT) y de los ácidos húmicos (CAH) se determinó por el método (Walkley y Black, 1934).

En la determinación de los rendimientos de producción se consideró la producción total en cada parcela.

Análisis estadístico

La comparación de los resultados de las distintas variables se efectuó mediante una test de t-student y un nivel de significación p < 0,05.

Resultados y Discusión

Desde el principio de este experimento ya se observaron diferencias significativas entre los tratamientos inorgánicos y orgánicos presentando los suelos bajo fertilización orgánica los valores más altos de COT (Tabla 3). Numerosos autores han encontrado aumentos de la materia orgánica del suelo después de la incorporación de compost (Melero et al., 2006), lo cual implica una mejora importante de la fertilidad de los suelos, especialmente de los que presentan un bajo contenido de materia orgánica, como lo son los suelos agrícolas en Andalucía (Costa et al., 1991).

El aumento en el contenido de COT en las parcelas fertilizadas mineralmente, desde el principio de la reconversión (año 1995) hasta el final del estudio (7,8 a 10,6 g·kg⁻¹), es debido a las entradas de carbono provenientes de los restos de cultivos anteriores. En

el caso de las parcelas fertilizadas orgánicamente este aumento fue superior (7,8 a 23,3 g·kg⁻¹) debido a la aplicación de los composts.

La evolución del contenido de COT fue similar en ambos tratamientos, siendo notable el aumento de los valores de COT al final del cultivo de las habas, el cual permaneció en las parcelas hasta que se sembró el cultivo asociado (melón-sandía). La utilización de las leguminosas (como abonado verde) aporta al suelo materia orgánica y nitrógeno, enriqueciendo el suelo de nutrientes disponibles para los siguientes cultivos (Ashraf et al., 2004).

Los suelos fertilizados orgánicamente presentaron un mayor contenido en sustancias húmicas respecto a los fertilizados inorgánicamente, tanto al inicio como al final del experimento (Tabla 4). Numerosos autores (Rivero et al., 2004) han constatado el aumento de sustancias



Tabla 4:**Valores medios de las sustancias húmicas al inicio y final del periodo de experimentación**

LAS TORRES			
	Tratamiento	Comienzo	Final
CEH (g•kg ⁻¹)	C	2.80 a	3.47 a
	O	7.00 b	8.00 b
CAH (g•kg ⁻¹)	C	1.50 a	2.00 a
	O	4.00 b	4.90 b

C: fertilización inorgánica; O: fertilización con compost; CEH: carbono del extracto húmico; CAH: carbono de los ácidos húmicos. Valores con diferente letra difieren significativamente ($p < 0.05$) en cada periodo de muestreo.

húmicas en el suelo tras la adición de residuos orgánicos o compost lo que indica no sólo el aumento de la cantidad de materia orgánica sino el aumento de la calidad de la misma.

No obstante, el aumento en sustancias húmicas en los suelos fertilizados inorgánicamente se debe a la entrada de carbono por efecto indirecto de los fertilizantes minerales.

Sin embargo durante el periodo de este experimento, tanto el contenido en el CEHT como en el CAH apenas evolucionó en ambos tratamientos. Aunque no se tienen datos del contenido en sustancias húmicas del principio de la reconversión (año 1995), por los resultados obtenidos, se puede concluir que durante el primer periodo de la reconversión (1995-1998) se produjo un proceso de humificación mucho más importante que el que ocurrió en los años siguientes que abarcan el presente estudio. En este suelo el contenido en sustancias húmicas alcanza un valor constante debido posiblemente al equilibrio que se produce en los procesos de humi-

ficación, mineralización e incorporación de la materia orgánica a la biomasa microbiana.

Durante todo el periodo de experimentación los valores medios de nitrógeno en las parcelas fertilizadas orgánicamente fueron estadísticamente superiores a los obtenidos en los suelos de las parcelas fertilizadas mineralmente (Tabla 3). El aumento de nitrógeno en suelos en los que se han hecho aportes orgánicos está ampliamente constatado (Melero et al., 2006), lo cual implica también una mejora en la fertilidad del suelo en tanto en cuanto aumenta la reserva de nitrógeno, un nutriente fundamental para el desarrollo de los cultivos y la población microbiana.

El aumento de nitrógeno en el suelo cuando se aplica un abono en verde procedente de una leguminosa es un hecho constatado por diversos autores (Ashraf et al., 2004). De hecho, nuestros resultados muestran un aumento de los valores de nitrógeno al final del cultivo de las habas. También, es sabido que las leguminosas incrementan la mineralización del nitrógeno nativo del suelo, lo que representa un mecanismo importante a través del cual el abonado en verde aumenta la productividad (Hood 2001).

Las concentraciones medias de P-Olsen fueron estadísticamente superiores en los suelos fertilizados orgánicamente (aproximadamente tres veces mayores) respecto a las obtenidas en los suelos con fertilización mineral (Tabla 3), en todos los muestreos realizados a lo largo del periodo de experimentación, lo cual se debe a la incorporación de materia orgánica. El aumento de los contenidos de P-Olsen en los suelos tratados con compost ha sido un hecho constatado por numerosos autores (Clark et al., 1998).

En los suelos calcáreos, como es el

nuestro, la adición de materia orgánica incrementa la disponibilidad de fósforo (Braschi et al., 2003), al favorecer la formación de complejos fosfomatos reduciendo la insolubilización del fósforo en el suelo.

En general los valores de P-Olsen al final del experimento siguieron siendo normales en el tratamiento convencional y muy altos en los tratamientos orgánicos (López Ritas y López Melida 1990), es por ello que debería tenerse en cuenta el aumento considerado de fósforo disponible a largo plazo tras la incorporación sucesiva de materia orgánica.



La materia orgánica juega un papel muy importante en la fertilidad del suelo y en general en el desarrollo de una agricultura afín con el medio ambiente

Los valores medios de potasio durante el experimento fueron en general más altos en los suelos fertilizados con compost existiendo diferencias significativas respecto a los suelos fertilizados mineralmente en casi todos los muestreos realizados (Tabla 3). Este aumento de la disponibilidad de K en los suelos fertilizados orgánicamente respecto a los fertilizados con fertilizantes minerales aparece ampliamente recogido en la bibliografía (Edmeades, 2003), lo cual se relaciona indirectamente con el mayor contenido en materia orgánica.

En general las producciones de las parcelas bajo manejo orgánico en la mayoría de los ciclos de cultivo fueron superiores, excepto en el cultivo de patata y asociado fresa-cebolla, a las obtenidas bajo manejo convencional, (Tabla 5).

Los rendimientos en un cultivo de patata varían entre 20-30 t•ha⁻¹ (Maroto, 2002) por lo que se observa que los resultados obtenidos en el estudio fueron anormalmente bajos en ambos manejos aunque más pronunciado en las parcelas fertilizadas orgánicamente. Esta baja producción puede explicarse debido a la enfermedad sufrida durante el cultivo de la patata por Mildiu.



Tabla 5:
Producción (t •ha⁻¹) de los diferentes ciclos de cultivos

Cultivo	Tratamiento	Producción
Coliflor	Convencional	14.6 a
	Orgánico	16.5 a
Brocoli	Convencional	14.0 a
	Orgánico	16.0 a
Lechuga	Convencional	52.8 a
	Orgánico	74.0 b
Habas	Convencional	11.9 a
	Orgánico	15.4 a
Melón	Convencional	20.8 a
	Orgánico	34.2 b
Sandía	Convencional	30.5 a
	Orgánico	55.1 b
Patata	Convencional	6.33 a
	Orgánico	5.20 a
Fresa	Convencional	21.0 b
	Orgánico	12.1 a
Cebolla	Convencional	1.50 b
	Orgánico	1.00 a

Valores de las diferentes producciones en el mismo cultivo seguidos por la misma letra no difieren significativamente (p < 0.05).

En la reducción de la producción en el cultivo de la fresa observado en las parcelas tratadas con residuos orgánicos podría haber influido el aumento de la conductividad eléctrica, tras la incorporación de una partida de compost animal (Tabla 2). Es sabido que este cultivo muestra una gran sensibilidad a la salinidad del suelo (Maroto, 2002).

Según la bibliografía se requieren de 3-5 años para que los aumentos en la producción sean visibles en las parcelas que están en reconversión a la agricultura ecológica (Temple et al., 1994; Altieri, 1995). Gliessman et al. (1996) observaron, en un estudio durante los tres primeros años de reconversión a la agricultura ecológica, rendimientos menores en el cultivo de fresas ecológicas respecto a las convencionales. No obstante, Swezey et al. (1994) en un estudio que abarcaba los tres primeros años de reconversión a la agricultura ecológica observó una mayor producción de manzanas en el manejo orgánico. Numerosos autores (Temple et al., 1994) han explicado el aumento de producción a largo plazo por una mejora de la calidad del suelo con los años de manejo orgánico.

Conclusión

A largo plazo el manejo orgánico de los suelos produjo un aumento de la cantidad y calidad de la materia orgánica, así como un incremento de los contenidos en macronutrientes (nitrógeno,

fósforo y potasio), en comparación con el manejo convencional.

En general los resultados nos confirman el efecto positivo del manejo orgánico, aspecto de gran importancia para mejorar la calidad de los suelos agrícolas del área Mediterránea, caracterizados por su bajo contenido en materia orgánica y elevada mineralización.

Sin embargo, no podemos afirmar que una mejora de la fertilidad de los suelos fertilizados orgánicamente lleve implícito una mejora de la producción de los cultivos cuando algún tipo de incidencia (plaga, sensibilidad del cultivo a factores físicos del suelo) afecta negativamente a las producciones.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo recibido de la Unión Europea y del Ministerio de Ciencia y Tecnología mediante el proyecto (FEDER AGL00-0493-CO2-02) y de la Junta de Andalucía por el proyecto (P.I.A 13.01.1).

Bibliografía

Altieri, M.A., 1995. Agroecology. The Science of Sustainable Agriculture. Westview Press Boulder, CO, pp 433.

Ashraf, M., Mahmood, T., Azam, F., Qureshi, R.M., 2004. Comparative effects of applying leguminous and non-leguminous green manures and inorganic N on biomass yield and nitrogen uptake in flooded rice (*Oryza sativa* L.). *Biol. Fertil. Soils*, 40, 147-152.

Braschi, I., Ciavatta, C., Giovannini, C., Gessa, C., 2003. Combined effect of water and organic matter on phosphorus availability in calcareous soils. *Nutr. Cycl. Agroecosyst* 67, 67-74.

Clark, M.S., Horwath, W.R., Shennan, C., Scow, K.M., 1998. Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. *J.* 90, 662-671.

Costa, F., García, C., Hernández, T., Polo, A., 1991. Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. Caja Murcia, Murcia.

Edmeades, D.C., 2003. The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review. *Nutr. Cycl. Agroecosyst* 66(2), 165-180.

García, C., Hernández, T., Costa, F., Ciccanti, B., 1994. Biochemical parameters in soils regenerated by the addition of organic wastes. *Waste Manag. Res.* 12, 457-466.

Gliessman, S.R., Werner, M.R., Swezey, S.L., Caswell, E., Cochran, J., Rosado-May, F., 1996. Conversion to organic strawberry management changes ecological processes. *California Agriculture* 50, 24-31.

Hesse, P.R., 1971. A textbook of soil chemical analysis. John Murray, London.

Hood, R., 2001. Evaluation of a new approach to the nitrogen-15 isotope dilution technique, to estimate crop N uptake from organic residues. *Biol Fert Soils* 34, 156-161.

López Ritas, J., y López Melida, J., 1990. El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio. Ediciones MundiPrensa.

Maroto, J.V., 2002. Horticultura herbácea especial. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Melero, S., Ruiz Porras, J.C., Herencia, J.F., Madejón, E., 2006. Chemical and biochemical properties in a silty loam soil under conventional and organic management. *Soil Till. Res.* 90,162-170.

Menéndez de Luarda, S., y Rodríguez, A., 1994. Situación actual y perspectivas de la agricultura ecológica en España. Instituto Nacional de Denominaciones de Origen MAPA. 1ª Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. Toledo, pp 555-562.

Olsen, S.R., Cole, C.W., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dept. of Agriculture, circular 939.

Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USA Department of Agriculture Handbook 60. USDA Government Printing Office, Washington, DC.

Rivero, C., Chirenje, T., Ma, L.Q., Martínez, G., 2004. Influence of compost on soil organic matter quality under tropical conditions. *Geoderma*. 123, 355-361.

Rovira, A.D., 1993. Sustainable farming systems in the cereal-livestock area of the Mediterranean region of Australia. Pp12-30. In: H.F.Cook and H.C. Lee (ed). Soil management in sustainable agriculture. Wye College Press, Ashford, UK.

Smith, J.L., Papendick, R.I., Bezdicek, D.F., Lynch, J.M., 1993. Soil organic matter dynamics and crop residue management. In: Soil Microbial Ecology. Blaine F.(Ed). Marcel Dekker. New York.

Soil Survey Staff, 1996. Keys to Soil Taxonomy. US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, DC.

Swezey, S.L., Rider, J., Werner, M.R., Buchanan, M., Allison, J., Gliessman, S.R., 1994. Granny Smith conversions to organic show early success. *Calif. Agric.* 48(6), 36-44.

Temple, S., Friedman, D.B., Somasco, O., Ferris, H., Scow, K., Klonsky, K., 1994. An interdisciplinary experiment station-based participatory comparison of alternative crop management systems for California's Sacramento valley. *Am.J.Alt.Agric.* 9, 64-71.

Walkley, A., and Black, J.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37, 29-38. •