

Evaluación de los efectos sobre la calidad del suelo generado por la modalidad de gestión de los restos de cultivo en agrosistemas ecológicos e integrados de hortícolas en la Comunidad Valenciana

Guarin-Vargas E (egiovanny76@yahoo.com)

Albiach MR (albiach-vila_rem@ivia.gva.es)

Pomares-Garcia F (pomares_fer@iva.gva.es)

Carretera: Moncada-Náquera Km. 4,5

Dirección Postal: 46113 Moncada Valencia

Tel. (+34) 96 342 4000

RESUMEN

Para la realización de este trabajo se han utilizado muestras de suelo tomadas durante 2009 y 2011, a tres profundidades (0-15, 16-30 y 31-60 cm) procedentes de las parcelas elementales del ensayo establecido en la finca experimental de Ruralcaja, Grupo CRM, en Paiporta (Valencia), en el año 1998, en el marco del proyecto europeo (VEGINECO). Este estudio durante los tres primeros años estuvo centrado en la comparación de la producción ecológica e integrada de hortalizas en base a parámetros productivos, cualitativos y edáficos, y posteriormente se continuó dentro del Programa I+D de la Conselleria de Agricultura, Generalitat Valenciana. En este trabajo se presentan los resultados correspondientes a las propiedades físicoquímicas y biológicas del suelo en función del sistema de producción (ecológico versus integrado), y de la modalidad de gestión de los restos de cultivo (incorporación inmediata, incorporación diferida y recogida) de diferentes rotaciones de hortalizas.

En cuanto a la comparación de los dos agrosistemas, se encontraron diferencias significativas, a nivel estadístico ($p < 0,05$), en algunos parámetros relevantes del suelo como la materia orgánica, el nitrógeno orgánico, el nitrato asimilable, el hierro asimilable y el porcentaje de agua retenida por el suelo, correspondiendo en todos los casos los valores más altos al sistema ecológico.

Por otra parte, la incorporación de la biomasa correspondiente a los restos de cosecha (en las dos modalidades, RC1 y RC3) respecto a la recogida de los mismos (RC2), mejoró considerablemente la calidad del suelo, encontrándose aumentos

significativos en los niveles de nutrientes asimilables (nitrógeno, fósforo y potasio) e indicadores biológicos del suelo.

Palabras Clave: actividad enzimática, biomasa microbiana, fertilidad del suelo, manejo del suelo, producción ecológica

INTRODUCCIÓN

Durante las décadas de cultivo intensivo o convencional, el manejo de los suelos agrícolas ha estado enfocado hacia la maximización de la producción y una marcada despreocupación por la protección del suelo como ente vivo; recurriendo a prácticas como el laboreo intensivo, escasa rotación de cultivos, control fitosanitario con agroquímicos de síntesis, fertilización a base de producto minerales y omisión bastante generalizada de las materias orgánicas para el mantenimiento de unas buenas condiciones de estructura y actividad biológica del suelo.

La agricultura sostenible está reconocida como una alternativa eficaz para mitigar el impacto negativo (degradación de los suelos, agua y aire) generados por la práctica de la agricultura intensiva. La producción sostenible puede contribuir a mejorar la seguridad alimentaria mediante una alta oferta de alimentos de buena calidad nutricional, con bajo nivel de residuos de plaguicidas, respetando el medio ambiente y las propiedades del suelo para futuras generaciones.

El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos generados en las propiedades físicoquímicas y biológicas del suelo en un estudio comparativo entre las producciones ecológica e integrada de hortalizas durante trece años, y también los efectos causados por diferentes modalidades de gestión de los restos de cultivo durante un periodo de 10 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

En una parcela experimental de la Fundación Ruralcaja, Grupo CRM, en Paiporta (Valencia), se ha realizado desde el año 1998 un estudio comparativo entre un sistema ecológico y otro integrado de cultivos hortalizas en base a parámetros productivos, cualitativos y edáficos.

Los cultivos implantados en las cuatro hojas de la rotación han sido: en la campaña 2008/2009, col china – alcachofa – sandía - coliflor – patata – hinojo, y durante la campaña 2010/11, patata – hinojo -sandía, col china, alcachofa.

En ambos agrosistemas (ecológico e integrado), los cuatro bloques u hojas de la rotación se dividieron en tres subparcelas, para la comparación de tres modalidades de gestión de los restos de cultivo: RC1, pre-descomposición en la superficie y posterior incorporación al suelo; RC2, recogida sin incorporación; y RC3, incorporación al suelo inmediatamente después de la recolección.

Los agroecosistemas fueron abonados según el sistema de producción: en el ecológico se aportaron únicamente 20 t/ha de estiércol vacuno + ovino (1:1) cada dos años, y en el sistema integrado la fertirrigación incluyó únicamente ácido fosfórico y sulfato potásico, en función de las necesidades de los cultivos (Pomares et al. 2007). El control fitosanitario se llevó a cabo aplicando métodos adecuados para la producción ecológica e integrada.

Para el estudio de los parámetros físico-químicos del suelo se tomaron muestras de cada una de las 24 parcelas elementales, a las profundidades de 0-15, 16-30 y 31-60 cm, y tras su secado y trituración se determinaron las características físicoquímicas más relevantes, para lo cual se utilizó la metodología oficial (MAPA, 1994). En el estudio bioquímico del suelo se realizó la determinación analítica del C de la biomasa microbiana, empleando el método de fumigación-extracción (Vance et al. 1987) y la medida de las actividades enzimáticas fosfatasa alcalina (Tabatabai y Bremner 1969), y deshidrogenasa (Casida et al. 1964). El análisis estadístico de los promedios obtenidos se realizó por medio del programa Statgraphic Plus 5.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto a la influencia del sistema de producción, en el Cuadro 1 se muestran los resultados de algunas características físicoquímicas del suelo, obtenidas a tres profundidades del perfil (0–15; 16–30; y 31–60 cm), en los muestreos efectuados durante los años 2009 y 2011, respectivamente. Puede observarse que en ambos muestreos hubo diferencias significativas entre los valores encontrados en los dos sistemas de producción (ecológica e integrada) en los parámetros correspondientes a la materia orgánica, nitrógeno orgánico y nitrato (extracto de la pasta saturada), en las tres profundidades muestreadas. Y en todos los casos, los valores más altos se obtuvieron en las parcelas gestionadas mediante técnicas de producción ecológica.

Cuadro 1. Propiedades físico-químicas del suelo en función del agro sistema de cultivo (Ecológico vs Integrado) a tres profundidades del suelo en los años 2009 y 2011.

Año	Prof. (cm)	Pro	MO (%)	C (%)	N (%)	C/N	P (ppm)	K (meq/100g)	NO ₃ (meq/L)
2009	0-15	PE	2,17 a	1,26 a	0,13 a	9,73	33,6	0,92	0,90
		PI	1,84 b	1,06 b	0,11 b	9,61	28,3	0,80	0,80
	15-30	PE	1,71 a	0,99 a	0,10 a	9,90	25,3	0,82	0,51
		PI	1,45 b	0,84 b	0,08 b	9,82	21,5	0,66	0,62
	30-60	PE	1,22	0,71	0,06	10,5	15,5	0,70	0,60
		PI	1,15	0,66	0,06	9,98	14,1	0,64	0,64
2011	0-15	PE	2,12 a	1,23 a	0,13 a	9,53	29,0	1,20	2,64 a
		PI	1,70 b	0,99 b	0,11 b	9,42	31,4	1,24	1,92 b
	15-30	PE	1,86 a	1,08 a	0,11 a	9,62	26,1	1,07	2,81 a
		PI	1,54 b	0,89 b	0,09 b	9,58	25,1	0,96	1,69 b
	30-60	PE	1,36 a	0,79 a	0,08 a	10,11	16,5	0,92	2,83
		PI	1,13 b	0,65 b	0,07 a	9,1	16,8	0,87	2,50

Pro: Tipo de producción, ecológica (PE) e integrada (PI); Prof: profundidad del suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas $P < 0,05$

En las muestras de suelo a la profundidad de 0-15 cm se encontraron los valores más altos de materia orgánica y su contenido disminuyó con la profundidad del suelo. Este mismo patrón de variación se presentó también para los niveles de carbono y nitrógeno. En el muestreo de 2009 no se observaron diferencias estadísticas a la profundidad de 30 a 60 cm mientras que en el 2011 sí se encontraron diferencias significativas en el carbono, materia orgánica y nitrógeno. Cabe señalar también que para otras características como la relación C/N, el fósforo y potasio asimilables no se encontraron diferencias significativas entre los dos sistemas de producción en los dos muestreos contemplados en este estudio.

Los mayores niveles de materia orgánica encontrados en el sistema ecológico respecto al sistema integrado cabe atribuirlos la utilización continuada de estiércol como fertilizante durante el periodo experimental. Y los resultados obtenidos en este trabajo muestran un enriquecimiento en el nivel de materia orgánica, en la capa superficial (0-15 cm), en las parcelas del sistema ecológico respecto a las parcelas del sistema integrado. En un artículo anterior (Quenum et al. 2008) también encontraron que en el año 2006 las muestras del horizonte superficial (0-15 cm) de este experimento reflejaron un mayor contenido de materia orgánica en el sistema ecológico que en el sistema integrado. Por el contrario, otros autores como Altieri (1999) y Gliessman (1990) obtuvieron en diferentes estudios que durante el primer año los niveles de materia orgánica del suelo de 0-15 cm de profundidad no eran significativamente diferentes entre los sistemas de producción convencional y producción ecológica (conversión). De donde se infiere la necesidad de que debe transcurrir un cierto periodo de varios años de aportación de productos

orgánicos para que se produzcan incrementos significativos de materia orgánica en el suelo de los agrosistemas ecológicos.

Respecto a la influencia de la incorporación de los restos de cultivo (Cuadro 2), puede observarse que los dos tratamientos de aportación de la biomasa residual (tratamientos RC1 y RC3) en el muestreo del año 2011, dio lugar a valores más altos que la recogida de los restos de cultivo (RC2) en todas las características edáficas estudiadas, registrándose significación estadística ($p < 0,05$ y $p < 0,01$) en la mayoría de los indicadores analizados: nitrógeno orgánico, fósforo asimilable, potasio soluble, carbono de la biomasa microbiana y actividad deshidrogenasa.

Cuadro 2. Propiedades físico-químicas del suelo en función de la modalidad de gestión de los restos de cultivo en los años 2009 y 2011.

Propiedad	Prof. (cm)	Gestión de Restos 2009			Signific Statistic	Gestión de Restos 2011			Signific Statistic
		RC1	RC2	RC3		RC1	RC2	RC3	
MO (%)	0-15	2,10 a	1,90 b	2,02 ab	ns	1,97	1,77	1,99	ns
	15-30	1,64	1,57	1,53	ns	1,79	1,62	1,68	ns
	30-60	1,24	1,11	1,20	ns	1,34	1,16	1,24	ns
N orgánico (%)	0-15	0,12 a	0,11 b	0,12 a	95 %	0,123 b	0,108 a	0,120 b	95 %
	15-30	0,09	0,08	0,09	ns	0,110 b	0,095 a	0,103 ab	95 %
	30-60	0,07	0,06	0,06	ns	0,083 b	0,068 a	0,073 ab	95 %
P asimilable (mg/Kg)	0-15	32,94	29,33	30,75	ns	33 b	28 a	30 ab	95 %
	15-30	24,74	22,41	23,06	ns	28 b	23 a	26 ab	95 %
	30-60	15,84	13,27	15,36	ns	19 b	14 a	16 ab	95 %
K+soluble (meq/L)	0-15	0,38 a	0,12 b	0,39 a	95 %	0,478 b	0,093 a	0,307 ab	99 %
	15-30	0,19 a	0,07 b	0,18 a	95 %	0,303 c	0,071 a	0,222 b	99 %
	30-60	0,13 a	0,06 b	0,17 a	95 %	0,208 c	0,080 a	0,145 b	99 %

RC1: pre-descomposición en superficie e incorporación; RC2: recogida y retirada; RC3: incorporación inmediata. Letras diferentes indican diferencias significativas $P < 0,05$, $P < 0,01$; ns: no significativa.

Por otra parte, en los dos muestreos (años 2009 y 2011) los valores de las propiedades biológicas del suelo (carbono de la biomasa microbiana, actividad deshidrogenasa y actividad fosfatasa alcalina) en la capa superficial del suelo (0-15 cm), resultaron bastante similares en los dos sistemas de producción comparados (integrado vs ecológico) (Cuadro 3). Y aunque en el sistema ecológico se obtuvo un valor de actividad deshidrogenasa más alto que en el sistema integrado en los dos muestreos (años 2009 y 2011); no obstante, las diferencias entre ambos agrosistemas no resultaron significativas a nivel estadístico en ninguno de los muestreos.

Cuadro 3. Análisis de la biomasa microbiana y actividad enzimática del suelo a los 15 cm de profundidad en función del agro sistema del cultivo (Ecológico vs Integrado) en los años 2009 y 2011.

Producción	Biomasa-C ($\mu\text{C/g}$ suelo)		Fosfatasa ($\mu\text{moles PNF/g.h}$)		Deshidrogenasa ($\mu\text{g TPF /g.h}$)	
	2009	2011	2009	2011	2009	2011
Integrada	204	228	1,23	1,13	4,53	4,67
Ecológica	231	237	1,37	1,24	5,38	5,16
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns

PNF: p-nitrofenol; TPF: trifenilformazan; Letras diferentes indican diferencias significativas $P < 0,05$, $P < 0,01$; ns: no significativa

Por otra parte, en los datos del Cuadro 4 se puede observar que la biomasa microbiana media de los sistemas ecológico integrado en el muestreo de 2011 registró valores más altos (altamente significativos) en los tratamientos de incorporación de los restos de cosecha (RC1 y RC3) respecto a la no incorporación de los restos de cultivo (RC2).

Cuadro 4. Análisis de la biomasa microbiana y actividad enzimática del suelo en función de la modalidad de gestión de los restos de cultivo en los años 2009 y 2011.

Gestión de Restos	Biomasa-C ($\mu\text{g C/g}$ suelo)		Deshidrogenasa ($\mu\text{g TPF/g.h}$)		Fosfatasa ($\mu\text{moles PNF /g.h}$)	
	2009	2011	2009	2011	2009	2011
RC1	260 b	281 b	6,07 b	5,68 b	1,42	1,33
RC2	166 a	149 a	3,92 a	3,65 a	1,06	0,94
RC3	226 ab	267 b	4,87 ab	5,41 b	1,43	1,30
Signific.	95 %	99 %	95 %	95 %	ns	ns

PNF: p-nitrofenol; TPF: trifenilformazan; ns: no significativa. Letras diferentes indican diferencias significativas $P < 0,05$, $P < 0,01$. RC1: pre-descomposición en superficie e incorporación tardía; RC2: recogida y retirada; RC3: incorporación inmediata.

En cuanto a la actividad enzimática fosfatasa alcalina, no registró diferencias significativas entre los tres tipos de manejo de restos de cosecha ni en el muestreo de 2009, ni en el de 2011; si bien en ambos muestreos los valores medios más altos se encontraron en las parcelas con incorporación de los restos de cultivo al suelo (RC1 y RC3) (Cuadro 4).

Respecto a la actividad enzimática deshidrogenasa, los resultados mostrados en el Cuadro 4 indican que los tratamientos de incorporación de los restos de cultivo (RC1 y

RC3) presentaron mayores niveles que los encontrados con la retirada de los restos de cosecha, encontrándose diferencias a nivel estadístico entre la incorporación tardía (RC1) y la no incorporación (RC2) en el muestreo del año 2009, y entre ambos tipos de incorporación de los restos de cosecha (RC1 y RC3)) y la no incorporación de los mismos.

CONCLUSIONES

A tenor de los resultados obtenidos en este trabajo, se pueden inferir las siguientes conclusiones:

- El efecto del tipo de sistema de cultivo (ecológico vs integrado) causó una modificación significativa en algunas características físicoquímicas como materia orgánica, carbono y nitrógeno orgánico y el porcentaje de saturación en las tres capas de suelo estudiadas, obteniéndose en el agrosistema ecológico valores más altos que en el integrado.
- En cuanto a las características biológicas, también se constató que los niveles de la biomasa microbiana y de actividad enzimática en las muestras de suelo del agrosistema ecológico fueron superiores a los obtenidos en la muestras del sistema integrado.
- Mediante la incorporación de los restos de cosecha al suelo, se logró una mejora sustancial de la fertilidad del suelo frente a la retirada de los mismos. Los parámetros edáficos que mostraron los mayores efectos fueron: materia orgánica, nitrógeno orgánico, potasio soluble, fósforo asimilable y actividad biológica del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) por la financiación del proyecto SUM2006-00028-00-00. Y a la Fundación Ruralcaja, Grupo CRM, por su contribución, facilitando las parcelas experimentales que han permitido la realización de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Altieri M. 2004. (En línea). Agroecology versus Ecoagriculture: balancing food production and biodiversity conservation in the midst of social inequity. <<http://www.wildfarmalliance.org/resources/ECOAG.pdf>> (Consulta: 14 febrero 2011)

Casida L E, Klein D A, Santoro T. 1964. Soil dehydrogenase activity. *Soil Science*. 98, 371-376.

FiBL-IFOAM. 2011. (En línea). Research Institute of Organic Agriculture, Frick, Switzerland. Willer, H, and Kilcher, L. *The World of Organic Agriculture - Statistics and Emerging Trends 2011*. Documents recent developments in global organic agriculture. <<http://www.organicworld.net/yearbook-2011.html>>. (Consulta: Marzo 2011)

Gliessman S. 1990. *Agroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture*. Ecological Studies. New York: Springer Verlag. 78 pp.

INIA. (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria). 2009. Metales pesados, Materia Orgánica y otros parámetros de los suelos agrícolas y pastos de España. MARM. 120 pp.

Lejon H, Sebastia J, Lamy I, Chaussod R, Ranjard L. 2007. Relationships between soil organic status and microbial community density and genetic structure in two agricultural soils submitted to various types of Organic management. *Microbial Ecology*. 53, 650–663.

MAPA, 1994. *Métodos Oficiales de Análisis*. Tomo III (Plantas, productos orgánicos fertilizantes, suelos, aguas, productos fitosanitarios, fertilizantes inorgánicos). Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 532 pp.

Martínez E, Fuentes P, Acevedo E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. R. C. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 8, 68-96.

Pomares F, Baixauli C, Aguilar J M, Chaves C, Ribó M. 2007. Respuesta de una rotación de hortalizas ecológicas y de producción integrada a diferentes modalidades de gestión de los restos de cultivo. *Actas del V Congreso Valenciano de Agricultura Ecológica*: p 21-26

Quenum L, Albiach M, Ribó M, Estela M, Canet R, Baixauli C, Aguilar J, Pomares F. (2008). Modificación de las propiedades del suelo provocada por diferentes modalidades de gestión de los restos de cultivos hortícolas bajo producción ecológica e integrada. *Memorias VIII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*. “Cambio climático, biodiversidad y desarrollo rural sostenible”. Bullas. Murcia. España. p 9

Tabatabai M A, Bremner J M. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*. 1, 301-307.

Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*. 19, 703-707.