

Efectos de la fertilización orgánica en cultivos hortícolas: producción, balance de nutrientes y de materia orgánica

A. GÓMEZ*, F. POMARES*, R. ALBIACH*, R. CANET*, C. BAIXAULI**

* Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (I.V.I.A.). Apartado Oficial, 46113 Moncada (Valencia).

** Fundación Caja Rural Valencia.

RESUMEN

En una parcela del I.V.I.A. en Moncada (Valencia), se ha realizado un ensayo en condiciones de campo con seis tratamientos de fertilización: testigo, fertilización mineral, fertilización órgano-mineral (con fertilizante mineral + estiércol de ovino y gallinaza, respectivamente) y fertilización orgánica (con estiércol de ovino y gallinaza). La secuencia de cultivos implantados ha sido: alcachofa 1º año, alcachofa 2º año, lechuga, patata y brócoli. El riego se ha realizado mediante el sistema de inundación. Las parcelas elementales con fertilización orgánica se han cultivado siguiendo las técnicas de Agricultura Ecológica, mientras que en las restantes parcelas se han aplicado prácticas de cultivo convencional.

Los resultados de producción indican que excepto en el cultivo de alcachofa 2º año en el que la fertilización orgánica registró los rendimientos más bajos, en los restantes cultivos, la fertilización orgánica dio producciones similares o algo más altas que las obtenidas con la fertilización mineral. En relación a los balances de nutrientes, la fertilización orgánica produjo los excedentes más altos de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio. Asimismo, la fertilización orgánica, unida a la incorporación de los restos de cultivos, permitió un considerable incremento en el nivel de materia orgánica del suelo. Y el excedente de la materia humificada obtenido mediante un modelo teórico resultó estrechamente correlacionado con el incremento de materia orgánica reflejado por el análisis químico del suelo.

INTRODUCCIÓN

La fertilización en Agricultura Ecológica está basada, principalmente, en el mantenimiento de un nivel adecuado de materia orgánica en el suelo mediante la adición de diferentes materiales orgánicos (compost, estiércol, residuos del cultivo, abonos verdes, acolchados, etc.), cuya mineralización por los microorganismos del suelo libera los nutrientes necesarios para el desarrollo de los cultivos.

Durante el período de conversión de un sistema convencional a ecológico, la estrategia de fertilización debe contemplar, por una parte, elevar la fertilidad global del suelo mediante la adi-

ción de fertilizantes orgánicos y, por otra, garantizar un suministro equilibrado de nutrientes a los cultivos con un mínimo impacto ambiental.

Para el cálculo de la dosis necesaria de fertilizantes orgánicos como los estiércoles se suele considerar como nitrógeno disponible el nitrógeno mineralizado durante el primer año, que varía según el tipo de estiércol, contenido nutritivo, grado de estabilización, etc. (LECLERC, 1995). Esta circunstancia puede dar lugar a aportaciones desequilibradas de los diferentes elementos fertilizantes.

Por otra parte, al evaluar la idoneidad del programa de fertilización, los balances de nutrientes, a nivel de parcela, de rotación de cultivos o de explotación como parámetros indicadores de sostenibilidad, se han revelado de gran interés (WATSON y STOCKDALE, 1997).

Los objetivos de este trabajo eran: a) evaluar la respuesta de una rotación de cultivos hortícolas a la fertilización orgánica, y b) determinar los balances de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) y de materia orgánica según cultivo y tratamiento de fertilización.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se ha realizado en una parcela de hortalizas ubicada en la finca experimental del I.V.I.A. en Moncada (Valencia). Los tratamientos de fertilización aplicados han sido: testigo (T), sin fertilización nitrogenada, fertilización mineral (M), dos de fertilización órgano-mineral, uno con estiércol (OME) y otro con gallinaza (OMG), y dos de fertilización orgánica, uno a base de estiércol (OE) y otro con gallinaza (OG). Las dosis de fertilizantes aportadas a cada uno de los cultivos se muestra en la Tabla I, las características del suelo y agua de riego en la Tabla II y las de los estiércoles en la Tabla III. Las dosis de estiércol de ovino y gallinaza se calcularon de forma que aportaran la misma dosis de nitrógeno disponible que en el tratamiento de fertilización mineral, estimando como nitrógeno mineralizable en el 1^{er} año el 30% y 70% para el estiércol y gallinaza, respectivamente. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar, con parcelas elementales de 10 x 7,5 m y 3 repeticiones de cada tratamiento.

La rotación de cultivos consistió en: alcachofa cv. Blanca de Tudela, transplante el 31/8/95 y períodos productivos del 11/1/96 al 31/5/96 en el primer año y del 10/10/96 al 9/5/97 en el segundo año; lechuga cv. Valladolid, transplante el 15/9/97 y recolección 3/11/97; patata cv. Scort, plantación el 23/1/98 y recolección el 2/6/98; y brócoli cv. Coaster, transplante el 2/10/98 y recolección el 11/2/99. Los restos de los cultivos se incorporaron al suelo antes de la plantación del siguiente cultivo.

El sistema de riego fue el de inundación y las técnicas de cultivo seguidas en los tratamientos de fertilización orgánica OE y OG fueron ecológicas, mientras en los restantes tratamientos se aplicaron técnicas convencionales.

Balances de nutrientes

Los balances simplificados (aportaciones-exportaciones) para el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio se han calculado a partir de las cantidades de nutrientes aplicadas en el agua de riego y fertilizantes (orgánicos y minerales), considerando como pérdidas sólo las exportaciones derivadas de la cosecha recolectada.

Balace de materia orgánica

Se ha calculado siguiendo el modelo propugnado por Henin y Dubuis (1945). La biomasa aportada por las raíces de los cultivos se estimó a partir de datos encontrados en la bibliografía (Odet, 1989), mientras que la biomasa generada por la porción aérea se obtuvo mediante pesaje en una superficie representativa. Los coeficientes isohúmicos K_1 asignados fueron: 50% para el estiércol y gallinaza, 60% para el sustrato contenido en los cepellones, 20% para los restos de alcachofa y 15% para los restos de los otros cultivos. Y en cuanto al coeficiente de mineralización (K_2) de la materia orgánica del suelo se estimó en un 2% anual (Saña y col., 1996).

Tabla I. Dosis de fertilizantes aportadas en los distintos tratamientos

Tratamiento	Alcachofa 1	Alcachofa 2	Lechuga	Patata	Brócoli
Testigo (T)	90 UF P ₂ O ₅ 90 UF K ₂ O	90 UF P ₂ O ₅ 90 UF K ₂ O	50 UF P ₂ O ₅ 160 UF K ₂ O	80 UF P ₂ O ₅ 200 UF K ₂ O	–
Mineral (M)	360 UF N 90 UF P ₂ O ₅ 90 UF K ₂ O	360 UF N 90 UF P ₂ O ₅ 300 UF K ₂ O	102 UF N 52 UF P ₂ O ₅ 237 UF K ₂ O	224 UF N 80 UF P ₂ O ₅ 384 UF K ₂ O	–
órgano–mineral estiércol (OME)	19,1 tm/ha E 180 UF N 45 UF P ₂ O ₅ 45 UF K ₂ O	19,1 tm/ha E 180 UF N 45 UF P ₂ O ₅ 110 UF K ₂ O	12,6 tm/ha E 51 UF N 26 UF P ₂ O ₅ 114 UF K ₂ O	12 tm/ha E 112 UF N 40 UF P ₂ O ₅ 192 UF K ₂ O	–
órgano–mineral gallinaza (OMG)	6,7 tm/ha G 180 UF N 45 UF P ₂ O ₅ 45 UF K ₂ O	6,7 tm/ha G 180 UF N 45 UF P ₂ O ₅ 45 UF K ₂ O	7 tm/ha G 51 UF N 26 UF P ₂ O ₅ 114 UF K ₂ O	11,2 tm/ha G 112 UF N 40 UF P ₂ O ₅ 192 UF K ₂ O	–
Orgánico estiércol (OE)	38,2 tm/ha E	38,2 tm/ha E	25,2 tm/ha E	24 tm/ha E	–
Orgánico gallinaza (OG)	13,4 tm/ha G	13,4 tm/ha G	14 tm/ha G	22,4 tm/ha G	–

E: estiércol de ovino; G: gallinaza.

Tabla II. Características físico-químicas del suelo y agua de riego

Parámetro	Valor obtenido
Suelo (0-15 cm)	
Taxonomía	Xerorthent
Textura	Franco-arenosa
pH (H ₂ O) (1:2,5)	8,0
Caliza (%)	4,4
Materia orgánica (%)	1,25
Nitrógeno orgánico (%)	0,068
Relación C/N	10,6
Fósforo asimilable (Olsen) (ppm)	45,0
Potasio (acetato amónico) (ppm)	273,0
Agua de riego	
Conductividad eléctrica (dS/m)	1,37
Nitratos (mg/l)	96 – 118

Tabla III. Características físico-químicas de los estiércoles

Parámetro	Estiércol de ovino	Gallinaza
Humedad	5,9 – 10,1	11,5 – 21,3
Materia orgánica (%)	49,7 – 50,7	65,4 – 72,4
Nitrógeno orgánico (% N)	2,15 – 2,37	3,12 – 3,72
Nitrógeno nítrico N-NO ₃ (ppm)	226 – 2495	542 – 5012
Nitrógeno amoniacal N-NH ₄ (ppm)	152 – 282	165 – 1814
Relación C/N	11,2 – 13,0	9,9 – 11
pH	8,0 – 8,6	7,1 – 7,2
Fósforo (% P ₂ O ₅)	0,83 – 1,17	2,74 – 4,88
Potasio (% K ₂ O)	1,56 – 3,29	3,12 – 3,20
Magnesio (% MgO)	1,28 – 1,47	1,27 – 1,50

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción

Los resultados de producción obtenidos con los distintos cultivos se muestran en la Tabla IV. Puede observarse que en comparación con el testigo (T), en todos los cultivos hubo respuesta a la fertilización, si bien sólo se registraron diferencias significativas en los dos últimos cultivos de la rotación (patata y brócoli). El efecto del tipo de fertilización sobre la producción presentó considerables diferencias entre los cultivos. No obstante, cabe indicar que excepto en el cultivo de alcachofa de segundo año, en el que se obtuvo la producción más baja con la fertilización orgánica, en los restantes cultivos las producciones de la fertilización orgánica fueron similares a las obtenidas con la fertilización mineral, llegando, incluso, a alcanzarse en el último cultivo de patata, tanto en los tratamientos orgánicos como en los órgano-minerales, rendimientos algo superiores a los resultados con el tratamiento mineral.

Tabla IV. Efecto del tipo de fertilización en la producción de cultivos

Tratamiento	Producción (tm/ha)				
	Alcachofa 1	Alcachofa 2	Lechuga	Patata	Brócoli
Testigo (T)	10,9	18,8	27,0	20,9 a	12,3 a
Mineral (M)	13,3	19,6	36,3	28,2 b	15,9 c
órgano-mineral estiércol (OME)	12,9	18,4	37,0	33,3 bc	17,1 de
órgano-mineral gallinaza (OMG)	14,0	19,8	33,6	34,8 c	17,6 e
Orgánico estiércol (OE)	11,8	14,4	32,3	29,8 b	16,6 d
Orgánico gallinaza (OG)	12,9	18,1	36,7	33,5 bc	14,7 b

Tomando como referencia el rendimiento obtenido con la fertilización mineral, los resultados globales de los cinco cultivos realizados en el ensayo indican un aumento medio del 4% con la fertilización órgano-mineral, y una disminución entre el 0 y 4% con la fertilización orgánica. Estos resultados son concordantes con los obtenidos en otros ensayos de cultivos hortícolas con manejo ecológico (POMARES y col., 2000), y también con los citados por Stanhill (1990) en

una revisión bibliográfica con una gama amplia de cultivos; si bien, son bastante discrepantes de los presentados por FINCK (1995), que asignaba a la producción ecológica una disminución en el rendimiento entre el 30 y 50%.

Balance de nutrientes

Los resultados del balance simplificado de nitrógeno (aportaciones-exportación por la cosecha) obtenidos por tratamiento en el conjunto de cultivos de la rotación se muestran en la Tabla V. Se observa que en todos los casos, incluso en el testigo, se obtuvieron excedentes, registrándose los valores más altos en los tratamientos de fertilización orgánica (2167-2854 kg N/ha), frente a 1274 kg N/ha obtenido con la fertilización mineral.

Tabla V. Balance de nitrógeno (kg N/ha) en la rotación de cultivos

Tratamiento	Aportes			Total aportes	Exportación cosechas	Excedente
	Abono orgánico	Fertilización mineral	Agua riego			
Testigo (T)	0	0	367	367	227	140
Mineral (M)	0	1226	367	1593	319	1274
órgano-mineral estiércol (OME)	1383	568	367	2318	327	1991
órgano-mineral gallinaza (OMG)	1060	568	367	1995	353	1642
Orgánico estiércol (OE)	2765	0	367	3132	278	2854
Orgánico gallinaza (OG)	2120	0	367	2487	320	2167

A pesar de que el agua de riego no presenta un nivel muy alto de nitratos, destaca su contribución relativa como fuente de nitrógeno para los cultivos, superando incluso a las exportaciones correspondientes a la cosecha recolectada.

En relación al balance de fósforo obtenido en cada uno de los tipos de fertilización, los resultados se muestran en la Tabla VI. Puede observarse que los excedentes aumentan progresivamente desde el testigo (T) a la fertilización orgánica con gallinaza (OG). Al igual que en el caso del nitrógeno, los excedentes de fósforo resultaron mucho más altos con la fertilización orgánica (942-1609 kg P₂O₅/ha) que con la fertilización mineral (220 kg P₂O₅/ha).

Tabla VI. Balance de fósforo (kg P₂O₅/ha) en la rotación de cultivos

Tratamiento	Aportes			Total aportes	Exportación cosechas	Excedente
	Abono orgánico	Fertilización mineral	Agua riego			
Testigo (T)	0	230	0	230	74	156
Mineral (M)	0	313	0	313	93	220
órgano-mineral estiércol (OME)	518	111	0	629	104	525
órgano-mineral gallinaza (OMG)	861	111	0	972	116	856
Orgánico estiércol (OE)	1036	0	0	1036	94	942
Orgánico gallinaza (OG)	1722	0	0	1722	113	1609

En el caso del potasio, también se obtuvieron excedentes en todos tratamientos aplicados (Tabla VII). Se puede observar que a pesar de que las exportaciones de potasio generadas por la cosecha recolectada son mucho más altas que las del fósforo, se obtuvieron unos excedentes altos, particularmente, en los tratamientos de fertilización orgánica, con valores entre 1558 y 1606 kg K₂O/ha, frente a 602 kg K₂O/ha obtenidos con la fertilización mineral.

Tabla VII. Balance de potasio (kg K₂O/ha) en la rotación de cultivos

Tratamiento	Aportes				Exportación cosechas	Excedente
	Abono orgánico	Fertilización mineral	Agua riego	Total aportes		
Testigo (T)	0	340	45	385	355	30
Mineral (M)	0	1011	45	1056	454	602
órgano-mineral estiércol (OME)	984	461	45	1490	482	1008
órgano-mineral gallinaza (OMG)	990	461	45	1496	478	1018
Orgánico estiércol (OE)	1967	0	45	2012	406	1606
Orgánico gallinaza (OG)	1979	0	45	2024	466	1558

Los resultados del balance de magnesio correspondientes a los distintos tratamientos se muestran en la Tabla VIII. Se constata que la aportación de magnesio derivada del agua de riego es muy alta, siendo muy reducidas las exportaciones generadas por la cosecha de los respectivos cultivos. De ahí que resulten unos excedentes tan altos de magnesio en todos los tratamientos de fertilización, pero, particularmente, en los de fertilización orgánica (1846 y 2515 kg MgO/ha).

Tabla VIII. Balance de magnesio (kg MgO/ha) en la rotación de cultivos

Tratamiento	Aportes				Exportación cosechas	Excedente
	Abono orgánico	Fertilización mineral	Agua riego	Total aportes		
Testigo (T)	0	0	950	950	36	914
Mineral (M)	0	0	950	950	45	905
órgano-mineral estiércol (OME)	802	0	950	1752	48	1704
órgano-mineral gallinaza (OMG)	472	0	950	1422	49	1373
Orgánico estiércol (OE)	1605	0	950	2555	40	2515
Orgánico gallinaza (OG)	944	0	950	1894	48	1846

Balance de materia orgánica

Los resultados del balance de materia orgánica según el modelo lineal propuesto por HENIN y DUPUIS (1945), desglosados por tratamientos y por cultivos se muestran en la Tabla IX. Los valores globales correspondientes a la rotación de cultivos indican considerables diferencias entre los tratamientos: Así, como era previsible, los valores más bajos se obtuvieron con el testigo (T) y con la fertilización mineral (M), dando valores de -183 y 54 kg de MO/ha, respectivamente; en cambio, con la fertilización orgánica a base de estiércol de ovino (OE) o de gallinaza (OG) se obtuvieron los valores más altos, 29156 y 19453 kg de MO/ha, respectivamente.

Tabla IX. Efecto del tipo de fertilización en el balance de materia orgánica

Tratamiento	Balance de humus (kg/ha)					Total
	Alcachofa	Alcachofa	Lechuga	Patata	Brócoli	
	1	2	riego	aportes	cosechas	
Testigo (T)	- 538	- 128	- 45	- 119	648	- 183
Mineral (M)	- 454	- 66	- 51	- 130	755	54
órgano-mineral estiércol (OME)	3986	4416	3056	2811	963	15232
órgano-mineral gallinaza (OMG)	1466	1939	2223	3506	1048	10183
Orgánico estiércol (OE)	8270	8904	6106	5687	188	29156
Orgánico gallinaza (OG)	3571	4009	4474	7091	308	19453

En cuanto al efecto del cultivo sobre la generación de materia orgánica humificada, se constataron marcadas diferencias entre ellos; así, mientras que con la alcachofa, lechuga y patata la biomasa derivada de los restos del cultivo resultó insuficiente para compensar la materia orgánica mineralizada en el suelo, con el brócoli se obtuvo un balance de humus positivo, a pesar de no haberse añadido enmiendas orgánicas en la fertilización de este cultivo.

La comparación entre el incremento de materia orgánica resultante en el suelo, reflejada por el análisis químico del suelo (Tabla X) y los valores de materia orgánica humificada obtenidos según el modelo teórico se muestra en la Figura 1. Se aprecia que a pesar de no existir coincidencia en términos cuantitativos entre ambos valores, se obtuvo una estrecha correlación entre ellos, registrándose valores de R^2 de 0,960, 0,965 y 0,786 en los tres muestreos del suelo efectuados a lo largo del ensayo.

Tabla X. Efecto del tipo de fertilización en el contenido de materia orgánica en el suelo

Tratamiento	Materia orgánica (%)		
	Muestreo		
	Alcachofa	Patata	Brócoli
Muestras de 0-15 cm			
T	1,57 a	1,46 a	1,48 a
M	1,48 a	1,58 a	1,54 a
OME	1,91 ab	1,92 ab	1,81 a
OMG	1,84 a	1,74 ab	1,85 a
OE	2,45 b	2,40 c	2,44 b
OG	1,99 ab	2,11 bc	1,93 a
Muestras de 15-30 cm			
T	1,02	1,08 a	1,23
M	1,03	1,12 a	1,47
OME	1,11	1,46 ab	1,47
OMG	1,01	1,25 a	1,56
OE	1,16	1,66 b	2,01
OG	1,13	1,32 ab	1,52

La discrepancia de los valores de materia orgánica humificada en el agrosistema según el método de cálculo, cabe atribuirlo a diferentes causas: variabilidad del suelo, errores de muestreo y

analíticos, variación del coeficiente de mineralización (K_2) de la materia orgánica del suelo según los aportes de materia orgánica, humificación incompleta de la biomasa del cultivo en las épocas del muestreo del suelo, valores inadecuados de coeficientes de humificación (K_1) de los residuos del cultivo y de las enmiendas orgánicas, etc.

Aunque el modelo utilizado para el cálculo de la materia orgánica humificada es susceptible de mejorarse, a tenor de su facilidad de aplicación consideramos que puede constituir una guía útil para una estimación rápida de la gestión de la materia orgánica en una parcela o explotación agrícola, pudiendo complementarse periódicamente con el correspondiente análisis químico de la tierra.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos cabe concluir que el efecto de la fertilización orgánica sobre la producción de hortalizas, aunque varía según el cultivo, en general, permite obtener rendimientos similares o ligeramente inferiores a los producidos con la fertilización convencional.

Mediante el cálculo de los balances simplificados de nutrientes se constató que la fertilización orgánica dio unos excedentes de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) mucho más altos que los registrados con la fertilización mineral. Poniéndose de manifiesto el gran interés de contemplar esta metodología como guía en el establecimiento de los programas de fertilización ajustados a las necesidades nutritivas de los cultivos, particularmente durante el período de conversión del sistema de convencional a ecológico.

La fertilización orgánica, bien con estiércol de ovino o gallinaza, produjo un considerable aumento en el nivel de materia orgánica humificada, reflejada tanto mediante el análisis químico del suelo como utilizando el modelo teórico de Henin y Dupuis (1945). Los incrementos de materia orgánica humificada obtenidos mediante estos dos métodos mostraron una estrecha correlación lineal.

REFERENCIAS

- FINCK, A. (1995). Integrated Plant Nutrition Systems. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 12, 67-82.
- HENIN, S.; DUPUIS, M. (1945). Essai de bilan de la matière organique du sol. Annales Agronomiques 15, 17-29.
- LECLERC, B. (1995). Guide des Matières Organiques. ITAB. Paris-premier édition.
- ODET, J. (1989). Memento fertilisation des cultures légumières. CTIFL. Paris.
- POMARES, F., GARCÍA, A., GÓMEZ, H., BAIXAULI, C., AGUILAR, J. M., PORCUNA, J.L., VERDÚ, M.J., HERMOSO, A. TARAZONA, F., ESTELA, M., CABOT, B., CAMPOS, T., GÓMEZ DE BARREDA, D.; COSCOLLÁ, R. (2000). Evaluación de un sistema de producción ecológica de cultivos hortalizas en Valencia. IV Congreso de la SEAE. Córdoba, 19-23 de septiembre de 2000 (en prensa).
- SAÑA, J., MORE, J.C., COHÍ, A. (1996). La Gestión de la Fertilidad de los Suelos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- STANHILL, G. (1990). The comparative productivity of organic agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment, 30: 1-26.
- WATSON, C.A.; STOCKDALE, E. (1997). Using nutrient budgets to evaluate the sustainability of farming systems. Newsletter of the European Network for Scientific Research Coordination in Organic Farming. Nº 5: 16-19.

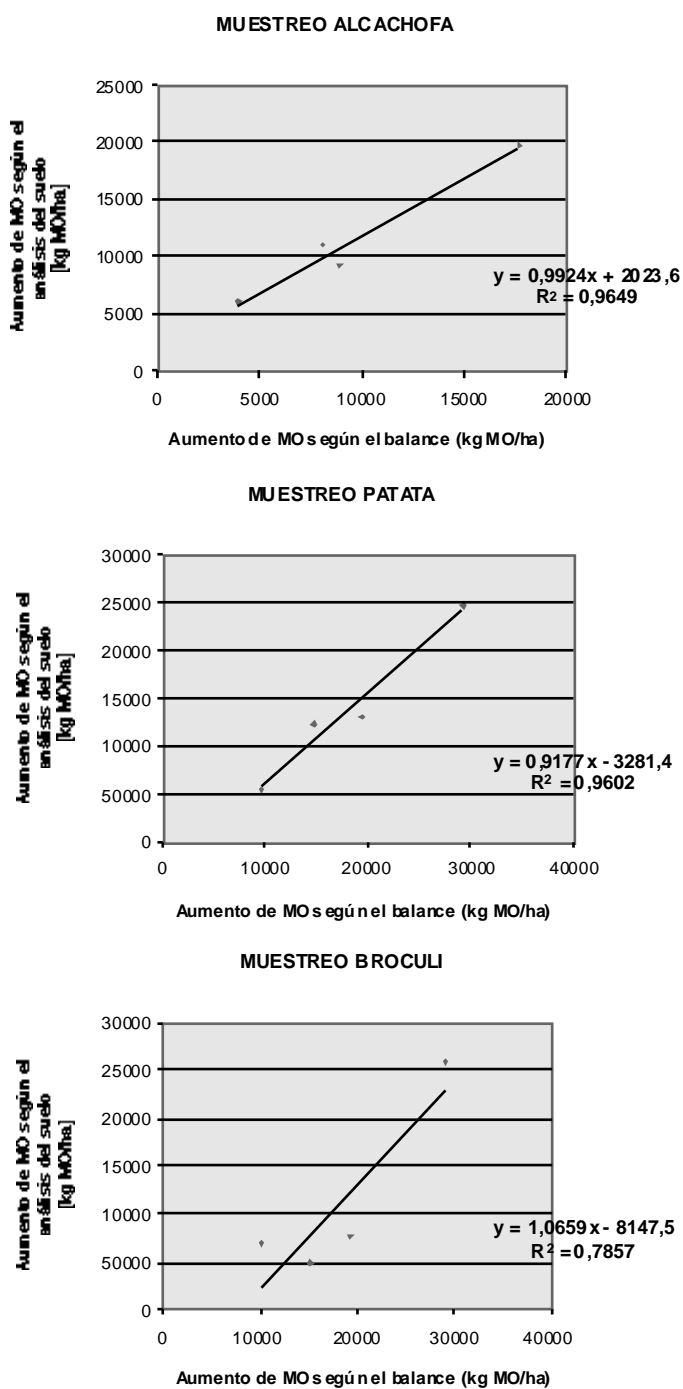


Figura 1. Relación entre el aumento de materia orgánica del análisis del suelo y del obtenido mediante el balance en los muestreos tras los cultivos de alcachofa, patata y brócoli