

LA APLICACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS AGROENERGÉTICOS Y CONVENCIONALES

Juan Manuel Bustillo*, Milagros Navarro, Yolanda Arribas, Juana I. López Fernández, Belén Alonso Núñez, Carlos Rad, Javier López Robles, Mario Fernández Peña, Susana Peña, Casilda Olalla y Salvador González Carcedo

Grupo de Investigación en Compostaje, Universidad de Burgos, Escuela Politécnica Superior, Avda. de Cantabria s/n, 09006 Burgos. <http://www.ubucomp.com>.

* Autor para la correspondencia: Juan Manuel Bustillo, jmbu@ubu.es

La agricultura ha tenido tradicionalmente en nuestra sociedad la función primordial de producir los alimentos en calidad y cantidad suficientes como para cubrir las demandas nutricionales de la humanidad. Esta función ha supuesto en casi todas las civilizaciones el mantenimiento de todo un modo de vida y el soporte económico del mundo rural. Sin embargo, la progresiva mecanización y racionalización de las explotaciones agrarias, las sucesivas reducciones en los márgenes comerciales y el incremento de los costes sociales de la mano de obra asociada, ha supuesto una seria amenaza para su viabilidad en los países más desarrollados. Una agricultura subvencionada y escasamente rentable, que mantiene a un escaso número de personas, no es una actividad suficiente como para mantener un medio rural vivo y cumplir esa función primordial de cuidado y mantenimiento del propio medio natural que en muchos casos, ella misma ha modelado.

La agricultura ha sido y es un potente elemento transformador de la naturaleza a la vez que muestra su fragilidad por su fuerte dependencia de determinados recursos naturales como son el suelo, el agua, los combustibles fósiles o los sistemas biológicos y más recientemente, biotecnológicos. Así, una explotación intensiva de los mismos, un hecho que caracteriza a buena parte de nuestras explotaciones agrícolas, especialmente aquellas de mayor rentabilidad, supone también la pérdida irremediable de algunos de estos recursos al inducir procesos de erosión y degradación de los suelos, la sobreexplotación de los recursos hidrológicos, la contaminación derivada del uso de agroquímicos, la emisión de gases de efecto invernadero o la progresiva eliminación de especies naturales de gran valor ecológico.

Quizás una de las más graves amenazas que se ciernen sobre nuestra agricultura tiene que ver con los efectos que sobre ella pueda tener el Cambio Climático. La directa conexión de la producción agrícola con el clima y su fuerte dependencia de los recursos hídricos, suponen que el calentamiento global del planeta y sus efectos climáticos pueden tener consecuencias dramáticas sobre la misma, especialmente en ciertos entornos como el mediterráneo en el que nos encontramos. Frenar el cambio climático ha de ser también un objetivo a conseguir a través de una modificación de las prácticas agrarias, ya sea mediante la reducción de insumos procedentes de recursos fósiles, la introducción de cultivos con un objetivo energético, la creación de nuevas masas forestales o el incremento y estabilización del carbono en el suelo. Del logro de dichos objetivos se obtendrá no sólo un bien ambiental innegable, sino una fuente tangible de beneficios que permita la subsistencia de una agricultura necesaria como nunca de nuevos incentivos económicos. Según datos de la Agencia Europea del Medio Ambiente (**EEA, 2006**), el potencial de la bioenergía en la Unión Europea, en el que juega un importante papel la agricultura bioenergética, puede pasar de satisfacer el 4% de las actuales necesidades energéticas a constituir el 17% de dichas necesidades en 2030, todo ello sin afectar a la producción agrícola con destino alimentario, ni la intensificación del uso agrícola en espacios de alto valor ecológico.

La entrada en vigor del Protocolo de Kyoto en la Unión Europea a partir del 1 de Enero de 2005, marca unos objetivos temporales para la emisión de gases que provocan el efecto invernadero y que se cifran en una disminución del 8% en el periodo 2008-12, teniendo como base de cálculo los emitidos en 1990 (EC, 2002). El compromiso con el Protocolo de Kyoto no deja indiferente a la agricultura ya que las emisiones procedentes de este sector comprenden el 10% de las emisiones de dichos gases a nivel de toda la Unión Europea, de ellos principalmente destacan el N₂O, derivado de la aplicación de fertilizantes nitrogenados al suelo, con emisiones que llegan al 51% del total emitido, y el metano, generado en los procesos anaerobios asociados a la actividad ganadera, con un 41% del total emitido.

Si bien, la evolución de dichas emisiones ha disminuido notablemente como consecuencia de una sensible reducción en el uso de fertilizantes nitrogenados y un mejor control de los residuos ganaderos, optimizando incluso la dieta animal de forma que se aumente su digestibilidad, el sector agrícola ha de ver en esta nueva situación un evidente horizonte de mejora. La actividad agraria puede constituirse en un importante sumidero de carbono mediante la promoción de actividades como pueden ser la introducción de cultivos bioenergéticos, la utilización de técnicas agrícolas que minimicen el uso de fertilizantes, las necesidades de irrigación o de laboreo del suelo, la incorporación al suelo de residuos orgánicos y el incremento de C en el suelo que puede actuar como sumidero neto en el ciclo del C en la biosfera (Lal, 2002).

1. LAS EXPERIENCIAS AGRONÓMICAS

Es precisamente en la aplicación agronómica de residuos orgánicos donde viene trabajado el Grupo de Investigación en Compostaje de la Universidad de Burgos, cuyas actividades están siendo financiadas por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León. Dichas actividades están centradas en incrementar la productividad de numerosos cultivos mediante la adición de residuos orgánicos, ya sean de origen urbano o ganadero, cultivos entre los que se encuentran también el girasol, el maíz o la remolacha, de potencial utilización bioenergética. Los residuos orgánicos utilizados han sido un compost de residuos urbanos (CRU), un compost de lodos de depuradora (CLD), ambos de la ciudad de Burgos, y purín de porcino deshidratado (PD) generado en la planta que el Grupo Guascor tiene en Hornillos de Eresma, en la provincia de Valladolid. Los estudios realizados se localizan en cinco unidades experimentales situadas todas ellas en la provincia de Burgos, tres en el término municipal de Villafruela (S, “La Serrana”; V, “Valdespinar”; A, “Andadilla”) correspondiendo todas ellas a una zona de páramos calizos, con suelos de escasa profundidad, una cuarta en el término municipal de Melgar de Fernamental (M), correspondiendo a una zona de regadío con buena productividad, y finalmente, la quinta se localiza en San Martín de Rubiales (R), en la Ribera del Duero, correspondiendo a una zona de regadío.

Todas las unidades experimentales se han subdividido en parcelas desarrollando un diseño factorial por bloques con cinco unidades de repetición, en los que se varió la dosis de fertilización. Las dimensiones de cada parcela tienen un ancho adaptado a las necesidades operativas de cada cultivo, siendo entre (8-12)x24 m, excepto la unidad experimental “La Serrana”. En esta unidad experimental, las parcelas inicialmente fueron de 12x48 m, pero posteriormente se subdividieron para poder comprobar los efectos residuales y acumulativos de la aplicación del compost de lodo de depuradora de forma ininterrumpida durante varias campañas, de forma que se cubriera un ciclo completo de la rotación de cultivos practicada en la zona (cereal-leguminosa-cereal-oleaginosa-cereal). En la **Tabla 1** aparecen recogidos los diversos tratamientos realizados así como los cultivos introducidos en las cinco parcelas experimentales durante la campaña de 2005.

Los tratamientos con el compost de lodos (CLD) implicaron la adición de tres dosis de residuo: 3,5; 7,5 y 17,5 t/ha; los tratamientos con compost de residuos urbanos (CRU) utilizaron 5, 10 y 15 t/ha, mientras que el purín deshidratado (PD), dado su elevada concentración en sales, 1, 2 y 4 t/ha. En la **Tabla 2** se recogen las propiedades químicas de los diversos suelos en estudio así como de los residuos aplicados. Al final de la campaña de 2005, se recogieron 20 muestras de suelo superficial (0-10 cm) en cada una de las parcelas con las que se construyó una muestra compleja. Sobre dicha muestra se determinó su contenido en C-orgánico mediante oxidación con dicromato potásico en medio ácido, N-total mediante digestión con ácido sulfúrico concentrado durante 3 horas a 350°C y posterior valoración del N-NH₄⁺ liberado por destilación Kjeldahl y P-disponible por valoración colorimétrica del fósforo presente en extracto Olsen (**Sparks y col., 1996**).

2. RESULTADOS

Las experiencias agronómicas se desarrollaron en suelos que presentaban características físicas y químicas diferenciadas. Por una parte los suelos localizados en el término municipal de Villafruela, son suelos de textura arcillosa gruesa y alto contenido en carbonatos; el laboreo reducido que se practica en la comarca y la incorporación durante los años precedentes de los restos de cosecha han permitido mantener unos niveles adecuados de materia orgánica, lo que se refleja también en mayores valores de CIC y N-total (**Tabla 2**). Los otros dos suelos, corresponden a explotaciones de regadío con altas producciones en maíz, patata y remolacha que se rotan con cereal para un mejor aprovechamiento de los excedentes de fertilización. En la temporada 2005, los cultivos precedentes en la unidad experimental de Melgar de Fernamental fue de trigo y de maíz en la de San Martín de Rubiales. El bajo aporte de residuos orgánicos y el uso intensivo del suelo los han conducido a presentar bajos niveles de materia orgánica así como nutrientes.

Los tres residuos utilizados muestran también características notablemente diferenciadas; el contenido de materia orgánica es bajo para el CLD, alto en el CRU y muy alto en el PD, hecho que también se refleja en el contenido en N-total. La relación C/N toma valores de 8, 11 y 15 para CLD, PD y CRU, respectivamente. El contenido salino y la basicidad son especialmente altos para el PD, lo cual ha supuesto que las dosis empleadas en la aplicación agronómica no hayan superado las 4 t/ha para evitar daños en los tubérculos de patata. El CLD tiene valores altos de Cr y Zn al ser un producido en la EDAR de Burgos, que trata aguas industriales y urbanas, el PD también presenta valores elevados de Cu y Zn, mientras que es el CRU el que presenta un menor contenido metálico, aunque son visibles en él la presencia de inertes que hacen poco atractiva su aplicación agronómica.

Los resultados de producción en la campaña 2005, recogidos en la **Tabla 3**, permiten observar en las unidades experimentales S, A y V unos bajos rendimientos en sus respectivos cultivos. Si bien son suelos de baja productividad, la razón de tan bajos valores son las adversas condiciones meteorológicas bajo las que se desarrolló la campaña de 2005, en la que tras una primavera bastante lluviosa, le sucedió un verano muy seco y cálido, con una fuerte ola de calor en la primera quincena de Junio, que impidió el cuajado de los cultivos de guisante y cebada. Por su parte, las parcelas R y M, al ser de regadío, obtuvieron producciones elevadas, tanto en patata como en remolacha. Destacan los incrementos en la producción que se obtuvieron como consecuencia del abonado orgánico en casi todos los cultivos, excepto en remolacha, observándose en general que con la dosis más baja casi se consiguió igualar la producción de la parcela testigo bajo fertilización inorgánica. El empleo de dosis más altas supuso incrementos de hasta un 5% en girasol, 11,5% en patata, 17% en cebada y 26% en guisante. La elevada fertilización de fondo inorgánica que se aplicó en toda la unidad experimental M, con cultivo de remolacha, como complemento a su fertilización

orgánica, fue la causa de observar escasos incrementos con la aplicación de CRU; aún así, analizado el contenido de azúcar de la raíz obtenida, aparecían mayores riquezas en grados Brix en las parcelas con enmienda orgánica, mostrando una respuesta proporcional a la dosis de enmienda empleada.

Las propiedades del suelo se volvieron a analizar tras la cosecha mostrando los resultados que aparecen en la **Tabla 4**. Dichos resultados tienen una interpretación más difícil debido a la incorporación en parte de los restos de cosecha, lo que dificulta el análisis del efecto de la enmienda sobre los valores de C-orgánico y N-total del suelo. Más claros fueron los efectos residuales de la fertilización orgánica sobre la cantidad de P-disponible, estimada en extracto Olsen, donde se obtuvieron incrementos elevados en su contenido en aquellas parcelas que recibieron los residuos orgánicos. Esto fue especialmente claro en los cultivos de regadío, principalmente en la remolacha, donde la cantidad de P-Olsen se incrementó en torno a un 50% en las parcelas con las dosis 2 y 3; por su parte, las parcelas de patata llegaron a mostrar un 30% más en su contenido de P-Olsen con la dosis 3. La introducción de fertilización inorgánica como fertilización adicional en estos cultivos, supuso una sobrefertilización fosforada que permanece disponible para la siguiente cosecha; dichos efectos fueron menos claros en los cultivos de secano, en los que no se introdujo fertilización mineral adicional y el fósforo remanente es claramente atribuible al introducido en la enmienda orgánica.

También se encontraron mayores contenidos de N-total en los suelos que fueron fertilizados con los residuos orgánicos, especialmente en remolacha, por razones análogas a las expuestas en el caso del fósforo, y en cebada, donde se aplicó nitrógeno en abonado de cobertera, lo que ha podido conducir a una menor mineralización del N del residuo. Finalmente, y aunque los datos presentan una alta variabilidad y escasa significación estadística, se observa un incremento en el contenido en C-orgánico en las parcelas que han recibido fertilización orgánica excepto en el cultivo de guisante. Dichos incrementos llegan a ser cercanos al 30% en las parcelas de regadío, si bien con una alta variabilidad dados sus bajos valores, y del 10 % en el resto de los cultivos de secano. De forma absoluta dichos incrementos supusieron la elevación entre 0,1 y 0,2 unidades el porcentaje de C acumulado en el suelo.

La utilización de un residuo orgánico en la sustitución de un fertilizante mineral tiene como efecto inmediato el ahorro energético derivado de su síntesis química. Según **Ceotto** (2005), la síntesis de los fertilizantes fosforado y potásico supone gastos energéticos de 8,6 y 6,4 MJ kg⁻¹ P₂O₅ ó K₂O, respectivamente. Teniendo en cuenta la cantidad de fertilizante empleado en la parcela de referencia (350 Kg/ha), que su relación para los tres nutrientes (N-P-K) era de 11-35-15, el consumo energético asociado a la fertilización empleada en las parcelas testigo fue de 4327,05 MJ/ha. En la **Tabla 5** aparecen recogidos los datos de la fertilización mineral necesaria para lograr una producción similar a la obtenida con las diversas dosis de enmiendas orgánicas y su traducción en términos energéticos. Se puede realizar su conversión a Kg de carburante diesel teniendo en cuenta que el contenido energético del aceite diesel es de 49,5 MJ Kg⁻¹ y que su combustión genera 3,89 Kg de CO₂ equivalente Kg⁻¹ de carburante, por lo que de esta forma se puede obtener una primera estimación por hectarea de las emisiones de gases de efecto invernadero que se evitan con la fertilización orgánica y que aparecen recogidas en dicha tabla.

Quedarían por contabilizar la contribución a mitigar el cambio climático que tiene el suelo al constituirse en sumidero neto de Carbono y que como hemos dicho, se puede estimar en un incremento neto anual del C-orgánico entre 0,1-0,2%. Suponiendo que este incremento se produce en los 15 primeros cm del suelo y que la densidad del suelo se puede considerar de 1,3 Kg/L, todo ello supondría una fijación anual neta de CO₂ de 7,15 t/ha. Sin embargo, su contribución a mitigar el llamado efecto invernadero, dado su carácter transitorio, sólo podría

tomarse en consideración si la fertilización orgánica fuese mantenida en el tiempo y existiese un lento pero continuo incremento en las cantidades de C-orgánico del suelo. Igualmente transitorio también se pueden considerar los incrementos en nutrientes que se observan al final de la cosecha de 2005, ya que de no ser aprovechados en el cultivo posterior se producirían pérdidas por lixiviación en el caso del N o por retrogradación a formas insolubles en el caso del P.

Existen además otras contribuciones de la fertilización orgánica, que aún siendo positivas desde el punto de vista agronómico, son de muy difícil cuantificación en cuanto a su contribución al control de las emisiones de gases causantes del efecto invernadero. Entre ellas se pueden citar según **Favoio y Berbel (2005)**:

- La reducción de las enfermedades vegetales por el efecto supresor que tienen el compost, lo que implica un menor uso de plaguicidas y por tanto el ahorro energético de su síntesis y aplicación.
- Una disminución de las pérdidas de suelo por erosión.
- Una reducción de las necesidades de irrigación.
- Una mejora del laboreo del suelo, lo que supone un menor esfuerzo energético en las labores de arado, siembra, etc.
- La sustitución de turba como sustrato de cultivo en agricultura intensiva, dado su carácter no renovable y la rápida mineralización de su materia orgánica. La sustitución de 1 m³ de turba por un volumen igual de compost puede suponer un ahorro de hasta 247 kg de CO₂ emitido.

3. CONCLUSIONES

- La fertilización orgánica mediante la reutilización agrícola de los residuos orgánicos generados en la actividad urbana o ganadera son una eficaz herramienta que permite incrementar la producción de cultivos con un interesante futuro en la agricultura bioenergética y convencional. Los residuos orgánicos pueden sustituir con garantías de producción a la fertilización inorgánica, teniendo como límite la acumulación en el suelo de determinados contaminantes como los metales pesados, presentes en alguno de ellos.
- La introducción de enmiendas orgánicas deja una fertilización residual del suelo que puede ser utilizada en posteriores cosechas, lo que incrementa la fertilidad del suelo a corto y medio plazo. También conduce a una progresiva acumulación de C-orgánico en el suelo, que si bien de forma transitoria, puede constituirse en un importante sumidero de Carbono, lo que puede contribuir a la mitigación del denominado “efecto invernadero”.
- El ahorro en fertilizantes inorgánicos ha de verse no sólo como una alternativa económica que mejore la rentabilidad de los cultivos, sino como un ahorro también en el consumo de combustibles fósiles que puede ser cuantificado y que debería ser valorado en el futuro mercado de emisiones derivado de la implantación del protocolo de Kyoto en la Unión Europea.

4. BIBLIOGRAFÍA

EEA, **European Environment Agency** 2006. How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report N° 7/2006, Copenhagen, DK.

EC, European Commission 2002. Council Decision 2002/358/EC: Council Decision of 25 April 2002 concerning the approval, on behalf of the European Community, of the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change and the joint fulfilment of commitments there under.

Lal, R. 2002. The potential of soils of the tropic to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Advances in Agronomy* 76, 1-31.

Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnson, C.T., Sumner, M.E. 1996. *Methods of Soil Analysis: Part 3-Chemical Methods*. SSSA Book Series 5, Madison, WI.

Ceotto, E. 2005. The issues of energy and carbon cycle: new perspectives for assessing the environmental impact of animal waste utilization. *Bioresource Technology* 96: 191-196.

Favoino, E., Berbel, J. 2005. Soil, biowaste and compost: Potential contribution to tackle Climate Change. En: *I Int. Conf. Soil and Compost Eco-Biology*. Soil ACE-Ed. Agrícola Española, Madrid, pp: 63-81.

Agradecimientos: Estos trabajos están siendo financiados por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León mediante convenio suscrito con el Grupo de Investigación en Compostaje de la Universidad de Burgos. Los autores agradecen la colaboración prestada por los agricultores: Ignacio Pascual, Domingo González, Enrique de Alba y Mariano González en el desarrollo de los trabajos de campo.

Tabla 1 Resumen de la fertilización y los cultivos realizados en las cinco unidades experimentales de la provincia de Burgos

Unidad experimental	“La Serrana” (S)	“Andadilla” (A)	“Valdespinar” (V)	“San Martín de Rubiales” (R)	“Melgar de Fernamental” (M)
Cultivo	Cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	Guisante (<i>Pisum sativum</i> L.)	Girasol (<i>Helianthus agnus</i> L.)	Patata (<i>Solanum tuberosum</i>)	Remolacha (<i>Beta vulgaris</i>)
Variedad	Graphic	Declic	Sambro	Monalisa	Supra
Enmienda^a	CLD	CLD	CLD	PD	CRU
Dosis (t/ha)	0-3,5-7,5-17,5	0-3,5-7,5-17,5	0-3,5-7,5-17,5	0-1-2-4	0-5-10-15
Fertilización inorgánica^b Fondo	NPK (11-35-15) (350 Kg/ha)	---	---	ENTEC (20-10-10) (1.100 Kg/ha)	NPK (9-18-10) (2.400 Kg/ha)
Fertilización inorgánica^b Cobertera	NH ₄ NO ₃ 33,5 % (300 Kg/ha)	---	---	---	NH ₄ NO ₃ 33,5 % (500 Kg/ha)
Fertilización adicional^c	---	---	---	ENTEC (20-10-10) (9.000 Kg/ha)	NPK (9-18-10) (1.200 Kg/ha)

^aEnmiendas orgánicas: compost de lodo de depuradora (CLD), compost de residuos urbanos (CRU), purín de porcino deshidratado (PD).

^bLa fertilización inorgánica se introdujo como fertilización de fondo y cobertera.

^cLa fertilización adicional se realizó en los cultivos de patata y remolacha, en las parcelas control y tratadas con enmienda orgánica como un suplemento en el abonado de fondo.

Tabla 2 Propiedades químicas de los diferentes suelos y enmiendas orgánicas

Propiedades químicas	SUELOS ^a					ENMIENDAS ^b		
	S	A	V	R	M	CLD	CRU	PD
pH (H ₂ O 1:2,5)	8,31	8,31	8,51	8,33	8,53	7,50	7,55	9,81
CE 25°C (1:5) mS/cm	0,27	0,24	0,22	0,23	0,14	1,42	3,52	8,60
Materia Orgánica (%)	2,34	2,42	2,17	0,99	0,58	26,51	52,26	70,49
Nitrógeno Total (%)	0,26	0,24	0,23	0,11	0,07	1,77	1,99	3,56
C.I.C. (meq/100g)	26,18	21,50	30,81	17,88	13,09	--	--	--
Carbonatos (%)	18,55	37,78	28,99	12,95	5,59	--	--	--
N-NH ₄ ⁺ (%)	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,32	0,30	0,41
P-disponible (mg/kg)	58,76	30,34	33,18	18,14	8,58	2,51 · 10 ⁴	0,95 · 10 ⁴	1,40 · 10 ⁴
K-disponible (mg/kg)	421,71	293,22	284,88	375,06	111,12	0,40 · 10 ⁴	0,95 · 10 ⁴	5,08 · 10 ⁴
Ca ²⁺ en C.I.C (meq/100g)	23,87	20,40	25,14	16,23	16,42	11,29	5,91	2,10
Mg ²⁺ en C.I.C (meq/100g)	0,69	0,77	0,77	3,10	0,45	0,78	0,55	0,74
Na ⁺ en C.I.C (meq/100g)	0,03	0,05	0,07	0,10	0,07	0,14	0,66	2,55
Cd (mg/kg)	1,45	2,02	1,49	0,49	0,64	4,60	1,83	0,55
Cr (mg/kg)	41,85	27,28	32,20	20,74	30,20	1137,1	57,00	19,25
Cu (mg/kg)	12,51	12,74	11,32	15,31	10,77	217,25	187,49	773,9
Fe (mg/kg)	21,92 · 10 ³	14,00 · 10 ³	19,64 · 10 ³	16,27 · 10 ³	22,00 · 10 ³	12,20 · 10 ³	8,08 · 10 ³	9,80 · 10 ³
Mn (mg/kg)	591,00	370,39	417,20	332,00	427,80	288,30	130,82	534,80
Ni (mg/kg)	25,26	18,69	21,40	14,50	18,28	45,70	29,84	15,25
Pb (mg/kg)	27,81	32,57	29,41	22,74	18,77	162,20	120,99	Nd
Zn (mg/kg)	47,78	30,06	35,68	38,59	34,57	507,43	294,84	755,30

^aSuelos: “La Serrana” (S), “Andadilla” (A), “Valdespinar” (V), “San Martín de Rubiales” (R), “Melgar de Fernamental” (M).

^bEnmiendas orgánicas: compost de lodo de depuradora (CLD), compost de residuos urbanos (CRU), purín de porcino deshidratado (PD).

Tabla 3 Producción (en Kg) obtenida en las cinco unidades experimentales durante la campaña de 2005

Unidad experimental*	“La Serrana” (S)	“Andadilla” (A)	“Valdespina” (V)	“San Martín de Rubiales” (R)	“Melgar de Fernamental” (M)
Cultivo	Cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	Guisante (<i>Pisum sativum</i> L.)	Girasol (<i>Helianthus agnus</i> L.)	Patata (<i>Solanum tuberosum</i>)	Remolacha (<i>Beta vulgaris</i>)
Inorgánico	980,90 ^a	375,00 ^a	912,50 ^a	51.207 ^a	65.916 ^a
Dosis 1	975,69 ^a	357,64 ^a	887,50 ^a	49.660 ^a	64.113 ^a
Dosis 2	1.010,42 ^a	347,22 ^a	866,67 ^a	51.933 ^b	68.345 ^a
Dosis 3	1.147,57 ^b	472,22 ^b	958,33 ^b	51.724 ^b	73.536 ^b

*Dentro de cada unidad experimental, cantidades con la misma letra no muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 4 Evolución de los contenidos de C-orgánico, N-total y P-Olsen al final de la campaña de 2005 en función del tratamiento recibido

Unidad experimental*	“La Serrana” (S)			“Andadilla” (A)			“Valdespina” (V)			“San Martín de Rubiales” (R)			“Melgar de Fernamental” (M)		
Cultivo	Cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.)			Guisante (<i>Pisum sativum</i> L.)			Girasol (<i>Helianthus agnus</i> L.)			Patata (<i>Solanum tuberosum</i>)			Remolacha (<i>Beta vulgaris</i>)		
Valor ^a	C _{org}	N _{tot}	P _{Olsen}	C _{org}	N _{tot}	P _{Olsen}	C _{org}	N _{tot}	P _{Olsen}	C _{org}	N _{tot}	P _{Olsen}	C _{org}	N _{tot}	P _{Olsen}
Inorgánico	1,48	0,290	108,00	1,49	0,267	44,00	1,30	0,258	45,90	0,48	0,115	44,40	0,32	0,092	27,30
Dosis 1	1,50	0,325	108,70	1,31	0,277	41,50	1,37	0,256	42,20	0,65	0,104	48,00	0,52	0,093	28,90
Dosis 2	1,41	0,314	111,10	1,39	0,275	45,20	1,23	0,261	45,20	0,54	0,115	51,20	0,48	0,112	41,60
Dosis 3	1,64	0,333	131,10	1,37	0,268	59,80	1,44	0,278	51,40	0,62	0,120	58,30	0,35	0,110	39,70

^aC_{org} en %, N_{tot} en %, P_{Olsen} en mg/Kg suelo seco.

Tabla 5 Fertilización inorgánica equivalente necesaria para lograr las producciones obtenidas en la campaña 2005, consumo energético asociado y equivalente en emisiones de CO₂

Unidad experimental	“La Serrana” (S)			“Andadilla” (A)			“Valdespinar” (V)			“San Martín de Rubiales” (R)			“Melgar de Fernamental” (M)		
Cultivo	Cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.)			Guisante (<i>Pisum sativum</i> L.)			Girasol (<i>Helianthus agnus</i> L.)			Patata (<i>Solanum tuberosum</i>)			Remolacha (<i>Beta vulgaris</i>)		
Valor ^a	F.Eq.	Con.E	E.Eq.	F.Eq.	Con.E	E.Eq.	F.Eq.	Con.E	E.Eq.	F.Eq.	Con.E	E.Eq.	F.Eq.	Con.E	E.Eq.
Inorgánico	350	4.327	+0,340	350	4.327	+0,340	350	4.327	+0,340	350	4.327	+0,340	350	4.327	+0,340
Dosis 1	348	4.304	-0,338	334	4.127	-0,324	340	4.209	-0,331	340	4.209	-0,331	339	4.196	-0,330
Dosis 2	361	4.457	-0,350	324	4.007	-0,315	332	4.110	-0,323	363	4.487	-0,353	355	4.388	-0,345
Dosis 3	409	5.062	-0,398	441	5.449	-0,428	368	4.544	-0,357	390	4.827	-0,379	354	4.371	-0,343

^a**F.Eq.**, fertilización equivalente en NPK en Kg/ha; **Con.E.**, consumo energético en síntesis de fertilizante NPK en MJ/ha; **E.Eq.**, emisiones equivalentes de CO₂ en t/ha/año: (+) emitidas, (-) no emitidas.