

Biocarburantes y residuos de cultivos: necesidad de un equilibrio para conservar la calidad de los suelos

La utilización indiscriminada de residuos de cultivos para la obtención de biocarburantes podría comprometer uno de los principales objetivos de la agricultura de conservación: preservar la calidad de los suelos

José M. Murillo, Félix Moreno, Engracia Madejón • Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla. CSIC.



La sustitución de carburantes derivados del petróleo (gasolina, gasoil) por biocarburantes derivados de la biomasa vegetal (bioetanol y biodiesel principalmente) constituye actualmente un reto para la mayoría de países industrializados, que reducirían así su dependencia de un petróleo cada vez más escaso, costoso y de peor calidad. Ante la ingente cantidad de biomasa que haría falta para poder sustituir una fracción razonable de carburantes fósiles (hoy día no se ha conseguido sustituir más allá del 2% de todo el petróleo mundial), los residuos de cultivos agrícolas parecen constituir una de las pocas fuentes, sino la única, capaz de cubrir, en cantidad y calidad, estos requerimientos. Otras fuentes alternativas, como el hidrógeno, parecen más lejanas en el tiempo.

Actualmente, el sector mundial de los biocarburantes está constituido básicamente por el bioetanol y el biodiesel (Ballesteros Perdices, 2006). El biodiesel se obtiene a partir de aceites vegetales de plantas oleaginosas y puede sustituir total o parcialmente al gasóleo en

motores diesel. Pero es el bioetanol, con diferencia, el biocarburante más utilizado. Este alcohol puede mezclarse con la gasolina en diferentes proporciones, incrementando así su octanaje.

El bioetanol se obtiene a partir de materias azucaradas (pastas fermentables) procedentes de cultivos como la caña de azúcar y la remolacha, o cereales como maíz, trigo y cebada (etanol de almidón). Tras la fermentación de estas materias primas azucaradas se obtiene un mosto con un grado alcohólico en torno al 10-15% que se concentra hasta alcohol 'hidratado' (4-5% de agua) o alcohol absoluto (Ballesteros Perdices, 2006).

Los biocarburantes constituyen una alternativa muy atractiva para sustituir al petróleo, ya que tienen características parecidas a los combustibles fósiles, no contienen azufre (causante de lluvia ácida) y su utilización podría contribuir a reducir el calentamiento global mediante una menor emisión de CO₂. Su industria, además, crearía numerosos puestos de trabajo.

Sin embargo, la dedicación mayoritaria de residuos a la obtención de biocarburantes podría comprometer uno de los principales objetivos de la agricultura de conservación, que promueve que se dejen en los suelos tras la recolección para aumentar y/o conservar la calidad de los mismos.

Etanol ‘lignocelulósico’ (Bioetanol)

Mediante fermentación de materias primas azucaradas como las citadas anteriormente, se produjeron en 2004 alrededor de $30 \cdot 10^9$ L de bioetanol en todo el mundo, cantidad que sólo supone alrededor del 2% del consumo mundial de petróleo (Ballesteros Perdices, 2006). Aumentar razonablemente este porcentaje supondría disponer de extensiones de terreno dedicadas a cultivos energéticos mucho mayores que las actuales, lo cual no siempre es posible ante las necesidades alimentarias de una población creciente en la mayor parte del mundo.

Frente a este panorama, los residuos de cultivos, incluidos los procedentes de cultivos energéticos (una vez extraído el azúcar o retirado el grano) aparecen como una fuente idónea para obtener bioetanol en cantidad suficiente para poder ahorrar un porcentaje razonable de petróleo (Wilhem et al., 2004). Existen otras fuentes lignocelulósicas que podrían utilizarse para la obtención de biocarburantes, como las especies forestales y otras especies biomásicas, residuos de poda, residuos de la industria de la madera, residuos industriales y municipales, etc. Pero en cantidad, los residuos de cultivos son hoy por hoy la fuente más segura para la producción masiva de bioetanol, una vez que el desarrollo de los denominados biocarburantes de segunda generación (derivados de la transformación de la biomasa lignocelulósica) sea operativo y económicamente viable.

Todavía no existen plantas comerciales que obtengan etanol a partir de biomasa lignocelulósica, aunque como indica Ballesteros Perdices (2006), se han realizado avances significativos en investigación y desarrollo mediante estudios centrados en la consecución de sistemas más eficientes para la transformación biológica (nuevas enzimas y microorganismos capaces de mejorar la hidrólisis de la celulosa y fermentar los azúcares resultantes) y mejor aprovechamiento de los ‘coproductos’ generados.

Residuos de cultivos y calidad del suelo: laboreo de conservación

Ahora bien, la retirada masiva de residuos de cultivos para estos, u otros fines, pondría en peligro la estrategia de la denominada ‘Agricultura de Conservación’, que se basa en la utilización de cubiertas vegetales y laboreo de conservación, prácticas agronómicas que alteran lo menos posible la composición, estructura y biodiversidad del suelo, evitando su erosión y degradación (ECAFAEAC.SV, 1999).

Básicamente, con el laboreo de conservación se pretende mantener la calidad de los suelos evitando las labores profundas y la retirada de los residuos del cultivo precedente. Hoy día se pretende que el agricultor sea menos ‘labrador’ y reduzca en lo posible el número, e intensidad, de las labores dadas a sus campos. Es de sobra conocido que el laboreo frecuente reduce el contenido de materia orgánica del suelo, sobre todo si se voltea. Con el laboreo tradicional se entierra más del 95% de los residuos, pero la calidad de este enterramiento es cuestionable, ya que no suelen quedar bien mezclados con el suelo. El laboreo excesivo suele, además, desecar los horizontes labrados y compactar el suelo (aparición de suelas de labor). Y por último, la pérdida de residuos en superficie puede potenciar la acción destructora de los agentes erosivos, viento y agua principalmente, (Urbano Terrón, 1992).

El manejo de los residuos de cultivos es un aspecto básico para la agricultura moderna, hasta el punto de que los sistemas de laboreo pueden clasificarse, no sólo en función de las operaciones efectuadas, sino también según sea el manejo de los residuos, de forma que el laboreo puede dividirse en dos grandes grupos, según se eliminen, o no, los residuos del cultivo precedente (Gajri et al., 2002).

Inicialmente, el laboreo de conservación recibió el nombre de laboreo mínimo, ya que su principal finalidad era reducir el número de pases de labor en el campo, debido a que en la década de los 30, la combinación de los efectos negativos del laboreo excesivo, disminución de la población rural y aumento de los costes de la maquinaria, motivó que investigadores europeos plantearan una reducción de las labores (Fernández-Quintanilla, 1997).

En 1977, el Servicio de Conservación de Suelos de EEUU (creado en 1935) cambió el término inicial de laboreo mínimo por el de laboreo de conservación. En 1984 se matizó todavía más esta definición, considerándose como laboreo de conservación ‘cualquier sistema de laboreo que deja tras la siembra más de un 30% del suelo cubierto con residuos para reducir la erosión por agua. Donde los problemas de erosión estén causados por el viento, el sistema debe mantener sobre la superficie del suelo una cantidad de residuos equivalente a 1.1 Mg ha^{-1} durante los períodos más críticos de erosión eólica’.

Beneficios medioambientales derivados del laboreo de conservación

En general, son muy numerosas las ventajas medioambientales que pueden conseguirse con el laboreo de

Los residuos de cultivos, incluidos los procedentes de cultivos energéticos (una vez extraído el azúcar o retirado el grano) aparecen como una fuente idónea para obtener bioetanol

[Boletín de libros]

Biología y cultivos



BIOTECNOLOGÍA E INGENIERÍA
152 páginas
12,26 Euros



FRUTALES ORNAMENTALES Y CULTIVOS PROTEGIDOS
R. Cambra y Ruiz de Velasco
520 páginas color
28,85 Euros



TECNOLOGÍA EN INVERNADEROS Y CULTIVOS PROTEGIDOS
304 páginas
15 Euros



LA VID Y EL VINO
144 páginas
12 Euros



MAQUINARIA PARA CULTIVO
A. Porras Piedra
144 páginas color
16,83 Euros

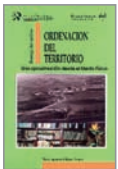


Fundamentos, Aplicaciones y Consecuencias del RIEGO EN LA VID
P. Baeza Trujillo, J.R. Lissarrague, P. Sánchez de Miguel
264 páginas color
30 Euros

Otros títulos de Biología y Cultivos

- **BIOLÓGIA Y CONTROL DE ESPECIES PARASITARIAS**
Luis García Torres, 96 páginas color
12,02 Euros

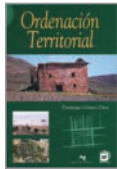
Medio Ambiente



ORDENACIÓN DEL TERRITORIO
D. Gómez Orea
240 páginas
27,05 Euros



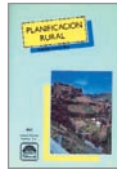
AUDITORÍA AMBIENTAL
D. Gómez Orea y C. de Miguel
144 páginas
9,02 Euros



ORDENACIÓN TERRITORIAL
D. Gómez Orea
704 páginas
48,03 Euros



LOS CULTIVOS NO ALIMENTARIOS COMO ALTERNATIVA AL ABANDONO DE TIERRAS
144 páginas
12,02 Euros



PLANIFICACIÓN RURAL
D. Gómez Orea
400 páginas
18,03 Euros
Con 20%= 14,42 Euros



CULTIVOS ENERGÉTICOS Y BIOCOMBUSTIBLES
176 páginas
9,02 Euros
Con 20%= 7,22 Euros

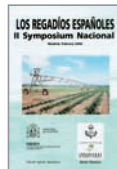
Riegos y Aguas



MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA
Autores varios (ETSIA Madrid)
152 páginas
9,02 Euros



INSTALACIONES DE BOMBEO PARA RIEGO Y OTROS USOS
P. Gómez Pompa
392 páginas
190 fig. 75 ilustr.
21,03 Euros



LOS REGADÍOS ESPAÑOLES
Colegio Ofic. Ingenieros Agrónomos de Centro y CEDEX
716 páginas
22,84 Euros



DRENAJE AGRÍCOLA Y RECUPERACIÓN DE SUELOS SALINOS
F. Pizarro
2ª edición
544 páginas
16,22 Euros



SANEAMIENTO Y DRENAJE
A. Vázquez Guzmán
152 páginas
16,83 Euros



MANEJO DEL RIEGO DE OLIVARES EN SETO a partir de medidas en suelo y planta
M. Gómez del Campo y J.E. Fernández
40 páginas
10 Euros

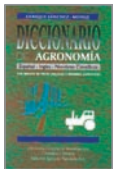
Otros títulos de Riegos y Aguas

- **APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR AGRARIO**
384 páginas
22,84 Euros

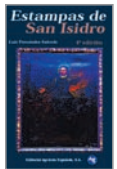
Varios



RADIACIONES, GRAVITACIÓN Y COSMOLOGÍA
M. Enebral Casares
144 páginas
6,01 Euros



DICCIONARIO DE AGRONOMÍA
E. Sánchez-Monge
704 páginas
39,06 Euros



ESTAMPAS DE SAN ISIDRO
4ª Edición
L. Fernández Salcedo
230 páginas
6 Euros



I SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE EL MUNDO RURAL
536 páginas
21,03 Euros
Con 20%= 16,82 Euros



RECURSOS FITOGENÉTICOS
J.I. Cubero, S. Nadal, Mª T. Moreno
192 páginas
15 Euros

Oleicultura



OBTENCIÓN DEL ACEITE DE OLIVA VIRGEN
L. Civantos
2ª Edición
320 páginas
21,03 Euros



RECOLECCIÓN DE ACEITUNAS
A. Porras y col.
120 páginas
15,03 Euros



MANUAL DE APLICACIÓN DE HERBICIDAS EN OLIVAR
Mª M. Saavedra, Mª D. Humanes
80 páginas a color
16,83 Euros



SISTEMAS DE CULTIVO EN OLIVAR
Mª M. Saavedra Saavedra, M. Pastor Muñoz-Cobo
440 páginas.
35 Euros



PROTECCIÓN FITOSANITARIA DEL OLIVAR
M. L. Soriano Martín, A. Porras Soriano, A. Porras Piedra
112 páginas
15,03 Euros



PODA DEL OLIVO (Moderna olivicultura)
M. Pastor y J. Humanes
5ª Edición
376 páginas
30 Euros

Otros títulos de Oleicultura

- **EL OLIVAR Y EL ACEITE Jornadas en Toledo**
166 páginas
12 Euros

- **LA OLEICULTURA ANTIGUA**
A. Arambarri
200 páginas. 58 ilustr. color
21,03 Euros

HAZ TU PEDIDO DE LIBROS Y SUSCRÍBETE A NUESTRAS REVISTAS

Agricultura
Revista agropecuaria

Ganadería
Revista técnica ganadera

www.editorialagricola.com

Rellena el boletín de pedidos en las últimas páginas



Editorial Agrícola Española S.A.

EDITORIAL AGRÍCOLA ESPAÑOLA S.A.

Caballero de Gracia 24, 3º Izda.

28013 Madrid

Tel.: 91 521 16 33 - Fax 91 522 48 72

administracion@editorialagricola.com

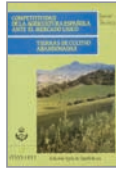
Economía Agraria



COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS AGRARIOS (V Edición)
P. Caldentey y T. de Haro
320 páginas
25 Euros



NUEVA ECONOMÍA AGROALIMENTARIA
P. Caldentey Albert
224 páginas
15,03 Euros



COMPETITIVIDAD DE LA AGRICULTURA ESPAÑOLA ANTE EL MERCADO ÚNICO
TIERRAS DE CULTIVO ABANDONADAS
216 páginas
9,02 Euros
Con 20% = 7,22 Euros



PERITACIONES MUNICIPALES
A. García Palacios
288 páginas
23,44 Euros



PRÁCTICA DE LA PERITACIÓN
A. García Palacios y A. García Homs
264 páginas
22,84 Euros

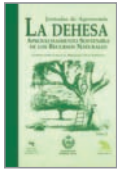


VALORACIÓN AGRARIA Casos prácticos. 2ª Ed.
A. Serrano y R. Alonso
80 páginas
10 Euros

Otros títulos de Economía Agraria

- **MERCADOS DE FUTUROS (Commodities y Coberturas)**
J. Simón, 200 páginas,
12,02 Euros
- **VALORACIÓN INMOBILIARIA PERICIAL**
A. García Palacios, 352 páginas,
23,44 Euros
- **CATASTRO DE RÚSTICA (Guía práctica de trabajos)**
F. Sánchez Casas, 152 páginas,
6,01 Euros

Ganadería



LA DEHESA
Coor. C. Hdez. Díaz-Ambrona
320 páginas
15,03 Euros



ORDEÑO ROBOTIZADO
H. Hogeveen y A. Meijering
(Vers. español coord. por G. Caja y J. López)
320 páginas
33,06 Euros



MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD Y PLANIFICACIÓN DE EXPLOTACIONES OVINAS
A. Daza Andrada
232 páginas
20 Euros



ADITIVOS ZOOTÉCNICOS
Coord. C. Fernández Martínez
128 páginas
15 Euros



BIENESTAR ANIMAL
Coor. A. Herranz y J. López
(Coedición con MAPA)
496 páginas
40 Euros

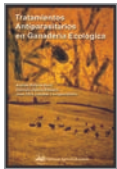


GANADO CAPRINO Producción, alimentación y sanidad
A. Daza, C. Fernández y A. Sánchez
320 páginas
25 Euros

Otros títulos de Ganadería

- **PRODUCCIÓN PORCINA INTENSIVA**
A. Quiles y M. L. Hevia
128 páginas
15 Euros

Produc. ecológicas



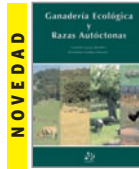
TRATAMIENTOS ANTIPARASITARIOS EN GANADERÍA ECOLÓGICA
A. Bidarte, C. García y J.F. Irazabal
64 páginas
9 Euros



HOMEOPATÍA OVINA Y CAPRINA
A. Bidarte Iturri y C. García Romero
64 páginas
9 Euros



Control biológico y terapias en LA CRÍA BOVINA ECOLÓGICA
C. García Romero y A. Bidarte Iturri
104 páginas
9 Euros



GANADERÍA ECOLÓGICA Y RAZAS AUTÓCTONAS
C. García Romero y R. Cordero Morales
112 páginas
10 Euros

Hª de la Agricultura



FLORES Y PLANTAS EN LA MITOLOGÍA GRIEGA
R. de Fuentes Cortés
88 páginas
9 Euros



AGRICULTURA EN LA TRADICIÓN MUSICAL
C. Gobernado, M. Rubio, C. Veramendi
168 páginas
20 Euros



POESÍA Y AGRICULTURA
F. Puerta Romero, E. Calmarza Dalda
15 Euros

Gastronomía



ACEITE DE OLIVA VIRGEN. Análisis sensorial
J. Alba, J.R. Izquierdo y F. Gutiérrez
104 páginas
9,02 Euros



ANÁLISIS SENSORIAL Y CATA DE LOS VINOS DE ESPAÑA (2ª Edición)
Unión Española de Catadores
368 páginas
40 Euros

Novedad editorial reserva ya tu ejemplar

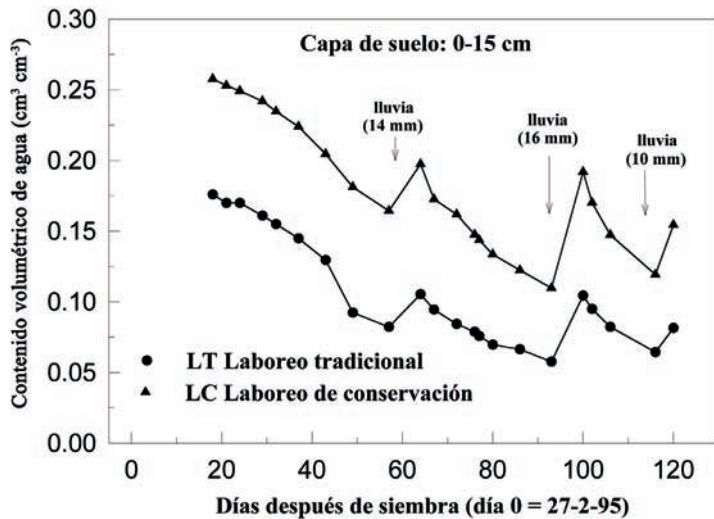
por sólo
10€

MANEJO DEL RIEGO DE OLIVARES EN SETO
A PARTIR DE MEDIDAS EN SUELO Y PLANTA

www.editorialagricola.com

Gráfico I

Contenido volumétrico de agua en la capa superficial de un suelo Xerofluvent bajo laboreo tradicional y de conservación, en un año seco (experimento realizado en la finca experimental 'La Hampa', Coria del Río (Sevilla), CSIC).



conservación, siempre que se aplique adecuadamente.

Las ventajas podrían agruparse en dos grandes grupos: de orden técnico-económico, con beneficios a corto plazo (relacionadas con el manejo, ahorro de energía, rendimiento, etc.) y de orden ambiental (calidad de suelos, agua y aire: Gajri et al., 2002), con beneficios a más largo plazo.

Los agricultores, en general, suelen darle más importancia a las primeras, por el ahorro de combustible, maquinaria y operaciones de labor que supone su implantación (Sánchez-Girón et al., 2007), que proporciona además mayor flexibilidad para realizar las labores (el agricultor no necesita estar tan pendiente de que el terreno alcance lo que se conoce como 'buen tempero').

También es muy importante el ahorro de agua, especialmente bajo condiciones semiáridas. La presencia de una capa de residuos en superficie evita pérdidas por evaporación, factor que puede ser crucial para la cosecha en años muy secos (López y Arrúe, 1997; Lampurdanés y Cantero-Martínez, 2006; Moreno et al., 1997; 2006; Ordóñez Fernández et al., 2007). La **Tabla 1** muestra las diferencias tan notables que pueden existir, en años muy secos (como fue 1995) entre el contenido de agua de la capa superficial de

un mismo suelo sometido a laboreo de conservación y laboreo tradicional.

A medio y largo plazo, las ventajas ambientales vendrían reflejadas por mejoras en calidad del sistema suelo-agua-atmósfera, no sólo desde un punto de vista fisi-

co-químico, sino también biológico (aumento de la macro y micro fauna, y de la biodiversidad en general, Klavdivko, 2001). Bajo las condiciones semiáridas de Andalucía Occidental, se ha demostrado que el laboreo de conservación incrementa el nivel de determinadas actividades enzimáticas y carbono de la biomasa microbiana (Madejón et al., 2007). En general, la presencia de residuos, y tratamientos menos agresivos, facilitan cobijo y estabilidad a la macro y mesofauna, y aportan energía y nutrientes (materia orgánica) a la microfauna.

Existen también algunos inconvenientes derivados del laboreo de conservación. En suelos mal drenados y fríos podrían aparecer problemas de anaerobiosis y germinación. Además pueden surgir problemas ocasionales (roedores, babosas, problemas de alelopatía, proliferación de ciertas herbáceas perennes de difícil erradicación, excesiva compactación del suelo) que podrían solucionarse intercalando un laboreo convencional cada cierto tiempo.

Pero en general, suelen ser más numerosas, y generalizadas, las ventajas derivadas del laboreo de conservación que los inconvenientes que pudieran surgir en situaciones concretas.

El conjunto de beneficios considerados hace que los rendimientos de los cultivos bajo laboreo de conservación (siempre que se establezca adecuadamente) sean del mismo orden, e incluso mayores, que los obtenidos con el laboreo convencional. La **Tabla 1** muestra a título de ejemplo rendimientos de girasol obtenidos con ambas modalidades, en un experimento de larga duración establecido en 1991 (Moreno et al., 1997). Cabe destacar el efecto beneficioso que tuvo el laboreo de conservación en años secos.

Laboreo de conservación y 'secuestro de carbono'

La importancia del laboreo de conservación para aumentar y mantener la calidad de los suelos es indiscutible. Paralelamente, con esta técnica se reducen las emisiones de CO₂ a la atmósfera (cuantiosas cuando se queman rastrojos, y/o se voltea el suelo), gas que potencia el efecto invernadero al aumentar su concentración en la atmósfera. Mayor retención de carbono orgánico en el suelo ('secuestro de carbono') implica una menor emisión de CO₂ a la atmósfera, proceso en el que destaca el laboreo de conservación frente a otras técnicas, consideradas en conjunto como 'buenas prácticas agrícolas' (Arrúe Ugarte, 1997; Lal, 2000; Lal y Pimentel, 2007). La **Tabla 2** refleja este hecho. El 'secuestro de carbono' puede resultar especialmente interesante para la recuperación de suelos degradados, contemplados como sumideros de excedentes orgánicos y sostén potencial de cultivos energéticos.

Sin embargo, algunos autores han llegado a cuestionar la importancia relativa de este 'secuestro' para la resultante global del denominado 'cambio climático', o 'calentamiento global (aumento del efecto invernadero)'. Según se aprecia en la **Tabla 3**, comparado con los su-

Con el laboreo de conservación se pretende mantener la calidad de los suelos evitando las labores profundas y la retirada de los residuos del cultivo precedente

mideros de carbono fósil (e.g., petróleo), cualquier otro sumidero es mucho más efímero y pasajero. Bosques y suelos, manejados adecuadamente, tendrían una capacidad de 'secuestro' temporal algo mayor, pero siempre con un 'tiempo de residencia' muchísimo más bajo que el del carbono fósil. Como indica Sauerbeck (2001), incluso cuidados con extremo esmero, bosques y suelos poseen una capacidad finita para secuestrar carbono, capacidad que posiblemente se saturaría en menos de 100 años.

De ahí que se cuestione su validez para reducir eficazmente las emisiones de CO₂ a la atmósfera. En palabras de Sauerbeck (2001), existe una gran diferencia entre una tonelada de carbono fósil que no se libere a la atmósfera (permanecerá así por tiempo prácticamente indefinido, sin coste alguno) y una tonelada de carbono que sea secuestrado en un 'sumidero' temporal y pasajero (que tarde o temprano evolucionará, con un coste adicional de mantenimiento).

Vuelve pues a surgir la necesidad preservar los combustibles fósiles, derivados del petróleo, sustituyéndolos por los obtenidos a partir de materias primas renovables, entre las que, según se indicó anteriormente, los residuos de cultivos se perciben como una de las fuentes más seguras, en cantidad y calidad, para la producción masiva de bioetanol. Pero se trata de una situación coyuntural que merece la debida atención. No puede admitirse que los residuos de cultivos se dediquen indiscriminadamente a la obtención de biocarburantes, a pesar de su creciente necesidad, puesto que esta práctica podría comprometer seriamente la calidad de muchos suelos, según se ha discutido a lo largo de este artículo. Resolver el problema por esta vía sería, como indican Lal y Pimentel (2007) en un magnífico editorial, 'robar a Pedro para pagar a Pablo'.

Estos y otros autores contemplan otras fuentes de energías renovables, que incluirían diversos cultivos energéticos (destinados exclusivamente para tal fin), entre los cabría destacar diversas gramíneas biomásicas (10 - 20 t ha⁻¹), semillas de oleaginosas, ciertas halófitas, y, sobre todo, árboles de crecimiento rápido, como álamos y sauces. Estas plantaciones, dedicadas exclusivamente a la obtención de biocarburantes (bioetanol), podrían contribuir al mismo tiempo a recuperar suelos marginales y/o degradados (Lal y Pimentel, 2007).

Además de las soluciones propuestas, en nuestra opinión debería profundizarse en estudios orientados a determinar la cantidad mínima de residuos que pueda garantizar el mantenimiento de la calidad de los suelos de cada escenario edafoclimático en particular (respetando siempre el 30% de cobertura umbral). Hoy día se cuenta con excelentes cultivos, capaces de generar bajo

Tabla 1

Rendimiento del girasol en años normales y años secos. Experimento que viene realizándose desde 1991 sobre un suelo Xerofluvent, en el término municipal de Coria del Río (Sevilla, finca experimental 'La Hampa' -CSIC). Diferencias anuales significativas se indican mediante asterisco ($p < 0.05$)

Año hidrológico (septiembre-agosto)	Precipitación (mm)	Laboreo	Rendimiento (kg·ha ⁻¹)	Peso de 1000 granos (g)	Rendimiento grano (%)
1992-1993	353	Tradicional	2143	44.5	
		Conservación	2463	43.9	
1994-1995	245	Tradicional	473*	23.8*	39.0*
		Conservación	1521	40.5	44.6
1996-1997	655	Tradicional	3956	61.2	47.5
		Conservación	3831	61.8	48.0
1998-1999	185	Tradicional	864*	51.7*	43.8*
		Conservación	1556	61.8	43.1
2000-2001	642	Tradicional	2800	54.5	44.0
		Conservación	3300	56.0	44.4
2002-2003	693	Tradicional	4250	59.9	43.5
		Conservación	4627	60.6	44.0

Tabla 2

Prácticas de manejo de suelos y agua que permiten mejorar la calidad de los suelos y aumentar el secuestro de carbono orgánico (COS), bajo diferentes condiciones climáticas. Fuente: Lal (2000)

Práctica recomendada	Capacidad de secuestro de COS (kg·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)			
	Templado (húmedo)	Templado (árido)	Tropical (húmedo)	Tropical (árido)
Laboreo de conservación	500 - 800	300 - 500	200 - 400	100 - 200
Cubiertas vegetales	400 - 600	200 - 400	150 - 300	50 - 100
Manejo de la fertilidad del suelo	200 - 400	100 - 200	100 - 200	50 - 100
Manejo del agua	100 - 200	200 - 400	50 - 100	100 - 200
Mejora de los sistemas de cultivo	100 - 200	50 - 100	50 - 100	20 - 50
Manejo integrado de plagas	100 - 200	50 - 100	100 - 200	20 - 50

Tabla 3

'Sumideros' terrestres de carbono orgánico y tiempos de residencia aproximados (Fuente: Sauerbeck, 2001)

Sumidero	Fracción	Ejemplo	Tiempo medio de residencia
Biomasa vegetal	Herbácea	Hojas, cultivos	< 10° años
	Leñosa		
Materia orgánica del suelo	Hojarasca	Hojarasca no descompuesta	< 5 - 10° años
	Materia orgánica 'activa'	Residuos de cultivos	10° - 10 ¹ años
		Hojarasca en descomposición	
	Materia orgánica estable	Materia orgánica en macro-agregados	10 ² - 10 ³ años
Sumideros antropogénicos	Papel, telas Madera	Papelaría, vestimenta Construcción, mobiliario	< 10° - 10 ¹ años
Carbono orgánico fósil	Turba, lignito		> 10 ³ - 10 ⁵ años*
	Carbón mineral		> 10 ⁸ - 10 ⁹ años*

* Edad geológica



condiciones óptimas cantidades de residuos superiores a las realmente necesarias para mantener la calidad del suelo, y muchas veces excesivas para la operatividad de las futuras labores. Estos 'excedentes' podrían contribuir a la obtención de biocarburantes (o satisfacer otras necesidades, como la disponibilidad de paja).

En nuestra opinión, se trata de una línea de trabajo a la que posiblemente no se ha prestado la debida atención, teniendo en cuenta la importancia que tiene en el contexto que venimos considerando, y su estrecha conexión con una problemática ampliamente debatida en la literatura especializada, como es el conocimiento de la cantidad 'óptima' y/o 'valor umbral' de carbono orgánico (total y/o fracciones más importantes) que debe alcanzar un determinado tipo de suelos para que puedan desarrollarse adecuadamente todas sus funciones bajo diferentes prácticas agrícolas, y ecológicas en general.

Con el conocimiento de este valor umbral de carbono orgánico podremos acercarnos al establecimiento de prácticas sostenibles que permitan cierta diversificación en la utilización de los residuos de los cultivos sin comprometer la calidad del suelo.

Agradecimientos

Trabajo realizado en el marco del Proyecto de Investigación (Plan Nacional) AGL 2005-02423/AGR, *Laboreo de conservación: efectos a corto y largo plazo sobre la calidad del suelo y el desarrollo de los cultivos*.

Bibliografía

Arrúe Ugarte, J.L. 1997. Impacto potencial del laboreo de conservación sobre el suelo como sumidero de carbono atmosférico. En: *Agricultura de Conservación: Fundamentos Agronómicos, Medioambientales y Económicos*. García Torres, L., González Fernández, P. (Eds.). Asociación Española Laboreo de Conservación/Suelos Vivos, Córdoba, 189-199.

Ballesteros Perdices, M. 2006. Bioetanol. *Investigación y Ciencia*, 362, 78-85.

ECAF-AEAC.SV. (European Conservation Agricultural Federation-Asociación Española Agricultura de Conservación/Suelos Vivos), 1999. *Agricultura de conservación en Europa: aspectos medioambientales, económicos y administrativos de la UE*. 23 pp.

Fernández-Quintanilla, C. Historia y evolución de los sistemas de laboreo. El laboreo de conservación. En: *Agricultura de Conservación: Fundamentos Agronómicos, Medioambientales y Económicos*. García Torres, L., González Fernández, P. (Eds.). Asociación Española Laboreo de Conservación/Suelos Vivos, Córdoba, 1-12.

Gajri, P.R., Arora, V.K., Prihar, S.S. 2002. Tillage for Sustainable Cropping. International Book Distributing Co., Lucknow, India.

Kladivko, E.J. 2001. Tillage systems and soil ecology, *Soil. Till. Res.*, 61, 61-76.

Lal, R. 2000. Soil conservation and restoration to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. En: Rubio, J.L., Asins, S., Andreu, V., de Paz, J.M., Gimeno, E. (Eds.), *Key Notes*, 3th Int. Con. ESSC: Man and Soil at the Third Millenium, Valencia, pp. 5-20

Lal, R., Pimentel, D. 2007. Biofuel from crop residues (Editorial). *Soil. Till. Res.*, 93, 237-238.

Lampurlanés J., Cantero-Martínez C., 2006. Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. *Soil Till. Res.*, 84, 13-26.

López, M.V., Arrúe, J.L. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil Till. Res.*, 44, 35-54.

Madejón, E., Moreno, F. Murillo, J.M., Pelegrín, F. 2007. Soil biochemical response to long-term conservation tillage under semi-arid mediterranean conditions. *Soil Till. Res. Res.*, 94, 346-352.

Moreno, F., Pelegrín, F., Fernández, J.E., Murillo, J.M., 1997. Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil Till. Res.*, 41, 25-42.

Moreno, F., Murillo, J.M., Pelegrín, F., Girón, I.F., 2006. Long-term impact of conservation tillage on stratification ratio of soil organic carbon and loss of total and active CaCO₃. *Soil Till. Res.*, 84, 86-93.

Ordóñez Fernández, R., González Fernández, P., Giráldez Cervera, J.V., Perea Torres, F. 2007. Soil properties and crop yields alter 21 years of direct drilling trials in southern Spain. *Soil Till. Res.*, 94, 47-54.

Sánchez-Girón, V., Serrano, A., Suárez, M., Hernánz, J.L., Navarrete, L. 2007. Economics of reduced tillage for cereal and legume production on rainfed farm enterprises of different sizes in semiarid conditions. *Soil Till. Res.* (en prensa).

Sauerbeck, D.R. 2001. CO₂ emissions and C sequestration by agriculture – perspectives and limitations. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 60, 253-266.

Urbano-Torrón, P. 1992. *Tratado de Fitotecnia general*. Ed. Mundiprensa. Madrid.

Wilhelm, W.W., Johnson, J.L., Hatfield, J.L., Voorhees, W.B., Linden, D.R., 2004. Crop and soil productivity response to corn residue removal: a literature review. *Agron. J.*, 96, 1-17.