

Consecuencias del manejo integrado de malas hierbas sobre la organización del trabajo y la rentabilidad económica de la explotación agrícola

G. Pardo, M.J. Rivavololona*, M.S. Petit**, P. Farcy***, N. Munier-Jolain*

EUITA. Universidad de Sevilla. Carretera de Utrera, km 1, 41013 Sevilla. e-mail: gpardo@us.es

* INRA, UMR Biologie et Gestion des Adventices, BP 86510, 21065 Dijon Cedex, France

** Chambre régionale d'Agriculture de Bourgogne, 3 rue du Golf, 21800 Quetigny, France

*** INRA, Unité Expérimentale d'Epoisses, 21110 Breteniere, France

Resumen

Este trabajo tiene por objeto analizar la viabilidad de los sistemas de protección integrada de malas hierbas desde el punto de vista de la organización del trabajo y de la rentabilidad económica. Para ello se comparan cuatro sistemas de protección integrada que reducen o suprimen el aporte de herbicidas, con un sistema convencional. La metodología combina el uso de un programa de simulación con los resultados reales obtenidos en ensayos localizados en una finca experimental del INRA en Dijon (Francia) durante el periodo de 2000 a 2006. Así, se estiman los problemas de organización de trabajo y el margen neto de las explotaciones utilizando los datos reales del experimento de campo. En cuanto a la organización de trabajo, los resultados muestran que las técnicas de control integrado, como la realización de falsas siembras en combinación con un retraso en la fecha de siembra, implican problemas a la hora de efectuar esta operación, como consecuencia de las peores condiciones meteorológicas. Sin embargo, las labores de control mecánico, una vez implantado el cultivo, se llevan a cabo sin problemas derivados de la climatología ni coincidencia con otras operaciones. En cuanto a los aspectos económicos, los sistemas de control integrado (i) incrementan los costes de maquinaria, (ii) disminuyen los costes asociados a la aplicación de pesticidas, (iii) disminuyen el margen neto por hectárea y (iv) puede aumentar el margen neto por hora trabajada en comparación con el sistema convencional.

Palabras clave: Control integrado, Sistema convencional, Análisis económico, Simulación, Organización de trabajo.

Summary

Effects of integrated weed control on labour organization and economic profitability of farms

This paper aims at assessing the performances of four cropping systems prototyped according to the principles of Integrated Weed Management (IWM) agricultural practices. The purpose of the study is to analyse the viability of these IWM cropping systems, focusing on the labor organization at the farm level and on the economic profitability. We compared four variants of IWM cropping systems (S2-S5) with the conventional system (S1) in an experimental farm located in Dijon (France). The methodology combines the empirical results from the field experiments with simulations with a computing program to analyse the working time and the net margin of different systems considered. The data used was derived from the techniques really implemented on the INRA experiment from 2000 to 2006.

Regarding the labour feasibility, results showed that the decision rules in IWM induced problems and soil seed bed preparation and cereal sowing. Late wheat sowing for escaping the period of autumn weed emergence delayed those operations in a period with less favourable weather conditions. Mechanical weeding was rather easily inserted in the labour organisation plan.

Regarding economic profitability, IWM systems are associated with (i) increased machinery costs, (ii) lower operational costs due to lower pesticide costs, (iii) mean net returns per hectare decreased as compared to the standard system because of lower yield value iv) mean net returns per hour can rise because of better labour organisation.

Key words: Conventional system, Functional organization, Economic analysis, Crop management, Simulation.

Introducción

Los sistemas de producción de cereales son en la actualidad muy dependientes de la aplicación de herbicidas. Estos productos han facilitado enormemente al agricultor las labores de escarda, pero su uso masivo ha generado problemas medioambientales e incluso de falta de eficacia por la aparición de biotipos resistentes en las arvenses. Para hacer frente a estos problemas, los sistemas de manejo integrado, pueden representar una opción interesante ya que, aunque el uso de herbicidas no está prohibido, sí está restringido y limitado a aquellas materias activas de menor impacto ambiental.

La Directiva del Consejo de 15 de julio de 1991 (91/414/CEE), define el manejo integrado de malas hierbas (Integrated Weed Management, IWM) como "la aplicación racional de una combinación de medidas biológicas, biotecnológicas, químicas, de cultivo o selección de vegetales de modo que la utilización de productos fitosanitarios químicos se limite al mínimo necesario para mantener la población en niveles inferiores a los que producirían daños o pérdidas inaceptables desde el punto de vista económico". A efectos prácticos, ello supone la eliminación de cualquier tratamiento químico por sistema o programado de antemano. En consecuencia, ha de vigilarse permanentemente la explotación para aplicar cualquier tratamiento sólo en el caso y en la zona en que sea necesario, haciendo uso de una combinación de distintos métodos de control de malas hierbas.

La decisión sobre la adopción de sistemas de control integrado de malas hierbas requiere valorar el impacto sobre distintos aspectos. En primer lugar debe evaluarse si estos sistemas son eficaces en el control de arvenses a largo plazo. Hay que tener en cuenta que los sistemas integrados requieren la aplicación de una gama de medidas (preventivas, culturales y mecánicas) para controlar las arvenses, y éstas deben combinarse correctamente, puesto que el efecto de cada una sobre las malas hierbas es parcial y suele ser pequeño en comparación con una herramienta potente como es un tratamiento herbicida, adecuado tal y como muestran Munier-Jolain *et al.* (2005). En este sentido algunos estudios previos de larga duración (6 años), como los de Chikowo *et al.* (2007) en la Borgoña francesa, han demostrado la viabilidad de cuatro sistemas diferentes de control integrado para el buen manejo de arvenses en cultivos herbáceos. También Swanton *et al.* (2002) en Canadá, obtuvieron un control muy aceptable de la flora arvense utilizando un sistema integrado con una rotación de maíz-soja-trigo en un ensayo de 8 años y con cosechas similares a las obtenidas con un método convencional.

En segundo lugar, debe valorarse si efectivamente los sistemas integrados tienen menos efectos negativos sobre el medio ambiente que los sistemas de control convencionales. A este respecto, el trabajo de Chikowo *et al.* (2007) mostró que el impacto ambiental de los herbicidas, utilizados en tres de los sistemas integrados ensayados, se redujo en más de la mitad con respecto al sistema conven-

cional, mientras que en el cuarto sistema ensayado el impacto fue nulo, puesto que el desherbado era en su totalidad mecánico. El uso de cubiertas vegetales tiene también efectos beneficiosos como la optimización de los recursos naturales (radiación solar, agua, sustancias nutritivas del suelo), la reducción de la escorrentía del agua, la erosión y el lixiviado de nutrientes, y la reducción de la incidencia de las malas hierbas de manera muy importante (Lal et al., 1991).

En tercer lugar, es necesario estudiar el efecto que la adopción de los sistemas integrados tiene sobre la organización de trabajo en las explotaciones, lo cual repercute de forma clara en la rentabilidad económica de las mismas. Así, por ejemplo, un pilar fundamental en la producción integrada es llevar a cabo una rotación lo más diversificada posible, que incluya especies con ciclos de desarrollo distintos. Esto supondrá disponer de un mayor número de aperos adaptados a estas nuevas especies, lo cual conllevará un coste adicional y una nueva distribución del trabajo a lo largo del año. Al mismo tiempo, estos cambios pueden tener un efecto beneficioso, ya que obligan a distribuir mejor las labores necesarias a lo largo del año, eliminando "picos" de trabajo. Ambos efectos deben tomarse en consideración a la hora de evaluar correctamente no sólo la viabilidad agronómica sino también organizativa y económica del sistema integrado.

Otros métodos de control de arvenses en sistemas integrados pueden incluir también la realización de falsas siembras, el uso de cubiertas vegetales antes del implante del cultivo, el empleo de especies o variedades que sean más competitivas con las arvenses (Lemerle et al., 1996), retrasos en las fechas (Rasmussen, 2004) y aumentos en las dosis de siembra (Lemerle y Murphy, 2000) y el empleo de desherbadores mecánicos (binadoras, gradas de varillas flexibles, etc.) (Rasmussen, 1993). Todas estas técnicas favorecen el con-

trol de arvenses pero pueden suponer un coste mayor y un aumento de las horas de trabajo en la explotación, que no lleva aparejada una mejora económica inmediata en forma de mayores cosechas. Además, aunque se permite la utilización de herbicidas, éstos deben tener el menor impacto ambiental posible, por lo que su eficacia suele ser menor.

Aunque existen algunos antecedentes en la literatura que evalúan el impacto de los sistemas integrados sobre el control de arvenses y el rendimiento de los cultivos, no existen trabajos en los que se evalúen de forma conjunta los efectos sobre la organización del trabajo y la rentabilidad económica de las explotaciones. Por tanto, los objetivos concretos de este trabajo son: i) evaluar las consecuencias sobre la organización de trabajo de los distintos sistemas de control integrado ensayados; ii) estudiar la viabilidad económica de distintos sistemas de control integrado de malas hierbas, comparándolos con un sistema de control convencional.

Para llevar a cabo este tipo de análisis, combinamos los resultados obtenidos en un experimento de campo de larga duración, con el uso de un programa de simulación que permite contabilizar las horas de trabajo en la explotación y evaluar la rentabilidad económica de los distintos sistemas de producción. Esta metodología combinada no ha sido empleada hasta ahora en la literatura y los resultados aportan nuevos elementos al debate sobre la viabilidad de los sistemas integrados como alternativa del sistema convencional.

Material y métodos

Experimento en campo y descripción de los sistemas ensayados

El experimento de campo se localizó en la finca experimental que el Institut National

de la Recherche Agronomique (INRA) dispone en Dijon, al este de Francia, en una latitud de 47° 20' N, longitud 5° 0' E, con una pluviometría media anual 732 mm y clima continental. El ensayo abarcó las campañas 2000-01/2005-06. La finca tiene una extensión de unas 150 ha.

Se ensayaron cinco modelos de producción distintos: cuatro sistemas de producción integrada y un sistema convencional que sirve de base para la comparación de los resultados. El objetivo central del estudio es analizar conjuntamente los efectos ambientales, agronómicos, organizativos y económicos de los sistemas integrados. Por ello, la filosofía del experimento persigue un doble propósito: en primer lugar se trata de ensayar distintos sistemas integrados y comparar el impacto ambiental de los mismos con el provocado en la agricultura convencional. Para ello, y siguiendo los trabajos previos de Munier-Jolain et al. (2005) y Chikowo et al. (2007) los sistemas se han diseñado de tal forma que abarcan un gradiente decreciente del impacto ambiental ligado a los herbicidas, desde el sistema S1 (máxima utilización de herbicidas), al sistema S5 en el que no se utiliza ningún herbicida. En segundo lugar, se trata de evaluar la eficacia en el control de malas hierbas utilizando distintos tipos de controles que se consideran admisibles dentro de los sistemas integrados. Así, los sistemas S2, S3, S4 y S5 abarcan una gama suficientemente amplia de controles de arvenses con técnicas mecánicas, culturales y químicas. Los criterios agronómicos seguidos, así como el itinerario técnico de cada sistema se resumen en la tabla 1.

Para cada uno de los sistemas descritos se realizaron dos repeticiones: una al este de la finca experimental (cuyas parcelas se denominaron Ax) y la otra situada 1 km al oeste (cuyas parcelas se denominaron Dx). En total, se ha trabajado en un total de 10 parcelas elementales cuya superficie es de unas 1,7 ha. Esta gran superficie de parcela tiene la ventaja de limitar los problemas de distribución aleatoria de arvenses en el terreno, que suelen presentarse con cierta frecuencia, y de evitar el flujo de semillas de una parcela a otra. Además permite realizar las labores con maquinaria agrícola común, si bien requiere mucho tiempo en la realización de las labores y en la toma de datos. Como se observa en la tabla 2 y con el objetivo indicado previamente, no se ha seguido un diseño factorial, en el que se repitan las mismas especies y técnicas en parcelas Ax y Dx, sino que se repiten principios que definen cada sistema.

En el sistema de referencia S1 (agricultura convencional) la rotación efectuada fue trigo-cebada-colza, que es la más frecuente en el centro-este de Francia en las fechas normales de siembra.¹ Además se aplicó labor de vertedera todos los años en el verano. Los herbicidas fueron elegidos para maximizar la eficacia y la rentabilidad económica, tal como se indica en los objetivos ambientales de la tabla 1.

En los sistemas de control integrado de malas hierbas no hay una regla fija de rotación de cultivos, de tal manera que la especie elegida depende de criterios agronómicos (entre ellos cantidad y tipo de flora arvense). Por consiguiente, en la práctica hay mucha mayor diversidad de cultivos, y las especies se

1. La colza se siembra a final de agosto y los cereales de invierno a principio de octubre.

Tabla 1. Objetivos agroambientales, itinerario técnico y modo de desherbado de los diferentes sistemas ensayados
 Table 1. Environmental objectives, technical itinerary and weed control method used in different systems

Sistema de cultivo	Objetivos agroambientales	Itinerario técnico	Desherbado
S1 Agricultura convencional	Maximizar los resultados económicos	Razonar aplicación por aplicación	Químico, optimización precio-eficacia
S2 Protección integrada simplificada. Sin labor de vertedera ni desherbado mecánico	Limitar los tiempos de trabajo, reducción moderada de los impactos medioambientales ligados a los herbicidas	Sin labor profunda y sustituida por trabajos superficiales. Introducción de cubiertas vegetales con efectos alelopáticos. Falsa siembra, reducción moderada de los niveles de fertilización. Variedades competitivas	Desherbado únicamente químico, pero razonado con arreglo a criterios ecotoxicológicos y con arreglo al estado malherbológico
S3 Protección integrada sin desherbado mecánico	Reducir los impactos ecológicos vinculados a los herbicidas todavía de modo más ambicioso	Máxima aplicación de las prácticas culturales para contribuir a mantener las infestaciones. Labor profunda de suelo con arreglo a la biología de las especies presentes, lo que lleva a una labor cada dos años.	Desherbado únicamente químico, pero razonado con arreglo a criterios ecotoxicológicos y con arreglo al estado malherbológico
S4 Protección integrada con desherbado mecánico	Reducir los impactos ecológicos vinculados a los herbicidas todavía de modo más ambicioso	Máxima aplicación de las prácticas culturales para contribuir a mantener las infestaciones. Labor profunda de suelo con arreglo a la biología de las especies presentes, lo que lleva a una labor cada dos años.	Desherbado mecánico preferiblemente (grada de varillas flexibles, binadoras) desherbado químico si es necesario
S5 Protección integrada sin desherbado químico	Ningún herbicida de síntesis	Máxima aplicación de las prácticas culturales para contribuir a mantener las infestaciones	Únicamente desherbado mecánico

Tabla 2. Rotaciones de las parcelas, tipo de laboreo aplicado y técnicas de desherbado mecánico (binas o grada de varillas flexibles) o herbicida (materia activa y/o marca comercial)
 Table 2. Rotations in plots, type of tillage applied and mechanical weed control procedure (hoeing or flex tine harrow) or herbicide (active ingredient and/or commercial product)

Nº	Parcela	Laboreo de suelo	Cosecha 2001	Laboreo de suelo	Cosecha 2002	Laboreo de suelo	Cosecha 2003	Laboreo de suelo	Cosecha 2004	Laboreo de suelo	Cosecha 2005	Laboreo de suelo	Cosecha 2006
S1	A7	Labor vertedera	Trigo de invierno isoproturon	Labor vertedera	Colza trifluralin	Labor vertedera	Trigo de invierno isoproturon	Labor vertedera	Cebada de invierno isoproturon	Labor vertedera	Colza trifluralin	Labor vertedera	Trigo de invierno isoproturon
			First		Butisan, Kerb		First, Lexus M		First, Starane		Kerb		First glyphosate
	D1	Labor vertedera	Trigo de invierno isoproturon	Labor vertedera	Cebada de invierno Quartz GT	Labor vertedera	Colza trifluralin	Labor vertedera	Trigo de invierno glyphosate	Labor vertedera	Cebada de invierno isoproturon	Labor vertedera	Colza trifluralin
			First				Butisan		Archipel		Briotril		Butisan
			Starane				Fusilade						
S2	A8	Labor superficial	Trigo de invierno Lontrel	Labor superficial	(Avena) Soja Ronstar	Labor superficial	Trigo de invierno Lexus M.	Labor superficial	Colza Devrinol	Labor superficial	Trigo de invierno Starane	Labor superficial	Cebada de primavera glyphosate
					Targa D+				Devrinol		Allié		Chardex
					Fusilade								
	D2	Labor superficial	Trigo de invierno Gratil	Labor superficial	Cebada de invierno	Labor superficial	Soja trifluralin	Labor superficial	Trigo de invierno Archipel	Labor superficial	Colza Devrinol	Labor superficial	Triticale Archipel
							Ronstar		Archipel		Stratos		glyphosate
							(Facelia)						
	A6	Labor vertedera	(Mostaza) Soja Ronstar	Labor superficial	Trigo de invierno Lexus M	Labor vertedera	Mostaza trifluralin	Labor superficial	Trigo de invierno Lexus M	Labor vertedera	Colza trifluralin	Labor superficial	Triticale Archipel
							Fusilade						glyphosate Starter
	D3	Labor superficial	Trigo de invierno Allié, Gratil	Labor vertedera	Colza Devrinol	Labor superficial	Trigo de invierno Lexus M.	Labor vertedera	(Avena) Soja Ronstar	Labor superficial	Cebada de primavera Harmony	Labor vertedera	Avena Chardex

Tabla 2. (Continuación)
Table 2. (Continuation)

Nº Parcela	Laboreo de suelo	Cosecha 2001	Laboreo de suelo	Cosecha 2002	Laboreo de suelo	Cosecha 2003	Laboreo de suelo	Cosecha 2004	Laboreo de suelo	Cosecha 2005	Laboreo de suelo	Cosecha 2006
S4	Laboreo superficial	Trigo de invierno gradeo(2) Allié	Labor vertedera	(Mostaza) Cebada Primavera gradeo(2)	Labor superficial	Colza Gradeo(3) Stratos	Labor superficial	Trigo de invierno gradeo Cameo	Labor vertedera	Remolacha Bina (3) Glyphosate Safari (3) Murena (3)	Labor superficial	Triticale Descos-tradora (2) Allié
D5	Laboreo superficial	Trigo de invierno gradeo(2) Allié	Labor vertedera	Colza gradeo(2)	Labor superficial	Trigo de invierno gradeo(4)	Labor vertedera	Remolacha Bina + Murena (3) Bina + Safari (1)	Labor superficial	Cebada de primavera gradeo(3) Allié	Labor vertedera	Haba Descos-tradora Bina (2) gradeo Challenge glyphosate
S5	Laboreo vertedera	Cebada de invierno gradeo	Labor vertedera	Colza Bina gradeo	Labor superficial	Trigo de invierno gradeo(3)	Labor vertedera	Cebada de invierno gradeo(3)	Labor vertedera	Haba gradeo(2) bina	Labor superficial	Triticale Descos-tradora
D4	Laboreo superficial	Trigo de invierno gradeo	Labor vertedera	Cebada de invierno gradeo(3)	Labor superficial	Colza Bina (3)	Labor vertedera	Trigo de invierno gradeo(3)	Labor vertedera	Girasol Hue rotative Bina (2)	Labor superficial	Triticale Descos-tradora

Nota: Dosis de herbicida aplicada dentro del rango autorizado para cada producto. Las especies entre paréntesis son las utilizadas como cubiertas vegetales previas al implante del cultivo comercial. Los números entre paréntesis indican el número de pases realizado.

siembran en distintas épocas. La tabla 2 incluye la información sobre rotaciones realizadas en cada una de las 10 parcelas del ensayo, así como el tipo de laboreo aplicado en cada caso y las técnicas de desherbado mecánico (binas o grada de varillas flexibles) o herbicida (materia activa y/o marca comercial).

Con respecto a las fechas de siembra, en los sistemas integrados en que se usa un desherbado mecánico (S4 y S5) la siembra de la colza se adelanta respecto a lo que es normal para facilitar un binado posterior antes de la llegada del invierno, mientras que se retrasa en los sistemas en que no se realiza (S2 y S3).

Para los cultivos de cebada, trigo, triticale o haba, la fecha de siembra se retrasa al final del otoño para disminuir la presencia de arvenses (Rasmussen, 2004). La mostaza, haba y cebada de primavera se siembran a principio de primavera, mientras que la soja se siembra a final de la primavera en fechas habituales de la zona. Además, en el S4 se decidió incluir el cultivo de remolacha una vez cada 6 años, con el fin de examinar las posibilidades del desherbado mecánico y reducir así el aporte de herbicidas en un cultivo muy frecuente y rentable en la región de la Borgoña, cuya producción es muy dependiente del uso de herbicidas.

En todos los sistemas integrados se realizaron falsas siembras para estimular las nascencia de arvenses y eliminarlas con labores sucesivas. La densidad de siembra fue alta en todos los sistemas integrados. En el caso de cebada y trigo aproximadamente un 75% más alta que en el sistema de referencia.

La distancia entre líneas fue de 12,5 cm excepto en cultivos susceptibles de ser binados (colza, remolacha y haba). En S3, S4 y S5 se realizó una labor de vertedera cada dos años, pues experimentos precedentes de Jouy y Munier-Jolain (2001) mostraron que

invirtiendo capas del terreno cada dos años se reducen las posibilidades de germinación de la mayoría de especies arvenses en una rotación de cultivos de invierno y primavera. Por el contrario en el sistema S2 no se realizó ninguna labor de vertedera, y únicamente se hicieron labores superficiales.

Por último, y antes del cultivo de especies de primavera, en ocasiones se realizaron cubiertas de cultivo en las parcelas mediante la siembra en el otoño de especies como avena, facelia (*Phacelia tanacetifolia*) y mostaza (*Brassica juncea* L) para ser enterradas antes del implante del cultivo definitivo y con el fin de manejar las arvenses y limitar las pérdidas de nutrientes durante el invierno.

Descripción de la simulación

Para analizar de forma conjunta los aspectos organizativos y económicos se han empleado técnicas de simulación. Concretamente se ha empleado el paquete de simulación "Equip'Agro", desarrollado por la Chambre d'Agriculture y la CUMA (cooperativa de uso de material agrícola) de la Borgoña y utilizado para la gestión económica y organización de trabajo de las explotaciones agroganaderas de la zona. La ventaja de esta herramienta es que permite combinar el estudio de los aspectos agronómicos y ambientales con el análisis económico y de organización de trabajo utilizando los datos reales de la explotación. El simulador cuenta con una base de datos interna que permite contabilizar las horas de trabajo en cada explotación tomando como referencia la maquinaria utilizada en cada sistema y su capacidad de trabajo. Además, "Equip'Agro" permite realizar un estudio de los costes e ingresos de la explotación, con el cual pueden obtenerse una gran diversidad de variables económicas relevantes para la toma de decisiones del agricultor.

Para obtener un rendimiento satisfactorio del simulador es necesario introducir una serie de datos referentes a fechas y tipo de labores, capacidad de trabajo de la maquinaria, disponibilidad de horas de trabajo y días agrónomicamente practicables. Las variables de salida relacionadas con la organización comprenden una contabilización de horas en diversos periodos y las disponibilidades netas y brutas de trabajo. Por su parte, las variables económicas de salida incluyen magnitudes como los márgenes económicos bruto y neto y desgloses de ingresos y costes por partidas. A partir de los datos obtenidos del simulador se pueden calcular los ratios económicos de rentabilidad y de costes de trabajo.

En la simulación se han replicado los itinerarios técnicos del experimento de campo en cada parcela, pero con el objeto de hacerlos más realistas, se han adaptado a una explotación de tamaño medio de la Borgoña (133 ha), en la que se cultivan las mismas especies del experimento. La simulación supone que se cultivan todas las especies en la misma campaña a razón de 20 ha cada una, quedando una superficie de barbecho de 13 ha para cumplir los requerimientos de la PAC.

Otra modificación realizada ha sido la del parque material utilizado, que se ha adaptado y simplificado para representar más adecuadamente la realidad, en la que se dan superficies agrícolas mucho mayores a las del ensayo. Es evidente que las máquinas utilizadas en el experimento no son del todo representativas respecto a las que existen en las explotaciones reales de la región. Concretamente, en el ensayo se cuenta con un número algo mayor de máquinas y con una capacidad de trabajo inferior a la real. Así por ejemplo, en la finca experimental

del INRA hay numerosos aperos que realizan labores muy parecidas entre sí que es poco razonable encontrar en una explotación real. Con estas dos adaptaciones se pretende simular de manera más real y precisa la gestión del trabajo en una explotación y su rentabilidad económica para cada una de las variantes ensayadas.

La tabla 3 sintetiza los datos relativos a fechas, dosis de siembra y rendimiento real obtenido que definen la simulación de cada sistema en cada parcela. Como puede apreciarse, en algunas parcelas coincide varias veces la misma especie pero con itinerarios técnicos diferentes. Lógicamente, las cosechas obtenidas han estado sometidas a diferentes condiciones climáticas.

Organización de trabajo en la explotación

El simulador contempla que una única persona (1 UTH) trabaja la explotación e hipotéticamente puede trabajar durante 10 horas al día y 6 días por semana (85,7 horas cada 10 días). La contabilización de las cargas de trabajo se realizó en periodos de 10 días, habiendo, por tanto, tres periodos por mes.² Los datos de entrada específicos utilizados en la simulación son los siguientes:

– *Fechas de realización de las labores:* coinciden con las del experimento de campo, con una flexibilidad para realizar cada labor sobre la fecha teórica de 10 días. En el caso de que las labores programadas sobrepasaran la disponibilidad neta de trabajo, se estudió caso por caso si esa flexibilidad teóricamente podía ser mayor y en caso afirmativo se corrigió.

– *Capacidad de trabajo de cada máquina (ha/h):* se utilizaron los datos disponibles de

² El programa permite configurar la simulación para periodos mensuales, pero es menos preciso que para periodos más cortos.

Tabla 3: Alternativa simulada para cada parcela
Table 3. Rotation simulated for every plot

Sistema	Parcela	20 ha	20 ha	20 ha	20 ha	20 ha	20 ha	13 ha
S1	A7	Trigo	Colza	Trigo	Cebada	Colza	Trigo	Barbecho
	Fecha siembra	03/10	28/08	03/10	13/10	03/09	05/10	-
	Dosis siembra (kg/ha)	104	2,59	104	116	2 85	167	-
	Rendimiento (t/ha)	8,72	4,01	7,06	9,92	3,74	8,99	-
	D1	Trigo	Cebada	Colza	Trigo	Cebada	Colza	Barbecho
	Fecha siembra	04/10	15/10	02/09	09/10	13/10	26/08	-
Dosis siembra (kg/ha)	96	118	2,26	95	106	2 80	-	
Rendimiento (t/ha)	8,87	8,25	2,78	8,04	6,71	3,27	-	
S2	A8	Trigo	Soja	Trigo	Colza	Trigo	Cebada P	Barbecho
	Fecha siembra	25/10	07/05	29/10	06/08	09/11	16/03	-
	Dosis siembra (kg/ha)	175	112	175	2,79	157	181	-
	Rendimiento (t/ha)	7,39	2,89	6,95	4,83	8,05	4,94	-
	D2	Trigo	Cebada	Soja	Trigo	Colza	Triticale	Barbecho
	Fecha siembra	25/10	15/10	06/05	28/10	11/10	27/10	-
Dosis siembra (kg/ha)	176	135	120	176	4 19	170	-	
Rendimiento (t/ha)	6,31	8,34	1,92	6,56	3,13	6,09	-	
S3	A6	Soja	Trigo	Mostaza	Trigo	Colza	Triticale	Barbecho
	Fecha siembra	09/05	06/11	12/03	27/10	2/09	28/10	-
	Dosis siembra (kg/ha)	120	197	2,11	197	2 7	170	-
	Rendimiento (t/ha)	3,33	6,9	0,58	7,97	2,66	6,2	-
	D3	Trigo	Colza	Trigo	Soja	Cebada P	Avena P	Barbecho
	Fecha siembra	25/10	22/8	29/10	05/05	15/03	17/03	-
Dosis siembra (kg/ha)	212	4 1	212	120	190	135	-	
Rendimiento (t/ha)	6,22	3,95	4,47	1,99	5,7	3,18	-	
S4	A5	Trigo	Cebada P	Colza	Trigo	Remolacha	Triticale	Barbecho
	Fecha siembra	25/10	06/03	07/08	28/10	17/03	25/10	-
	Dosis siembra (kg/ha)	175	183	2 67	176	114000*	175	-
	Rendimiento (t/ha)	6,52	3,94	1,69	7,42	74,1	6,3	-
	D5	Trigo	Colza	Trigo	Remolacha	Cebada P	Haba	Barbecho
	Fecha siembra	27/10	10/08	30/10	25/03	15/03	28/10	-
Dosis siembra (kg/ha)	176	2,4	176	121000*	190	190	-	
Rendimiento (t/ha)	6,95	3,76	6,66	70	4,74	2,74	-	
S5	A1	Cebada	Colza	Trigo	Cebada	Haba P	Triticale	Barbecho
	Fecha siembra	9/10	08/08	29/10	13/10	04/03	25/10	-
	Dosis siembra (kg/ha)	163	3,3	176	135	271	175	-
	Rendimiento (t/ha)	8,8	4,52	8,3	9,02	4,08	6,71	-
	D4	Trigo	Cebada	Colza	Trigo	Girasol	Triticale	Barbecho
	Fecha siembra	26/10	15/10	02/09	28/10	12/04	27/10	-
Dosis siembra (kg/ha)	176	135	4,08	176	4,32	170	-	
Rendimiento (t/ha)	7,06	8,21	1,33	6,76	2,47	6,41	-	

Nota: En el cultivo de remolacha la dosis es en semillas/ha.

la CUMA de Borgoña (2007) y el Barème d'entraide (2006).

– *Disponibilidad bruta de horas de trabajo:* 10 horas al día y 6 días por semana, todo el año.

– *Porcentaje de días agrónomicamente practicables:* los días agrónomicamente practicables (JAP) son aquellos en que el clima y el estado hídrico del suelo son propicios para una intervención determinada en el terreno en condiciones satisfactorias. En consecuencia, dependen de las condiciones meteorológicas, del tipo de suelo, del tipo de operación cultural y del tipo de apero a utilizar (Anónimo, 1998). Estos datos son utilizados por el programa para estimar la disponibilidad neta de horas de trabajo en cada periodo de diez días a partir de la mano de obra disponible y la operación u operaciones que se pretenden realizar en ese periodo. Los datos utilizados en este caso corresponden a los JAP de la cámara agraria de la Borgoña para los periodos de 10 días. Esta información sobre los JAP se obtiene a partir de datos históricos de clima, de modelos de humedad del suelo, y de la experiencia de técnicos sobre el terreno. En nuestro caso utilizamos los datos meteorológicos de Dijon para un suelo arcilloso drenado como el del ensayo y fueron calculados por la Chambre d'Agriculture de la Borgoña (M. S. Petit, comunicación personal).

El programa permite simular también dos probabilidades diferentes de no realizar la operación: JAP 1 año cada 2 (probabilidad de no realizar la totalidad de las operaciones programadas de un 50%) y JAP 4 años cada 5 (probabilidad de no realizar la totalidad de las operaciones programadas de un 20%).

Cálculo económico

En el caso del análisis económico el programa "Equip'Agro" realiza dos pasos intermedios: primero calcula el margen bruto por

hectárea y después calcula el margen semineto, desglosando los costes fijos y variables. Para el cálculo de estas variables es necesario introducir en el simulador información pormenorizada sobre precios y costes, que detallamos a continuación, así como las fuentes de datos utilizadas en cada caso.

– *Cálculo del margen bruto (€/ha):* es la diferencia entre los ingresos (valor de la cosecha y primas PAC) y el coste de los inputs: abonos, semillas, fitosanitarios, agua, seguro de pedrisco y recolección en el caso de la remolacha (sistema S4). El valor de la cosecha se obtuvo a partir de la producción real obtenida en los ensayos (Tabla 3) y el precio del producto fue el del mercado en la fecha de la recolección en 2006.

El coste de los inputs se calculó en base a la dosis utilizada de cada uno de ellos y a su precio en el mercado en el momento de cosecha (año 2006).

El precio de la semilla utilizado es una media ponderada entre precio de semilla procedente de la explotación (en un 80%) y semilla certificada (en un 20%), salvo para la remolacha que se utilizó el precio semilla certificada en un 100%, práctica habitual de los agricultores de la zona.

– *Cálculo del margen semineto (€/ha):* es la diferencia entre el margen bruto y el coste de los distintos tractores y aperos que intervienen en las operaciones. Estos costes se desglosan en:

- *Costes fijos:* amortización de máquinas (lineal, al 4% de interés) y seguros cuya cuantía varía en función del valor de compra, utilización anual y vida útil de cada máquina (datos disponibles en la CUMA de Borgoña, 2007 y el Barème d'entraide, 2006).

- *Costes variables:* gasoil, lubricantes, neumáticos y reparaciones (CUMA de Borgoña, 2007 y Barème d'entraide, 2006).

Por último, y en una fase posterior hicimos el cálculo del margen neto por hectárea, que es la diferencia entre el margen semineto obtenido en el simulador y otros costes (ROSACE, 2005), entre los que se encuentran los siguientes:

- Arriendo de la tierra: 86,4 €/ha.
- Amortización de edificios: 6,9 €/ha.
- Otros: luz, agua, teléfono y costes de gestión: 83,4 €/ha.
- MSA: mutualidad seguro agrario (33,51% sobre el margen neto).

El parque material utilizado para la simulación se muestra con detalle en la tabla 4. La Tabla incluye información sobre las características más importantes de las máquinas, su capacidad de trabajo y el sistema de cultivo en que han sido utilizadas. La superficie cultivada se considera en régimen de arrendamiento. Toda la maquinaria se considera propiedad del agricultor al 100%, salvo en el caso de la cosechadora que es al 50%. Para la recolección de la remolacha se ha considerado que se contrata la operación con un coste de 150 €/ha.

Resultados y discusión

En este apartado se presentan los resultados más relevantes del estudio referidos únicamente a los aspectos organizativos y económicos. Con respecto a los resultados agrónomicos y ambientales del ensayo remitimos al lector al trabajo de Chikowo et al. (2007).

Tiempo y organización de trabajo

La tabla 5 muestra el desglose de tiempos anuales de trabajo por parcela (133 ha) y tipo de operación obtenidos en la simulación. También se indican las disponibilida-

des netas de horas de trabajo y tiempo en que se sobrepasan las disponibilidades netas (horas). Para facilitar el análisis se discuten por separado los resultados de los sistemas simulados y posteriormente se comparan los sistemas entre sí.

Sistema S1: Agricultura convencional

Para el sistema de referencia, el tiempo de trabajo total estimado por el simulador es de 647 y 711 horas para las parcelas del bloque A y del bloque D respectivamente, lo que supone un tiempo de trabajo de 4,9 h/ha y 5,3 h/ha para cada una de las parcelas. Las mayores cargas de trabajo se producen desde el principio de julio hasta mediados de octubre. Ello se explica porque en julio se realiza la cosecha y se da una labor de chisel. Además están programados una labor de vertedera a principios de agosto y pases de cultivador a final de septiembre para ir preparando el lecho de siembra (fin de agosto-principio de septiembre para la colza y principio de octubre para el trigo).

La labor de vertedera consume buena parte del tiempo de trabajo (120 horas), que en media supone 1h/ha, ya que está programada todos los años. En el sistema convencional esta labor supone un consumo de tiempo doble que en S3, S4 y S5 (sólo se da en años alternos), mientras que en S2 no está programada. La operación de siembra en este caso también es costosa en términos de tiempo, ya que la sembradora utilizada en la simulación dispone de un cultivador, que evita una labor de refino posterior pero a cambio hace que la capacidad de trabajo sea pequeña (0,8 ha/h).

Es precisamente en esta época de siembra cuando se produce el pico de trabajo, y se sobrepasa la disponibilidad neta estimada un año de cada cinco en un total de 32 y 27 horas respectivamente en las dos parcelas del sistema convencional.

Tabla 4: Parque material utilizado en la simulación para cada sistema de cultivo
 Table 4. Machinery used in the simulation for each cultivation system

Tipo	Características	Valor de compra €	Sistema				
			1	2	3	4	5
Tractores							
6300 John Deere	4 x 4 100 CV	38.000	X	X	X	X	X
6900 John Deere	4 x 4 130 CV	51.000	X	X	X	X	X
Cosechadoras							
MB TC56 New Holland	250 CV 5,5 m + picador	140.000	X	X	X	X	X
Remolques							
Remolque	18 t	25.000	X	X	X	X	X
Aperos laboreo							
Vertedera	5 surcos	12.000	X				
Vibrocultivador reja estrecha	4,5 m	8.000		X	X	X	X
Rulo estriado	6 m	6.000		X	X	X	X
Grada rotativa	4 m	9.000		X	X	X	X
Grada de discos	32 discos	10.000		X	X	X	X
Chisel	3 m, 7 rejas	7.000		X	X	X	X
Vibrocultivador reja cola golondrina	6 m	6.500		X	X	X	X
Grada de varillas flexibles	12 m	8.000		X	X	X	X
Desherbobinadora	3 m (binado + trat. fila)	10.000					X
Binadora	3 m	10.000					X
Descostradora	6 m	20.000					X
Pulverizadores, distribuidores							
Abonadora	1.500 - 1.800 L	5.000	X	X	X	X	X
Pulverizador arrastrado	2.500 L 24 m	35.000	X	X	X	X	X
Sembradoras							
Sembradora de cereales	4 m	7.000					X
Sembradora + grada	3 m	7.000					X
Sembradora discos	3 m siembra directa	50.000					X
Sembradora monograno	3 m 8 filas	18.000					X
Sembradora monograno + tratamiento en la fila	3 m 8 filas	18.000					X
Picadoras							
Picador	3,2 m	6.000	X	X	X	X	X
Otros							
Cañón de riego	Riego	18.000					X

Tabla 5. Desglose tiempos de trabajo según parcela y tipo de operación. Disponibilidad neta y tiempo en que se sobrepasa la disponibilidad neta (horas)

Table 5. Working time for each plot and type of operation. Net time availability and excess over net availability (in hours)

Parcela	Labor de vertedera	Trabajo superficial	Desherbado mecánico	Desherbado binado	Total herbicidas	Otros fito-sanitarios	Total Fito	Disponible neto	Disponible Σ horas sobre disponible neto			
S1	A7	120 (1,0)	103 (1,5)	0	0	223	43 (2,2)	75 (3,0)	118	647	1540	32
	D1	120 (1,0)	170 (2,0)	0	0	290	37 (2,0)	69 (2,8)	106	711	1433	27
S2	A8	0	142 (3,0)	0	0	142	25 (1,2)	40 (2,0)	65	415	1155	0
	D2	0	156 (3,6)	0	0	156	25 (1,2)	28 (1,5)	53	397	1621	4
S3	A6	60 (0,5)	166 (3,2)	0	0	226	30 (1,6)	37 (2,0)	67	563	1473	45
	D3	60 (0,5)	157 (3,0)	0	0	217	19 (1,0)	26 (1,7)	45	510	1686	4
S4	A5	40 (0,3)	218 (3,6)	63 (2,5)	11 (0,2)	332	52 (1,0)	38 (2,0)	101*	6502	1338	47
	D5	60 (0,5)	250 (4,0)	57 (3,0)	22 (0,3)	389	52 (0,8)	32 (1,8)	106*	7092	1286	61
S5	A1	80 (0,7)	212 (3,8)	50 (2,2)	0	342	0	35 (2,1)	35	612	1338	8
	D4	60 (0,5)	200 (3,6)	89 (2,8)	0	349	0	22 (1,3)	22	591	1215	7

* incluido desherbinado.

(1) Se incluye además el tiempo de otras labores: Siembra, cosecha, abonado, picado cubiertas vegetales y riego.

(2) Sin incluir el tiempo de la cosecha de la remolacha.

Entre parentesis el número medio de labores de cada tipo efectuadas en cada parcela.

Estos resultados ilustran acertadamente la realidad de las explotaciones que tienen 100% cultivos de invierno, y que tienen concentración de trabajo en periodos limitados del año. No obstante, hay que decir que como la fecha de siembra programada es relativamente temprana, habrá casos en que será posible realizar la siembra en un momento posterior al simulado, lo cual mitigará los problemas en los años más desfavorables.

Sistema S2: Sistema integrado con técnicas culturales.

El sistema de protección integrada de técnicas culturales simplificadas, sin labor profunda de vertedera presenta unos requerimientos totales de tiempo de trabajo de 415 y 397 horas para cada una de sus dos parcelas (3,1 y 3,0 h/ha, respectivamente). Es el sistema que menos tiempo precisa para completar las operaciones previstas. Los trabajos están mejor repartidos a lo largo del año que en el sistema convencional debido fundamentalmente a la inclusión de cultivos de primavera, de tal manera que no existen problemas de disponibilidad de horas y, por tanto, la organización de trabajo es sencilla. Sólo se identificó un déficit de 4 horas en la parcela del bloque D durante el mes de febrero, debida a un tratamiento molusquicida, que no es una labor fundamental y además no es necesaria todos los años.

Como es obvio, el ahorro de tiempo en este sistema se produce fundamentalmente por la ausencia de una labor profunda de vertedera. A cambio, se requiere un mayor número de horas para las labores superficiales, ya que son imprescindibles un número mayor de pasadas de diferentes gradas y cultivadores para llevar a cabo las falsas siembras necesarias (véase la tabla 4). Por otra parte, para efectuar la labor superficial no se utiliza la grada rotativa, que ralentiza considerablemente la labor, por lo que el

tiempo consumido en labores superficiales resulta menor que en otros sistemas integrados en los que sí se utiliza esta grada.

Al igual que en el resto de los sistemas integrados, en este sistema S2 el tiempo necesario para la aplicación de fitosanitarios distintos de los herbicidas (fungicidas, insecticidas, molusquicida y reguladores del crecimiento) es también menor que en el sistema convencional, ya que los cultivos utilizados en este último (trigo, cebada y colza) permanecen muchos meses en el campo y por tanto corren mayor riesgo de ser afectados por plagas y enfermedades. Por el contrario, en este sistema las técnicas usadas para controlar las malas hierbas, como son el retraso de la fecha de siembra y la utilización de más especies en la rotación, tienen también un efecto positivo sobre la presencia de plagas y enfermedades, que finalmente se acaban reflejando en un ahorro de tiempo dedicado a la aplicación de fitosanitarios. Asimismo, en los sistemas integrados hay cultivos y variedades con una menor dependencia de los insecticidas y fungicidas, como es el caso del girasol, la avena o el triticale. Finalmente, el hecho de que se aporten menos fertilizantes a los cultivos tiene, como regla general, una incidencia positiva a la hora de prevenir problemas de infestación de malas hierbas.

Sistema S3: Sistema integrado sin desherbado mecánico.

Con el sistema de producción integrado S3 el tiempo de trabajo total empleado fue de 563 y 510 horas en el bloque A y D respectivamente, que supone un tiempo de trabajo de 4,2 y 3,8 h/ha. Es un tiempo de trabajo inferior al sistema de referencia y ello se debe a que sólo se aplica labor profunda de vertedera una vez cada dos años y se utilizan menos productos fitosanitarios. Por el contrario, el tiempo dedicado a labores superficiales (sobre todo falsas siembras) es mayor.

Las dos explotaciones de este sistema muestran un resultado muy distinto con respecto al consumo y distribución de tiempo de trabajo. En el bloque A se refleja un exceso de trabajo en relación con la disponibilidad neta de 45 horas, mientras que en el bloque D sólo existe un exceso de 4 horas. Los problemas en A se explican en parte por los trabajos de suelo llevados a cabo en febrero –mes en el que existe una baja disponibilidad neta por problemas de humedad de suelo–, pero sobre todo se deben a las labores preparatorias de siembra y a la labor de siembra efectuadas ambas entre finales de octubre y principios de noviembre. En el bloque D se registran menos problemas porque la alternativa contempla sólo dos parcelas de trigo de 20 ha, ya que el cultivo de trigo previsto para principios de noviembre de 2004 fue sustituido por una cebada de primavera debido precisamente a la imposibilidad de realizar la siembra en la fecha prevista.

La realidad es muy coherente con los resultados obtenidos en la simulación, ya que en esta zona, es muy difícil sembrar grandes superficies de cereales después del 25 de octubre. Los problemas de siembra en esta época son muy comunes debido al exceso de humedad en el suelo y normalmente la siembra no puede realizarse más tarde, puesto que las condiciones suelen empeorar aún más.

Sistema S4: Sistema integrado con desherbado mecánico

Para el sistema de producción integrada con desherbado mecánico el tiempo de trabajo total calculado es de 650 y 709 horas al año para las parcelas de los bloques A y D respectivamente (4,9 y 5,3 h/ha). Como puede advertirse es un tiempo de trabajo equivalente al del sistema de referencia S1. En este caso, el ahorro de tiempo obtenido por no realizar labor profunda de vertedera todos los años y por aplicar menos fitosanitarios es compensado por las mayores exigencias

de tiempo para realizar un número mayor de falsas siembras, desherbado mecánico y tratamientos herbicidas, así como desherbinados (bina entre líneas y tratamiento herbicida en la línea del cultivo) en el caso del cultivo de remolacha.

Este sistema genera dificultades de organización de trabajo en 47 y 61 horas respectivamente. Sin embargo, hay que matizar que la mayoría de las operaciones que presentan dificultades pueden ser adelantadas o retrasadas sin consecuencias agronómicas graves. Es el caso por ejemplo del trabajo de suelo y labor de vertedera durante invierno en la parcela del bloque A: la siembra de cereales a fin de octubre y principios de noviembre puede realizarse en buenas condiciones, ya que no hay otras operaciones que realizar en esa época. Por el contrario, el bloque D presenta problemas coincidiendo con las fechas de la siembra por la gran cantidad de tiempo necesaria para preparar el lecho de siembra.

El tiempo dedicado en este sistema al desherbado químico de la remolacha es elevado, ya que es una operación lenta por tratarse de un tratamiento localizado sobre la fila de la remolacha con un pulverizador específico colocado sobre el marco de la binadora con la misma anchura de trabajo que la sembradora (3 metros). El binado es también una operación lenta (1,5 ha/h). Por el contrario, las operaciones de desherbado químico y mecánico, e incluso la operación combinada, se insertan bien en el calendario de trabajo, pues se efectúan en periodos donde la disponibilidad neta de horas es elevada o bien porque la coincidencia con otras labores es baja.

Sistema S5: Sistema integrado sin desherbado químico

Para el sistema de protección integrada sin herbicidas, el tiempo de trabajo total es de



612 y 591 horas en A y D respectivamente, lo que supone una media de 4,6 y 4,4 h/ha. Se trata por tanto de un tiempo de intervención bastante inferior al de referencia S1. En este caso el tiempo de trabajo utilizado en las falsas siembras y en las labores de desherbado mecánico es claramente compensado por la eliminación de labores profundas algunos años y por la ejecución mucho menor de tratamientos fitosanitarios (véase tabla 4). Además, el trabajo queda repartido de forma muy homogénea a lo largo del año, de tal manera que solamente se sobrepasan en 8 y 7 horas las disponibilidades netas en 4 años de cada 5. Los excesos de trabajo se corresponden con trabajos de suelo que pueden ser trasladados a otras épocas sin mayores consecuencias agronómicas.

El tiempo necesario para los desherbados mecánicos es como media de las dos parcelas 70 horas anuales (un poco más de media hora por hectárea), pero se realiza en épocas con climatología favorable. La capacidad de trabajo de la binadora es baja, pero no la de la grada de varillas flexibles y de la descos-tradora (10 y 6 ha/h, respectivamente).

Discusión

Los resultados expuestos hasta aquí indican por tanto unas necesidades de tiempo casi idénticos para los sistemas S1 y S4, y menores para el resto de sistemas integrados considerados, siendo el sistema de técnicas simplificadas (S2) el que requiere un número menor de horas totales. En concreto, los tiempos de trabajo en la explotación se reducen en un 40% en el S2, un 21% en S3 y un 11% en S5.

Este resultado parece contradecir los de otros trabajos, como los de Karlen *et al.* (1995), Brumfield *et al.* (2000), y Delate *et al.* (2003), en los que se afirma que la reducción en el uso de agroquímicos provoca un aumento de los tiempos de trabajo, ya que las labores o estrategias necesarias para

compensar sus efectos son más lentas. Concretamente, en el caso de prescindir totalmente de productos químicos (agricultura ecológica) los incrementos registrados tienen una gran variabilidad y van desde el 7% hasta el 75%. Otros trabajos cuantifican un aumento medio de las necesidades del 15% (Sorby 2002, Granatstein 2003). Esta divergencia puede explicarse, al menos en parte, no sólo por las diferencias en las características agronómicas y de diseño de los experimentos en distintos trabajos, sino también porque en el presente estudio no hemos considerado una supresión total de agroquímicos. Tal supresión aumentaría sin duda los tiempos requeridos para labores sustitutivas adicionales. A este respecto, puede observarse que nuestro sistema S5, en el que no se aplica ningún herbicida, sería el sistema más cercano a la supresión total de agroquímicos y, si bien no se ha simulado, parece bastante factible que las labores adicionales incrementarían el total por encima del sistema de referencia.

Desde el punto de vista de organización de trabajo el sistema más interesante dentro de los integrados resulta ser el S2, ya que es el que menos tiempo de trabajo necesita para completar el conjunto de las labores programadas y las labores fundamentales se pueden realizar sin problemas en las fechas previstas. El siguiente sistema más interesante es el S5, que aunque sólo reduce un 10% los tiempos de trabajo tampoco presenta excesivos problemas a la hora de realizar las operaciones previstas. Los sistemas S3 y S4 presentan problemas para completar la siembra al final del otoño y además el sistema S4 necesita tanto tiempo como el sistema convencional para completar todas las labores previstas.

Por consiguiente, puede decirse que las técnicas alternativas de manejo de la flora arvense utilizadas en producción integrada, como son la realización de falsas siembras y los retrasos en la fecha de siembra para

esquivar la emergencia de arvenses en cereales de invierno, pueden implicar problemas de organización en el momento de la siembra en explotaciones de tamaño y parque de maquinaria medio, como las del ensayo. En fechas tan retrasadas aumenta la probabilidad de que los suelos estén demasiado húmedos para realizar las labores. Por el contrario, las labores de control mecánico una vez implantado el cultivo, también de uso frecuente en producción integrada, se pueden llevar a cabo sin problemas derivados de la climatología, ni por coincidencia con otras operaciones en la explotación.

Variables económicas

En este apartado se comparan y discuten los resultados obtenidos en los distintos sistemas con respecto a las variables económicas más relevantes. En primer lugar se analizan las diferentes partidas de costes y posteriormente se analizan los ingresos y el margen neto final de la explotación.

Costes

Con el fin de analizar adecuadamente la importancia de las distintas partidas en el

coste total de la explotación y de evaluar correctamente el origen de las diferencias entre los distintos sistemas de producción, se presentan en un cuadro por separado los resultados de costes en fitosanitarios distinguiendo los diversos productos.

Tal y como muestra la tabla 6, los costes en herbicidas son menores en los sistemas integrados que en el sistema de referencia S1. La reducción en los sistemas S2 y S3, en los que no se aplica desherbado mecánico, se debe a que se efectúan otras técnicas culturales como la falsa siembra, el retraso en la fecha de siembra, la utilización de cubiertas vegetales y la rotación que incluye cultivos de primavera, y ello permite una reducción en el uso de herbicidas sin que la flora arvense cause problemas. Lógicamente, la disminución en el coste de herbicidas es aún mayor cuando se utiliza el desherbado mecánico S4 hasta que el coste se hace nulo en S5, ya que no se utilizan herbicidas.

Por lo que respecta a otros fitosanitarios, algunas de las técnicas que ayudan al control de las malas hierbas, como el retraso en la fecha de siembra y la rotación diversificada, inciden también positivamente en el control de plagas y enfermedades, como

Tabla 6: Coste total de los fitosanitarios aplicados en los ensayos (€/ha)
Table 6: Total cost of agrochemicals applied in trials (€/ha)

	Parcela	Herbicidas	Fungicidas	Insecticidas	Reguladores	Molusquicidas	Total	Media
S1	A7	95,2	49,8	18,7	10,3	12,2	186,1	181,5
	D1	72,3	47,1	10,2	4,1	43,3	177,0	
S2	A8	49,4	29,2	8,8	1,4	2,8	91,6	81,5
	D2	50,2	12,4	3,2	4,0	1,6	71,4	
S3	A6	48,8	6,1	18,1	0,0	12,0	85,1	75,1
	D3	38,5	9,7	2,3	3,1	11,4	65,1	
S4	A5	19,3	19,3	5,2	0,9	4,4	49,0	56,8
	D5	16,9	26,8	12,3	1,1	7,5	64,6	
S5	A1	0,0	23,1	7,1	4,4	8,4	42,9	42,9
	D4	0,0	12,4	4,0	3,2	2,4	22,0	

también ha observado Leake (2000). En consecuencia todos los sistemas integrados reducen los costes globales de los fitosanitarios de S2 a S5. Concretamente, el descenso en el uso de insecticidas se produce, sobre todo, en aquellas alternativas integradas en que la presencia de colza es menor, ya que se trata de un cultivo muy exigente en el uso de éstos.

La tabla 7 contiene los resultados que se refieren a los costes de mecanización y de los productos utilizados en los distintos sistemas simulados. La razón que explica el ahorro en costes de fertilizantes en los sistemas integrados es que las variedades cultivadas son menos productivas, y por tanto requieren un consumo menor de abonos. Además, hay especies más variadas en la rotación que precisan menos dosis de fertilización (como es el caso de la cebada de primavera y el girasol) y también se incluyen leguminosas como la soja y el haba que no necesitan abonos nitrogenados e incluso dejan una reserva de nitrógeno en el suelo disponible para los sucesivos cultivos. La única excepción se encuentra en el S4, que incluye el cultivo de remolacha, un cultivo muy productivo y exigente en todos los agroquímicos en general.

En cuanto a los costes en semillas, el sistema de referencia S1 presenta una ventaja clara con respecto a los sistemas integrados, ya que las semillas de trigo, cebada y colza son más baratas que cualquier otra especie de las utilizadas en los sistemas integrados. Además, las dosis de siembra de estos tres cultivos en producción integrada son más elevadas que en el sistema convencional. En el caso del sistema S4, el coste superior por este concepto se debe a los altos precios de la semilla de la remolacha.

Los costes de mecanización son mayores en todos los sistemas integrados. Tal como muestra la tabla 7, los sistemas más costosos en maquinaria son los sistemas S4 y S5,

mientras que el sistema S2 tiene costes más próximos al de referencia. Ello es consecuencia de los mayores costes fijos que deben afrontarse en la producción integrada, puesto que es necesario disponer de un mayor número de aperos, sobre todo cultivadores más polivalentes, escardadoras y binadoras, principalmente en el caso de los sistemas S4 y S5. En cambio, los costes variables son similares en todos los sistemas excepto en el S2, que es el que menos tiempo en labores consume y, por tanto, tiene unos menores costes de gasoil, lubricantes y reparaciones. El sistema S4 presenta los costes variables más elevados, de nuevo como consecuencia del cultivo de la remolacha.

Los datos analizados hasta aquí confirman los resultados de Pimentel et al. (2005), que verificaron un incremento del 30% en los costes de la maquinaria y un 25% en coste en semilla en sistemas innovadores sin aplicación de agroquímicos (sistemas ecológicos) con relación a un sistema convencional. En nuestro caso se observa la misma tendencia al reducir la aplicación de agroquímicos, con un aumento de los costes de mecanización que oscila entre el 4% (en S2) y el 24% (en S4). El coste de las semillas aumenta entre un 43% (en S5) y un 132% (en S4) con respecto al sistema de referencia.

La columna de costes totales finales muestra valores similares en todos los sistemas integrados salvo en el caso especial del sistema S4. Los costes del sistema de referencia S1 son ligeramente superiores (en un 15% como media) pues aunque los gastos en maquinaria son menores, no compensan el mayor desembolso en fitosanitarios. Entre los sistemas integrados, S2 y S5 son los que presentan menores costes, en el primer caso debido a los bajos costes variables de mecanización (consumo de carburante y lubricante) y en el segundo caso debido al menor gasto en productos fitosanitarios. El sistema S4 es el más costoso, por efecto del

Tabla 7. Costes de mecanización y de los productos utilizados en los sistemas (€/ha)
Table 7. Costs of mechanization and costs of inputs (€/ha)

Parcela	Costes de mecanización			Costes de los factores productivos					Total costes	Coste total medio	
	Fijo	Variable	Total	Fertilizantes	Semillas	Fitosanitarios	Otros*	Total			
S1	A7	175,2	65,9	241,2	68,6	35,7	186,1	-	290,4	531,6	524,35
	D1	169,7	71,1	240,8	66,6	32,6	177,0	-	276,3	517,1	
S2	A8	201,8	48,5	250,2	58,6	54,9	91,6	-	205,1	455,3	449,15
	D2	203,9	48,0	251,9	63,5	49,4	71,4	6,8	191,1	443,0	
S3	A6	208,5	63,5	272,0	55,9	60,4	85,1	23,5	224,9	496,9	471,4
	D3	208,8	57,2	266,0	52,2	61,7	65,1	0,9	179,9	445,9	
S4	A5	225,4	70,5	295,8	77,7	78,6	49,0	72,2	277,6	573,4	564,5
	D5	230,0	73,9	303,9	55,9	80,5	64,6	50,8	251,7	555,6	
S5	A1	230,1	66,8	296,9	66,9	54,7	42,9	11,7	178,1	475,0	442,25
	D4	217,6	63,5	281,1	61,9	43,1	22,0	-	128,3	409,5	

*Otros costes: coste del riego, y en el sistema S4, coste del agua y recolección de la remolacha.

Tabla 8. Margen económico y ratios de rentabilidad horaria de los diferentes sistemas
Table 8. Economic margin and labor profitability ratio of different systems

Parcela	Ingresos (€/ha)		PAC	Costes (€/ha)			Margen neto(€/ha)	Media (€/ha)	€/hora trabajada	€/hora Media
	Valor cosecha			Mecanización	Productos	Otros*				
S1	A7	920,6	330	241,2	290,4	322	397	362	82	71,5
	D1	815,9	330	240,8	276,3	302	327		61	
S2	A8	776,7	330	250,2	205,1	306	345	304	111	99,5
	D2	654,8	330	251,9	191,1	279	263		88	
S3	A6	597,9	330	272,0	224,9	253	178	193	42	48
	D3	584,6	330	266,0	179,9	260	208		54	
S4	A5	849,9 (592)	355	295,8 (255)	277,6(158)	300 (276)	331(258)	344 (253)	68(61)	67,5 (57)
	D5	866,3 (635)	355	303,9 (298)	251,7(172)	308 (273)	357(248)		67(53)	
S5	A1	820,5	330	296,9	178,1	312	364	318	79	70
	D4	631,2	330	281,1	128,3	279	273		61	

*Otros: Arriendo de la tierra, seguro de pedrisco, amortización de edificios, luz, agua teléfono y costes de gestión. MSA. En S4, las cifras entre paréntesis indican los resultados sin tener en cuenta el cultivo de remolacha.

cultivo de la remolacha, que eleva tanto los costes de maquinaria como los del resto de factores productivos.

En general se observa una tendencia a que los costes en maquinaria aumenten a medida que los costes en el resto de factores disminuyen, lo cual indica que existe cierto grado de sustitución entre el uso de maquinaria y el consumo de otros factores. Este resultado concuerda con los reflejados en el trabajo de Delate *et al.* (2003), en el que se compara una rotación convencional (maíz-soja) con rotaciones ecológicas (maíz-soja-avena y maíz-soja-avena-alfalfa) en las que no se aplican agroquímicos.

Ingresos y margen neto

Los resultados sobre los ingresos y márgenes económicos de los distintos sistemas se muestran en la tabla 8. El nivel de ingresos más elevado por la venta de la cosecha se obtiene en el sistema de referencia S1, debido a las mayores cosechas obtenidas. Estas cifras de cosecha se deben lógicamente al uso superior de abonos y fitosanitarios en este sistema. Trigo, cebada y colza son los cultivos extensivos que proporcionan más ingresos en la zona del estudio.

En el sistema S4 los ingresos son también elevados debido a la remolacha, que es un cultivo muy rentable y extendido en la zona. Los menores ingresos se registran en el sistema S3 (un 46% menos que en S1). La razón es que se lleva a cabo una rotación muy variada y algunos cultivos primaverales como la mostaza, soja y avena de primavera han tenido escasos rendimientos, y por tanto ingresos muy bajos. Por regla general, aquellos sistemas en que se han repetido más veces los cultivos del sistema de referencia (trigo, cebada y colza) son los que mayores ingresos obtienen, mientras que los sistemas que utilizan cultivos primaverales obtienen menos ingresos, pues, en gene-

ral, un cultivo de primavera es menos productivo que uno otoñal, y los precios de venta mayores de esos cultivos (soja, mostaza, girasol) no llegan a compensar las menores cosechas. Por otra parte, y como es bien sabido, una mejor gestión de las arvenses en sistemas integrados con aplicación limitada de productos químicos, requiere rotaciones en las que se incluyan cultivos de ciclo invernal y primaveral, aunque ello suponga mermar el rendimiento económico en alguna campaña.

Con respecto al resultado económico medido en margen neto por hectárea, el sistema de producción convencional es el más rentable. Dentro de los sistemas integrados, los sistemas S2 (técnicas culturales simplificadas) y S5 (sin herbicidas) son los más favorables desde el punto de vista económico, pues obtienen producciones relativamente altas mientras que sus costes son bajos, bien por el ahorro en costes de maquinaria (S2), bien por ahorro en consumo de fitosanitarios (S5). En magnitudes medias, el sistema S5 es el sistema integrado que obtiene mejores cifras económicas (318€/ha), por encima de S2 (304 €/ha).

Caso especial es el sistema S4, que presenta un margen por hectárea elevado como consecuencia del elevado rendimiento de la remolacha, si bien los costes de mecanización influyen de forma importante en el margen final. En ausencia de este cultivo especialmente rentable, el sistema S4 resulta una de las peores opciones, junto con el sistema S3, debido a que incluyen cultivos primaverales con muy bajo rendimiento (avena, soja o mostaza) pero necesarios en la rotación para gestionar las arvenses, si se quieren reducir los aportes de herbicidas.

Discusión

En esencia, es el valor de la cosecha el que determina el margen neto por superficie en

los distintos sistemas estudiados. Los resultados muestran que como media los sistemas integrados (de S2 a S5) tienen un margen neto entre un 5 y un 46 por ciento menor al sistema convencional S1 (entre 18 y 169 €/ha menos). Como media los sistemas integrados tienen un margen neto 72 €/ha menor que el sistema convencional, que podría llegar a 100 €/ha en el caso de no contemplar el cultivo de remolacha.

Sin embargo, esta conclusión debe matizarse si analizamos en detalle la rentabilidad de cada hora trabajada en cada sistema. Así, la ratio margen neto total por cada hora trabajada resulta más ventajosa en el caso del sistema integrado S2 en relación con el sistema de referencia, y también el sistema sin herbicidas S5 tiene una ratio muy semejante. Los sistemas S3 y S4 presentan una rentabilidad horaria menor.

Los resultados mostrados hasta aquí sugieren la necesidad de una evaluación de las posibles alternativas desde un punto de vista que considere no sólo la rentabilidad por superficie, sino también la rentabilidad temporal de la actividad y una mejor organización y reparto del trabajo en la explotación durante la campaña. Bajo esta perspectiva, algunos sistemas integrados pueden representar una alternativa interesante a la agricultura convencional. Así, por ejemplo, el sistema integrado basado en técnicas culturales simplificadas (S2) y el sistema de abandono de herbicidas (S5) pueden considerarse como buenas opciones, pues su rentabilidad económica por hora trabajada es mejor o similar a la producción convencio-

nal y tienen otras ventajas como la reducción o eliminación de herbicidas. El sistema S2 además, exige una presencia menor en el campo y no presenta ningún problema de acumulación de labores, lo cual puede representar una cualidad positiva en situaciones de escasez de mano de obra, circunstancia ciertamente limitante en muchas regiones.

Algunos otros trabajos en los que se comparan sistemas convencionales e integrados, como el de Leake (2000) y Pimentel *et al.* (2005) señalan unos resultados económicos similares para ambos sistemas, pues los menores valores obtenidos por las cosechas en producción integrada, son compensados por el ahorro en productos abonos y fitosanitarios.³ Por el contrario, Pardo *et al.* (2004) obtienen resultados económicos mejores eliminando abonos y herbicidas en ensayos con rotaciones de cereales, veza y barbecho, si bien el ensayo se localizó en una zona de clima semiárido. En tales casos el aporte de abonos y herbicidas generalmente no tiene un efecto positivo en la producción debido a la falta de agua y, por tanto, el ahorro en costes sí tiene una repercusión importante en el margen económico final. Por su parte, Delate *et al.* (2003) indican un beneficio un 25% mayor en las rotaciones ecológicas frente a las convencionales, lo cual se explica por haber obtenido cosechas similares en ambos sistemas.⁴ En todo caso, hay que tener en cuenta que en ninguno de estos trabajos se analizan las cuestiones organizativas ni la rentabilidad temporal de los dis-

3 En el estudio de Pimentel *et al.* (2005) se comparan concretamente rotaciones convencionales y ecológicas de cereales y leguminosas

4 Las rotaciones ensayadas fueron maíz-soja en el sistema convencional y maíz-soja-avena y maíz-soja-avena-alfalfa en sistemas ecológicos sin agroquímicos.

tintos sistemas, por lo que las conclusiones podrían variar si se consideraran.

Por supuesto, los resultados de los sistemas serían más ventajosos si los cultivos integrados pudieran comercializarse con un sello distintivo para abastecer una demanda cada vez más sensible a las cuestiones ambientales, tal como sucede ya en el caso de otros productos denominados "ecológicos", cuyos precios de mercado son más elevados que los convencionales. Nuestros resultados indican que el precio de venta de los productos de agricultura integrada debería ser un 15% superior como media para que los márgenes netos fueran similares a los de la agricultura convencional. En esa misma línea, el trabajo de Welsh (1999) calcula que los precios de los productos ecológicos deben ser alrededor de un 35% más elevados para igualar los resultados de las rotaciones convencionales.

Conclusión

A modo de conclusión puede decirse que los sistemas de control integrado incrementan los costes de maquinaria, disminuyen los costes asociados a la aplicación de pesticidas, disminuyen el margen neto por hectárea de la explotación al obtener peor cosecha pero pueden aumentar el margen neto por hora trabajada en comparación con el sistema convencional. Por tanto, la decisión sobre la implantación de sistemas integrados de producción debe considerar los aspectos agronómicos, ambientales económicos y organizativos de forma conjunta. A este respecto, la creciente demanda de productos agrarios de calidad, obtenidos mediante técnicas respetuosas con el medio ambiente, abre la posibilidad de comercializarlos con precios de mercado más elevados, lo que puede fortalecer aún más la apuesta por estos sistemas en algunas regiones.

Bibliografía

- Anónimo, 1998. Référentiel des jours agronomiquement praticables. Côte d'Or. Etude réalisée à partir des résultats de l'Opération Secteur de Référence Drainage (Décembre 1995), Chambre Régionale de l'Agriculture de Bourgogne, Chambre d'Agriculture de Saône et Loire.
- Barème d'entraide-Est, 2006. Les références des fédérations de CUMA de Bourgogne, Franche-Comté, Lorraine et Alsace.
- Brumfield RG, Rimal A, Reiners S, 2000. Comparative cost analyses of conventional, integrated crop management, and organic methods. *Hort Technology* 10: 785-793.
- Chikowo R, Faloya V, Munier-Jolain NM, 2007. The performance of Integrated Weed Management for containing weeds at the cropping system level in field crops. En revisión.
- Cuma, 2007. Guide des prix de revient et des références techniques. Bourgogne. Conseil régional.
- Delate KM, Duffy M, Chase C, Holste A, Friedrich H, Wantate N, 2003. An economic comparison of organic and conventional grain crops in a long-term agroecological (research LTAR) site in Iowa. *American Journal of Alternative Agriculture* Vol. 18 (2): 59-69.
- Granatstein D, 2003. Tree Fruit Production with Organic Farming Methods. Wenatchee (WA): Center for Sustaining Agriculture and Natural Resources, Washington State University. (<http://organic.tfrec.wsu.edu/OrganicFPI/OrganicFruitProduction/OrganicMgt.PDF>; 26 April 2005)
- Jouy L, Munier-Jolain NM, 2001. Gestion de l'interculture, désherbage et protection des cultures. En: *Du labour au semis direct : enjeux agronomiques*. INRA, Paris, 18-20.
- Karlen DL, Duffy MD, Colvin TS, 1995. Nutrient, labor, energy, and economic evaluations of two farming systems in Iowa. *Journal of Production Agriculture* 8: 540-546.
- Lal R, Regnier E, Eckert DJ, Edwards WM, Hammond R, 1991. Expectations of cover crops for

sustainable agriculture. In *Cover Crops for Clean Water*, ed. Hargrove, WL, pp.1-11. *Soil and Water Conservation Society Publication*, Ankey, USA.

- Leake A, 2000. The development of integrated crop management in agricultural crops: comparisons with conventional methods *Pest Management Science* 56, 950-953.
- Lemerle D, Verbeek B, Cousens RD, Coombes N, 1996. The potential for selecting wheat varieties strongly competitive against weeds. *Weed Res.* 46, 505-513.
- Lemerle D, Murphy C, 2000. Cultural management of weeds. In: Sindel BM, (Ed.), *Australian Weed Management Systems*, RG and FJ Richardson, Melbourne, pp. 123-138.
- Munier-Jolain N, Chauvel B, Gasquez J, 2005. Stratégies de Protection Intégrée contre les adventices des Cultures: le retour de l'agronomie. En: *Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement*. Ed C Regnault-Roger. Lavoisier, Paris. pp. 411-430.
- Pardo G, Aibar J, Villa F, Fernández-Cavada S, Eslava M, Zaragoza C, 2004. Estudio económico de distintos sistemas agrícolas para cultivo de cereales en secano semiárido. *ITEA*, Vol. 100 (2) 121-131.
- Pimentel D, Hepperly P, Hanson J, Doups D, Seidel R, 2005. Environmental, Energetic, and Economic Comparisons of Organic and Conventional Farming Systems *BioScience*. 7 (55) 573-782.

Rasmussen J, 1993. Can high densities of competitive weeds be controlled efficiently by harrowing or hoeing in agricultural crops? *Communications of the 4th International Conference I.F.O.A.M. Non Chemical Weed Control*, Dijon, France, 85-89.

- Rasmussen IA, 2004. The effect of sowing date, stale seedbed, row width and mechanical weed control on weeds and yields of organic winter wheat. *Weed Research* 44, 12-20.
- Rosace, 2005. MC3. Réseau d'Observation des Systèmes Agricoles pour le Conseil et les Etudes. Exploitation céréalière de 100 à 200 ha à fort potentiel agronomique et possédant une culture à haute valeur ajoutée. Chambre d'agriculture de la Bourgogne.
- Sorby K, 2002. What Is Sustainable Coffee? Background paper to the World Bank Agricultural Technology Note 30. Washington (DC): World Bank.
- Swanton CJ, Shrestha A, Clements DR, Booth BD, Chandler K, 2002. Evaluation of alternative weed management systems in a modified no-tillage corn-soybean-winter wheat rotation: weed densities, crop yield, and economics. *Weed Science* 50 (4): 504-511.
- Welsh R, 1999. The economics of organic grain and soybean production in the Midwestern United States. Policy studies Report No. 13. H.A. Wallace Institute for Alternative Agriculture, Greenbelt, Md.

(Aceptado para publicación el 25 de abril de 2008)