



Cultivo ecológico

en agrosistemas cerealistas

ANA PILAR ARMESTO, ALBERTO LAFARGA, JUAN ANTONIO LEZAUN

en los últimos años se ha producido una fuerte sensibilización de la población de los países desarrollados por el tema medioambiental que supone un retorno hacia lo "natural", mucho más patente en el sector de la alimentación.

La producción de cultivos extensivos sin utilizar aportes de elementos químicos de síntesis, conlleva un cambio en las técnicas de cultivo actuales que ofrezcan soluciones principalmente a dos cuestiones:

- Satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo.
- Luchar contra la competencia de las hierbas adventicias.

Desde el Instituto Técnico y de Gestión Agrícola (ITGA) se trabaja para desarrollar y divulgar este tipo de técnicas de cultivo. Nuestro trabajo busca aplicar los principios básicos de la agricultura ecológica en los cultivos extensivos de Navarra, principalmente en los cereales de invierno, campo en el que existe una demanda creciente.

La línea de trabajo iniciada en 1995 por el ITGA trata de encontrar soluciones a las dos cuestiones planteadas. En primer lugar se ha acotado la zona de trabajo, haciendo especial hincapié en las áreas más áridas de nuestra geografía basándonos en tres principios:

- Tradicionalmente, las técnicas de cultivo en estas zonas son muy próximas a lo que podemos entender como cultivo ecológico.
- Son zonas de escasa rentabilidad económica, que puede aumentarse cuando se dedican a una producción de calidad con precio diferenciado.
- En las zonas con baja pluviometría, la restricción de fertilizantes no implica pérdidas de rendimiento graves.

material y métodos

> Descripción de los ensayos

Durante 8 años (1996-2004) el ITG ha realizado un experimento agronómico en una parcela ubicada en Olite para estudiar globalmente las posibilidades técnicas del sistema de cultivo ecológico frente al sistema de cultivo tradicional en la zona.

La finalidad de este proyecto ha sido poner a punto y valorar diversas técnicas de producción alternativas sostenibles y compatibles con la protección del medio ambiente, en los agrosistemas cerealistas de secanos semiáridos.

El sistema de cultivo tradicional utiliza productos químicos de síntesis para el desherbado y la fertilización de los cultivos y, por el contrario, la producción ecológica es un sistema de producción que prescinde de este tipo de elementos.

Los trabajos para la fertilización se apoyan en una rotación que pone a disposición de los cereales el nitrógeno mineralizado en el año de barbecho y el incorporado con el cultivo de leguminosas. Se ha trabajado la fertilización con materias orgánicas compostadas aportadas al suelo en presiembra del cereal y además en los últimos 4 años se han valorado otro tipo de técnicas, como la asociación de cultivos de cereal y leguminosa o el empleo de materias orgánicas como fertilizantes en postemergencia (para más información consultar Navarra Agraria nº 126).

La lucha contra las hierbas competidoras con el cultivo ha utilizado siempre medidas preventivas para mantener las poblaciones de adventicias con una baja densidad. Se diseñó el ensayo sobre una rotación que no repite el cultivo de cereales en años sucesivos. Los

años que no hay cultivo de cereal en la parcela se utilizan para rebajar la cantidad de semillas existente en el suelo con cultivos como forrajes y barbecho provocando su germinación y eliminación posterior. Estas medidas se han complementado con una "falsa siembra" que retrasa la fecha de siembra de cereal unos días respecto a las fechas de siembra habituales en la zona. Una vez establecidos los cultivos, hemos valorado la eficacia de una labor con grada de varillas para eliminar las adventicias presentes en la parcela. (Para conocer los detalles de este trabajo puede consultarse la revista Navarra Agraria nº 120).

1. Rotación de cultivos

Para un manejo ecológico de los cultivos es preciso establecer, en primer lugar, una rotación de diferentes especies. El monocultivo de cereal existente en la mayor parte de las comarcas hace inviable el uso de sistemas ecológicos de producción.

En nuestro experimento no se ha estudiado el efecto rotacional de los cultivos, sino que se ha elegido una rotación cuatrienal apta para el sistema de cultivo que se pretende estudiar: Barbecho, cebada, leguminosa y trigo. Este ensayo se ha realizado en dos parcelas de forma que cada campaña existían 2 hojas de cultivo (impar y par) y durante estos 8 años se han repetido dos ciclos rotacionales completos. (Ver cuadro inferior de historial de parcelas)

El cultivo de cebada ha sido precedido en todos los casos de un año de barbecho, mientras que el precedente de trigo duro ha sido un cultivo de veza incorporado como abono verde.

CULTIVO ECOLÓGICO EN OLITE. HISTORIAL DE PARCELAS

| COSECHA | ciclo 1 | | | | ciclo 2 | | | |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
| PARCELA | impar |
| ENSAYO | CE-97-046 | CE-98-046 | CE-99-046 | CE-00-046 | CE-01-046 | CE-02-046 | CE-03-046 | CE-04-046 |
| CULTIVO | cebada | veza | trigo duro | barbecho | cebada | veza | trigo duro | barbecho |
| F. SIEMBRA | 2-12-96 | 24-10-97 | 10/11/1998 | | 10-11-00 | 30-10-01 | 16-12-02 | |
| VARIEDAD | CAMELOT | SENDA | ANTON | | SCARLET | TOPACE | ANTON | |
| Dosis de siembra | 400 sem/m ² | 100 kg/ha | 450 sem/m ² | | 300 sem/m ² | 100 kg/ha | 450 sem/m ² | |
| PARCELA | par |
| ENSAYO | CE-97-035 | CE-98-035 | CE-99-035 | CE-00-035 | CE-01-035 | CE-02-035 | CE-03-035 | CE-04-035 |
| CULTIVO | barbecho | cebada | veza | trigo duro | barbecho | cebada | veza | trigo duro |
| F. SIEMBRA | | 9-12-97 | 30/10/1998 | 29/11/1999 | | 13-11-01 | 1-10-02 | 13-11-03 |
| VARIEDAD | | CAMELOT | SENDA | ANTON | | HISPANIC | TOPACE | ANTON |
| Dosis de siembra | | 400 sem/m ² | 100 kg/ha | 450 sem/m ² | | 350 sem/m ² | 100 kg/ha | 450 sem/m ² |



2. Fertilización

En los trabajos realizados siempre se han incorporado al suelo todos los restos de los cultivos. Para estudiar la fertilización se han planteado 3 experiencias.

1ª Experiencia:

En una de ellas se han comparado 3 niveles de fertilización durante 8 años en una parcela donde se ha efectuado la rotación descrita en el apartado anterior. Los niveles en este ensayo han sido:

- Fertilización con abono orgánico: 2.500 kg/ha de compost en presiembra del cereal.
- Fertilización con abono químico: 60-60-50 UF/ha de N-P-K, referencia en agricultura tradicional.
- Testigo sin fertilización.

2ª y 3ª Experiencia

En las otras dos experiencias se ha trabajado con cebada en monocultivo durante los últimos 4 años. Por un lado, en la segunda de ellas, se comparan el monocultivo de cebada con y sin fertilización frente a la asociación de cebada y guisante a distintas dosis de siembra de cada uno de ellos. Las variantes son:

- Testigo sin fertilizar.
- Cebada $\frac{1}{2}$ dosis siembra + guisante $\frac{1}{2}$ dosis de siembra.
- Cebada $\frac{1}{2}$ dosis siembra + guisante $\frac{3}{4}$ dosis de siembra.
- Cebada $\frac{3}{4}$ dosis siembra + guisante $\frac{1}{2}$ dosis de siembra.
- Cebada $\frac{3}{4}$ dosis siembra + guisante $\frac{3}{4}$ dosis de siembra.

- Fertilización química convencional 60-60-50 UF/ha de N-P-K.

En la campaña 2001 se sembró la variedad Scarlet y la dosis de referencia fue 300 semillas/m². En las campañas 2002, 2003 y 2004 se sembró la variedad Hispanic a la dosis de 350 semillas/m². La variedad de guisante utilizada ha sido Gracia y la dosis de referencia en las cuatro campañas ha sido 100 kg/ha.

La tercera experiencia trata de valorar diferentes formas de fertilizantes orgánicos comparadas con un testigo sin fertilizar y la fertilización química convencional.

3. Deshierbe

En la parcela ya comentada, donde se ha efectuado la rotación de cultivos descrita antes, y después de realizar la "falsa siembra", se ha valorado la eficacia de los deshierbes de postemergencia, bien por medios químico o mecánicos comparando con el testigo sin desherbar. Las variantes estudiadas en el ensayo son:

- Testigo sin desherbado en un sistema de siembra tradicional (siembra con sembradora de chorrillo a las dosis de 300 semillas/m² en el caso de cebada y 450 semillas/m² en el caso del trigo duro, con una separación entre líneas de 13 cm).
- Sistema de siembra tradicional y desherbado mecánico. Supone la utilización de una grada de varillas flexibles en el estado de 3-4 hojas del cereal.
- Sistema de siembra tradicional y desherbado químico. Aplicación de los herbicidas necesarios según la flora de adventicias presente. Tratamiento de referencia en agricultura convencional.

resultados

> Análisis de resultados



Climatología

Las condiciones climáticas han sido dispares en los años de experimentación. En la tabla se recogen las precipitaciones y la temperatura media de estos años y se comparan con las históricas (1Q=primer quintil o media de mínimas, M=mediana, 4Q=cuarto quintil o media de máximas). Los datos corresponden a la estación climática de Olite.

Según se observa, en el periodo invernal encontramos tres años secos (1998, 2000 y 2002), otros dos próximos a la media (1999 y 2001) y dos más lluviosos de lo normal (2003 y 2004). Al analizar el periodo de primavera, aparece una campaña muy seca (la del 2000-2001), el resto se sitúa alrededor de la media de la zona. En general podemos decir que el primer ciclo se ha caracterizado por cuatro años de pluviometrías próximas a la media, y en el segundo ciclo la peculiaridad han sido los dos últimos años, con pluviometrías superiores a la media

| CAMPAÑA | Pluviometría en l/m ² OTOÑO (Sep-Dic) | Pluviometría en l/m ² INVIERNO (Ene-Mar) | Pluviometría en l/m ² PRIMAVERA (Abr-Mayo) | Pluviometría en l/m ² CAMPAÑA (Sep.-Mayo) |
|------------|--|---|---|--|
| 1996-1997 | 147 | 105 | 92 | 343 |
| 1997-1998 | 184 | 61 | 81 | 326 |
| 1998-1999 | 142 | 89 | 111 | 342 |
| 1999-2000 | 199 | 19 | 112 | 330 |
| 2000-2001 | 206 | 97 | 33 | 336 |
| 2001-2002 | 120 | 57 | 70 | 247 |
| 2002-2003 | 163 | 167 | 62 | 391 |
| 2003-2004 | 254 | 121 | 110 | 485 |
| 1 Q | 69 | 46 | 43 | 158 |
| M | 154 | 107 | 101 | 362 |
| 4 Q | 288 | 195 | 157 | 639 |

1Q = primer quintil o media de mínimas, M = mediana, 4Q = cuarto quintil o media de máximas



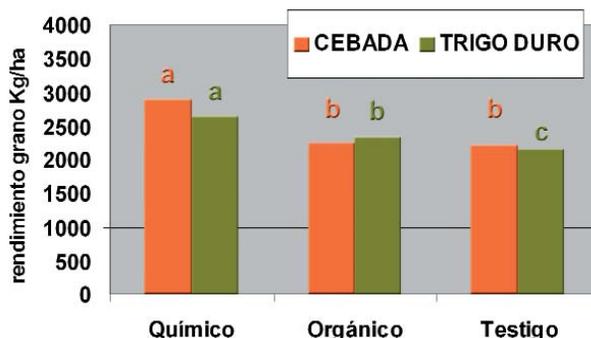
La fertilización

Parcelas de cultivo de cereal.

Según se observa claramente, la fertilización química produce un incremento significativo de cosecha de cebada respecto al testigo sin fertilizar, y el aporte de 2.500 kg/ha de compost no permite aumentar el rendimiento. Sin embargo, en el caso de trigo duro, que va precedido de un cultivo de veza incorporado al suelo como abono verde, se ha observado un aumento del rendimiento con la aplicación de abono orgánico con respecto al testigo sin fertilizar, aunque el rendimiento sigue siendo inferior al aporte de nitrógeno de síntesis.

Los resultados obtenidos en el cultivo de cebada han sido coincidentes en los dos ciclos: la fertilización química nos permite incrementar significativamente el rendimiento de grano al aplicar 60 UFN/ha en cobertera (mediados de ahijado). Sin embargo los rendimientos

GRÁFICO 1.
ENSAYO ECOLÓGICO DE OLITE. ANÁLISIS 4 CAMPAÑAS
RENDIMIENTO DE CEBADA Y TRIGO DURO.
COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN.



del ensayo de trigo duro difieren al comparar los dos ciclos, en el primer ciclo la aplicación de fertilizante orgánico (2.500 kg/ha de compost) ha sido la mejor opción, mientras que en el segundo ciclo el rendimiento es inferior en los tratamientos que no reciben aporte de abonos químicos. Podemos encontrar una explicación a este hecho si observamos la diferencia de precipitaciones en el periodo invernal. El exceso de lluvias en los últimos 2 años provocó un lavado del nitrógeno que se había mineralizado en el periodo de verano y otoño proveniente del cultivo de veza y de la mineralización de la materia orgánica del suelo. Por el contrario el fertilizante nitrogenado aportado en la primavera ha sido correctamente utilizado por el cultivo, manifestándose este efecto en la cosecha.

Parcelas de cultivo de veza.

La veza ha ocupado su lugar en la rotación para su incorporación como abono verde como precedente de trigo duro. Los rendimientos se recogen en el gráfico, teniendo en cuenta que la fertilización no se aplicó a la veza, sino que fue aplicada el año anterior, sobre un cultivo de cebada.

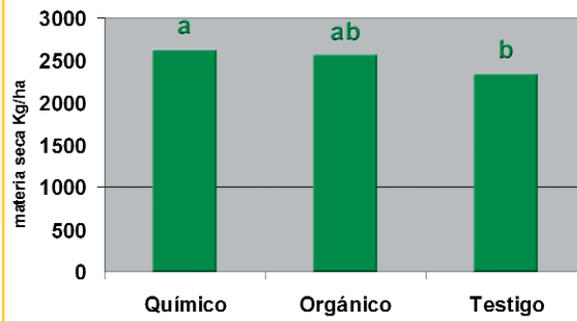
Cultivo asociado de leguminosa y cereal.

Los resultados de los cuatro años de ensayo sobre la misma parcela han sido muy interesantes ya que los incrementos de rendimiento de la asociación de cereal y leguminosa con respecto al testigo sin fertilizar son del orden del 20% y el descenso frente a la aportación de N mineral es también en el peor de los casos del 30%.



No se han encontrado diferencias de rendimiento entre la distintas combinaciones de dosis de siembra de cebada y guisante. La diversificación de siembra con especies de diferentes necesidades

GRÁFICO 2.
ENSAYO ECOLÓGICO DE OLITE. ANÁLISIS 4 CAMPAÑAS.
RENDIMIENTO DE VEZA.
COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN.



| INDICES rendimiento Kg/ha TRATAMIENTOS | Campañas | | | | Media campañas | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|----------|
| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | | |
| Cebada dosis referencia + fert. química | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | a |
| Cebada 1/2 dosis + guisante 75 kg/ha | 74 | 86 | 67 | 87 | 79 | b |
| Cebada 3/4 dosis + guisante 75 kg/ha | 75 | 88 | 63 | 78 | 76 | b |
| Cebada 3/4 dosis + guisante 50 kg/ha | 66 | 91 | 56 | 72 | 71 | b |
| Cebada 1/2 dosis + guisante 50 kg/ha | 63 | 82 | 66 | 74 | 71 | b |
| Cebada dosis referencia | 51 | 85 | 48 | 39 | 56 | c |
| Cebada dosis referencia + fert. Química Kg/ha | 2385 | 2720 | 1440 | 1744 | | |

climáticas supone menor riesgo frente a las adversidades climatológicas.

En un análisis a medio plazo, cualquier proporción de siembra resulta válida, puesto que en años secos la cebada domina sobre el guisante y si los rendimientos son bajos, la densidad de siembra de cebada se ha mostrado como un factor secundario. Por el contrario, si nos encontramos con primaveras húmedas el guisante puede competir con la cebada, y además de mantener el rendimiento, supone una reserva de N en el suelo para el año siguiente. El peor de los casos se manifestó en la campaña 2003, cuando las elevadas lluvias de invierno favorecieron la aparición de procesos de asfixia y enfermedades en el guisante y provocaron un fuerte lavado del N mineral disponible en el suelo.

Diferentes tipos de fertilizantes

Los resultados de este ensayo no muestran incremento de rendimiento al aplicar compost en pre-siembra, corroborando los resultados comentados anteriormente en el otro ensayo, ni incluso duplicando la dosis aportada. Se ha introducido una fuente orgánica con Nitrógeno de asimilación rápida aplicado en la primavera (Experimental 1) y su resultado se acerca al obtenido con Nitrógeno de síntesis. Este tipo de productos todavía no están admitidos para su uso en producción ecológica.

| TRATAMIENTOS | Campañas (rendimiento qm/ha) | | | | Indice medio ref. fert. Química |
|------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|
| | CE-01-038 | CE-02-038 | CE-03-038 | CE-04-038 | |
| fertilización química | 23,85 | 27,20 | 14,40 | 17,44 | 100 |
| Experimental 1 | | | 11,97 | 11,58 | 85 |
| Experimental 2 | | | 7,45 | 7,99 | 56 |
| 2500 kg/ha de compost | 12,79 | 22,20 | 6,64 | 7,52 | 54 |
| 5000 kg/ha de compost | 14,79 | 23,30 | 6,66 | 5,72 | 53 |
| TESTIGO SIN N | 12,14 | 23,21 | 6,95 | 6,80 | 53 |
| Media campaña | 15,89 | 23,98 | 9,01 | 9,51 | |

La otra opción estudiada (Azobac) consiste en aplicar bacterias nitrificantes, bien sobre la semilla previo a la siembra o al suelo en la primavera (Experimental 2). Los resultados no son satisfactorios, si bien hay que estudiar mejores formas de aplicación que permitan una buena instalación de las bacterias.



Las Hierbas Adventicias



Parcelas de cultivo de cereal.

Para luchar contra las malas hierbas presentes en el cultivo se utiliza una combinación de principios agronómicos (rotación de cultivos, retraso

de la fecha de siembra y métodos de control postemergencia). En nuestro caso, la combinación de ellos ha dado como resultado la casi nula aparición de malas hierbas en los años del proyecto por lo que las diferencias entre los tratamientos de deshierbe no son significativas.

Las medidas preventivas constituyen las únicas herramientas para mantener la parcela libre de malas hierbas. El año de barbecho permite laborear para provocar la germinación y nascencia de las semillas presentes en el suelo que son eliminadas con nuevos laboreos, y si existen condiciones de humedad y temperatura se producirán nuevas nascencias que podrán eliminarse con posterioridad. Los cultivos de recolección temprana como la veza, cortada antes de que las hierbas produzcan semillas viables, nos permite el mismo efecto de purga de malas hierbas.

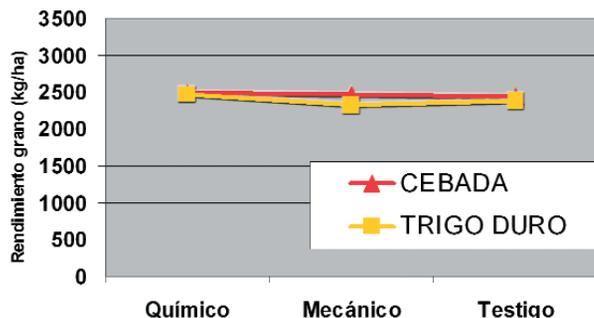
Si estas herramientas no se usan bien, el peligro de contaminación con semillas provenientes de hierbas sin eliminar es muy alto y difícil de corregir cuando no hay posibilidad de emplear herbicidas de síntesis.

Lo sucedido en la campaña 2001-02 resulta muy ilustrativo de este aspecto. Las lluvias posteriores a la siega del forraje provocaron el rebrote de las malas hierbas (vallico y amapola principalmente) que no fueron eliminadas por un laboreo posterior y produjeron semillas que nacieron al año siguiente cuando se sembró el trigo duro. En la tabla se recoge la población de las especies de adventicias presentes en el cultivo de trigo duro en la campaña 2002-03 y la eficacia obtenida con la escarda mecánica.

POBLACIÓN DE MALAS HIERBAS PREVIO AL TRATAMIENTO.

| Especie | Tratamiento de deshierbe | | | Eficiencia (%) Deshierbe mecánico |
|------------------------------|--------------------------|----------|---------|--------------------------------------|
| | Testigo | Mecánico | Químico | |
| Vallico (pl/m ²) | 78 | 66 | 23 | 21,0 |
| Amapola (pl/m ²) | 18 | 15 | 10 | 95,4 |

GRÁFICO 3.
ENSAYO ECOLÓGICO DE OLITE. ANÁLISIS 4 CAMPAÑAS
RENDIMIENTO DE CEBADA Y TRIGO DURO.
COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS DE DESHIERBE.



El efecto de la población de malas hierbas sobre la cosecha de trigo duro en 2002-03 se resume en la siguiente tabla:

| Tratamientos deshierbe | Químico | Mecánico | Testigo | Media |
|-------------------------|---------|----------|---------|-------|
| Rendimiento 12% (kg/ha) | 1460 a | 1248 b | 1103 b | 1.270 |
| Humedad recolección (%) | 11,0 a | 10,9 a | 10,9 a | 1.102 |
| Peso específico (kg/hl) | 77,6 a | 76,8 a | 75,7 a | 76,8 |
| Calibre (%>2,2mm) | 86,7 | 81,9 | 79,2 | 82,6 |
| Peso de mil granos (g) | 29,5 a | 30,1 a | 27,8 b | 29,2 |

Es necesario un manejo adecuado con labores preventivas todos los años para mantener la población de adventicias en un nivel que no cause pérdidas de rendimiento. La labor de escarda con una grada de varillas flexibles en postemergencia del cultivo y de las malas hierbas es eficiente contra adventicias como *Papaver roeas* (amapola, ababol) y otras, pero resulta muy poco eficaz contra gramíneas como el caso de *Lolium rigidum* (vallico). Cuando se alcanzan poblaciones como las de este ensayo, los rendimientos de trigo duro con herbicidas químicos son superiores a los obtenidos en parcelas sin desherbar. El deshierbe mecánico ha sido muy eficaz contra amapola (95%), pero resulta insuficiente contra vallico por lo que no ha sido suficiente para aumentar significativamente el rendimiento.





SPLENDOR 25 SC

Para el control de Avena loca y Vallico

**Una flexibilidad
Spléndida
para el cereal**





Conclusiones

La rotación de cultivos es el eje donde se sustenta la producción ecológica, que no utiliza agroquímicos de síntesis. En nuestro caso se ha adoptado una alternancia entre un cultivo para producción

de grano y un año improductivo ocupado por un barbecho o por una leguminosa. Es preferible utilizar un mayor número de cultivos para obtener rotaciones más largas, pero el breve periodo de duración del proyecto y la escasa adaptación de especies al cultivo en clima semiárido nos impidió abordar este aspecto.

Se ha constatado que, si se suprimen los fertilizantes químicos de síntesis (nitrógeno principalmente), se produce una pérdida de rendimiento tal como se esperaba en un principio.

En las zonas áridas el factor limitante es la falta de precipitaciones, por lo que puede ser asumible un pequeño descenso de rendimiento al dejar de utilizar los fertilizantes químicos cuando la cosecha tenga un precio diferenciado.

La aportación de compost a las dosis ensayadas no ha producido ningún incremento de cosecha de cebada. En el caso del cultivo de trigo duro sin embargo sí ha existido respuesta positiva a este aporte, aunque no es comparable con la de los fertilizantes nitrogenados de síntesis.

La leguminosa resulta la mejor opción para obtener fertilizantes nitrogenados baratos en cultivo ecológico. En el cultivo que sigue a un enterrado de veza no se ha mejorado el rendimiento al aplicar fertilizante de síntesis en dos ensayos de los cuatro realizados en el periodo 1996/2004.

La opción de asociar los cultivos de cereal y leguminosa es muy interesante cuando no exista

posibilidad de incorporar leguminosas a la rotación. Si la cosecha se destina a pienso no plantea trabajos añadidos, en caso contrario deberá separarse el grano de las dos especies.

El laboreo de los barbechos favorece la mineralización de la materia orgánica del suelo que quedará disponible en el suelo para el cultivo siguiente. En zonas de escasas precipitaciones en el periodo invernal, el riesgo de pérdida de ese nitrógeno por lavado es bajo, no obstante deberá tenerse en cuenta en zonas de precipitaciones elevadas cuando no hay un cultivo que lo consuma.

Otra ventaja interesante del barbecho es la posibilidad de labrear el suelo en mejores condiciones.

Se puede mantener una baja población de adventicias en los cultivos utilizando medidas preventivas como la incorporación del barbecho y plantas forrajeras a la rotación y el retraso de la fecha de siembra ("falsa siembra").

El barbecho constituye la mejor herramienta para eliminar malas hierbas por métodos mecánicos, y en algunas grandes áreas de cultivo en zonas secas es una norma de obligado cumplimiento para ceder su aprovechamiento a los ganaderos.

El cultivo de especies forrajeras como la veza es otra gran herramienta de deshierbe, puesto que el laboreo y la siembra en fechas tempranas de octubre permite la nascencia a muchas de las semillas del suelo, y su recolección precoz en el mes de mayo permite eliminar las malas hierbas antes de que produzcan semillas viables que aumenten el banco de semillas del suelo.

Es posible la utilización de medios mecánicos como solución de urgencia, como la grada de varillas flexibles. Esta herramienta tiene una eficacia limitada, aunque es altamente eficaz contra *Sinapis arvensis* (ciape o florida) y *Papaver rhoeas* (ababol o amapola).

