

## **MANEJO DE AGROSISTEMAS DE CEREALES**

**Carlos Lacasta Dutoit (\*) y Ramón Meco Murillo(\*\*)**

(\*) Consejo Superior Investigaciones Científicas. Centro de Ciencias Medioambientales. Finca Experimental “La Higuera”, 45530 Santa Olalla. Toledo. España. E-mail: [csic@infonegocio.com](mailto:csic@infonegocio.com)

(\*\*) Servicio de Investigación y Tecnología Agraria., Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de Castilla-La Mancha, C/ Pintor Matías Moreno, 4. 45071 Toledo, España. [ramonmeco@jccm.es](mailto:ramonmeco@jccm.es)

### **INTRODUCCION**

Un país puede mejorar rápidamente sus cosechas de cereales, hasta que alcanza los límites ambientales y después ninguna cantidad de dinero, ingenio o fertilizante, logrará mejorar la producción. Tanto Francia como China fueron capaces de cuadruplicar sus rendimientos de cereales respecto al siglo pasado, pero EEUU, con toda su capacidad tecnológica, disponibilidad de fertilizantes y conocimientos agronómicos, no fue capaz de equiparar estos logros y en los últimos 13 años no ha conseguido mejorar los rendimientos (Brown, 1997). El mismo comportamiento ha tenido nuestros ambientes semiáridos. En la figura 1, reunimos los datos de 40 años del rendimiento de de cebada en rotación con otro cultivo (barbecho, girasol o leguminosas), en el mismo lugar, con un manejo parecido y utilizando fertilización química, recogidos en diferentes trabajos (Lacasta *et al.*, 1988, Lacasta y Meco, 1996 (1), Meco *et al.*, 2000, Lacasta, 2004). Para su elaboración hemos tomado los promedios de tres años, a fin de minimizar los efectos de las variaciones anuales. Por ejemplo el rendimiento de 1980 es un promedio del periodo 1979-1981 En la figura se observa que el rendimiento de esta zona está entre los 2000 y 3000 kg/ha, habiendo un pico en los años 80 que supera los 3000 kg/ha y un valle en los 90 que desciende por debajo de los 2000, ambas situaciones están relacionadas con las condiciones meteorológicas de esos años.

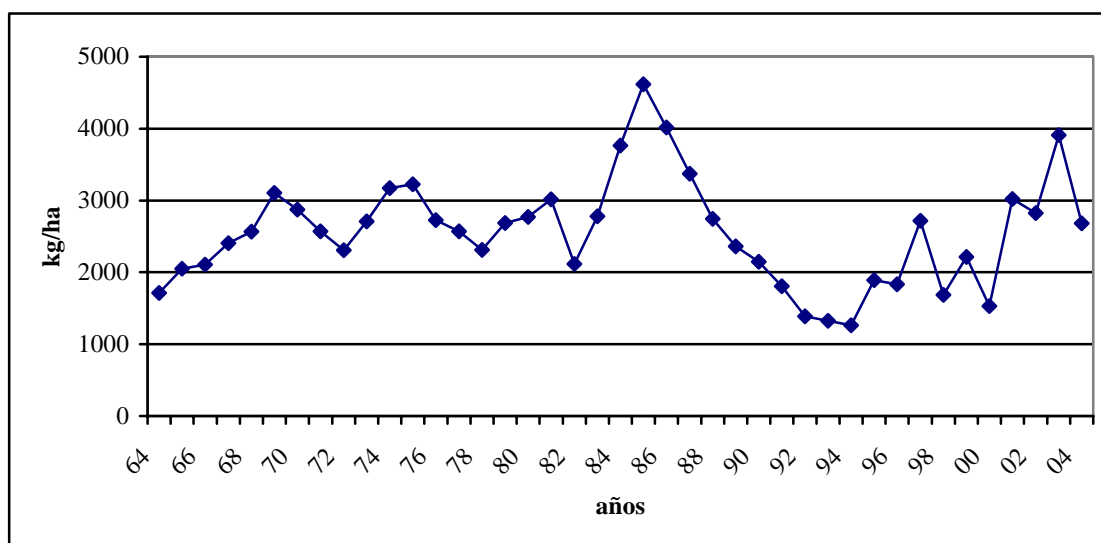


Fig. 1.- Evolución de los rendimientos de cebada en rotación con otro cultivo en Santa Olalla, Toledo.

En un estudio realizado en Castilla La Mancha, Fernández-Quintanilla y Gómez Fernández, en 1984 concluían que en los secanos españoles los incrementos en la productividad agrícola mediante aportes adicionales de energía externa son muy pequeños y costosos, obteniéndose beneficios económicos, en muchos casos, negativos.

El concepto de sostenibilidad que hoy en día se exige con mayor rigor en todos los niveles productivos, implica un grado de desarrollo que no comprometa, con el gasto de recursos no renovables, el futuro de las próximas generaciones. Por ello, el desarrollo tiene que excluir necesariamente la idea de infinitud y cambiarla por la de racionalidad.

Como resumen, los sistemas cerealistas de secano presentan las siguientes características: escasa rentabilidad, altas tasas de erosión, disminución alarmante del contenido en materia orgánica, pérdida de elementos fertilizantes solubles y graves implicaciones en procesos contaminantes. Esto, unido a una escasa biodiversidad al haber sido eliminados gran parte de los hábitats tanto de la flora como de la fauna autóctona, sitúan estos agrosistemas en un proceso de desertificación que, exige un cambio en su manejo si pretendemos su perdurabilidad.

El primer objetivo será restablecer los niveles de materia orgánica, mediante las propuestas siguientes.

- Restitución de los residuos agrícolas al suelo. El aporte de la paja de la cosecha de cereales durante 20 años supone pasar de 0,8 a 1,6 % de materia orgánica (López Fando, 1993)
- Disminución del laboreo. El cambio de la labor de vertedera por cultivador ha supuesto en 20 años pasar del 1 % a 1,25 % de materia orgánica (Lacasta, 2001) y ello sin detrimento de la productividad.

El segundo objetivo es hacer una agricultura rentable y sostenible. La rotación de cultivos es el sistema de manejo más adecuado para mantener la sustentabilidad de un agrosistema. Se entiende como rotación la sucesión de cultivos que se implantan en una misma tierra un número fijo de años. Son beneficiosas en los siguientes términos:

- Evitan el agotamiento del suelo. Cada especie explora un determinado volumen y a una determinada profundidad.
- Se produce una mejor gestión de los recursos hídricos del suelo.
- Permiten gestionar la humedad y temperatura del suelo para descomponer los residuos orgánicos incorporados.
- La presencia de especies mejorantes aumenta la fertilidad del suelo.
- Aumenta la solubilización de reservas.
- Disminuyen el riesgo de parásitos y enfermedades.
- Mejoran el control de hierbas.

El empleo de rotaciones de cultivos en las áreas cerealistas, incrementa el rendimiento del cereal (Lacasta y Meco, 1996 (1)), aumenta los niveles de elementos asimilables en el suelo (Lacasta y Bello, 1989), es una medida eficaz para el control de la flora arvense acompañante de los cultivos (García-Muriedas *et al.*, 1997), que unida a otras medidas culturales como siembras tardías y cultivo en líneas agrupadas (Meco y Lacasta, 1996 y Lacasta *et al.*, 1997), hace innecesario el uso de herbicidas. La

producción media de 19 años, la cebada en rotación rinde un 50% más que la cebada sembrada en monocultivo y con diferencias significativas en más de la mitad de los años (Fig. 2).

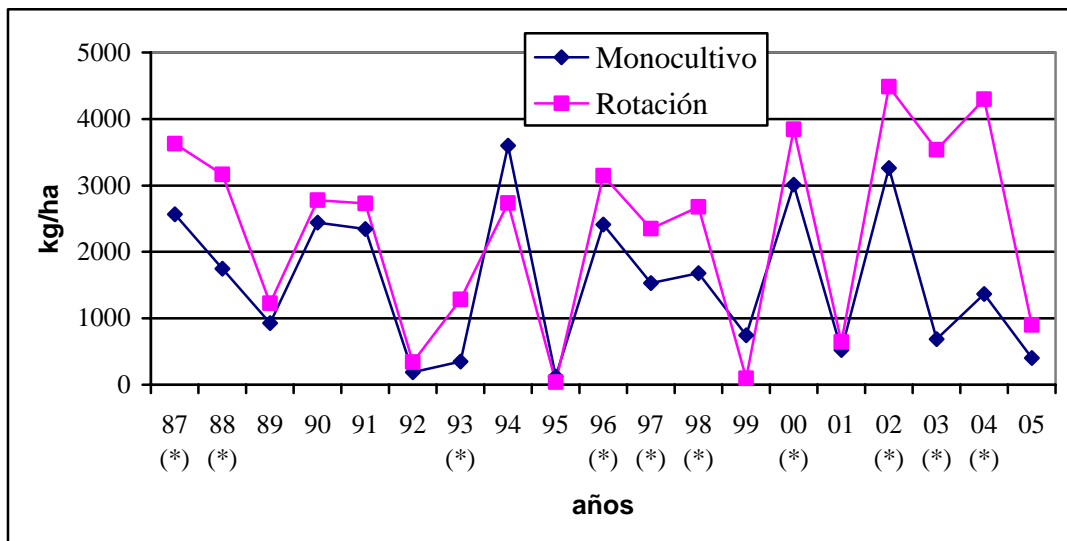


Fig.2.- Evolución de la producción de cebada en rotación y en monocultivo. (\*) indica diferencias significativas.

En una agricultura tan limitada por los factores ambientales, no podemos realizar el mismo tipo de agricultura que realizan nuestros vecinos del norte donde el potencial genético de las nuevas variedades se pueden expresar gracias a la eficiencia de los fertilizantes, al control de malas hierbas, plagas y enfermedades. Nuestras limitaciones ambientales para obtener mejores rendimientos, son también limitaciones para el desarrollo de plagas enfermedades, las rotaciones de cultivo limitan los problemas de malas hierbas, y los residuos de las cosechas se reciclan antes, permitiendo hacer una agricultura ecológica del secano español sin aplicación de ningún tipo de fertilización exógena, utilizando únicamente los residuos de las cosechas, que suponen más del 50% de la producción de biomasa del sistema. Diferentes resultados obtenidos en España (Meco *et al.*, 2000, Zaragoza *et al.*, 2000 y Lacasta y Meco, 2001) demuestran que este tipo de agricultura sin aplicación de fertilización orgánica o inorgánica no muestran prácticamente diferencias significativas. En un experimento de 12 años de antigüedad, Lacasta y Meco (2004) demuestran que la cebada ecológica en rotación produce hasta un 30% más que un monocultivo de cebada con aplicación de fertilización química y uso de herbicidas (Fig. 3), incluso cuando se analiza la producción anual (Fig. 4) se observa que la rotación ecológica produce más, prácticamente, todos los años y con diferencias significativas la mitad de ellos.

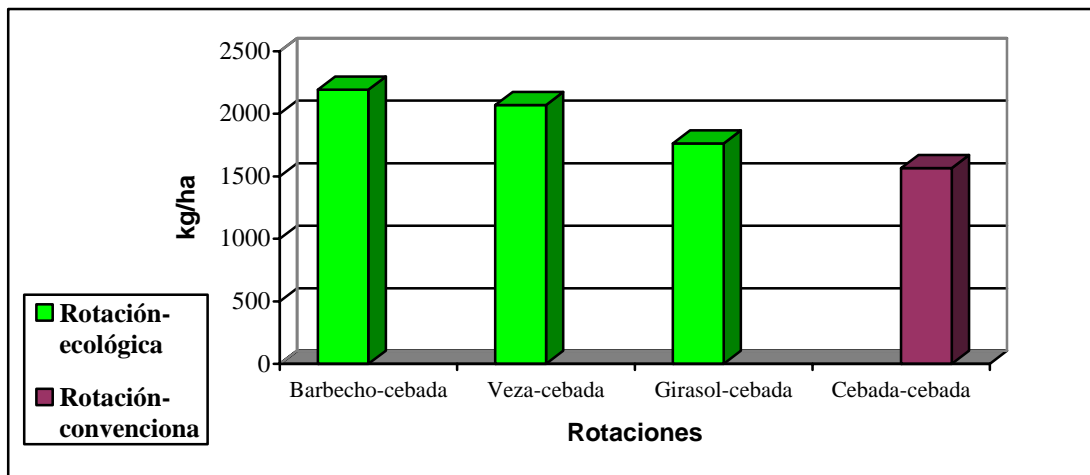


Fig. 3.- Producciones medias de cebada (12 años) de rotaciones ecológicas y convencionales.

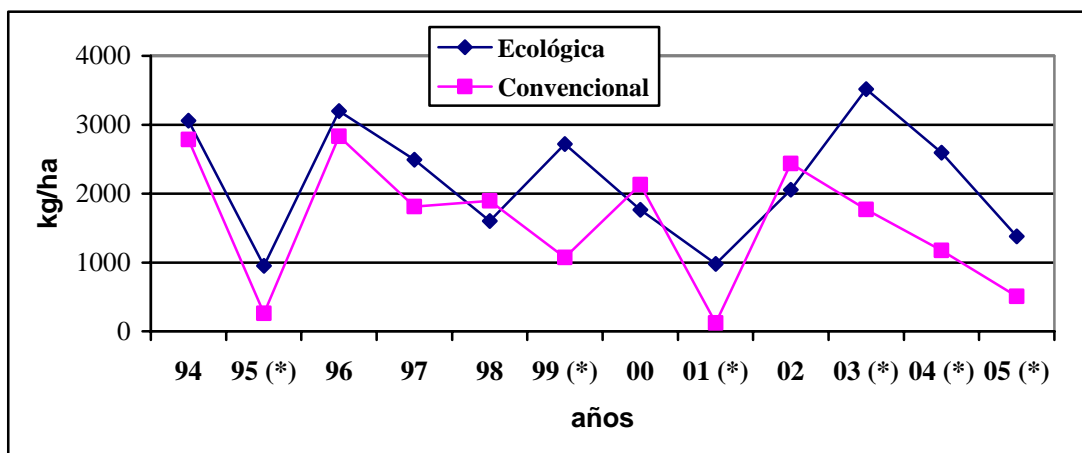


Fig. 4.- Evolución de las producciones de cebada en una rotación ecológica cebada-barbecho y en un monocultivo de cebada convencional. (\*) indica diferencias significativas.

La agricultura ecológica no es retornar a la agricultura tradicional ya que esta ha ido sufriendo cambios continuos en función de diferentes necesidades sociales. La agricultura ecológica nace como respuesta a los problemas ambientales generados por la agricultura de los últimos años y se beneficia de todo el desarrollo científico y tecnológico producido en el siglo XX, se ubica principalmente en una estructura agraria donde hay una separación de la producción agrícola y ganadera y si nos referimos a los agrosistemas de cereales del secano español en una crisis económica grave donde los costes de producción superan los ingresos por cosecha subsistiendo gracias a la Política Agraria Comunitaria (PAC) y cuando en el futuro próximo no sea necesario la presencia del cultivo para cobrar las subvenciones PAC, parte del territorio quedara inculco. En este marco es donde los autores creen que la agricultura ecológica puede ser la mejor alternativa para estos agrosistemas, ya que puede mantener una productividad de calidad y económicamente viable y desde el punto de vista ambiental aumentar la biodiversidad, el secuestro de carbono disminuyendo el efecto invernadero y disminuir las externalidades como erosión y contaminación de aguas continentales.

A continuación se analiza el sistema productivo desglosándolo en los elementos o fases que intervienen en el proceso, exponiendo los resultados obtenidos en estos últimos años en la finca experimental “La Higuera” del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, situada en Santa Olalla, Toledo y en colaboración con el Servicio de Investigación y Tecnología Agraria, de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de Castilla La Mancha. Gracias a las investigaciones y experimentaciones realizadas, se ha llegado a una serie de conclusiones que pueden ayudar a los agricultores que desean reconvertir sus explotaciones agrícolas al método ecológico.

## LABOREO DEL SUELO

*Labrar el campo es vida santa, vida segura, de si misma llena de inocencia, y muy agena de pecado. En el campo, mas se conserva la salud, por donde la vida mas se alarga. (Alonso de Herrera).*

Se considera el laboreo como un conjunto de operaciones encaminadas a favorecer la función mecánica de las raíces, lombrices y microorganismos con el fin de mejorar o mantener la estructura del suelo, favorecer el intercambio gaseoso, controlar la flora arvense y preparar el lecho de siembra.

Basándonos en la Carta Europea de los Suelos (1991), toda labor al mismo debe tener como primer objetivo su conservación, ya que éste es una fuente limitada de recursos, permite la vida de los vegetales, de los animales y del hombre en la superficie de la Tierra (Gascó, 1991) y su equilibrio se destruye con gran facilidad.

Por todo ello, las labores en una agricultura sostenible y ecológica deben ser poco agresivas y sin invertir las capas. De esta forma la estructura natural formada por los diferentes horizontes se mantiene en el tiempo siguiendo su propia evolución, afectando en lo mínimo posible el entramado de canales formado en los espacios dejados por las raíces, que se constituyen en las vías naturales por donde transcurren el agua, los microorganismos y los gases favoreciendo la máxima presencia de materia orgánica.

Estos hechos han quedado suficientemente puestos de manifiesto en diferentes experimentos realizados en la finca desde el año 1983, que nos muestra el efecto de las labores sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Como resumen, se puede decir que **el laboreo convencional** (vertedera) **favorece** todas aquellas propiedades relacionadas con la macroporosidad (**permeabilidad, penetrabilidad y aireación**) pero **desfavorece** la **materia orgánica** (Fig. 5), **humedad del suelo, estabilidad estructural, elementos asimilables** (Fig. 6) y **actividad biológica** (López-Fando, 1991; Bello y López-Fando, 1993; Carrasco, 1997; Lacasta, 2001).

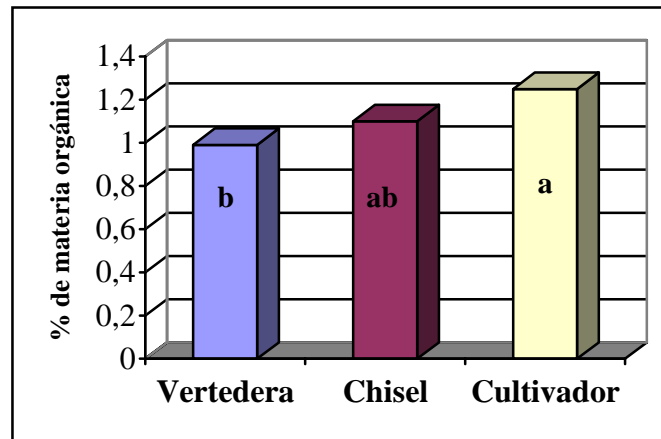


Fig.5.- Evolución de la materia orgánica del suelo después de veinte años de diferentes labores. Las letras diferentes en las columnas significan diferencias significativas.

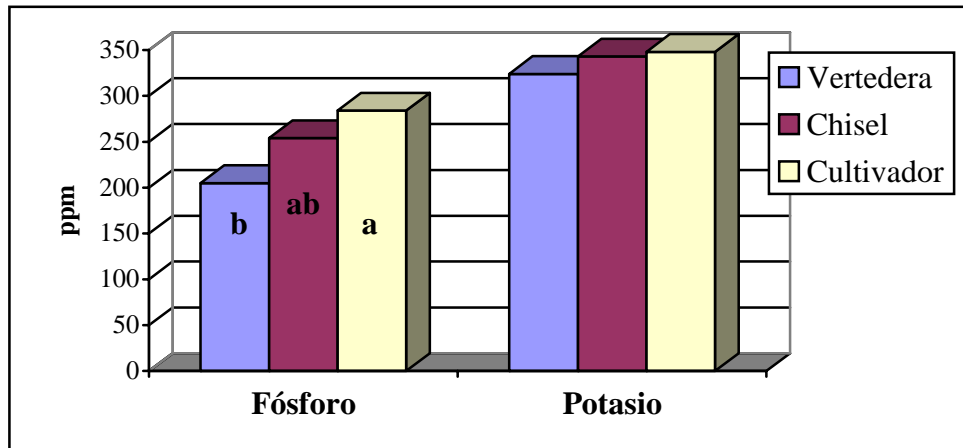


Fig. 6.- Evolución del fósforo y potasio en el suelo después de veinte años de diferentes labores. Las letras diferentes en las columnas significan diferencias significativas.

Dentro de los parámetros bioquímicos medidos (Lacasta 2004): Actividad inducida ( $\mu\text{g CO}_2/\text{g/h}$ ). Actividad basal ( $\mu\text{g CO}_2/\text{g/h}$ ). Materia orgánica mineralizada: ( $\mu\text{g MO/g/15 días}$ ). ATP (adenosina-trifosfato): biomasa microbiana calculada por gr de suelo seco ( $\mu\text{g ATP/g}$ ). Cociente metabólico: actividad inducida ( $\text{CO}_2$ ) por unidad de biomasa (ATP). Los resultados (Tabla 1) indican, que existe una mayor cantidad de biomasa microbiana en los manejos de laboreo de conservación (Chisel y Cultivador) que en el tratamiento de Vertedera, está situación es debida a las mayores disponibilidades de materia orgánica en el suelo, aunque no existen diferencias significativas en la eficiencia metabólica (cociente metabólico) ni en la actividad microbiana, en cambio se nota una tendencia positiva en los manejos de conservación.

Tabla 1.- Efecto del manejo del suelo sobre diferentes parámetros bioquímicos del suelo

<b>Determinaciones bioquímicas</b>	<b>Vertedera</b>	<b>Chisel</b>	<b>Cultivador</b>	<b>Efecto Laboreo</b>
Actividad inducida	1,84	2,40	<b>2,16</b>	ns
Actividad basal	2,91	<b>3,57</b>	3,49	ns
M.O. mineralizada	383a	<b>486a</b>	455a	*
ATP	764b	940ab	<b>1077a</b>	***
Cociente metabólico	2,41	<b>2,55</b>	2,01	ns

Los valores seguidos por letras distintas en una misma fila difieren significativamente ( $P < 0,05$ ; test Tukey). Los valores en negrita son los valores más altos del parámetro químico. ns: no significativo, \*: significativo  $P < 0,10$ ; \*\*\*: significativo  $P < 0,01$

Las labores superficiales y verticales además de mejorar las características químicas, físicas y biológicas de los suelos resultan más rentables porque las producciones no muestran diferencias por efecto de las labores (Fig. 7).

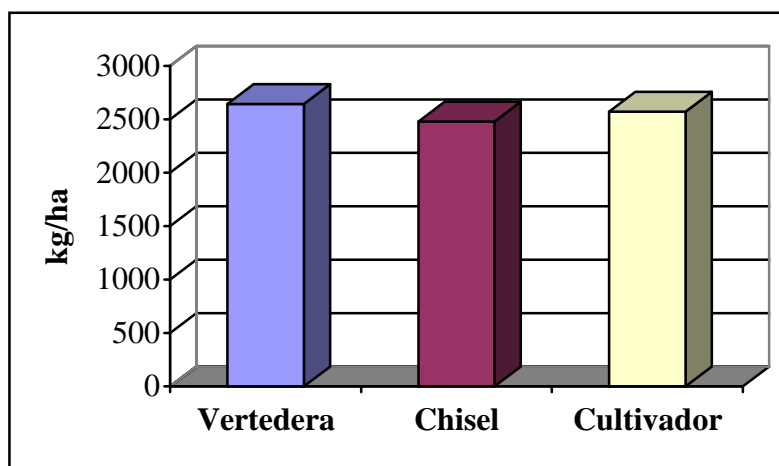


Fig. 7.- Producción media de 22 años de cebada en rotación de cultivos con diferentes laboreos.

Las labores verticales también favorecen el paso del agua a los horizontes más profundos. En la figura 8 se analiza la evolución de la humedad en el suelo después de una lluvia de 35,6 mm. En un suelo que se encuentra cerca del punto de marchitamiento, se comprueba que a 50 cm de profundidad hay más humedad en las labores verticales que no producen volteo (Lacasta y Meco, 1996(2)).

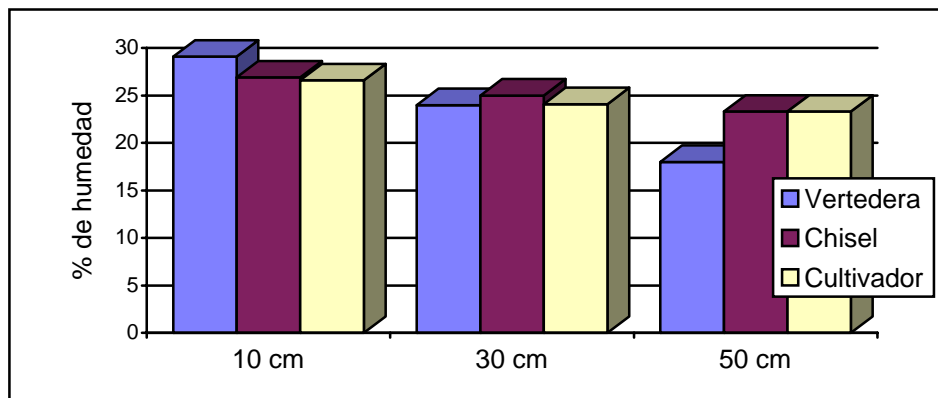


Fig. 8.-Evolución de la humedad del suelo en función del laboreo.

En los estudios realizados en la finca para conocer la influencia de diferentes prácticas agrícolas sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Sánchez *et al.*, 1995), se ponía de manifiesto que las labores en un suelo arcilloso con una dinámica estructural muy acusada, elevada microporosidad y aceptable actividad biológica, las labores mejoraban las características físicas del suelo y el pastoreo las biológicas. Y en los suelos franco-arenosos, menos estructurados y con elevada macroporosidad, los resultados muestran un comportamiento totalmente diferente, las labores perjudican tanto las características físicas y biológicas de estos suelos y la recuperación de la cubierta vegetal, con o sin pastoreo, los beneficiaba.

Otro de los factores importantes relacionado con el manejo de los suelos es el fenómeno de la erosión que supone la remoción (arranque y transporte) del material de la capa superficial por diversos agentes externos que incluyen el impacto de las gotas de lluvia, los flujos de aguas superficiales y subsuperficiales, el viento, el hielo y la acción de los organismos vivos, incluyendo la actividad humana.

En condiciones naturales, los procesos responsables de la formación de los suelos y aquellos relacionados con su destrucción por erosión, alcanzan un equilibrio tal que se asegura el mantenimiento de una capa superficial capaz de soportar una cubierta vegetal estable. **La ruptura del equilibrio suelo – vegetación - clima, debido a las actividades humanas, puede llegar a desencadenar, en su caso extremo, la degradación irreversible del suelo** y la pérdida definitiva de tierras agrícolas potencialmente productivas conduciendo todo ello a la desertificación real del territorio.

Los suelos agrícolas de secano de muchas zonas de España, son particularmente sensibles a los procesos de erosión ya que las labores de gran profundidad modifican su estructura natural y lo dejan completamente desnudo y desprotegido en los momentos de máxima precipitación (otoño e invierno).

Los resultados indican (Fig. 9) que cuanto menor es la intervención del hombre sobre los suelos menor es la pérdida. El barbecho blanco (sin cultivo y sin necromasa), al dejar el suelo desnudo, ocasiona tasas altas de erosión, aumentando a medida que se incrementa la pendiente (Fig. 10). Esto contrasta con lo que sucede en las parcelas en las que existe una cubierta vegetal (De Alba, 1997), Por ello en una agricultura sostenible el barbecho blanco debería ser una práctica cuestionada.



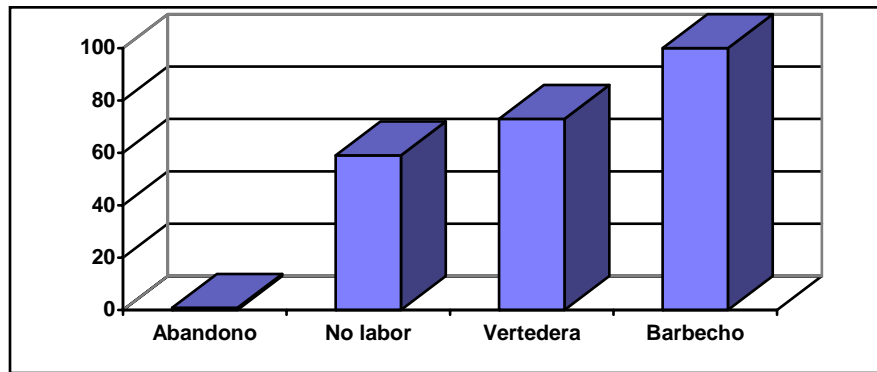


Fig. 9.- Tasas medias anuales relativas de pérdida de suelo (1993-96).

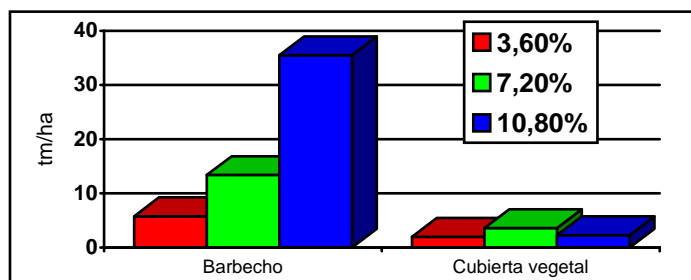


Fig. 10.- Cantidad de suelo erosionado en función del manejo y de la pendiente.

Si se contabilizan conjuntamente las pérdidas de suelo medias anuales registradas en las parcelas experimentales ( $7,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y las tasas equivalentes producidas durante los episodios de lluvia elevada intensidad ( $179 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), se obtiene una tasa de erosión anual de  $46,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Esta tasa, expresada en términos de rebajamiento equivalente de la superficie del suelo, corresponde a rebajamientos medios de entre  $3,1$  y  $3,6 \text{ mm año}^{-1}$  (considerando densidades aparentes del suelo de  $1,5$  y  $1,3 \text{ gr. cm}^{-3}$  respectivamente (De Alba *et al.*, 1998).

Se pone de manifiesto el papel predominante que juegan los episodios extremos de elevada intensidad de lluvia en la erosión de los suelos agrícolas, frente a los episodios de moderada y baja intensidad pero elevada frecuencia. En un solo episodio tormentoso aislado la tasa media de pérdida de suelo alcanzó un valor igual a 48 veces la tasa de erosión media anual obtenida en las parcelas experimentales. De acuerdo con las tasas obtenidas, los episodios de elevada intensidad serían los responsables de más del 84 % de las pérdidas de suelo medias anuales.

Los resultados revelan la importancia de las prácticas convencionales de laboreo como proceso *per se* de degradación del suelo en campos agrícolas situados en laderas con pendiente. Se ha observado que las tasas de movilización del suelo por laboreo son proporcionales a la pendiente del terreno. Los resultados muestran que las pérdidas de suelo producidas por el laboreo llegan a alcanzar tasas extraordinariamente elevadas, incluso superiores en un orden de magnitud respecto a los valores de erosión considerados como máximos tolerables siempre inferiores a  $10 \text{ t ha}^{-1}$  para las zonas semiáridas (De Alba, 2000).

Las tasas de erosión por laboreo muestran un muy elevado rango de variación en función del patrón o dirección de laboreo aplicado. Mientras que el laboreo en contorno (con pases de labor alternantes en direcciones opuestas) da lugar a las tasas de erosión más reducidas, los valores máximos corresponden al patrón de laboreo a favor de la pendiente.

En comparación con las pérdidas de suelo por erosión hídrica registradas en parcelas experimentales (Pendiente = 9%), las pérdidas de suelo estimadas para un único pase de labor con vertedera a favor de la pendiente equivaldría a más de 7 veces el valor de la erosión hídrica.

**Las labores recomendables por tanto deben ser verticales, poco profundas (menos de 20 cm ), para la preparación del suelo y de 5 a 10 cm para el desyerbado mecánico y la grada de disco en el caso de enterrado de los restos de cosecha.**

## FERTILIZACIÓN

***La tierra, si se estercola, ni envejece ni se fatiga. (Lucio Colmuela)***

Hasta fechas muy recientes, en los cereales, al igual que en las demás especies vegetales cultivadas, la fertilización se realizaba en una situación de equilibrio entre los que extraían y las restituciones al suelo con desechos orgánicos, todo ello acompañado por el uso de leguminosas que producían excedentes de nitrógeno y la práctica del barbecho que permitía el reciclado de los restos orgánicos. La introducción de los abonos químicos en estos agrosistemas dio lugar a un aumento de las producciones, pero en los ambientes semiáridos con precipitaciones irregulares el aporte de fertilizantes de síntesis puede resultar contraproducente, además de ser una fuente de contaminación y degradación de los suelos. No obstante tienen la ventaja de poder ser utilizados en el momento adecuado, mientras que la mineralización de los residuos orgánicos ocurre cuando se dan las condiciones ambientales adecuadas y esto los coloca en unas condiciones de gran vulnerabilidad ante la pérdida de nutrientes.

Según Labrador (2002) la fertilidad es la capacidad de los suelos agrícolas para mantener de manera perdurable un nivel de producción estable y de calidad, conservando un estado de alta estabilidad frente a los procesos que implican su degradación y se soporta en el uso de técnicas agronómicas como adecuación del cultivo a la capacidad agroecológica de producción del suelo, los aportes de materia orgánica y gestión adecuada de rotaciones.

La forma de orientar el manejo de la fertilidad de los agrosistemas para lograr su sostenibilidad ha variado a lo largo de la historia. Liebig a mediados del siglo XIX introdujo la necesidad de la restitución de elementos minerales extraídos por las cosechas y a partir de ahí se fue generalizando más el uso de fertilizantes químicos para reemplazar los nutrientes exportados, pero se descuidó el papel de la materia orgánica, no ya como fuente de nutrientes, sino como agente en la formación y estabilización de agregado, base de la fertilidad física del suelo (Porta *et al.* 1999).

La fertilidad global del suelo depende de muchos factores que están íntimamente relacionados, habiendo componentes que influyen sobre todos los ámbitos de la

fertilidad, como es el caso de la materia orgánica y el agua, y a su vez todos ellos se ven afectados por otros componentes: climáticos, biológicos, geográficos y antrópicos (Labrador, 2003)

Entre los factores antrópicos está el laboreo del suelo, cuando se voltea un suelo se incrementan notablemente las pérdidas de materia orgánica puesto que se acelera su descomposición, al incorporar los restos orgánicos frescos a un medio donde existen unas condiciones de humedad y aireación óptimas para la proliferación de microorganismos (Giráldez, 1997). En un experimento de 20 años, donde se estudiaba la interacción entre laboreo y rotaciones, Lacasta (2004) comprobaba que había una relación inversa entre laboreo y algunos parámetros químicos del suelo, mayor labor menor cantidad de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, habiendo diferencias significativas entre la labor de vertedera y las labores verticales.

## **MATERIA ORGÁNICA**

En los ambientes semiáridos mediterráneos, la cantidad de materia orgánica en los suelos se considera un índice de calidad en el manejo de las tierras agrícolas y es su conservación el que marca fundamentalmente la sostenibilidad del agrosistema.

En un experimento de 12 años de agricultura ecológica de cultivos herbáceos de secano, donde se estudiaba el comportamiento cinco rotaciones ecológicas; cebada-barbecho (C-B), cebada-veza forraje (C-VF), cebada-veza enterrada (C-VE), cebada-garbanzo (C-GAR), cebada-girasol (C-GIR) y una convencional, monocultivo de cebada (C-C), y donde los residuos de cosecha eran incorporados en todas las rotaciones Lacasta y Meco (2005). La materia orgánica no mostraba diferencias significativas entre ninguna de las rotaciones estudiadas y tampoco entre años, aunque son las rotaciones C-VE (ecológica) y C-C (convencional), las que tienen los valores medios más altos y la rotación C-B los más bajos (Fig. 11), las demás rotaciones tienen valores comprendidos entre ambos grupos. Estos valores de la materia orgánica del suelo se pueden relacionar con la biomasa incorporada al sistema por las diferentes rotaciones (Fig. 12), comprobando que son las dos rotaciones C-VE y C-C las rotaciones que más residuos dejan y la rotación C-B la que menos. En esta figura se puede observar que la rotación C-GIR en el año 2001 fue la rotación que más biomasa aportó por el buen año de girasol, 2002 y 2003 fue la rotación convencional (C-C) y 2004 la rotación C-VE las que aportaron mayor cantidad de biomasa al sistema. La biomasa media incorporada por año está comprendida entre los 1.700 y los 3.000 kg/ha.

El mayor contenido de carbono en el suelo en las rotaciones C-VE y C-C, no supuso ninguna ventaja en la productividad del sistema. La rotación C-B es la más productiva en un 25 y 40% que C-VE y C-C respectivamente, indicando que el principal problema que se plantea en estos sistemas es el sincronizar la mineralización de la materia orgánica con las necesidades de los cultivos.

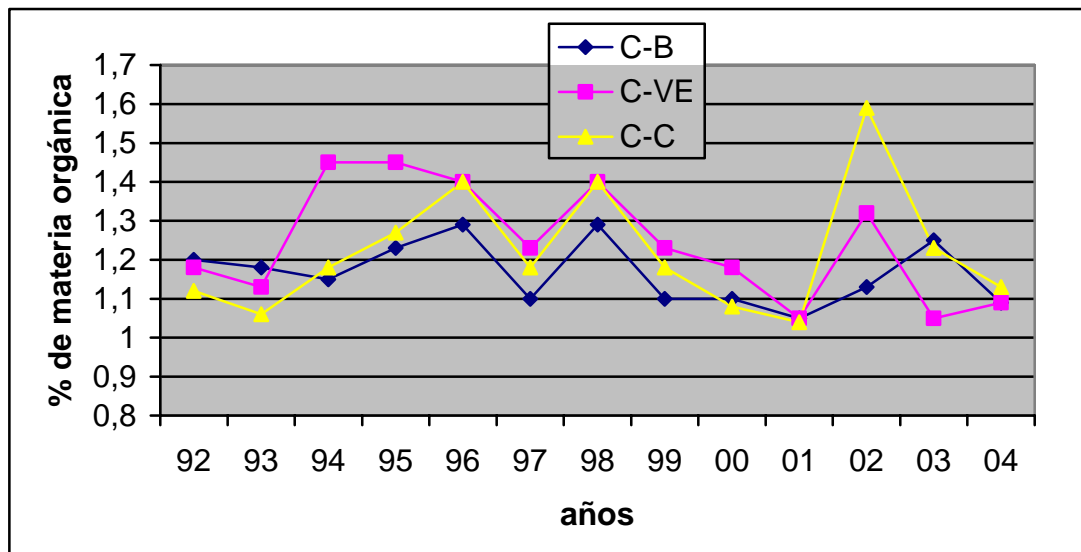


Fig. 11.- Evolución de la materia orgánica del suelo en tres rotaciones representativas.

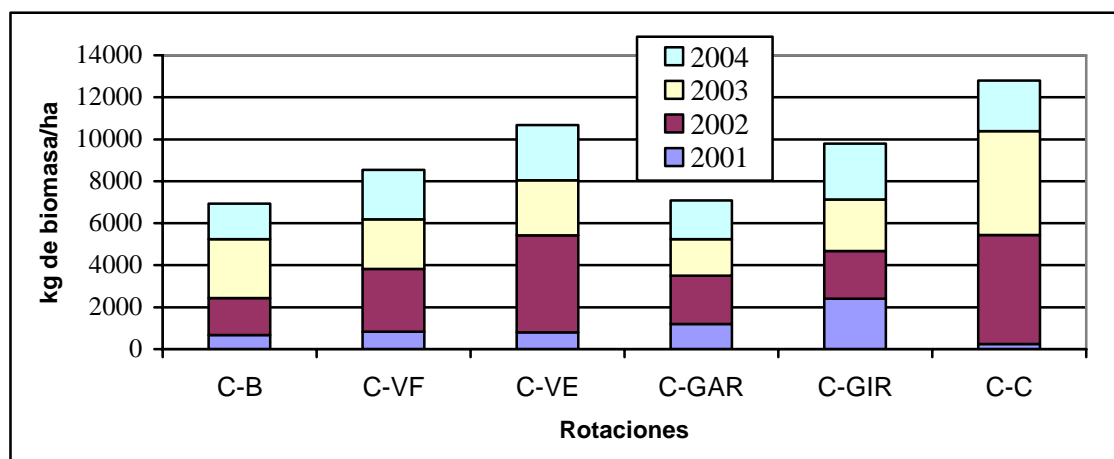


Fig. 12.- Biomasa incorporada anualmente por hectárea en diferentes rotaciones.

## NITRÓGENO

El nitrógeno, después del agua, es el principal factor limitante para el desarrollo de las plantas. Precisamente por esta razón en el periodo entre 1950 y 1990 se incrementó 10 veces el uso de fertilizantes nitrogenados lo cual llevó a un aumento sin precedentes de la productividad en los cereales. Sin embargo, la aplicación de estos fertilizantes y otras acciones industriales y antrópicas han alterado las condiciones básicas del ciclo natural del nitrógeno y han contribuido a la contaminación por nitratos de los ecosistemas terrestres y acuáticos con grave riesgo para la salud humana (Fernández-Pascual *et al*, 2002).

La explosión de la población mundial en el siglo XX ha estado apoyada en el proceso Haber-Bosch para la fijación del nitrógeno atmosférico. La entrada neta de

fertilizante nitrogenado se dice que soporta una tercera parte de la población mundial actual. El dilema que se plantea es si se pueden reformar los procedimientos agrícolas y reconducirlos basándose en la fijación biológica de nitrógeno, sin drástico daño político y económico, porque no hay que olvidar el alto coste energético que exige la síntesis química del nitrógeno que hace que este fuera del alcance de los países menos ricos.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente establece entre los factores de contaminación o modificación de la calidad de las aguas continentales, la eutrofización (contaminación por nitratos) y el exceso de materiales en suspensión. Este tipo de alteraciones que afecta tan directamente a las aguas superficiales y subterráneas resulta creciente en nuestro país, tanto en extensión como en intensidad y persistencia. Un amplio estudio realizado por el Instituto Tecnológico y Geominero de España muestra cómo algunos acuíferos subterráneos se encuentran seriamente afectados por un **creciente índice de contaminación por nitratos**, sobrepasando el nivel guía de 25 ppm de NO<sub>3</sub> y el máximo tolerado de potabilidad de 50 ppm. (López *et al.*, 1996).

La viabilidad de un sistema de producción no depende únicamente de sus niveles de rendimientos sino también de su eficiencia en la utilización de los recursos disponibles. En estos momentos la agricultura de secano depende intensamente del consumo de energía no renovable, que procede fundamentalmente de los fertilizantes más del 50% (Fernández-Quintanilla, 1999 (2)). El factor más importante de la productividad de los cultivos de secano, después de la disponibilidad del agua, es la presencia de nitrógeno mineral en el suelo, de ahí que la fertilización con abonos nitrogenados haya sido la práctica que mejor y mayor aceptación tuvo en estos ambientes semiáridos ya que cuando la cantidad y distribución de las precipitaciones son adecuadas para que los abonos nitrogenados sean eficientes las producciones en estos sistemas se duplican con respecto a la media. Estas cifras actúan como señuelo para mantener una agricultura con agroquímicos en nuestros ambientes semiáridos, cuando la mayoría de los años resulta antieconómica (Lacasta y Meco, 2001).

El nitrógeno, al igual que todos los elementos biológicamente importantes, pasa por cambios cíclicos, de modo que puede ser utilizado y a la vez repuesto dentro de lo que se conoce como ciclo biogeoquímico del nitrógeno, por medio del cual un átomo de nitrógeno pasa del estado orgánico al inorgánico y viceversa, en una secuencia de procesos que implican actividades de organismo vivos y conversiones no biológicas.

La clave característica del ciclo del nitrógeno en el suelo es el proceso de cambio de nitrógeno por *mineralización e inmovilización*.

La *mineralización* es la transformación del nitrógeno y otros nutrientes fijados en forma orgánica a su forma mineral o inorgánica, para poder ser asimilado por las plantas.

La *nitrificación* tiene lugar con rapidez en la mayoría de los suelos, constituyendo el nitrato la fuente de nitrógeno más importante para la mayoría de las plantas. Hay que señalar que el nitrato no es retenido fácilmente por el suelo, sino que es transportado por el frente acuoso en un proceso de lixiviación, de modo que si la pluviosidad es alta y el suelo muy permeable, puede ser arrastrado a profundidades inaccesibles para las raíces. Este lavado de los nitratos es un importante factor de pérdida de nitrógeno durante las lluvias invernales en climas mediterráneos, lo bastante templados para que haya una nitrificación apreciable durante el otoño (Rodríguez *et al.*, 1985).

Al estudiar la evolución del nitrógeno mineral en un suelo franco-arenoso (Fig. 13) y en un experimento de agricultura ecológica donde se hacen diferentes manejos ecológicos con cultivos herbáceos de secano y hasta 90 cm de profundidad en dos años, se observó:

- El año 2000-01 el invierno fue tan lluvioso que provocó la pérdida del 80 % de nitrógeno acumulado (93 kg/ha).
- Es en otoño cuando se dan las condiciones óptimas de nitrificación.
- En primavera, en los cultivos herbáceos de secano, es cuando se produce el consumo de nitratos acumulado en el suelo.

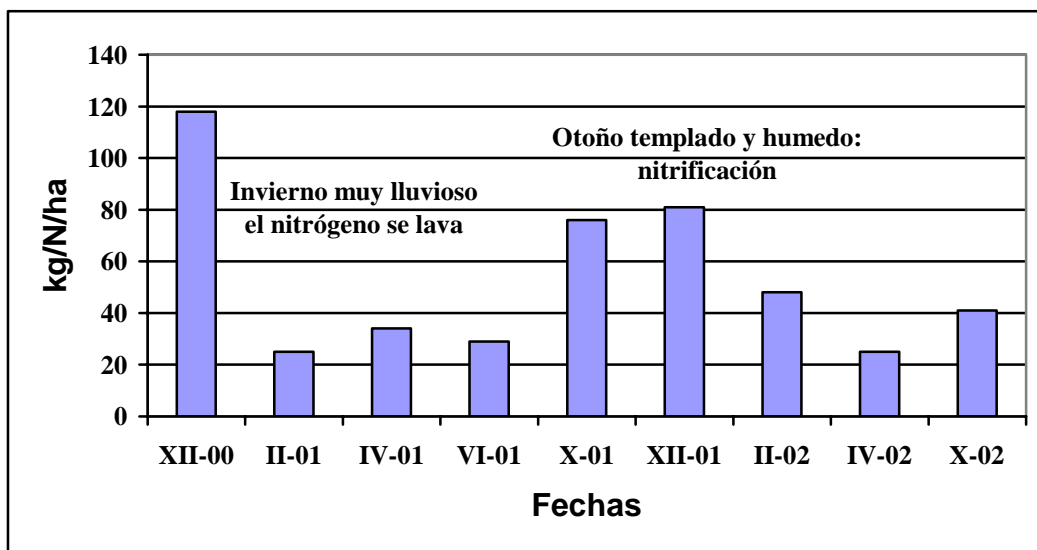


Fig. 13.- Evolución del nitrógeno (nitratos) en un suelo sometido a manejo ecológico durante dos años.

El proceso opuesto a la *mineralización* se conoce como *inmovilización*, ésta se produce cuando el nitrógeno inorgánico ( $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ ), son asimilados por los microorganismos del suelo y de nuevo ligados a la materia orgánica, haciéndolo no disponible para la alimentación de las plantas.

Los procesos de *mineralización* e *inmovilización* se producen simultáneamente, como un ciclo continuo. Lo que determina si hay más o menos nitrógeno inorgánico, la forma asimilable para las plantas, es el movimiento neto en una u otra dirección y esto depende en gran medida de la disponibilidad de materia orgánica y de los factores que faciliten la vida de los microorganismos como disponibilidad de oxígeno, agua y temperatura adecuada. Estas condiciones, y por tanto la inmovilización de nitrógeno, se dan en los secanos españoles en primavera y otoño.

La cantidad de nitrógeno inmovilizada incrementa con la velocidad de descomposición y por consiguiente cualquier factor que acelere o retarde ésta aumentará o disminuirá la cantidad de nitrógeno inmovilizada.

La fertilidad del suelo se debe a la interacción del medio ambiente, condicionado por el clima, con los factores químicos (nitrógeno, fósforo, potasio, etc.), físicos

(retención de agua, permeabilidad, estabilidad estructural, etc.), y por último con los biológicos, responsables del ciclado de nutrientes.

La actividad biológica de los suelos ha sido medida de diferentes formas. La respiración de los microorganismos del suelo fue uno de los primeros y todavía es uno de los índices usados más frecuentemente de la actividad microbiológica del suelo. Ya en 1853, Boussingault y Lewy usaron el desprendimiento de CO<sub>2</sub>, como una medida de la actividad microbiana “in situ”. Él porque la respiración microbiana del suelo da una mejor medida de la actividad microbiana que la suministrada por el estudio de los conteos periódicos de la población microbiana es fácil de suponer. Se sabe que cuando un sustrato ha sido consumido por la población microbiana parte de esta puede pasar a un estado durmiente y sobrevivir por largo tiempo en ese estado. En este caso la respiración de los microorganismos descenderá más rápidamente que su número, la respiración se encuentra más relacionada con la actividad metabólica y con la biomasa que con el número de microorganismos (Puig, 1979). Al estudiar la evolución de la biomasa microbiana (ATP) en el transcurso del año 2000 en un experimento ecológico de cultivos herbáceos de secano, la biomasa microbiana, que se mide a través de la cantidad de ATP (adenosina – trifosfato) presente en el suelo. El ATP es un nucleótido responsable de transportar la energía necesaria para la vida y está presente en toda clase de células. Se obtuvo que la masa microbiana se mantiene constante durante el año a excepción de la primavera (Fig 14). Deduciéndose que es en primavera donde mayor cantidad de nitrógeno es inmovilizada.

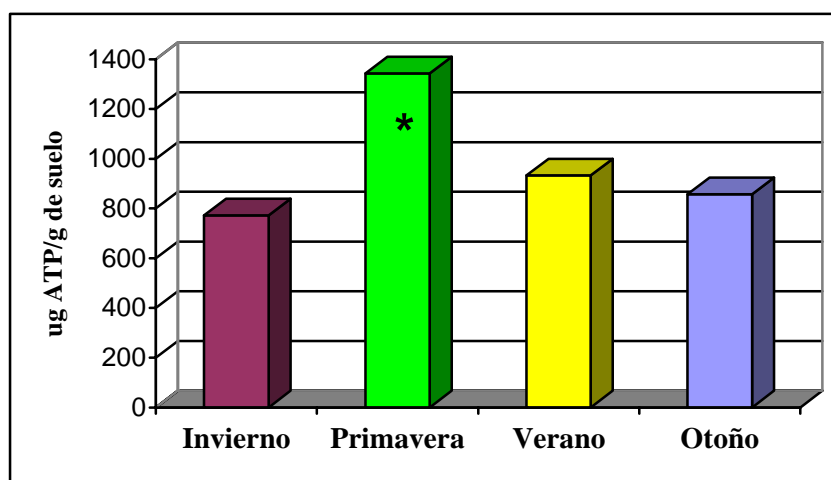


Fig. 14.- Evolución de la biomasa microbiana a lo largo del año. El (\*) significa diferencias significativas.

Ciertos microorganismos (bacterias y cianobacterias) pueden fijar el nitrógeno atmosférico gracias a una enzima, la nitrogenasa, que posee la importante característica de ser inactivada por el oxígeno. La energía usada por tales microorganismos para la síntesis de NH<sub>3</sub> proviene bien de los carbohidratos del suelo cuando los microorganismos viven en forma libre, bien de los exudados de las raíces cuando se asocian con la planta en una rizosfera, o bien directamente de la planta hospedera

cuando existe una relación simbiótica. Se trata de una energía de origen solar captada por fotosíntesis, y es una fuente renovable distribuida por toda la superficie terrestre.

Dentro de los factores biológicos, los microorganismos simbiotes son los más interesantes a considerar para la fertilidad en agricultura ecológica. La raíz de la planta, a través de sus exudados, es la primera en despertar la actividad de los microorganismos, bien sean patógenos o beneficiosos, creándose un espacio de 1 - 2 mm de las raíces llamado suelo rizosférico. Algunos de ellos penetran en la raíz y viven en simbiosis.

Entre estas simbiosis mutualistas, las más conocidas son las **bacterias fijadoras de nitrógeno** en las leguminosas y los **hongos micorrícicos** en casi todas las plantas y por supuesto en especies cultivadas. En ambos casos, las plantas ofrecen a las bacterias y hongos productos elaborados en la fotosíntesis (fotosintatos) y los microorganismos en unos casos aportan nitrógeno y en otros ayudan a captar nutrientes a través del micelio externo que las micorrizas desarrollan. **Ambos organismos quedan muy afectados por la fertilización química** (Fig. 15), en el caso de las bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium*), por la fertilización nitrogenada, Pozuelo y de Felipe (1995).

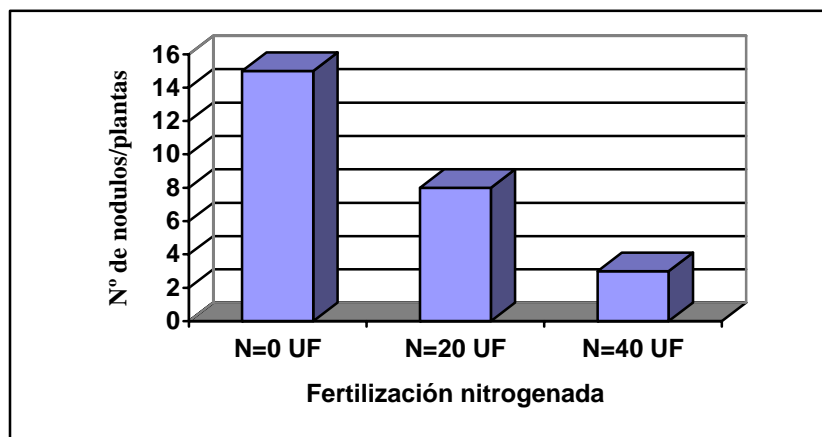


Fig. 15.- Efecto de la fertilización nitrogenada en la nodulación. Los tratamientos indican kg/ha de nitrógeno.

Al estudiar la evolución del nitrógeno mineral en un suelo franco-arenoso a lo largo de una rotación cebada-veza, hasta una profundidad de 90 cm y con diferentes fertilizaciones.

- (I) Fertilización química o inorgánica (70-45-45)
- (O) Fertilización orgánica (2000 kg/ha de compost de oveja (56-22-89)
- (T) Sin fertilización (Testigo)

Se comprobó (Fig. 16) que:

- La liberación del nitrógeno fijada en los nódulos de la leguminosa se inició en verano, poniéndose de manifiesto que las parcelas que habían sido sometidas algún tipo de fertilización lo liberaron antes que el testigo, el cual sigue liberándolo en otoño. La fertilización actuó como estimulante.



- La fertilización inorgánica (I), orgánica (O) o sin fertilización (T) tiene poca importancia en el computo global de nitrógeno asimilable en el suelo dejado por el cultivo de la leguminosa, siendo alrededor de 70 kg/ha.
- La nitrificación y la liberación de nitrógeno son mayores en los primeros 30 cm de suelo. En otoño de 2002 se observa el lavado del horizonte superior del suelo a los inferiores. Y en el otoño de 2001 se aprecia una mayor nitrificación de los residuos de cosecha de cebada en el tratamiento de fertilización inorgánica. En invierno y primavera el nitrógeno mineral del suelo es usado por los cultivos siempre que no se produzcan lluvias y lo lixivien.

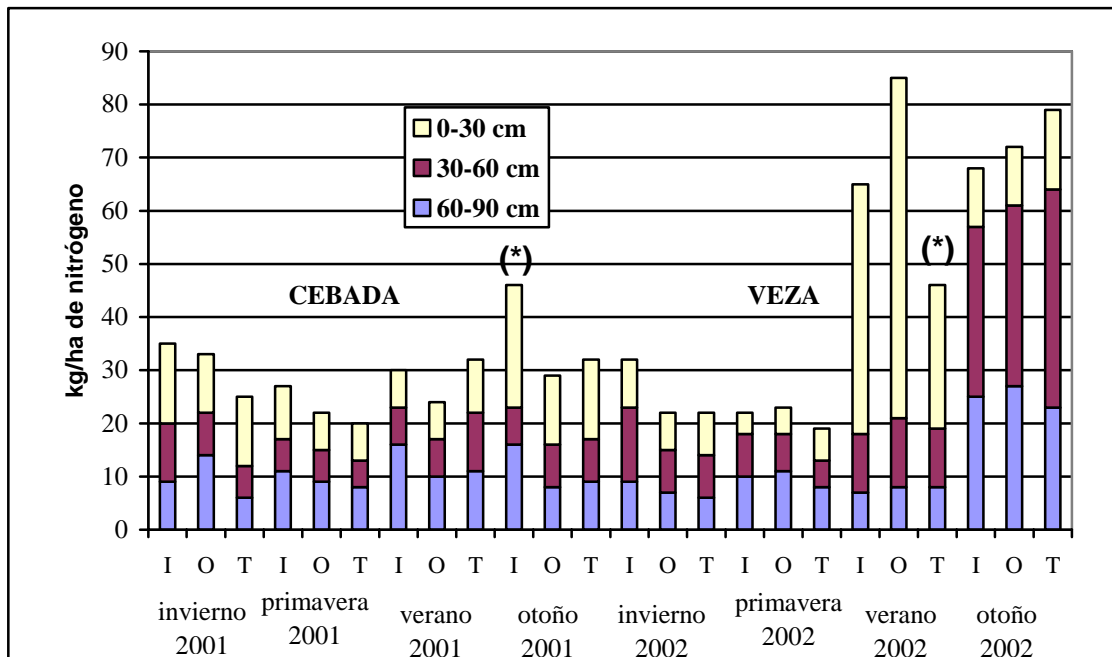


Fig. 16.- Evolución del nitrógeno (nitratos) en el suelo en una rotación cebada-veza con diferentes tipos de fertilización. (I): Inorgánica, (O): Orgánica, (T): Testigo sin fertilización.

(\*) Indica el tratamiento que presentó diferencias significativas para esa fecha

Otra fuente importante de fertilización son los residuos de cosecha. Parte de la biomasa producida por el sistema es exportada bajo forma de producto y la restante permanece en el suelo constituyendo los residuos. Cuando estos residuos son aprovechados para alimentación animal, pueden volver al sistema bajo forma de deyecciones o de estiércol o bien ser degradados por los microorganismos del suelo. Este flujo energético natural ha funcionado durante milenios, manteniendo el sistema en equilibrio hasta que se comenzó a utilizar de forma indiscriminada la fertilización química.

En ensayos de cultivos de cereales, la simple aportación de la paja de la cosecha al suelo ha supuesto, después de 20 años y teniendo en cuenta la naturaleza semiárida del clima, un incremento de la materia orgánica del suelo de más del doble de su valor inicial (Fig. 17). La incorporación del rastrojo es suficiente para el mantenimiento de los niveles de materia orgánica cuando éstos están alrededor del 1 %, Lopez-Fando (1993).

La paja incorporada a suelo es un sustrato potencial para las bacterias heterótrofas, no simbióticas, fijadoras de nitrógeno. La paja parece ser un sustrato particularmente adecuado para las bacterias fijadoras ya que además de servir como fuente de carbono y energía, produce durante su descomposición como consecuencia de su bajo contenido en nitrógeno, un déficit de este elemento en el suelo lo que da una ventaja competitiva a los fijadores para que usen como sustrato las fracciones parcialmente degradadas liberadas por la paja en descomposición. Los factores que han recibido mayor atención han sido: la temperatura, la humedad del suelo, la aireación o suministro de oxígeno, contenido en nitrógeno y el troceado de la paja.

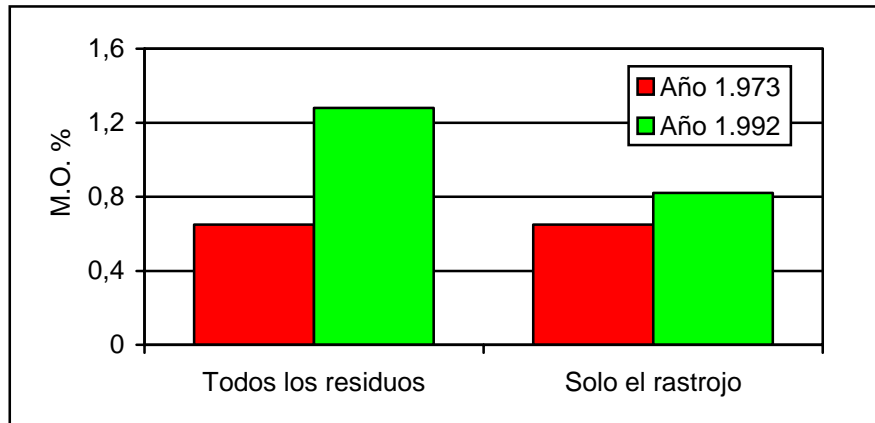


Fig.17.- Evolución de la materia orgánica en el suelo después de 20 años de la incorporación de toda la paja de los cereales.

Uno de los primeros estudios que trata sobre las ganancias en nitrógeno del suelo fue el llevado a cabo por Berthelot (1885) citado por Puig (1979) quien observa que mientras que en suelo estéril el contenido en nitrógeno permanecía inalterado en el verano, en suelo no estéril el nitrógeno aumentaba con el tiempo, lo que sugería que los microorganismos eran los agentes causantes de este enriquecimiento. Desde entonces una ingente cantidad de trabajo investigador ha sido dedicada al tema de la fijación de nitrógeno por microorganismos del suelo no simbióticos. Los aislamientos del fijador anaerobio *Clostridium pasteurianum* por Winogradsky (1893) y de *Azotobacter* ssp. por Beijerinck (1901) ambos trabajos citados por Puig (1979) fueron pasos importantes en la historia de la investigación de la fijación de nitrógeno por el suelo.

La presencia de *Azotobacter* en suelos naturales y cultivados se ha observado que es esporádica, mientras que otros fijadores de nitrógeno, los pertenecientes al género *Clostridium* se encuentran no solamente distribuidos con mayor uniformidad sino que a menudo se encuentran presentes en mucho mayor número. El principal factor que regula la cantidad de nitrógeno fijada por un suelo parece ser la presencia de una fuente de energía apropiada.

La incorporación de paja al suelo además de aumentar la actividad fijadora de nitrógeno, contribuye a disminuir la erosión por el viento y agua de lluvia, mejora la estructura del suelo y favorece el desarrollo de bacterias importantes del ciclo de nitrógeno, entre ellas las fijadoras y nitrificantes. Por lo tanto, un modo de favorecer la fijación de nitrógeno y, consecuentemente aumentar la producción, consiste en

incorporar la paja y restos de cereales al suelo, procurando que tenga lugar su degradación antes de proceder a una nueva siembra.

La humedad es un factor importante en el crecimiento de los microorganismos y en la velocidad de descomposición de residuos vegetales en suelo. Cuando la humedad del suelo es alta hay menor cantidad de oxígeno disponible para el crecimiento microbiano, dado que la velocidad de difusión del oxígeno en aire es 10.000 veces mayor que en agua. Puig (1979) encontró que el desprendimiento de CO<sub>2</sub> desde el suelo aumentaba con el contenido de humedad hasta un punto cercano al de saturación en el que la respiración microbiana comenzaba a ser deprimida por la escasez de oxígeno, demostrando que los incrementos de humedad cuando el contenido es bajo aceleran mucho más la descomposición de la paja que incrementos similares cuando la humedad es alta.

Los investigadores que han trabajado en la descomposición de residuos orgánicos en suelo han encontrado a menudo que el porcentaje de residuo descompuesto por unidad de tiempo es inversamente proporcional a la cantidad de residuo añadida por unidad de peso del suelo. En otras palabras “mientras mayor sea la cantidad de residuo añadida al suelo más largo será el periodo de tiempo requerido para alcanzar un porcentaje determinado de descomposición”. Novak (1974) citado por Puig (1979) halló este último efecto en el caso particular de la descomposición de la paja. Con las producciones del secano español la paja de nuestros cereales se descompondrá a una velocidad mayor que en otras latitudes y por tanto tendremos un mejor reciclado de nutrientes.

El suelo como medio ambiente para las actividades microbianas posee ciertas características únicas, que junto con las dificultades asociadas con el estudio de poblaciones microbianas mixtas, han hecho bastante difícil la obtención de información. La temperatura del suelo, el contenido en humedad, el suministro de oxígeno, junto con la fuente y la disponibilidad de los nutrientes, el pH, la textura y estructura del suelo, y otros varios factores puede esperarse que tengan efectos interdependientes sobre la actividad microbiana del suelo. En la literatura de la Microbiología del suelo se encuentran a menudo los resultados aparentemente contradictorios y que pueden ser debidos a la falta de conocimiento sobre las interacciones entre los factores que afectan la actividad microbiana.

En la mayoría de los experimentos revisados por Puig (1979) que trataban sobre los efectos de las adiciones minerales (especialmente nitrógeno) sobre la descomposición de la paja, el efecto inicial estimulante de la adición mineral se mitigaba lentamente y si el periodo de incubación era suficientemente largo la descomposición mayor de la paja se daba en los tratamientos que no habían recibido ninguna adición mineral. Los resultados que él presenta para condiciones mediterráneas confirman claramente esta tendencia. La adición de N y P aumentaba el desprendimiento de CO<sub>2</sub> sólo durante 3 semanas, transcurridas las cuales y durante las 9 semanas siguientes, la adición de N y P disminuía la cantidad de CO<sub>2</sub> desprendida. Estos resultados coinciden con los obtenidos por nosotros en campo (Fig 16). Estos resultados están en contradicción con la práctica agronómica habitual que recomienda el uso de nitrógeno aplicado a los residuos de cosecha para acelerar su descomposición y evitar la competencia con el cultivo.

Para conocer el proceso de nitrificación de los residuos de cosecha de cebada en un barbecho, y la influencia que puede tener la fertilización se realizó un experimento sobre una rotación de cebada-barbecho con tres tipos de fertilización:

- (I) Fertilización química o inorgánica (70-45-45)
- (O) Fertilización orgánica (2000 kg/ha de compost de oveja (56-22-89)
- (T) Sin fertilización (Testigo)

Los resultados (Fig 18) más destacables fueron:

- La nitrificación se produce en el barbecho y en todo el perfil aunque en menor cantidad según aumentamos la profundidad en el suelo. Del verano hasta el otoño de 2001 no se producen precipitaciones que supongan lavado de nitratos y en cambio la acumulación de nitrógeno se produce en todas las profundidades estudiadas.
- En otoño las reservas de nitrógeno después del barbecho y antes del cultivo del cereal son las mismas con independencia del tratamiento de fertilización que haya tenido la parcela, lo que nos indica que la fertilización actúa como acelerante de la mineralización de los residuos de cosecha.
- La nitrificación se inicia en el horizonte superficial. Primavera de 2001
- La cebada empieza usando el nitrógeno del horizonte superior y continua con las reservas de los horizontes más profundos. Invierno y primavera de 2002.
- Hay diferencias significativas a favor de las parcelas que se fertilizan químicamente (I) en el verano de 2001 y en invierno y primavera de 2002. La primera nos indica que el efecto de la fertilización inorgánica perdura al menos durante un año debido seguramente al nitrógeno inmovilizado orgánicamente y la segunda es efecto directo de la fertilización del cultivo. Esta última diferencia y en este año concretamente supuso un aumento significativo de la productividad de la cebada porque la primavera fue lluviosa y permitió la expresión de este nitrógeno.

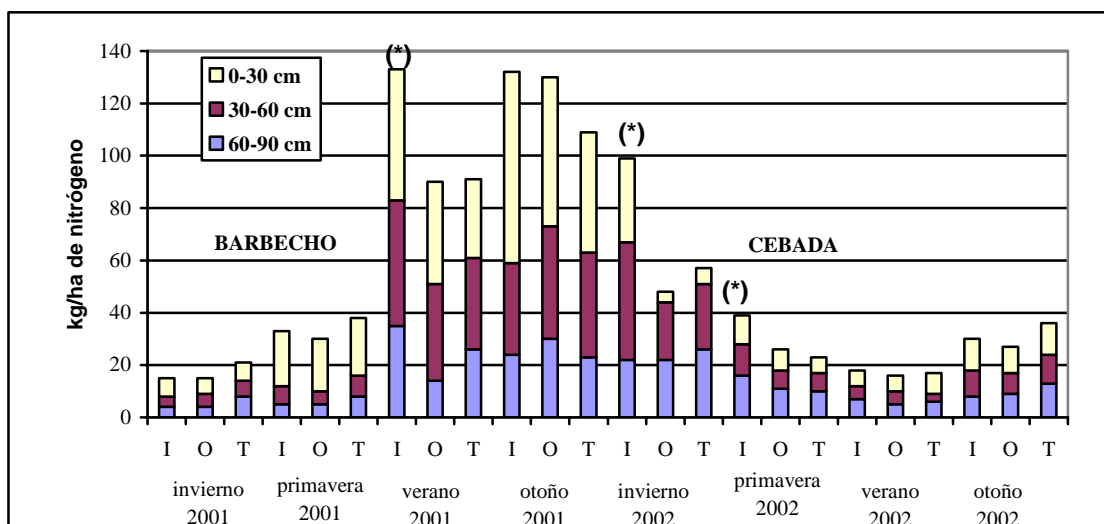


Fig. 18.- Evolución del nitrógeno (nitratos) en un suelo franco arenoso y en una rotación Barbecho-cebada, con diferentes tipos de fertilización. (I): Inorgánica, (O): Orgánica, (T): Testigo sin fertilización.

(\*) Indica el tratamiento que presentó diferencias significativas para esa fecha.

Para conocer el proceso de nitrificación de los residuos de cosecha de cebada en un barbecho, en diferentes años y en suelos distintos se realizó un experimento sobre una rotación de cebada-barbecho en manejo ecológico. Los resultados más destacables fueron figuras 19 y 20:

- Por fijación no simbiótica se consigue entre los 40 a 70 kg/ha de nitrógeno en los primeros 20 cm de suelo.
- La nitrificación se comporta más o menos igual todos los años y es independiente de los suelos, el máximo de nitrificación se produce en otoño y las diferencias por años se debe a condiciones meteorológicas.
- El año 2001-2002 se inicia con un nivel alto de presencia de nitrógeno en el suelo debido a que las lluvias de verano y de otoño de 2001 permitieron la mineralización de la paja del cereal incorporada en verano y esta diferencia de nitrógeno se mantiene durante todo el año (Fig. 19).

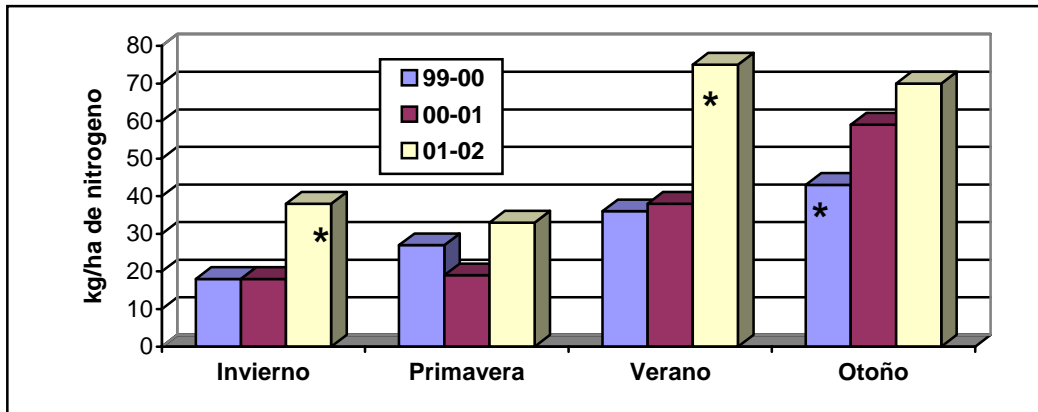


Fig. 19.- Evolución de la nitrificación (nitratos) en los primeros 20 cm en suelo desnudo (barbecho) después de cereal en un suelo arcilloso y en diferentes años. (\*) Indica diferencias significativas entre años.

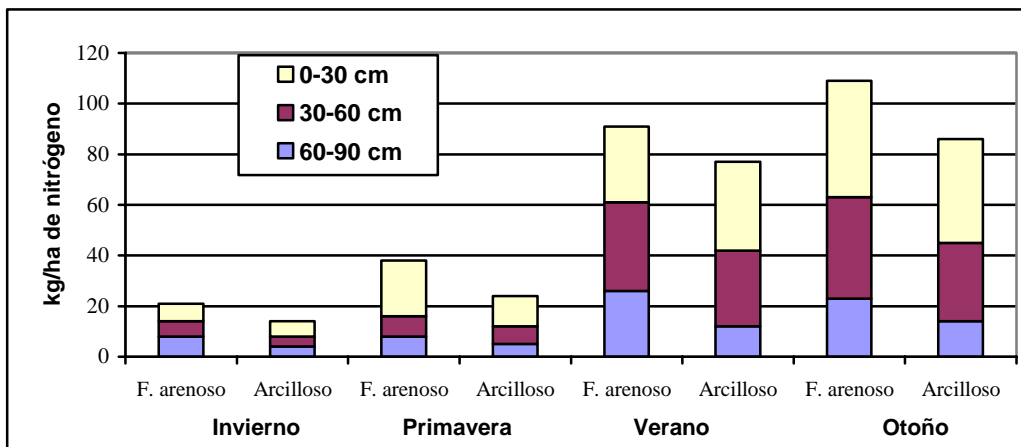


Fig. 20.- Evolución de la nitrificación en los 90 cm en suelo desnudo (barbecho) después de cereal en dos suelos (franco-arenoso y arcilloso) en el año 2001.

En los sistemas agrarios mediterráneos desde la antigüedad, el uso del barbecho y la rotación con leguminosas han mantenido la productividad de estos sistemas, produciendo nitrógeno fijado de forma biológica, y ayudando a combatir enfermedades, plagas y malas hierbas, al romper la continuidad de los cultivos cerealísticos. Dentro de dicha zona mediterránea, los aportes de nitrógeno a través de la fijación en los nódulos de las leguminosas, se consideran fundamentales para una producción sostenible, tanto económica como ambientalmente (Howieson *et al.*, 2000).

En los sistemas agrícolas de subsistencia de Siria debido a la escasez de lluvias, el empleo de la veza (*Vicia sativa*) y el altramuz (*Lupinus sativus*) entre los cultivos de cebada, han producido un incremento en la producción de grano sobre el cultivo continuo de este cereal. (Howieson *et al.*, 2000). En España, en los ambientes semiáridos, la cebada en rotación produce un 50% más que la cebada en monocultivo, y es indiferente el cultivo que preceda a la cebada (Fig. 21), e incluso cuando las rotaciones son ecológicas sin aplicación de ningún tipo de fertilización estas producen un 30% más que el monocultivo de cereal convencional con aplicación de fertilización química y uso de herbicidas, como se indicaba al principio de este trabajo, en la introducción y en las figuras 3 y 4.

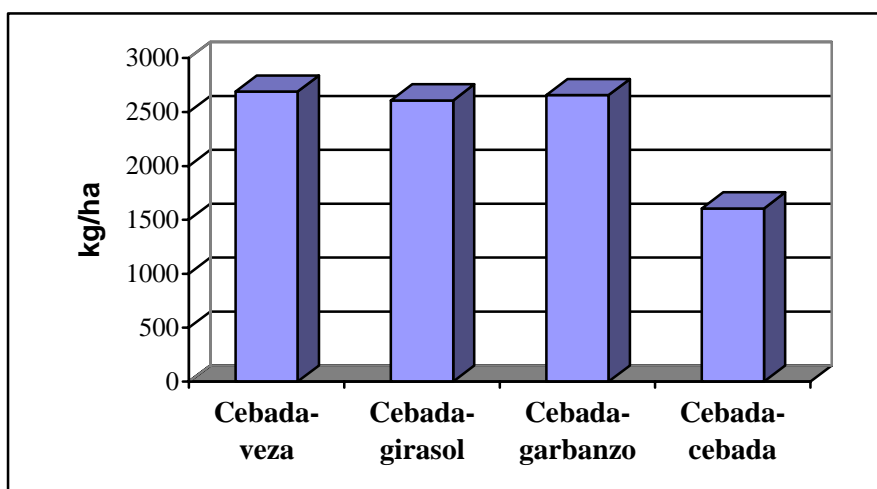


Fig. 21.- Efecto de diferentes rotaciones en la producción de cebada (media 12 años)

Castilla La Mancha (Fig. 10) el incremento de producción de grano del cultivo de cebada en rotación con leguminosa o barbecho, se produce incluso cuando ésta se cultiva sin aplicación de insumos externos frente al cultivo continuo de cereal con método convencional con fertilizantes y herbicidas (Lacasta y Meco, 2001).

La rotación con barbecho y veza produce un aumento generalizado de macro y micro elementos minerales del suelo. En contraposición, cuando se practica el monocultivo se produce una disminución de alrededor de un 30% de fósforo y potasio asimilable y una disminución generalizada de microelementos, (Díez 1983 (1) y (2)). Estos resultados se traducen en que la eficiencia de la fertilización es mejor en los cultivos sometidos a rotación (Fig. 22), siendo el barbecho el que mejor se comporta a todos los niveles de fertilización.

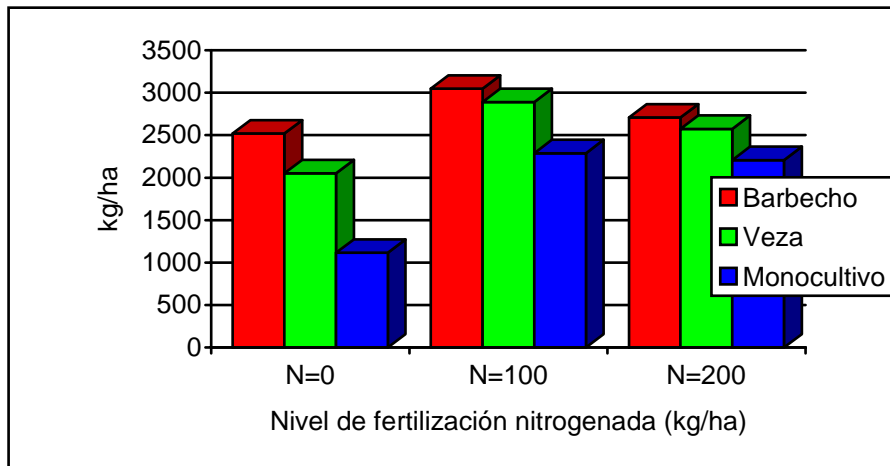


Fig. 22.- Producción de trigo en diferentes rotaciones de cultivo y niveles de fertilización nitrogenada (media 20 años).

Un índice para estimar el potencial biológico y por tanto la fertilidad natural de los suelos es la determinación de la **actividad enzimática**. Las enzimas son moléculas de naturaleza orgánica imprescindibles en la descomposición de la materia orgánica en el suelo y que están implicadas, por tanto, en el ciclo natural de los elementos.

Se considera que la actividad deshidrogenasa se produce de manera intracelular y que está asociada a procesos respiratorios de los microorganismos; por ello, se estima que es más dependiente del estado metabólico y de la actividad biológica general que cualquiera de las demás enzimas presentes en el suelo. De esta manera ha sido utilizada como un índice de fertilidad (Skujins, 1976) o como indicador de la actividad microbiana de los suelos (Trevors, 1984b). Dada la relación directa entre la actividad deshidrogenasa y la actividad microbiana asociada a la degradación inicial de la materia orgánica (Bolton, *et al* 1985) su medida podrá informar de la evaluación de la actividad metabólica del suelo al incorporar fracciones orgánicas lábiles.

El incremento de la actividad enzimática es evidente cuando los suelos son abonados con estiércoles compostados con respecto al abono mineral. En la figura 23 se ha representado la actividad deshidrogenasa medida como respuesta al tratamiento con 20 tm/ha de estiércol de oveja y se compara con el tratamiento de abono mineral (Diaz Marcote 1995).

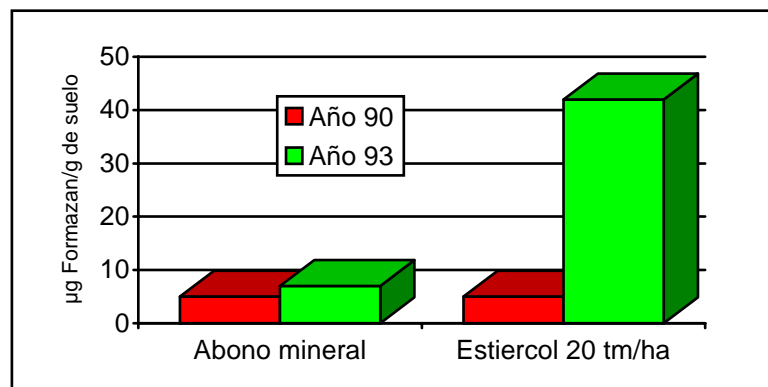


Fig. 23.- Actividad enzimática (deshidrogenasa) en el suelo con fertilizante mineral y natural

Cuando se estudió la diversidad de la nematofauna de los suelos Bello y López Fando, (1993), se comprobó también que la fertilización nitrogenada actuaba negativamente sobre el número de individuos (Fig. 24) y el número de especies.

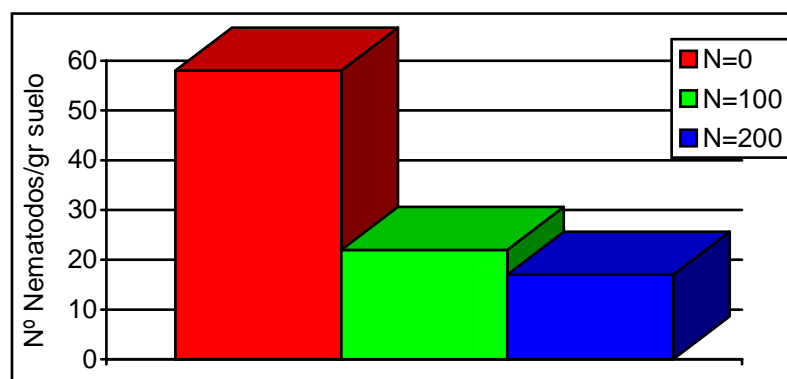


Fig. 24. Efecto de la fertilización nitrogenada en las poblaciones de nematodos. Los tratamientos indican kg/ha de nitrógeno.

**La fertilización, por tanto, la basamos en el uso de rotaciones con leguminosas y en los residuos de cosecha. Aumentando los niveles de materia orgánica, restaurando el equilibrio mineralización – humificación, favoreciendo el desarrollo de organismos simbiotes, generando biodiversidad y vida en el suelo, disminuyendo los efectos de contaminación por lixiviado, y haciendo viable económica y ambientalmente estos agrosistemas de secano.**

## MANEJO DE FLORA ESPONTÁNEA

*En la naturaleza nada hay superfluo. (Averroes).*

En Agricultura Ecológica se considera la flora arvense como un componente más del agrosistema que complementa al conjunto, nos enseña sobre la naturaleza del terreno y la fertilidad de los suelos y se propone el manejo de la misma como aliada antes que como enemiga. El control de las especies arvenses no debe consistir en erradicarlas sistemáticamente, sino en mantener siempre las poblaciones en densidades aceptables económicamente (Nogueroles y Zaragoza, 1999).

Las malas hierbas poseen cualidades beneficiosas que no por ignoradas son menos importantes: actúan como estabilizadores del suelo controlando la erosión, crean microclimas favorables para los microorganismos del suelo, suministran materia orgánica, constituyen hábitats adecuados de insectos aves, etc., algunas son indicadores del tipo de suelo o clima (Valera *et al.*, 1999),

Por ello el mantenimiento de los márgenes de los cultivos y setos es una medida necesaria para la conservación de flora natural así como un reservorio para especies arvenses. El manejo de los agrosistemas no se restringe solamente a la conservación de



ciertos elementos en el paisaje que aumente la diversidad del mismo, sino también a la creación y fomento de nuevos hábitats. La presencia de nuevos cinturones de vegetación (setos) que une hábitats naturales dentro del paisaje agrícola sería una técnica eficaz para incrementar la diversidad de artrópodos, predadores, aves, etc.

En cualquier caso el mantenimiento y creación de setos implica un cambio en la mentalidad de los agricultores que contemplan estos sitios como sumideros de plagas a partir de los cuales se produce la invasión del cultivo. Este punto de vista es al menos cuestionable, ya que la misma sucesión ecológica determina especies distintas que las presentes en el cultivo. En los estudios realizados en la finca experimental “La Higuera” en un experimento de agricultura ecológica de cereales de dos hectáreas rodeado por un seto implantado a la vez, hace siete años, se comprueba que el número de especies herbáceas autóctonas presentes en el seto es de 65 frente a las 22 que hay en el experimento de cereales, siendo las especies más abundantes los *Bromus madritensis*, *diandrus* y *hordeaceus*, especies que no aparecen en la zona cultivada.

No obstante hay que considerar el riesgo de crecimiento de las poblaciones de las malas hierbas en aquellas casos en las que no se cometa su control. Recordar el viejo dicho “**un año sembrado, siete años de escardado**”, debido a la persistencia de la semilla en el suelo (Fernández Quintanilla, 1999 (1)).

Si analizamos las estrategias utilizadas a lo largo de la historia, observamos que el método más frecuentemente utilizado hasta bien entrado el siglo XX ha sido el de la escarda manual acompañada con una rotación con barbecho (año y vez) (Benaiges, 1964). Estos métodos, con la aparición de los herbicidas, fue relegándose hasta su total desaparición.

La utilización masiva y constante de los herbicidas en los sistemas agrarios se viene realizando durante décadas. El carácter selectivo de la mayoría de estos productos, ha tenido como consecuencia una inversión de la flora espontánea, y una disminución del número de especies, con lo que las especies y el número de individuos de cada especie que encontramos no tiene nada que ver, probablemente, con la diversidad biológica existente en el caso de no efectuar alteraciones artificiales.

Haciendo eco de la pregunta que se hacía Zaragoza (1998) ¿Es mejor para un cultivo ser infestado por una comunidad arvensis pobre en especies, pero muy densa como sucede en los campos donde se repite la aplicación de un tipo de herbicida o por una población rica en especies y pobre en individuos?, la respuesta tanto suya como nuestra es que la segunda alternativa es mejor.

Además, estudios avalados por la Sociedad Española de Malherbología, denuncian un claro aumento de la resistencia de las plantas a los herbicidas, sobre todo en los cultivos en que se utilizan de forma importante y reiterada estas sustancias (CPRH 1999).

El empleo de rotaciones de cultivos en las áreas cerealistas es una medida eficaz para el control de la flora arvensis acompañante de los cultivos (García-Muriedas *et al.*, 1997 y Zaragoza *et al.*, 1998), que unida a otras medidas culturales como siembras tardías y cultivo en líneas agrupadas (Meco y Lacasta, 1996 y Lacasta *et al.*, 1997), hace innecesario el uso de herbicidas.

El agricultor castellano utilizaba habitualmente el cultivo con aricado, que consistía en esparcir la semilla a mano por igual sobre todo el campo, donde previamente se había surcado con un arado común (romano). La mayor parte de la semilla caía en el fondo de los surcos y a continuación se partían los lomos por la línea media quedando la semilla enterrada. Las plantas salían en fajas y en los entresurcos se desarrollaba pronto la vegetación espontánea. La práctica del aricado consistía en dar labor a esos entresurcos con el arado común dos o tres veces al año. Era tan extendida esta practica que en Castilla había un conocido proverbio que decía: “*quien en Castilla no arica, sus trigos no los cosecha*”.

Cuando se inició la siembra mecanizada en líneas equidistantes de 15-20 cm, uno de los problemas que tuvo su implantación es que no podían hacerse las labores de arico y la utilización de gradeos al cultivo no era suficiente para el control de las hierbas. Fue entonces cuando se iniciaron los estudios de la siembra en líneas agrupadas, que permitía poder realizar en el cultivo binas repetidas. En España es Carmelo Benaiges (1964) quien recogió la experiencia acumulada e investigó y desarrolló desde 1920-60 el método de líneas agrupadas en los cultivos herbáceos de secano. Este método, con la aparición de los herbicidas, fue relegándose hasta su total desaparición.

Con la siembra de líneas agrupadas, la agricultura ecológica extensiva de secano se beneficia del laboreo superficial entre fajas ya que favorece la aireación del suelo y por tanto la actividad biológica que interesa al compostado de los restos de cosecha incorporados al sistema como elemento fertilizante. De igual forma, se favorece la actividad de bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico como los *Azotobacter*, que obtienen este elemento de la atmósfera confinada en el suelo. La siembra en fajas es también un buen elemento de **control de la erosión** cuando se realizan siguiendo las líneas de nivel, ya que se convierten en pequeñas terrazas elementales.

Otro método utilizado para la escarda en los cultivares herbáceos de secano es el de las gradas de púas o varillas flexibles: Está indicado principalmente en cereales y se actúa con el cultivo en fase de ahijado, el inconveniente es que se debe dar las condiciones de suelo en tempero con la superficie seca y no controla bien gramíneas ni plantas, muy enraizadas.

Se valoró la eficacia de métodos mecánicos tradicionales de control de hierbas espontáneas (líneas agrupadas y pase de rastra de púas flexibles) frente al tratamiento químico convencional y un testigo sin escarda (Lacasta *et al.*, 1997), y se observó que hay una disminución gradual de las poblaciones de malas hierbas según tratamientos: Testigo > Grada > Líneas agrupadas > Químico. En la grada, aunque las poblaciones son menores que en el testigo, no siempre mostraron diferencias significativas, hubo años que el control de algunas hierbas supuso el 70% y otros, debido al estado del terreno (muy seco), o al desarrollo de las hierbas el control no llegó ni al 20% (Fig 25). El tratamiento en líneas agrupadas mostró diferencias significativas con el testigo en tres de las siete especies estudiadas pero lo más interesante es que, con respecto al químico, no hay diferencias en cinco de ellas: (*Anthemis*, *Capsella*, *Papaver*, *Polygonum* y *Spergularia*); ni en el número total de plantas. En el tratamiento químico, como era de esperar, el número de especies es menor que en el resto.

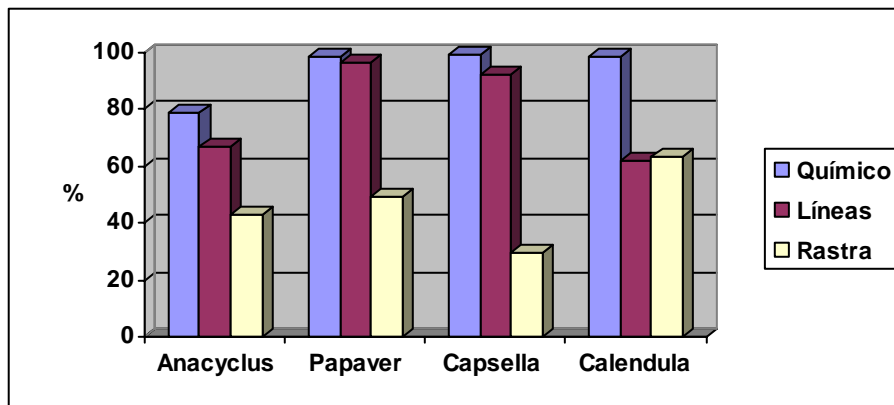


Fig. 25.- Control en % de algunas especies arvenses con diferentes manejos.

Pero aunque había diferencias en la cantidad de malas hierbas por unidad de superficie en función de la escarda utilizada cuando se observa las producciones medias de 8 años (Fig. 26), se comprueba que las diferencias son insignificativas. Sólo un año (2003) hay diferencias significativas. (Fig 27). Esto era debido porque el experimento estaba sometido a una rotación de cultivo, confirmándose una vez más que la rotación de cultivos en los agrosistemas de cereales es la mejor estrategia para el control de malas hierbas.

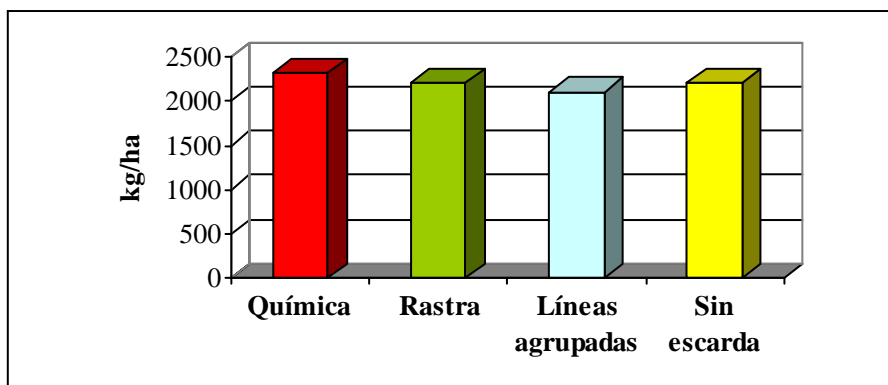


Fig. 26.- Producción de cereal en rotación con otros cultivos (media 8 años) sometido a diferentes escardas.

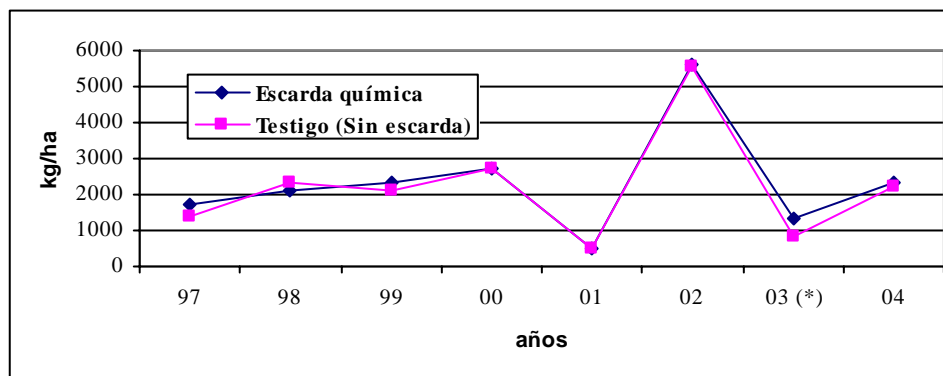


Fig 27.- Evolución de la producción de cereal en rotación con otros cultivos. (\*) Indica diferencias significativas

Los resultados del tratamiento con grada de púas flexibles, han estado muy mediatizados, algunos años, por el exceso de lluvia en invierno, que produjo en nuestras parcelas experimentales una fuerte compactación de la superficie del suelo, impidiendo un buen funcionamiento del apero y un retraso en su momento de aplicación. Nuestra experiencia del secano nos dice que las condiciones idóneas para pasar este tipo de grada en los cultivos herbáceos de siembra de otoño son: suelo húmedo pero suelto en superficie y hierbas espontáneas en estado de plántula. Según Lampkin (1998), una vez que el cultivo se ha establecido y ha pasado la etapa de tres hojas, el gradeo puede ser eficaz. Antes de esta etapa puede dañarse seriamente el cultivo. Las pasadas se pueden realizar en el sentido de las líneas de los cereales y perpendicularmente a ellas.

En cambio, el cultivo en líneas agrupadas permite el paso del tractor con rejas apropiadas entre las calles, logrando disminuir las poblaciones de malezas a niveles cercanos a los conseguidos por el tratamiento químico y disponiendo de un margen de tiempo mayor para su aplicación.

Las labores, las rotaciones y la fertilización, influyen en la evolución de la flora arvense, Meco *et al.*, (2000) y Dorado *et al.*, (1997). El laboreo reducido, favorece las especies con semillas de tamaño pequeño como *Anacyclus clavatus*, *Arabidopsis thaliana* y *Draba verna*. *Raphanus raphanistrum* y *Polygonum aviculare*, las dos especies se vieron favorecidas por el laboreo del terreno

*Chenopodium album*, presenta mayor abundancia en las rotaciones que contienen cultivos de verano. Otras especies de verano, se encontraron con mayor densidad en sistemas de poco laboreo, ya que las semillas fotosensibles de *Amaranthus* spp., germinan sólo si disponen de niveles óptimos de iluminación.

El aumento de las densidades de siembra, poniendo mayor número de plantas cultivadas por unidad de superficie, ha sido considerada tradicionalmente una buena manera de aumentar la competencia del cultivo frente a la flora arvense acompañante. En los experimentos realizados en la finca “La Higuera” (García Muriedas *et al.*, 1997) en diferentes rotaciones de cereales y con distintas densidades de siembra y durante siete años no han mostrado diferencias en los niveles de infestación por malas hierbas por efecto de las densidades y las diferencias se mostraban por efecto de la rotación.

Las producciones tampoco mostraron diferencias por efecto de las distintas densidades de siembra en el cereal cuando estaba en rotación con otro cultivo (Fig. 28), y si cuando era un monocultivo de cereal.

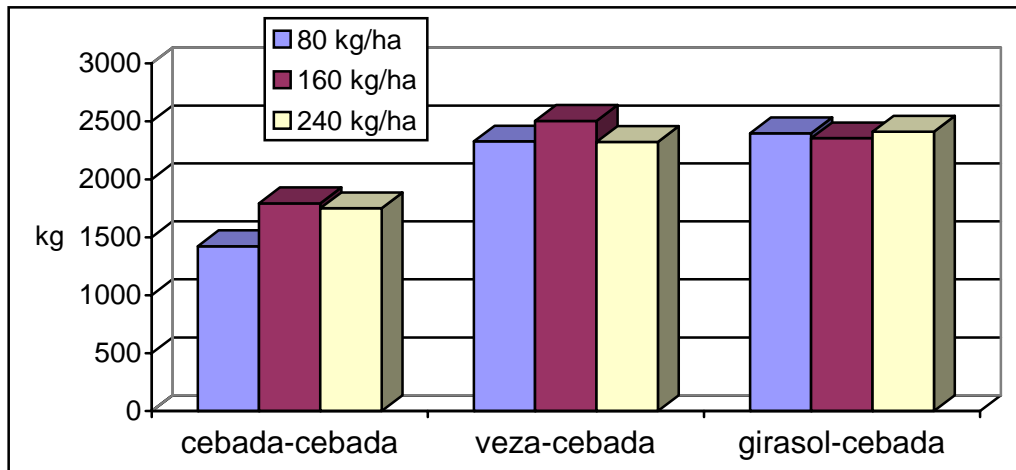


Fig. 28.- Producción de cebada (media de 11 años) considerando diferentes densidades de siembra y rotaciones de cultivo.

Algunas variedades de especies de cereal, por sus características morfológicas muestran una diferencia apreciable de comportamiento frente a las invasiones de flora arvense. En cereales el trigo “Aragón”, la cebada “Albacete” y el centeno tienen una gran capacidad competitiva por su altura. De forma general, las variedades de trigo de menor talla se ven más afectadas en su rendimiento que las de mayor talla. En un experimento (Fig. 29) donde se testaba la competencia de 20 plantas de avena loca/m<sup>2</sup> con dos tipos de trigo de diferente tamaño y con diferentes fertilizaciones nitrogenadas (González-Ponce, 1995). Los resultados demostraban que en todos los niveles de fertilización la variedades más alta (Pane 247) producía más que la variedad baja (Anza) cuando en el cultivar había *Avena sterilis* y la diferencia era mayor en los niveles bajos de fertilización nitrogenada, que es la situación de los cultivares ecológicos.

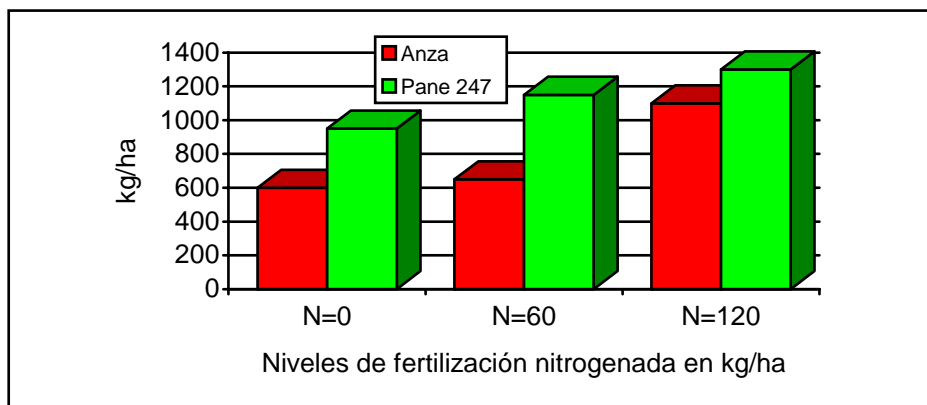


Fig.29- Efecto de la competencia de *Avena sterilis* (20 plantas m<sup>-2</sup>) sobre el rendimiento de dos variedades de trigo, sometido a diferentes niveles de fertilización.

La fertilización al favorecer el desarrollo del cultivo, compite mejor con la flora arvense, disminuyendo las infestaciones de la misma especie hasta en un 40%. (Meco *et al.*, 2000), se comprobaba también que las rotaciones que estaban fertilizadas pero sin herbicidas el número de especies y plantas de flora arvense por m<sup>2</sup> era menor que las

que estaban sometidas a manejo ecológico sin fertilización (Fig. 30). Aunque la disminución media de productividad es sólo de un 10% (Fig. 31).

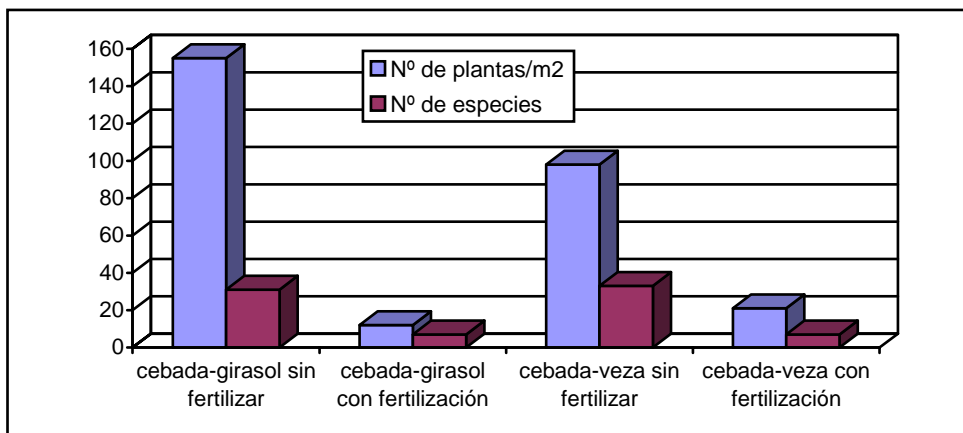


Fig. 30.- Efecto de la fertilización, en la evolución de la flora arvense acompañante del cultivo de cebada sometido a diferentes rotaciones.

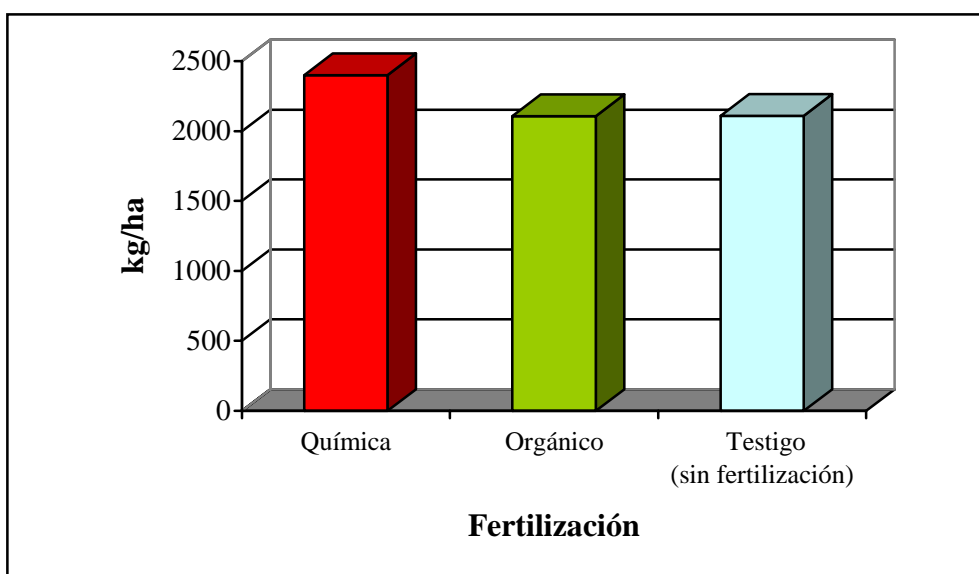


Fig. 31.- Efecto de diferentes tipos de fertilización en la productividad de un cereal en rotación (media 8 años)

Las rotaciones que ofrecen un mejor control de la flora espontánea en el cultivo de cereales son aquellas que incluyen un barbecho, girasol y veza forraje, ya que disminuyen el banco de semillas del suelo, bien con las labores de invierno o con la siega de primavera, disminuyendo por tanto la densidad de flora arvense en el cultivo de cereal. Por otra parte las rotaciones con barbecho y leguminosas dejan en una primera fase del cultivo de cereal tal cantidad de nitratos en el suelo que favorecen la competencia del cultivo frente a la flora acompañante. Por todo ello, son las rotaciones la mejor estrategia para el control de malas hierbas.

**Los sistemas cerealísticos de secano si están sometidos a correctas rotaciones de cultivos permiten un control correcto de la flora arvense y que puede mejorarse con el cultivo en líneas agrupadas o pases de rastra.**

## **BIBLIOGRAFIA**

- ALBA DE, S., (1997) Metodología para el estudio de la erosión en parcelas experimentales: relaciones erosión-desertificación a escala de detalle. *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación. Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC), Geoforma ediciones* . Logroño, pp 259-293.
- ALBA DE, S., BENITO, G. y PEREZ-GONZALEZ, A., (1998) Erosión de suelo en episodios de lluvia de elevada intensidad versus episodios de moderada y baja intensidad y elevada frecuencia, en ambientes semiáridos. *Investigaciones recientes de la Geomorfología española*. Barcelona, pp. 483-492.
- ALBA DE, S. (2000) Redistribución del suelo por las prácticas de laboreo: Erosión por laboreo. *Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del suelo* (nº 72). 75-89.
- BELLO, A. y LÓPEZ-FANDO, C., (1993). Los nematodos del suelo indicadores de la degradación de un xeralf. En J. Gallardo (ed.) *El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*, Salamanca, Tomo I : 419-426.
- BENAIGES, C. (1964) Agricultura productiva: Técnicas coordinadas para lograr mayores cosechas y mejores tierras. *Ministerio de Agricultura* ; Madrid. 854 pp.
- BOLTON H.J., ELLIOT L.F., PAPENDICK R.I. and BEZDICEK, D.F. (1985). Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biol. Biochem.* 17:297-302.
- BROWN, L.R. (1997) ¿Podemos aumentar los rendimientos de los cereales con la suficiente rapidez? *World Watch*, nº 4, 8-17.
- CARRASCO, J. (1997). Influencia de diferentes sistemas de laboreo en las propiedades físicas y químicas de un Luvisol cálcico de la meseta central de España. *Tesis doctoral, ETSIA, Universidad Politécnica*, Madrid, 295 pp.
- CAST (Council for Agricultural Science and Technology), (1990). Alternative Agriculture Scientist's review. Cast. (ed.) *Ames-Iowa. Special Publ.* nº 16 :1-182.
- COMITÉ DE PREVENCIÓN DE RESISTENCIAS A HERBICIDAS.(1999) La resistencia de las malas hierbas a los herbicidas. *Sociedad Española de Malherbología*. Triptico divulgativo.
- DIAZ MARCOTE, I., (1995) Materia orgánica. Lacasta (Ed). *Investigaciones sobre el secano en Castilla-La Mancha*. CSIC, 34-35.
- DIEZ, J.A. (1983) (1) Balance de nutrientes en el suelo en dos tipos de rotación T-C-B y T-C-V. I Potasio. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 42:1581-1590.
- DIEZ, J.A. (1983) (2) Balance de nutrientes en el suelo en dos tipos de rotación T-C-B y T-C-V. II Fósforo. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 42:1591-1598.
- DORADO, J., DEL MONTE, J.P. y LÓPEZ-FANDO, C. (1997). Efectos de la rotación de cultivos y los sistemas de laboreo sobre la flora arvense en ambiente semiárido. *Actas Congreso Sociedad Española de Malherbología*, Valencia, pp 41-46.

- FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C., GÓMEZ FERNÁNDEZ-MONTES, A.J. (1984). Análisis energético de la producción de cereales en la región central. *An. INIA*, n.º 25 ; 41-54.
- FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C. (1999) (1). Buenas Prácticas agrícolas para el control de malas hierbas en cereales de invierno. Fernández Quintanilla Garrido y Zaragoza (Ed.) *Control integrado de malas hierbas*, 93-103.
- FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C. (1999) (2). Impacto ambiental de las prácticas agrícolas. *Agricultura*, n.º 810, 1092-1096.
- GARCIA MURIEDAS, G., ESTALRICH, E., LACASTA, C., MECO, R. (1997). Efecto de las rotaciones de cultivos herbáceos de secano sobre las poblaciones de la flora arvensis. *Actas, Congreso Sociedad Española de Malherbología*, Valencia, pag. 33-36.
- GASCO, J.M., (1991). Papel de las prácticas agrícolas, sobre la fertilidad y conservación del suelo. *I Jornadas sobre Agricultura Eco-compatible*, Ponencias. Badajoz, 61-73.
- GIRÁLDEZ CERVERA J. V. (1997). Efectos de los diferentes sistemas de laboreo sobre las propiedades físicas del suelo. En *Agricultura de Conservación: Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*. Eds. L. García Torres y P. González Fernández. Publicado por la Asociación Española Laboreo de Conservación/Suelos Vivos: 53-72
- GONZALEZ-PONCE, R. (1995). Malas Hierbas.. Lacasta (Ed.) *Investigaciones sobre el secano en Castilla-La Mancha*. CSIC, 20-21.
- HOWIESON, J.G., O'HARA, G.W. Y CARR, S.J. (2000): " Changing roles for legumes in Mediterranean agriculture: developments from an Australian perspective". *Field Crops Research* n.º 65, 107-122.
- LABRADOR J. (2002). Aproximación a las bases técnicas de la agricultura ecológica. En *Manual de Agricultura y Ganadería Ecológica*. Eds J. Labrador, J.L. Porcuna y A. Bello. Editado EUMEDIA: 17-36.
- LABRADOR J. (2003). La materia orgánica, base de la fertilización en agricultura ecológica. En *Fundamentos de Agricultura Ecológica*. Eds J. de las Heras, C. Fabeiro y Ramón Meco. Ediciones de la Universidad de Castilla La Mancha: 109-134
- LACASTA, C., OLIVER, S., MESEGUER, J. (1988) Estudio agroclimático de cereales y leguminosas de Santa Olalla, Toledo. *Avances sobre investigación en bioclimatología*. CSIC. 195-201.
- LACASTA, C., BELLO, A. (1989) Análisis de los factores limitantes en los agrosistemas de cereales. Su proyección en Agricultura Biológica. *Ponencias y Comunicaciones del Congreso Internacional de Tecnologías Alternativas de Desarrollo*. Ministerio de Agricultura. 34-43.
- LACASTA, C., MECO, R., (1996), (1). Efecto de diferentes labores y rotaciones en un suelo arcilloso sobre la producción de cultivos herbáceos en Castilla-La Mancha: 12 años de experimentación. *Actas Congreso Nacional Agricultura de Conservación: Rentabilidad y Medio Ambiente*. 141-145.
- LACASTA, C., MECO, R., (1996), (2). Influencia del laboreo en las propiedades químicas de los suelos. 153-155.
- LACASTA, C., MECO, R., (1996), (3). Conservación del agua en los suelos y laboreo de conservación en ambientes semiáridos. 147-151.



- LACASTA, C., G. GARCÍA MURIEDAS, E. ESTALRICH, R. MECO (1997). Control mecánico de adventicias en cultivos herbáceos del secano. *Actas, Congr. Sociedad Española de Malherbología*. 37-40.
- LACASTA, C., MECO, R. (2001). La cerealicultura ecológica es más rentable: Estudio energético y económico. *La Fertilidad de la tierra*, nº 3. 23-28.
- LACASTA, C. (2004). Producción de cultivos herbáceos y evolución de parámetros químicos y bioquímicos en experimentos de larga duración. *Agricultura de Conservación* nº 22: 8-10
- LACASTA, C., MECO, R. (2004). Estudio de diferentes parámetros agronomicos en cereal de secano. *Comunicaciones: VI Congreso SEAE – Almería 2004 Agroecología: Referente para la transición de los sistemas agrarios*: 1513-1530
- LACASTA, C., MECO, R. (2005). Fertilización de cultivos herbáceos de secano: Balance de nutrientes en en manejos convencionales y ecológicos. *XI Jornadas Técnicas de la SEAE – Toledo* :En prensa
- LAMPKIN, N. (1998) Agricultura Ecológica.. *Ed Mundi – Prensa*.723 pp.
- LOPEZ-FANDO, C., (1991). Degradación de un Xeraf sometido a distintas técnicas agrícolas. *Tesis Doctoral E.T.S.I.A., Universidad Politécnica, Madrid*, 223 pp.
- LÓPEZ FANDO, C. (1993) Efectos de distintos residuos orgánicos sobre el rendimiento de cereales y características químicas del suelo. *Actas del XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo*. 66-72.
- LOPEZ, A. SANTAOLALLA, Mc. PALACIOS, J. VIDAL, M. (1996). Practicas de fertilización agricola, medioambientales. *Rev. Agricultura*. 486-488
- MECO, R. y LACASTA, C., (1998). Manejo ecológico de diferentes rotaciones de secano en Castilla-La Mancha. *Agricultura Ecológica y Desarrollo Rural, Actas del II Congreso de la SEAE, Pamplona*.105-110.
- MECO, R. ; LACASTA, C. (1996). El método Benaiges para el control de hierba espontáneas en secano. *Agricultura*, nº 771. 855-858.
- MECO, R., LACASTA, C., ESTALRICH, E. GARCÍA MURIEDAS, G. (2000) La Agricultura ecológica en cereales, una alternativa para zonas semiáridas. *Una alternativa para el mundo rural del tercer milenio. Actas del III Congreso SEAE*, 83-94.
- NOGUEROLES, C., ZARAGOZA, C. (1999) Buenas practicas agrícolas para el control de malas hierbas en agricultura ecológica. Fernández Quintanilla, Garrido y Zaragoza (Ed). *Control integrado de malas hierbas*. 185-205.
- PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO M., ROQUERO C. (1999). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi Prensa: 849 pp.
- POZUELO, J.M. y DE FELIPE, R., (1995) Rotación cereal-leguminosas. Lacasta (Ed.). *Investigaciones sobre el secano en Castilla-La Mancha*, CSIC. 14-15.
- PUIG, M. H. (1979). Factores que afectan la respiración y la capacidad fijadora de nitrógeno de suelos con paja incorporada. INIA, Ministerio de Agricultura, España. 246 pp.
- RODRÍGUEZ, C., SEVILLANO, F., SOBRAMANIAM, P. (1985). La fijación de nitrógeno atmosférico. Temas monográficos CSIC-Diputación de Salamanca, 71 pp.
- SÁNCHEZ, A., CUADRA, L., GARCIA-ALVAREZ, A., BENITEZ, M. (1995) Reforestación. Lacasta (Ed.) *Investigaciones sobre el secano en Castilla-La Mancha*. CSIC, 52-53.

- SKUJINS J. (1976). Extracellular enzymes in soil. *Critical Review Microbial*. 4: 383-421.
- TREVORS J.T. (1984). Effect of substrate concentration, inorganic nitrogen, O<sub>2</sub> concentration, temperature and pH on dehydrogenase activity in soil. *Plant Soil*. 77: 285-293.
- VALERA, F., REY, P., MARTINEZ, A., ALCANTARA, J. (1999) El uso de herbicidas y la conservación del medio ambiente: efectos sobre la flora y la fauna. Fernández Quintanilla, Garrido y Zaragoza (Ed.). *Control integrado de malas hierbas.*, 23-35.
- ZARAGOZA, C. (1998) Ecología y control de la flora arvense. *Agricultura Ecológica y Desarrollo Rural. Actas del II Congreso de la SEAE*. Pamplona-Iruña 1996, 51-63.
- ZARAGOZA, C., AIBAR, J., CAVERO, P., CIRIA, P., CRISTÓBAL, M.V., DE BENITO, A., GARCÍA MARTÍN, A., GARCÍA MURIEDAS, G., HERNÁNDEZ, J., LABRADOR, J., LACASTA, C., LAFARGA, A., LEZAUN, J.A., MECO, R., MOYANO, A., NEGRO, M.J., SOLANO, M.L., VILLA, F. Y VILLA, I. (2000) Manejo ecológico de agrosistemas en secanos semiáridos. Resultados de doce ensayos sobre fertilización y escarda. *Una alternativa para el mundo rural del tercer milenio. Actas del III Congreso SEAE*, 75-82.