

# INFLUÈNCIA D'UN CULTIU DE GRAMÍNIA I D'UN DE LLEGUMINOSA EN L'ACTIVITAT BIOLÒGICA D'UN SÒL AGRÍCOLA

M. Bonmatí, R. Ibarqüengoitia, R. Perán.  
Departament d'Agronomia

J. Valero. Departament d'Enginyeria Rural

*Escola Superior d'Agricultura de Barcelona*

## Resum

S'ha realitzat una prova de camp per estudiar els efectes de dos tipus de cultiu (blat i tramús) sobre la biomassa microbiana i les activitats proteolítica (assajada amb dos substrats diferents: caseïna i N-benzoil-L-argininamida, aquest darrer anomenat abreujadament BAA), fosfatàsica i ureàsica d'un sòl agrícola tipus xerocept. Amb la finalitat que el mostreig fos representatiu, l'experiència es va realitzar dividint el terreny en quatre blocs aleatoritzats de tres parcel·les per bloc, destinades, respectivament, a cadascun dels dos cultius i a un control que no es va cultivar. Es va mostrejar a mig cultiu, a la fi del cultiu i després de 25, 50, 75 i 100 dies d'haver aixecat el cultiu. Una vegada fet el mostreig es van barrejar les mostres corresponents a les parcel·les amb un mateix tractament. Es van realitzar, en cadascun dels tractaments i dels períodes investigats, un mínim de tres repeticions per cada paràmetre. Els resultats obtinguts mostren que el cultiu (ja sigui de blat o de tramús) augmenta el valor de tots els paràmetres investigats i que aquest increment es produeix sobretot a la fi del cultiu i després de la collita. Els paràmetres que es veuen majoritàriament augmentats una vegada aixecat el cultiu són principalment la biomassa microbiana (increment mitjà del 70% en les parcel·les cultivades respecte de les no cultivades) i també l'activitat caseïnolítica (30%) i l'activitat ureàsica (20%); en tots aquests casos l'efecte intensificador del blat és, en general, superior al que té el tramús. Els paràmetres que es veuen augmentats a la fi del cultiu en el cas del blat, són l'activitat hidrolítica sobre BAA (90%) i l'activitat fosfatàsica (25%), i en el cas

## Resumen

Se ha realizado una prueba de campo para estudiar los efectos de dos tipos de cultivo (trigo y altramuç) sobre la biomasa microbiana y las actividades proteolítica (ensayada con dos sustratos diferentes: caseína i N-benzoil-L-argininamida, este último denominado abreviadamente BAA), fosfatàsica y ureàsica de un suelo agrícola tipo *xerocept*. Con el fin de conseguir un muestreo representativo, la experiencia se realizó dividiendo el terreno en cuatro bloques aleatorizados de tres parcelas por bloque, destinadas, respectivamente, a cada uno de los dos cultivos y a un control que no se cultivó. Se muestreó a medio cultivo, al final del cultivo i una vez transcurridos 25, 50, 75 y 100 días después de la cosecha. Una vez realizado el muestreo se mezclaron las muestras correspondientes a las parcelas que habían sido sometidas al mismo tratamiento. Se realizaron, en cada uno de los tratamientos y de los períodos investigados, un mínimo de tres repeticiones en cada parámetro. Los resultados obtenidos muestran que el cultivo (trigo o altramuç) aumenta el valor de todos los parámetros investigados y que este incremento se produce fundamentalmente al final del cultivo y después de la cosecha. Los parámetros que se ven mayoritariamente aumentados sobre todo una vez realizada la cosecha, son especialmente la biomasa microbiana (incremento medio del 70% en las parcelas cultivadas respecto de las no cultivadas) y también la actividad caseïnolítica (30%) i la actividad ureàsica (20%); en todos estos casos el efecto intensificador del trigo es, en general, superior al que tiene el altramuç. Los parámetros que aumentan al final del cultivo en el caso

## Abstract

The effects of two different cultivations (wheat and lupin) on the microbial biomass and caseinolytic, N-benzoyl-L-argininamide (BAA), phosphatase and urease activities of a Xerocept arable soil were investigated through a field tested experiment. In order to perform a representative sampling the experiment was carried out by dividing the whole experimental terrain in four aleatory blocks with three plots per block. Two of the plots were assigned to one crop each, and the third was left uncultivated. Sampling was performed at mid cultivation, at the end of cultivation and 25, 50, 75 and 100 days after harvesting. Once sampling was performed, the samples corresponding to a same treatment were pooled together. All the parameters that were determined in each sample were replicated at least three times. The obtained results showed that cultivation (both wheat and lupin) enhanced the values of all the analyzed parameters and that this enhancement occurred mainly at the end of cultivation and after harvesting. The parameters that were enhanced mostly after harvesting were especially microbial biomass (in which the mean of cultivated plots is 70% higher than that uncultivated) and also caseinolytic activity (30%) as well as urease activity (20%); in all the mentioned cases the enhancing effect of wheat was higher than that of lupin. The parameters that were enhanced at the end of cultivation were BAA-hydrolytic activity (90%) and phosphatase activity (25%) in the case of wheat and urease activity (30%), microbial biomass (25%) and phosphatase activity (10%) in the case of lupin; the enhancing effect of this last activity in

del tramús l'activitat ureàsica (30%), la biomassa (25%) i l'activitat fosfatàsica, que s'incrementa només lleugerament (10%), però en la qual aquest efecte es manté fins a 100 dies després de la collita. En canvi, l'activitat d'hidròlisi de BAA en el cas del tramús presenta valors similars en les parcel·les cultivades i en les de control durant el cultiu i fins a 50 dies després de la collita; posteriorment les parcel·les provinents del cultiu presenten valors inferiors a les de control, cosa que succeeix també després de la collita amb aquesta activitat i amb la fosfatàsica en el cas del blat.

del trigo, son la actividad hidrolítica sobre BAA (90%) y la actividad fosfatásica (25%), y en el caso del altramuz la actividad ureásica (30%), la biomasa (25%) y la actividad fosfatásica, que es aumentada por el cultivo sólo ligeramente (10%), pero en la que este efecto se mantiene tanto durante el cultivo como hasta 100 días después de la cosecha. En cambio, la actividad de hidrólisis de BAA en el caso del altramuz presenta valores similares en las parcelas cultivadas y en las control durante el cultivo y hasta 50 días después de la cosecha; posteriormente las parcelas provinientes del cultivo presentan valores inferiores a las de control, cosa que sucede también después de la cosecha con esta actividad y con la fosfatásica en el caso del trigo.

lupin remained constant throughout plant growth and until 100 days after harvesting. N-benzoyl-L-argininamide hydrolytic activity in lupin cultivation showed similar values for cultivated and control plots throughout plant growth and even 50 days after harvesting; afterwards the cultivated plots showed lower values than controls. The same behaviour was observed with BAA-hydrolytic and phosphatase activities after harvesting in the case of wheat cultivation.

#### Mots clau

Biomassa, blat, fertilitat, fosfatasa, proteasa, tramús, ureasa

#### Palabras clave

Altramuz, biomasa, fertilidad, fosfatasa, proteasa, trigo, ureasa

#### Key words

Biomass, fertility, lupin, phosphatase, protease, urease, wheat

## Introducció i objectius

SAÑA *et al.* (1996) defineixen la fertilitat del sòl dins un model d'agricultura sostenible com un estat d'eficàcia elevada i prolongada del cicle dels elements nutritius i un estat d'alta estabilitat enfront dels processos degradatius. L'estudi de l'aspecte biològic de la fertilitat del sòl inclou la determinació de l'abundància i activitat de la seva biomassa, especialment de la part més important d'aquesta, la biomassa microbiana.

La biomassa microbiana és la fracció (entre l'1% i el 3%) de la matèria orgànica del sòl que és bioquímicament activa i, consegüentment, responsable dels processos paral·lels de mineralització i humificació d'aquesta matèria orgànica, i també de la immobilització dels nutrients dels vegetals. Així doncs, la quantificació de la biomassa microbiana és fonamental per conèixer el balanç entre consum i producció de nutrients i energia en el sòl. En els sòls agrícoles, la biomassa és responsable, per exemple, de la immobilització de 100 a 600 kg de N i de 50 a 300 kg de P per hectàrea en la capa superior (primers 30 cm) del sòl (MARTENS, 1995). La mineralització o la immobilització del nitrogen i el fòsfor depenen de la dinàmica vital d'aquests microorganismes.

La determinació de l'abundància de la biomassa microbiana no es pot realitzar de manera acurada per comptatge directe al microscopi (aquest sistema no distingeix, òbviament, entre microorganismes vius i morts), ni tampoc utilitzant mitjans de cultiu, que tenen la limitació de ser sempre selectius per a determinats microorganismes. La quantificació d'aquesta biomassa s'ha de fer, doncs, per mètodes indirectes: per determinació del contingut de carboni de la biomassa utilitzant els mètodes de fumigació-incubació (JENKINSON i POWLSON, 1976) o de fumigació-extracció (VANCE *et al.*, 1987), o per respirometria segons el mètode de respiració induïda per substrat (ANDERSON i DOMSCH, 1978).

L'activitat total de la biomassa microbiana es pot conèixer mitjançant mesures respiromètriques (que determinen la cinètica degradatòria de la matèria orgànica a través de mesurar, per exemple, la quantitat de CO<sub>2</sub> que es produeix per un pes determinat de sòl i per unitat de temps) o bé determinant l'activitat deshidrogenàsica del sòl (totes les cèl·lules vives tenen aquesta activitat enzimàtica), o per quantificació de l'ATP en extractes del sòl (TATE i JENKINSON, 1982).

Les activitats parcials de la biomassa microbiana es poden quantificar de manera aproximada determinant les activitats dels diferents enzims del sòl, encara que aquestes activitats són en realitat una part de l'activitat de la biomassa total del sòl, i no només de la microbiana, sinó també de la flora i la fauna. Les activitats proteolítica i ureàsica estan clarament relacionades amb l'assimilabilitat del nitrogen orgànic pels vegetals, ja que els aminoàcids obtinguts com a conseqüència de l'acció de les proteases són posteriorment transformats en amoni, que és també el producte obtingut com a conseqüència de l'acció de la ureasa; aquest amoni es transforma posteriorment en nitrat (la forma majoritària d'assimilació del nitrogen pels vegetals) durant el procés de nitrificació. L'activitat fosfatàsica és un índex de la capacitat que té el sòl de disposar de fòsfor assimilable, ja que aquest enzim catalitza la transformació dels èsters fosfòrics units a la matèria orgànica del sòl en fosfat inorgànic.

L'activitat d'un determinat enzim que es mesura en un sòl és la suma de diferents components. Aquests components es poden acotar, abans de realitzar la tècnica de determinació de l'activitat, si es tenen en compte una sèrie de factors relacionats amb les condicions de treball, com són, per exemple:

- la metodologia utilitzada en el pretractament (assecar o no les mostres)
- la temperatura de conservació de les mostres una vegada realitzat el mostreig
- el temps d'incubació de la barreja enzim-substrat en la tècnica de la determinació.

Les tècniques utilitzades normalment i les que nosaltres varem utilitzar mesuren l'activitat deguda a enzims extracel·lulars, entre els quals s'inclouen els associats a les parets externes cel·lulars, els associats a complexos enzim-substrat (provinents de l'excreció o de la lisi de la flora i la fauna) i els immobilitzats en les argiles i en l'humus. Aquests darrers són els components més importants de l'activitat, ja que proporcionen al sòl una capacitat catalítica protegida i permanent, independent de l'existència de les cèl·lules de les quals provenen.

Dos dels aspectes importants que cal esbrinar en l'àrea de recerca aplicada, dins el camp de la bioquímica del sòl i relacionats amb la seva fertilitat, són:

- la contribució dels diferents components de la matèria orgànica del sòl en l'estabilització dels enzims;

- la influència del tipus de cultiu en l'increment i estabilitat de la biomassa microbiana i de les activitats enzimàtiques.

Cal esperar, per exemple, que una vegada aixecat un determinat cultiu en un sòl agrícola, els residus vegetals que resten en el sòl contribueixin a augmentar la població microbiana pel fet que aquests residus constitueixen una font energètica fàcilment assimilable pels microorganismes. Així mateix, tant aquesta biomassa microbiana incorporada com els enzims provinents dels residus vegetals, han de produir un increment més o menys intens de les diferents activitats enzimàtiques del sòl. En el cas que això succeeixi, es produirà un augment de la fertilitat biològica del sòl que serà beneficiós per a cultius posteriors. A mesura que transcorre el temps, una vegada aixecat el cultiu, aquests augments del nombre de microorganismes i de la seva activitat han d'anar disminuint com a conseqüència de la descomposició de la matèria orgànica aportada pels residus vegetals; però una part de l'activitat pot anar-se estabilitzant si s'integra a la matèria orgànica que passa a formar part de l'humus. ZANTUA i BREMNER (1976) varen afegir diferents tipus de residus vegetals a un sòl agrícola i varen detectar un clar augment de la seva activitat ureàsica com a conseqüència d'aquests afegits; l'increment, però, anava disminuint a mesura que transcorria el temps. Per altra part, LADD *et al.* (1994) varen constatar que, una vegada aixecat un cultiu de blat, el contingut en biomassa microbiana era més elevat en els sòls si no se n'eliminaven els residus de la collita.

També és possible que l'efecte abans esmentat es produeixi, encara que amb menys intensitat, durant el cultiu, ja que mentre la planta hi és present pot aportar al sòl matèria orgànica de fàcil assimilabilitat. Aquesta aportació pot provenir de les llavors presents al sòl que no s'hagin desenvolupat, de les mateixes plantes -a través, per exemple, de les fulles caigudes-, o de la difusió més o menys intensa en el sòl de l'activitat de la rizosfera. Tenint en compte aquesta possibilitat, caldria esperar que l'efecte augmentés a mesura que el cultiu progressés, o també en moments determinats del desenvolupament vegetal en els quals la rizosfera presenta una elevada activitat; llavors l'augment de la fertilitat biològica del sòl tindria lloc ja durant el cultiu i seria més intens com més elevada fos la producció. VANKURA i HOVADIK (1965) trobaven que la màxima activitat de la rizosfera tenia lloc als voltants del moment de la floració; GAVRILOVA *et al.* (1975) varen obtenir, en diferents tipus de cultius,

una correlació positiva entre el rendiment de la collita i l'activitat fosfatàsica; SPEIR *et al.* (1980) detectaven, immediatament després de la collita, valors d'activitat proteolítica i ureàsica més alts en sòls cultivats amb raigràs que en els mateixos sòls no cultivats.

L'objectiu d'aquest article és proporcionar informació de la influència d'un cultiu de gramínia i d'un de lleguminosa sobre la biomassa i les activitats proteolítica, fosfatàsica i ureàsica d'un sòl agrícola. La raó de l'elecció d'aquests dos vegetals partia de la suposició que, mentre dura el cultiu, cal esperar més increment sobre l'activitat biològica d'un sòl per part d'una lleguminosa que no pas per part d'una gramínia, atès que les lleguminoses presenten més activitat en la rizosfera (GRÄF, 1930). Volíem comprovar aquesta hipòtesi i esbrinar si es presentaven diferències en la influència dels residus vegetals d'aquestes dues espècies sobre l'activitat biològica del sòl una vegada aixecat el cultiu. Així doncs, aquesta influència s'ha estudiat durant les diferents fases de l'evolució dels cultius i durant els 75 o 100 primers dies després d'aixecats aquests.

## Disseny de l'experiència, material i mètodes

L'experiència es realitzà a la finca Torre Marimon situada en el terme municipal de Caldes de Montbui. S'utilitzà una parcel·la de 150 m<sup>2</sup>. Amb la finalitat que el mostreig fos representatiu de la variabilitat espacial de la parcel·la, aquesta es va dividir en quatre blocs de 31,5 m<sup>2</sup> separats per pasadissos d'un metre d'amplada. Cada bloc es va dividir en tres subparcel·les de 10,5 m<sup>2</sup> que es van dedicar, respectivament, determinant-ho a l'atzar, als cultius de blat (*Triticum aestivum*, varietat *Anza*) i tramús (*Lupinus albus*, varietat *Multolupa*). La tercera, que va servir de control, es va deixar sense cultivar i es va subdividir en dues subparcel·les per poder realitzar separadament els adobaments corresponents als cultius de blat i de tramús.

El sòl utilitzat va ser un xerocrept («Soil Taxonomy», JOSA *et al.*, 1984) de les següents característiques: pH = 7,85, C = 0,78%, N = 0,08%, sorra = 80%, llim = 7%, argila = 13%. L'adobament per al tramús va ser de 75 unitats de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 75 unitats de K<sub>2</sub>O i 30 unitats de N i es va realitzar a principi de novembre. En el cas del blat es va realitzar el mateix adobament que en el tramús, però s'hi van afegir 70 unitats de N en la fase d'encanyada. La sembra, tant del blat com del tramús, es va re-

alitzar a mitjan novembre, i la collita a principi de juliol de l'any següent. Durant tot el temps que va durar el cultiu, tant en les parcel·les cultivades com en les de control, es van anar traient periòdicament les males herbes manualment, sense utilitzar herbicides.

Les mostres es van prendre, tenint en compte les dades bibliogràfiques esmentades en la introducció, en les dates aproximades següents:

- Mig cultiu: principi de març (fase d'encanyada) per al cas del blat, i principi de maig (immediatament després de la floració) per al cas del tramús.

- Fi del cultiu: principi de juliol (immediatament abans de la collita) tant per al blat com per al tramús.

- Postcollita: quatre mostres que corresponen, respectivament, tant per al blat com per al tramús, a final de juliol, final d'agost, mitjan setembre i principi d'octubre (25, 50, 75 i 100 dies després de la collita).

El mostreig es va fer dels primers 20 cm, segons el mètode clàssic de recorregut per ziga-zaga. Una vegada realitzat es van barrejar les mostres corresponents a les parcel·les amb el mateix tractament. Les mostres es van deixar assecar a l'aire el mateix dia de la recollida durant 24 hores, es van tamisar a 2 mm i es van conservar en pots hermètics a -18 °C fins al moment de realitzar les determinacions.

Les determinacions dels diferents paràmetres (biomassa i activitats enzimàtiques) en cadascuna de les mostres analitzades es realitzaren, com a mínim, per triplicat.

La biomassa es va quantificar segons el mètode de fumigació-incubació (JENKINSON i POWLSON, 1976). L'activitat proteolítica es va determinar utilitzant dos substrats diferents: caseïna i N-benzoil-L-argininamida (BAA). La caseïna és susceptible de ser hidrolitzada per la majoria dels diferents tipus de proteases, i la seva hidròlisi correspon majoritàriament als enzims associats a la matèria orgànica fresca. El BAA és un substrat majoritàriament hidrolitzat pels enzims de tipus tripsínic que estan associats fonamentalment a la matèria orgànica més humificada del sòl. Els mètodes utilitzats per a la determinació de l'activitat utilitzant els dos substrats esmentats varen ser el de BONMATÍ *et al.* (1991) per a la caseïna, i el de NANNIPIERI *et al.* (1980) per al BAA. La determinació de l'activitat fosfatàsica es va realitzar segons BONMATÍ *et al.* (1985), i la de l'activitat ureàsica segons BONMATÍ *et al.* (1991).

El tractament estadístic de les dades es va fer, per a cadascun dels dos cultius (blat i tramús), mit-

jançant l'anàlisi de la variància amb dos factors de variació: tractament (cultiu i control) i període de mostreig. Es va realitzar el test de Newman-Keuls per determinar quines mitjanes eren significativament diferents.

## Resultats i discussió

### 1. Estudi de l'evolució de l'efecte del vegetal sobre cada paràmetre durant i després del cultiu

A les taules 1-5 exposem els resultats corresponents a les mitjanes de les rèpliques efectuades, durant i després del cultiu, per a cadascun dels paràmetres estudiats.

#### *Evolució de la biomassa*

En el cultiu de blat podem veure (taula 1) que no s'observa cap efecte patent del vegetal mentre aquest és present al sòl (la biomassa de les parcel·les cultivades no és significativament diferent de la dels controls ni a la meitat ni a la fi del cultiu); així mateix, la biomassa augmenta mentre la planta és present al sòl, però ho fa en una proporció molt similar en les parcel·les cultivades i en les de control, per la qual cosa aquest increment es pot atribuir, almenys en part, a l'efecte estacional. En canvi, sí que és clar l'efecte del cultiu previ una vegada aixecat aquest: la biomassa de les parcel·les en postcultiu es manté constantment -entre una vegada i mitja i dues vegades i mitja- superior a les de les parcel·les de control durant els 75 primers dies després de la collita; durant aquests dies la biomassa té oscil·lacions similars en les parcel·les en postcultiu i en les de control, la qual cosa significa que potser les oscil·lacions són també degudes fonamentalment a l'efecte estacional.

En el cultiu de tramús, en el qual no es van poder fer les determinacions a la meitat, l'efecte del vegetal (taula 1) és ja patent al final del cultiu (la biomassa de les parcel·les cultivades és superior a la de les de control) i aquest increment es manté permanentment després de la collita (els valors en les parcel·les en postcultiu són entre una i dues vegades superiors a les de control). Després de la collita, la biomassa de les parcel·les en postcultiu adquireix el seu valor màxim als 50 dies, valor que no varia significativament 25 dies després, i aquesta variació no es pot atribuir a l'efecte estacional, ja que les parcel·les de control oscil·len de manera diferent durant aquest període.

**Taula 1.** Valors mitjans de la biomassa ( $\mu\text{g C g}^{-1}$  sòl sec), en mostres de sòl no cultivat (sòl de control) i del mateix sòl cultivat amb blat o tramús, durant el cultiu i durant els primers 75 dies després de la collita

Període	Tractament	Cultiu	
		Blat	Tramús
Meitat del cultiu	Cultiu	254 b <sup>1</sup>	ND <sup>2</sup>
	Control	297 b	ND
Fi del cultiu	Cultiu	350 c	368 d
	Control	324 c	290 b
25 dies postcollita	Cultiu	377 d	384 d
	Control	271 b	285 b
50 dies postcollita	Cultiu	355 c	464 e
	Control	150 a	262 b
75 dies postcollita	Cultiu	437 e	434 e
	Control	262 b	315 c

1. Els valors no seguits per la mateixa lletra són significativament diferents ( $p < 0,05$ ).

2. No determinat.

#### *Evolució de l'activitat caseïnolítica*

En el cultiu de blat (taula 2) l'efecte del vegetal no és patent mentre aquest és present al sòl (no hi ha diferències significatives entre l'activitat de les parcel·les cultivades i la de les parcel·les de control ni a mig cultiu ni a la fi); l'activitat augmenta durant el cultiu, però ho fa de manera similar en les parcel·les cultivades i en les de control. Una vegada aixecat, sí que és manifest l'efecte del cultiu previ: l'activitat de les parcel·les que havien estat cultivades es manté pràcticament sempre una vegada i mitja més alta que la de les parcel·les de control. Durant aquest període les oscil·lacions de les activitats en les parcel·les cultivades són molt similars a les de les de control.

En el cultiu de tramús (taula 2) l'efecte de la planta tampoc no es manifesta durant la seva presència (l'activitat de les parcel·les es comporta com en el cas del blat) i no s'observen variacions de l'activitat en les parcel·les cultivades ni en les de control durant aquest període. Després de la collita, l'activitat del control és fins i tot lleugerament superior –al cap de 25 dies– a la de la parcel·la prèviament cultivada; però, posteriorment, l'efecte s'inverteix i les parcel·les que havien contingut el

**Taula 2.** Valors mitjans de l'activitat caseïnolítica ( $\mu\text{mol de tirosina g}^{-1}$  sòl sec  $\text{h}^{-1}$ ), en mostres de sòl no cultivat (sòl de control) i del mateix sòl cultivat amb blat o tramús, durant el cultiu i durant els primers 100 dies després de la collita

Període	Tractament	Cultiu	
		Blat	Tramús
Meitat del cultiu	Cultiu	0,123 c <sup>1</sup>	0,233 d
	Control	0,206 c	0,223 d
Fi del cultiu	Cultiu	0,364 e	0,237 d
	Control	0,313 e	0,230 d
25 dies postcollita	Cultiu	0,163 c	0,092 b
	Control	0,111 b	0,158 c
50 dies postcollita	Cultiu	0,079 a	0,078 a
	Control	0,064 a	0,061 a
75 dies postcollita	Cultiu	0,091 b	0,109 b
	Control	0,063 a	0,062 a
100 dies postcollita	Cultiu	0,094 b	ND <sup>2</sup>
	Control	0,062 a	ND

1. Els valors no seguits per la mateixa lletra són significativament diferents ( $p < 0,05$ ).

2. No determinat.

tramús tenen una activitat entre una vegada i mitja i dues vegades més elevada que les parcel·les de control. L'activitat de les parcel·les cultivades presenta valors molt similars durant tot aquest període, cosa que no succeeix amb l'activitat dels controls, que baixa fortament entre els 25 i els 50 dies. Aquesta activitat estable en les parcel·les cultivades després de la collita, que es tradueix en un augment progressiu de l'efecte intensificador sobre l'activitat, no es pot atribuir, doncs, fonamentalment a l'efecte estacional.

#### *Evolució de l'activitat sobre BAA*

En el cultiu de blat podem veure (taula 3) que l'efecte del vegetal no és patent a mig cultiu, però sí que ho és al final (l'activitat de la parcel·la cultivada és dues vegades més elevada que la de la parcel·la de control). L'activitat augmenta durant el cultiu i aquest augment no es pot considerar causat sobretot per l'efecte estacional, ja que l'activitat del control es manté estable durant el mateix període. Durant el període de postcollita l'activitat de les parcel·les cultivades és igual o fins i tot inferior (entre els 75 i els 100 dies posteriors a la collita) a la de les parcel·les de control. Les oscil·la-

cions evolutives de l'activitat de parcel·les cultivades i parcel·les de control són molt similars.

En el cultiu de tramús (taula 3), l'efecte de la planta mentre aquesta és present és nul i l'augment observat en l'activitat de les parcel·les cultivades no es pot deslligar de l'efecte estacional. Al cap de 25 dies d'aixecat el cultiu, les parcel·les cultivades presenten una activitat lleugerament superior a les de control, però posteriorment s'observa el mateix comportament que en el cas del blat. L'evolució de les parcel·les cultivades és molt similar a la que s'observa en les de control.

#### *Evolució de l'activitat fosfatàsica*

En el cultiu de blat observem (taula 4) que a mig cultiu les parcel·les cultivades tenen menys activitat que les de control i, en canvi, a la fi la relació s'inverteix: les parcel·les cultivades són 1,3 vegades més actives que les de control; es produeix un augment de l'activitat de les parcel·les cultivades durant el cultiu que no es pot atribuir a l'efecte estacional (en les parcel·les de control es produeix una disminució de l'activitat durant aquest període). Una vegada aixecat el cultiu, l'efecte dels residus

vegetals disminueix fins que, a partir dels 75 dies, l'activitat de les parcel·les cultivades és inferior a la de les de control, com en el cas de l'activitat sobre BAA. Les oscil·lacions de les activitats de les parcel·les cultivades i de les de control són molt similars després de la collita.

En el cultiu de tramús l'efecte de la presència de la planta (taula 4) només es manifesta al final i de manera més lleugera que en el cas del blat; les variacions durant aquest període de les parcel·les cultivades i de les de control és molt similar. Després d'aixecat el cultiu, l'efecte d'aquest es manté estable pràcticament durant tot el període controlat (les parcel·les prèviament cultivades mantenen una activitat lleugerament superior a les de control). Com en el cas del blat, les oscil·lacions de les parcel·les cultivades i de les de control són molt similars després de la collita.

#### *Evolució de l'activitat ureàsica*

En el cultiu de blat (taula 5) l'efecte de la presència de la planta és nul i l'activitat de les parcel·les cultivades i de les de control es manté estable durant el cultiu. Després de la collita, l'activitat de les

**Taula 3.** Valors mitjans de l'activitat proteolítica sobre N-benzoil-L-argininamida (BAA), donada en  $\mu\text{mol}$  de  $\text{NH}_3$   $\text{g}^{-1}$  sòl sec  $\text{h}^{-1}$ , en mostres de sòl no cultivat (sòl de control) i del mateix sòl cultivat amb blat o tramús, durant el cultiu i durant els primers 100 dies després de la collita

Període	Tractament	Cultiu	
		Blat	Tramús
Meitat del cultiu	Cultiu	0,69 d <sup>1</sup>	0,43 b
	Control	0,63 d	0,42 b
Fi del cultiu	Cultiu	1,38 h	0,98 g
	Control	0,71 d	1,09 g
25 dies postcollita	Cultiu	0,59 c	0,87 f
	Control	0,45 c	0,79 e
50 dies postcollita	Cultiu	0,48 c	0,33 a
	Control	0,59 c	0,31 a
75 dies postcollita	Cultiu	0,80 e	0,60 c
	Control	0,96 g	0,89 f
100 dies postcollita	Cultiu	0,80 e	0,60 c
	Control	1,06 g	0,90 f

1. Els valors no seguits per la mateixa lletra són significativament diferents ( $p < 0,05$ )

**Taula 4.** Valors mitjans de l'activitat fosfatàsica ( $\mu\text{mol}$  4-nitrofenol  $\text{g}^{-1}$  sòl sec  $\text{h}^{-1}$ ) en mostres de sòl no cultivat (sòl de control) i del mateix sòl cultivat amb blat o tramús, durant el cultiu i durant els primers 100 dies després de la collita

Període	Tractament	Cultiu	
		Blat	Tramús
Meitat del cultiu	Cultiu	0,76 b <sup>1</sup>	1,12 e
	Control	0,91 c	1,06 e
Fi del cultiu	Cultiu	0,97 d	1,00 d
	Control	0,77 b	0,89 c
25 dies postcollita	Cultiu	0,76 b	0,98 d
	Control	0,68 a	0,89 c
50 dies postcollita	Cultiu	1,20 e	1,35 g
	Control	1,15 e	1,28 f
75 dies postcollita	Cultiu	0,93 c	0,81 b
	Control	1,10 e	0,93 c
100 dies postcollita	Cultiu	1,02 d	1,12 e
	Control	1,11 e	1,00 d

1. Els valors no seguits per la mateixa lletra són significativament diferents ( $p < 0,05$ )

parcel·les cultivades és de l'ordre del doble de la de les de control al cap de 25 dies; posteriorment, l'efecte dels residus vegetals disminueix i l'activitat de les parcel·les cultivades es manté només lleugerament superior a la de les de control. Les oscil·lacions amb el temps de l'activitat de les parcel·les cultivades i de les de control són molt similars una vegada aixecat el cultiu.

En el cultiu de tramús l'efecte de la planta (taula 5) és patent a la fi, moment en el qual l'activitat de les parcel·les cultivades és quasi una vegada i mitja més elevada que la de les de control; l'activitat de les parcel·les cultivades augmenta més durant el cultiu que l'activitat de les de control, la qual cosa indica que aquesta tendència a l'augment no es pot explicar fonamentalment per les variacions estacionals. Després de la collita, l'efecte del cultiu previ persisteix i és del mateix ordre durant tot el període controlat (l'activitat de les parcel·les cultivades és entre una i una vegada i mitja més elevada que l'activitat de les de control). Les oscil·lacions d'activitat de parcel·les cultivades i parcel·les de control durant el cultiu són, com en el cas del blat, similars.

A la taula 6 hi ha un resum de tot el que ha estat exposat en aquest apartat.

**Taula 5.** Valors mitjans de l'activitat ureàsica ( $\mu\text{mol urea hidrolitzada g}^{-1} \text{ sòl sec h}^{-1}$ ) en mostres de sòl no cultivat (sòl de control) i del mateix sòl cultivat amb blat o tramús, durant el cultiu i durant els primers 100 dies després de la collita

Període	Tractament	Cultiu	
		Blat	Tramús
Meitat del cultiu	Cultiu	0,50 d <sup>1</sup>	0,33 a
	Control	0,48 d	0,35 b
Fi del cultiu	Cultiu	0,48 d	0,52 d
	Control	0,50 d	0,40 c
25 dies postcollita	Cultiu	0,60 f	0,52 d
	Control	0,35 b	0,40 c
50 dies postcollita	Cultiu	0,68 g	0,87 h
	Control	0,60 f	0,71 g
75 dies postcollita	Cultiu	0,92 i	0,88 h
	Control	0,86 h	0,84 h
100 dies postcollita	Cultiu	0,56 e	0,50 d
	Control	0,50 d	0,42 c

1. Els valors no seguits per la mateixa lletra són significativament diferents ( $p < 0,05$ )

## 2. Descripció de les diferències entre parcel·les cultivades i no cultivades

Les dades que comentarem a continuació són el resultat de globalitzar els valors de les mitjanes individualitzades que ja hem exposat a les taules corresponents. Els resultats d'aquests càlculs els esmentarem directament en el text sense exposar-los explícitament en taules; els estudis comparatius són només estimatius, ja que no han estat sotmesos a tractament estadístic.

### Estimacions globals

El cultiu (sense distingir blat de tramús ni els valors obtinguts durant el cultiu dels obtinguts durant els 75 o 100 dies posteriors a la collita) produeix un augment dels paràmetres bioquímics (també considerats globalment) que han estat estudiats. Aquest augment és de l'ordre d'un 20% i correspon majoritàriament a l'increment que es produeix una vegada aixecat el cultiu, que és també del 20%; l'increment és només del 10% mentre dura el cultiu i es produeix fonamentalment a la fi d'aquest. Aquests resultats verifiquen la hipòtesi que ha estat exposada en la introducció.

### Estimacions segons els paràmetres estudiats i, tot seguit, segons els valors obtinguts durant i després del cultiu

La comparació de les mitjanes obtingudes en els diferents paràmetres entre parcel·les cultivades i no cultivades (sense distingir blat de tramús) presenta aquests valors de l'efecte del cultiu, ordenats de major a menor:

- augment de la biomassa microbiana del 50% (10% durant el cultiu i 70% després de la collita)
- augment de l'activitat caseínolítica del 20% (l'augment pràcticament no es detecta durant el cultiu i és del 30% després de la collita)
- augment de l'activitat ureàsica del 20% (5% durant el cultiu i 20% després de la collita)
- augment de l'activitat fosfatàsica del 5% (10% durant el cultiu i inexistent després de la collita)
- no hi ha augment global de l'activitat sobre BAA, però les parcel·les cultivades tenen un 20% més d'aquesta activitat que les no cultivades durant el cultiu i, en canvi, un 10% menys després de la collita.

### Estimacions segons el tipus de cultiu i, tot seguit, segons els valors obtinguts durant el cultiu i després de la collita

El blat i el tramús (sense distingir els diferents paràmetres analitzats) produeixen uns augments de l'or-



**Taula 6.** Evolució de l'efecte del vegetal sobre cada paràmetre durant i després del cultiu

Paràmetre	Cultiu	Efecte <sup>1</sup> (durant)	Efecte <sup>1</sup> (després)	Evolució <sup>2</sup> en les parcel·les cultivades
Biomassa	Blat	Nul	entre + 30% i + 140% <sup>3</sup>	No
	Tramús	+ 25% (a la fi)	entre + 25% i + 80%	En postcollita: màxim entre 50 i 75 dies
Activitat hidròlisi caseïna	Blat	Nul	entre + 20% i + 50%	No
	Tramús	Nul	-40% → + 75% <sup>4</sup>	En postcollita: es manté estable
Activitat hidròlisi BAA	Blat	0% → + 90%	+ 30% → - 20%	Durant el cultiu: augment progressiu
	Tramús	Nul	+ 10% → - 35%	No
Fosfatasa	Blat	-15% → + 25%	+ 10% → - 10%	Durant el cultiu: augment progressiu
	Tramús	0% → + 10%	Constant: + 10%	No
Ureasa	Blat	Nul	+ 70% → + 10%	No
	Tramús	-5% → + 30%	+ 30% → + 20%	Durant el cultiu: augment progressiu

1.  $\frac{\text{Valor en cultiu} - \text{Valor en control}}{\text{Valor en control}} \cdot 100$ .

2. Només es consideren les evolucions que no estan associades a l'efecte estacional.

3. L'efecte del cultiu oscil·la entre aquests valors durant el període estudiat.

4. L'efecte del cultiu té una evolució progressiva (no oscil·latòria) entre aquests valors.

dre del 20% i del 10%, respectivament, d'aquests paràmetres en el sòl –augment que correspon fonamentalment a l'increment que es produeix després de la collita–, que és del 20% per al blat i del 15% per al tramús; l'increment és només del 10% per a ambdós mentre dura el cultiu i es produeix fonamentalment (sobretot en el cas del blat) a la fi del cultiu.

Dels resultats obtinguts podem deduir que el cultiu augmenta, sobretot, la biomassa microbiana i que aquest efecte intensificador es manifesta fonamentalment després de la collita. Això corrobora novament la hipòtesi enunciada en la introducció, en el sentit que són els microorganismes els que més es veuen afectats per l'aportació energètica dels residus de la collita. L'activitat caseïnolítica i l'activitat ureàsica es veuen intensificades també de manera força important i en valors similars, tant globalment com durant i després de la collita. En la ureasa l'efecte intensificador es produeix fonamentalment entre la fi del cultiu i els 25 dies posteriors a l'aixecament d'aquest i més endavant disminueix. En canvi, en l'activitat caseïnolítica aquest efecte és menys fort però es manté durant tot el postcultiu, cosa que també succeeix amb la biomassa microbiana. L'activitat caseïnolítica es confirma, doncs, com associada a la matèria orgà-

nica fresca, que depèn fonamentalment dels enzims proteolítics extracel·lulars produïts pels microorganismes. La ureasa també sembla associada a la matèria orgànica fresca, però una part de la seva activitat és molt làbil i, en canvi, la que es manté a partir dels 50 dies d'aixecat el cultiu s'estabilitza –probablement per associació a alguns components de la matèria orgànica que també es va estabilitzant–. La fosfatasa, en el cas del blat, i l'activitat sobre BAA, tant en el blat com en el tramús, només es veuen intensificades (la fosfatasa de manera molt lleugera) en el període comprès entre la fi del cultiu i els 25 dies després d'aixecat aquest; posteriorment, l'efecte intensificador disminueix i l'activitat arriba a ser inferior (sobretot en l'activitat sobre BAA) en les parcel·les cultivades que en les de control, la qual cosa sembla indicar que una part dels productes de transformació dels residus vegetals exerceix un efecte inhibidor sobre aquestes activitats. Això ens confirma també l'associació fonamental de l'activitat sobre BAA a la matèria orgànica més humificada: a mesura que passa el temps, la matèria orgànica es va mineralitzant i l'activitat va disminuint; probablement en transcórrer força més temps dels 100 dies després d'aixecat el cultiu (sempre que una part de la matèria orgànica aportada pels residus vegetals arribés a evolucionar fins a humina) aquesta activitat augmentaria.

## Conclusions

Els cultius de blat i de tramús augmenten, bàsicament a través dels residus vegetals incorporats al sòl a la fi del cultiu i durant la collita, la fertilitat biològica del sòl. Aquest increment es manté com a mínim al cap de 75 o 100 dies d'aixecat el cultiu.

D'entre els paràmetres de fertilitat que han estat controlats, aquells que són incrementats pel cultiu (més el blat que no pas el tramús) fonamentalment una vegada aixecat aquest són:

- la biomassa microbiana, l'increment de la qual es manté establement com a mínim fins a 75 dies després de la collita

- algunes activitats enzimàtiques relacionades amb l'assimilabilitat del N orgànic:

- la capacitat inespecífica de catalitzar la hidròlisi de les proteïnes (activitat caseïnolítica), l'increment de la qual es manté, com a mínim, fins a 100 dies després de la collita en el cas del blat, i que s'inicia a partir dels 50 dies i augmenta, com a mínim, fins als 75 dies després de la collita en el cas del tramús;

- l'activitat catalítica d'hidròlisi de la urea (activitat ureàsica), l'increment de la qual es manté a partir dels 50 i, com a mínim, fins als 100 dies d'aixecat el cultiu.

Els paràmetres que són incrementats pel cultiu mentre aquest es desenvolupa, són els següents:

- en el cas del blat, l'activitat enzimàtica relacionada amb l'assimilabilitat del fòsfor orgànic (fosfatasa), i la relacionada amb la hidròlisi, de tipus tripsínic, de pèptids (activitat hidrolítica sobre BAA); aquestes activitats, en canvi, es veuen poc incrementades pel cultiu una vegada aixecat, i fins i tot disminuïdes a partir dels 75 dies

- en el cas del tramús, l'activitat fosfatàsica, que es veu augmentada només lleugerament (10%) –però en la qual aquest efecte es manté fins a 100 dies després de la collita–, la biomassa i l'activitat ureàsica; en canvi, l'activitat d'hidròlisi de BAA presenta valors similars en les parcel·les cultivades i en les de control durant el cultiu i fins a 50 dies després de la collita; posteriorment, les parcel·les provinents del cultiu presenten valors inferiors a les de control.

La hipòtesi segons la qual, mentre es desenvolupa el cultiu, el tramús incrementaria més l'activitat biològica del sòl que no pas el blat, només s'acompleix en el cas de la biomassa i de l'activitat ureàsica. Així, doncs, l'efecte de la superior activitat de la rizosfera en les lleguminoses només es fa patent en aquests dos paràmetres. En el cas de l'activitat hidrolítica de BAA es produeix precisament l'efecte invers: és el blat el que la incrementa més.

## Bibliografia

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. (1978). «A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils». *Soil Biology and Biochemistry*, 10: 215-221.

BONMATÍ, M.; PUJOLÀ, M.; SAÑA, J.; SOLIVA, M.; FELIPÓ, M. T.; GARAU, M.; CECCANTI, B.; NANNIPIERI, P. (1985). «Chemical properties, populations of nitrite oxidizers, urease and phosphatase activities in sewage sludge amended soils». *Plant and Soil*, 84: 79-91.

BONMATÍ, M.; CECCANTI, B.; NANNIPIERI, P. (1991). «Spatial variability of phosphatase, urease, organic carbon and total nitrogen in soil». *Soil Biology and Biochemistry*, 23: 391-396.

GAVRILOVA, A. N.; SAVCHENKO, N. I.; SHIMKO, N. A. (1975). «Content of organo-phosphates and the activity of phosphatase in soddy-pale-yellow-podzolic soils cultivated to different degrees». *Pochvovedenie* (1), 81-85 (*Chemical Abstracts*, 82: 123978a).

GRÄF, G. (1930). «Über den Einfluss des Pflanzenwachstums auf die Bakterien im Wurzelbereich». *Centralb. Bakteriologie*, 82: 44.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. (1976). «The effects of biocidal treatment on metabolism in soil. V. A method for

measuring soil biomass». *Soil Biology and Biochemistry*, 8: 209-213.

JOSA, R.; HERETER, A.; BECH, J. (1984). «Els sòls de la finca Torre Marimon: exemple d'un estudi de sòls en el Vallès Occidental». *Arxius de l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona*. Quarta sèrie. 6: 19-35.

LADD, J. N.; AMATO, M.; ZHOU, LI-KAI; SCHULTZ, J. E. (1994). «Different effects of rotation, plant residue and nitrogen fertilizer on microbial biomass and organic matter in an Australian alfisol». *Soil Biology and Biochemistry*, 26: 821-831.

MARTENS, R. (1995). «Current methods for measuring microbial biomass C in soil: Potentials and limitations». *Biology and Fertility of Soils*, 19: 87-99.

NANNIPIERI, P.; CECCANTI, B.; CERVELLI, S.; MATARESE E. (1980). «Extraction of phosphatase, urease, proteases, organic carbon, and nitrogen from soil». *Soil Science Society of America Journal*, 44: 1011-1016.

SAÑA, J.; MORÉ, J. C.; COHÍ, R. (1996). *La gestión de la fertilidad de los suelos*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

SPEIR, T. W.; LEE, R.; PANSIER, E. A.; CAIRNS, A. (1980). «A comparison of sulphatase, urease and protease activities

in planted and in fallow soils». *Soil Biology and Biochemistry*, 12: 281-291.

TATE, K. R.; JENKINSON, D. S. (1982). «Adenosine triphosphate measurements in soil: An improved method». *Soil Biology and Biochemistry*, 14: 331-335.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. (1987). «An extraction method for measuring soil microbial

biomass». *Soil Biology and Biochemistry*, 19: 703-707.

VANKURA, V.; HOVADIK, A. (1965). «Root exsudates of plants. II. Composition of root exsudates of some vegetables». *Plant and Soil*, 22: 21.

ZANTUA, M.; BREMNER, J. M. (1976). «Production and persistence of urease activity in soils». *Soil Biology and Biochemistry*, 8: 369-374.