



Universitat de Lleida

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària

Departament de Producció Vegetal i Ciència Forestal

Efecte de les tècniques de conreu en la producció del cànem (*Cannabis sativa* L.) i efecte del cànem com a cultiu precedent del blat (*Triticum aestivum* L.)



Gil Gorchs i Altarriba
Juny de 2006



Universitat de Lleida

Departament de Producció Vegetal i Ciència Forestal

Tesi doctoral

Efecte de les tècniques de conreu en la producció del cànem (*Cannabis sativa* L.) i efecte del cànem com a cultiu precedent del blat (*Triticum aestivum* L.)

Memòria de tesi presentada per Gil Gorchs Altarriba per optar al grau de Doctor Enginyer Agrònom per la Universitat de Lleida

Dirigida pel Dr. Jaume Lloveras Vilamanyà, professor del Departament de Producció Vegetal i Ciència Forestal de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de Lleida.

El director de la Tesi
Jaume Lloveras Vilamanyà

Juny 2006

Foto portada: Vista de l'Assaig 2, Rotació cànem—blat, el 15 de juny de 1996 (Gil Gorchs)

Fons portada, i fons i foto contraportada: ampliació de l'Ortofotomapa de Catalunya núm. 8540, presa l'any 1997 (E ≈ 9000), de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (reproduïda amb permís de l'ICC)

Imprès en paper de cànem lliure de clor

A l'Esther, a la Maria i al Martí

AGRAÏMENTS

Aquesta és la pàgina que més esperava escriure, pel que significa i perquè em ve molt de gust agrair el suport de totes les persones, que d'una manera o d'una altra, m'han ajudat a tirar endavant aquest treball, llarg i costós. Però, he tingut la sort de comptar amb persones molt valuoses i l'ajut del meu pare a l'inici, Pere Gorchs, un dels primers cultivadors de cànem industrial al Lluçanès i que era un entusiasta d'aquest estudi.

Vull expressar el meu agraïment al meu director de tesi, el Catedràtic Jaume Lloveras, per haver-me acollit i proposat amb encert el tema de la tesi, pels consells, entusiasme i temps que en tot moment m'ha ofert. Espero haver-ho traduït en una bona qualitat del treball.

A "l'equip de treball de camp", però sobretot al Xavier Nisa i al Miquel Martínez per haver fet possible treballar intensament i gaudir-ne: al Xavier pel seu suport impagable durant quatre anys i per saber tants acudits i saber-los explicar tant bé; al Miquel per haver-me deixat creure que li feia un favor acceptant-li dirigir el seu TFC i resultar ser completament al revés. Al Xavier Recasens pel suport i disposició quan em feia més falta, i al Josep Ma Gener, Núria Galindo, Elisabet Clota, Oriol González, Tomàs López, Jordi Oliveras i Dirk Madriles. Gràcies.

A l'Anna Gras per fer més fàcil i agradable l'inici i els viatges a Lleida, per escoltar-me i partir-me els bons i mals moments durant aquest temps. Al Miquel Pujol, per l'escalf que m'ha donat i per la petja a la portada. I a la Núria Carazo, Lola López, Joan Oca i Lourdes Reig per fer-me costat. Al Jordi Comes, Marta Ginovart, Claret Verdú, Maite Mas, Agnès Hereter, Ramon Josa i Lidia Serrano per resoldre'm diversos dubtes. Als "com ho tens" de tots aquells que de bon cor m'heu animat a acabar-la. A tots, gràcies pel encoratjament que m'heu transmès.

Als centres de Cabrils i de Lleida de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), per deixar-me utilitzar diversos aparells de laboratori. Al Laboratori Agroalimentari de la Generalitat de Catalunya de Cabrils, per la realització de les anàlisis del sòl.

A l'Institut Cartogràfic de Catalunya per permetre'm utilitzar a la portada l'Ortofotomapa de Catalunya 1:2500, Full 71-25, tret d'un vol realitzat l'any 1997, per deixar constància gràfica del treball realitzat, suposo! (vegis http://www.diba.es/ortofotos/08255/08255_NU.htm).

A la mare, pel immens esforç que va fer, pel coratge que sempre ha traspuat, i per no parar fins el setè! I amb el pare, per estar oberts a què realitzés els assaig de camp a casa i posar bona cara a l'enrenou que els hi vaig crear. Al Joan pel regulador de revolucions i la posada en marxa de la màquina per separar la fibra. Al Josep per cedir una parcel·la on situar l'assaig el primer any. A l'Agustí i al Jordi pels cops de mà i pels ànims, i a la Núria, la Laura, l'Isabel. A tots, per tot.

A vosaltres, Esther, Maria i Martí, per ser tant pacients, comprensius i acceptar-ho il·lusionats, tot i l'excessiu temps que us he pres. La vostra estimació m'ha donat alè per tirar endavant. Especialment, a l'Esther per l'ajuda, les correccions i pel suport incondicional.

*Of all the plants men have ever grown, none have been
praised and denounced as often as Cannabis sativa.*

Ernest Abel, 1982

*..... There is one known annually renewable natural
resource able to provide the overall majority of our
paper, textiles, food, and ... energy needs,our old
stand-by that did it all before: hemp.*

Jack Herer, 1992

ÍNDIX

ABREVIATURES.....	ix
RESUM, RESUMEN, SUMMARY.....	x
ÍNDIX DE FIGURES.....	xiii
ÍNDIX DE TAULES.....	xv

1. INTRODUCCIÓ GENERAL

1. Introducció.....	3
2. Origen i història del cànem.....	3
3. Morfologia de la planta i estructura de la tija.....	5
4. La producció de cànem a la Unió Europea i a Espanya.....	9
5. Fisiologia i agronomia de cultiu del cànem.....	14
5.1. Efecte de les pràctiques culturals en la producció de fibra.....	16
5.2. El cànem davant altres cultius de fibra a Espanya.....	20
6. Rotació de cultius.....	22
6.1. Efectes de la rotació de cultius.....	22
6.2. El cànem a la rotació de cultius.....	27

2. OBJECTIUS I ASSAIGS

1. Objectius.....	31
2. Assaigs i localització.....	32

3. CAPÍTOL I: Efecte de les tècniques de conreu (nitrogen, dosi de sembra i culti-var) en la producció del cànem en dos estadis fisiològics

1. Introducció.....	35
2. Materials i mètodes.....	37
2.1. Sòl i clima.....	37
2.2. Tractaments i disseny experimental.....	39
2.3. Tecnologia de cultiu i determinacions.....	40
2.3.1. Tecnologia de cultiu.....	41
2.3.2. Determinacions.....	42
2.4. Anàlisi estadística.....	46
3. Resultats i discussió.....	47
3.1. Efecte de la dosi de nitrogen i la dosi de sembra.....	47
3.1.1. Densitat de cultiu i autoaclurada.....	47
3.1.2. Producció i partició de la biomassa.....	52
3.1.3. Càlcul de la dosi de nitrogen econòmicament òptima. Comparació del dos models de resposta.....	62
3.1.4. Durada de les principals fases del cicle del cultiu del cànem.....	67

3.1.5. Mesurador de clorofil·la (Minolta SPAD 502) en cànem.....	68
3.1.6. Índex d'àrea foliar (LAI) i radiació fotosintètica activa (PAR) interceptada.....	75
3.1.7. Morfologia de la planta, fenologia i expressió sexual.....	79
3.1.8. Producció i qualitat de la fibra.....	92
3.1.9. Nitrogen nítric en el sòl després de Collita 2 (gra madur) del cànem.....	101
3.2. Producció de les culti-vars espanyoles de cànem.....	107
3.2.1. Densitat de cultiu a collita.....	107
3.2.2. Producció de biomassa i de fibra.....	108
3.2.3. Morfologia i expressió sexual de la planta.....	116
4. Conclusions.....	118

4. CAPÍTOL II: Efecte de la rotació cànem–blat

1. Introducció.....	123
2. Materials i mètodes.....	124
2.1. Sòl i clima.....	124
2.2. Tractaments i disseny experimental.....	125
2.3. Tecnologia de cultiu i determinacions.....	127
2.3.1. Cànem.....	127
2.3.2. Tecnologia de cultiu en el blat.....	128
2.3.3. Determinacions en el blat.....	129
2.3.4. Producció del blat durant l'any previ (1994-1995) al primer any de dades de blat de l'Assaig 2.....	131
2.4 Anàlisi estadística.....	131
3. Resultats i discussió.....	133
3.1. Efecte en el cànem.....	133
3.1.1. Producció del cànem.....	133
3.1.2. Nitrogen nítric en el sòl després de Collita 2 (gra madur) del cànem.....	138
3.2. Efecte en el blat.....	140
3.2.1. Producció del blat l'any previ (1994-1995) al primer any de dades del blat (1995-1996) de la rotació cànem–blat.....	140
3.2.2. Producció del blat.....	141
3.2.3. Paràmetres del sòl.....	155
4. Conclusions.....	167

5. CAPÍTOL III: Resposta del blat a les tècniques de conreu aplicades al cànem (nitrogen i dosi de sembra) en una rotació cànem–blat

1. Introducció.....	171
2. Material i mètodes.....	172
3. Resultats i discussió.....	173
4. Conclusions.....	177

6. CONCLUSIONS GENERALS..... 179

7. BIBLIOGRAFIA..... 185

ABREVIATURES

BCAD	Primer any de blat rere cànem adobat
BCAZ	Primer any de blat rere cànem sense adob
BM	Blat en monocultiu
2BCAD	Segon any de blat rere cànem adobat
2BCAZ	Segon any de blat rere cànem sense adob
3BCAD	Tercer any de blat rere cànem adobat
3BCAZ	Tercer any de blat rere cànem sense adob
AGAIG	Agregats estables a l'aigua
AGALC	Agregats estables a l'alcohol
AGB	Agregats estables al benzè
CAD	Cànem adobat rere blat (100-35-130 kg N-P-K ha ⁻¹ , respectivament)
CAM	Cànem adobat en monocultiu (100-35-130 kg N-P-K ha ⁻¹ , respectivament)
CAZ	Cànem sense adob rere blat
CNSBT	Concentració de nitrats (NO ₃ ⁻) en el suc de la base de la tija del blat
DS	Dosi de sembra
GD	Graus dia
MAG	Mitjana d'agregats estables a l'aigua, alcohol i benzè
MO	Matèria orgànica
MS	Matèria seca
N	Nitrogen
RP	Resistència a la penetració
RRB	Rendiment relatiu de biomassa

RESUM

El cànem (*Cannabis sativa* L.) és un cultiu que desperta en l'actualitat un gran interès per ser font de múltiples productes industrials renovables i tenir el perfil adequat per ajudar a establir sistemes agrícoles sostenibles, a més de ser un cultiu respectuós amb el medi ambient. L'objectiu principal d'aquesta tesi és estudiar agronòmicament diferents aspectes del cànem. En particular es pretén: i) estudiar l'efecte d'algunes tècniques culturals (adob nitrogenat, dosi sembra i data collita, així com culti-var) en el creixement del cultiu i la producció del cànem i ii) quantificar el possible efecte beneficiós del cànem com a precedent cultural del blat.

Es van dur a terme tres assaigs de camp des de l'any 1995 al 1999 a Merlès (42° N, 1° 99' E; 525 m d'altitud; 700 mm), als secans frescals del nord-est d'Espanya on cànem i blat es cultiven habitualment en rotació, en un sòl franc-arenós i bàsic (pH=8,2; M.O.=1,7%).

La densitat de cultiu del cànem va decreixer entre naixença i collita, més intensament a mida que adob N i dosi de sembra van augmentar. La densitat a naixença i l'autoaclurada van variar amb l'any, fet que pot resultar en una fibra de qualitat variable en secà. Adob N i dosi de sembra van afectar el creixement, rendiment i partició de la biomassa. El rendiment de biomassa (8814 kg ha⁻¹) es va incrementar amb el N, si bé la dosi N òptima va variar amb l'any i la collita (30-50 kg N ha⁻¹) i va ser superior per al cultiu per a gra i fibra, respecte al cultiu només per a fibra. El rendiment de biomassa i gra va decreixer a l'augmentar la dosi de sembra, mentre que la proporció de tija a la biomassa i de fibra cortical a la tija es van incrementar, si bé no justifiquen l'ús de dosis elevades, i uns 30 kg llavor ha⁻¹ serien adequats per a la producció de gra i fibra en les condicions de l'assaig. Les culti-vars espanyoles Delta 405 i Delta-Llosa van tenir un rendiment de gra superior a Futura77 (francesa), però no es van diferenciar per als altres paràmetres. La presència de plantes mascle va ser important (10-35%), malgrat tractar-se de cv. monoiques.

El cànem seria un bon precedent per al blat. L'efecte rotació –increment de rendiment de gra del blat rere cànem respecte al blat monocultiu– va ser de 1368 kg ha⁻¹(47%) de mitjana, el qual va sorgir de l'increment del número d'espigues m⁻² i del pes de 1000 grans. L'efecte rotació es va estendre al segon any de blat rere cànem (156 kg ha⁻¹) i es va esvaïr per al tercer any de blat rere cànem, on rotació i monocultiu van mostrar rendiments similars. L'efecte rotació va variar amb l'adobat aplicat al cànem precedent. No adobar-lo, o reduir-ne dràsticament la dosi N, va disminuir el rendiment del cànem, va limitar l'increment de rendiment del següent blat i no va reduir el N nítric residual en el sòl després de la collita del cànem, ni a filloleig ni després de la collita del següent blat. És a dir, el N nítric residual que va deixar el cànem no seria el responsable de l'efecte rotació, sinó que suggereix relacionar-se amb la quantitat de fulla caiguda al sòl, a través d'alguns dels seus components, a més de l'augment de l'estabilitat dels agregats del sòl que va originar el cànem. Tanmateix, aquest treball no va permetre explicar completament com el cànem va incrementar el rendiment del blat. A diferència del blat, el cànem es va adaptar bé al monocultiu, ja que va mostrar resultats similars al cànem en rotació.

Es conclou que el cànem és un cultiu apropiat per als secans frescals, donat que va ser un bon precedent del blat, la producció de fibra va ser força estable i va destacar per tenir un rendiment de gra superior al que obtenen al centre i nord d'Europa, a més de no necessitar fitosanitaris i ajudar a suprimir les males herbes. I més en uns moments en què es parla de sostenibilitat, de rotacions de cultius i de reducció de fitosanitaris. No obstant, encara queda molt per investigar, com per exemple el motiu de l'increment de rendiment del blat rere cànem i si es poden obtenir culti-vars de cànem més ben adaptades a les condicions Mediterrànies.

RESUMEN

El cáñamo (*Cannabis sativa* L) es un cultivo que despierta gran interés en la actualidad por ser fuente de múltiples productos industriales renovables y tener el perfil adecuado para ayudar a establecer sistemas agrícolas sostenibles, siendo un cultivo respetuoso con el medio ambiente. El objetivo principal de esta tesis es estudiar agrónomicamente diferentes aspectos del cáñamo. En particular se pretende: i) estudiar el efecto de algunas técnicas culturales (abono nitrogenado, dosis siembra y fecha cosecha, así como cultivar) en el desarrollo del cultivo y la producción del cáñamo y ii) cuantificar el posible efecto beneficioso del cáñamo como precedente cultural del trigo.

Se llevaron a cabo tres ensayos de campo desde el año 1995 al 1999 en Merlès (Barcelona; 42° N, 1° 99' E; 525 m altitud; 700 mm), en los secanos frescales del nordeste de España donde cáñamo y trigo se cultivan habitualmente en rotación, en un suelo franco-arenoso y básico (pH= 8,2; M.O.=1,7%).

La densidad de cultivo del cáñamo disminuyó entre la nascencia y la cosecha, de forma más intensa al aumentar la dosis de N y de siembra. La densidad a nascencia y el autoaclareo variaron con el año, lo que puede resultar en una fibra de calidad variable en secano. Abono N y dosis de siembra afectaron al crecimiento, rendimiento y partición de la biomasa. El rendimiento de biomasa (8814 kg ha⁻¹) se incrementó con el abono N, aunque la dosis óptima varió con el año y el momento de la cosecha (30-150 kg N ha⁻¹) y fue superior para el cultivo para grano y fibra, respecto al cultivo solo para fibra. El rendimiento de biomasa y grano decreció al aumentar la dosis de siembra, mientras que la proporción de tallo en la biomasa y de fibra cortical en el tallo incrementaron, si bien no justifican el uso de dosis de siembra elevadas, y unos 30 kg semilla ha⁻¹ serían adecuados para la producción de grano y fibra en las condiciones del ensayo. Los cultivares españoles Delta 405 y Delta-Llosa presentaron un rendimiento de grano superior a Futura 77 (francesa), pero no se diferenciaron para el resto de parámetros. La presencia de plantas macho fue importante (10-35%), a pesar de ser cultivares monoicos.

El cáñamo sería un buen precedente para el trigo. El efecto rotación –incremento de rendimiento de grano de trigo después de cáñamo respecto al trigo monocultivo– fue de 1368 kg ha⁻¹ (47%) de media, el cual surgió del incremento del número de espigas m² y del peso de 1000 granos. El efecto rotación se extendió al segundo año de trigo después de cáñamo (156 kg ha⁻¹) y desapareció para el tercer año de trigo después de cáñamo, donde rotación y monocultivo presentaron rendimientos similares. El efecto rotación varió con el abono aplicado al cáñamo precedente. No abonarlo, o reducir drásticamente la dosis de N, disminuyó el rendimiento del cáñamo, limitó el incremento del rendimiento del siguiente trigo y no disminuyó el N nítrico residual en el suelo después de la cosecha del cáñamo, ni en el ahijado ni después de la cosecha del siguiente trigo. O sea, el N nítrico residual que deja el cáñamo no sería el responsable del efecto rotación, sino que sugiere estar relacionado con la cantidad de hoja caída al suelo, a través de alguno de sus componentes, además del aumento de la estabilidad de los agregados del suelo que originó el cáñamo. Sin embargo, este trabajo no permitió explicar completamente como el cáñamo incrementó el rendimiento del trigo. A diferencia del trigo, el cáñamo se adaptó bien al monocultivo, dado que mostró resultados similares al cáñamo en rotación.

Se concluye que el cáñamo es un cultivo apropiado para los secanos frescales, ya que fue un buen precedente del trigo, la producción de fibra fue bastante estable y tuvo un rendimiento de grano superior al que obtienen en el centro y norte de Europa, además de no necesitar fitosanitarios y ayudar a suprimir malas hierbas. Y más aún en estos momentos en los que se habla de sostenibilidad, de rotaciones de cultivos y de reducción de fitosanitarios. No obstante, aún queda mucho por investigar, como por ejemplo el motivo del incremento de rendimiento del trigo y si se pueden obtener cultivares de cáñamo mejor adaptados a las condiciones mediterráneas.

SUMMARY

Hemp (*Cannabis sativa* L.) is currently awakening great interest as a source of many renewable industrial products with a suitable profile to fit into sustainable farming systems, being an environmentally friendly crop. The main aim of this thesis was to study some hemp features agronomically. The specific objectives were: i) to study the effect of some cultural techniques (nitrogen fertilization, seeding rate, harvest date and cultivar) on crop development and hemp production and ii) to quantify the possible beneficial effect of hemp as a cultural precedent to wheat.

Three field trials were carried out between 1995 and 1999 in Merlès (42° N, 1° 99' E; 525 m above sea level; 700 mm average rainfall) in rainfed Temperate Mediterranean areas of northeastern Spain, where hemp and wheat are traditionally grown in rotation, in a sandy-loam, basic soil (pH=8.2; O.M.=1.7%).

Plant density of hemp decreased between emergence and harvest especially when N dose and seeding rate increased. Plant density at emergence and self-thinning varied according to the year, which may result in a variable fibre quality under rainfed conditions. N fertilization and seeding rate affected growth, and yield and partitioning of biomass dry matter. The biomass yield (8814 kg ha⁻¹) increased with N fertilizer, although the optimum N rate varied with the year and harvest date (30-150 kg N ha⁻¹) and was higher when hemp was grown for seed and fibre rather than fibre alone. Both biomass and grain yield decreased when seeding rate increased, while proportion of stem in the biomass and bark fibre in the stem increased. Nevertheless, this does not justify using high seeding rates and about 30 kg seed ha⁻¹ should be adequate for seed and fibre production. The Spanish cultivars Delta 405 and Delta-Llosa produced higher seed yield than Futura 77 (French), but no significant differences were found for other parameters. The male plants ratio was important (10-35%) although cultivars used are monoecious.

Hemp is a good precedent for wheat. The rotation effect, expressed as the increase in grain yield of wheat after hemp compared to wheat monoculture, was 1368 kg ha⁻¹ (47%) on average, which came from an increase in the number of spikes m⁻² and from 1000 kernel weight. The rotation effect extended to a second year of wheat after hemp (156 kg ha⁻¹) and disappeared in the third year of wheat after hemp, where rotation and monoculture showed similar yields. The rotation effect varied with the fertilizer applied to hemp. Non-fertilizing or drastically reducing the N rate applied to hemp decreased hemp yield, limited the yield of the following wheat and did not reduce residual soil NO₃⁻ after hemp harvest, at tillering or after the harvest of the following wheat. Thus, the residual soil NO₃⁻ left by hemp should not be responsible for the rotation effect, but seems to be related to the amount of leaf left in the soil through some of its components, apart from the increase in the stability of soil aggregates caused by hemp. However, this study did not allow a complete explanation of how hemp increased the yield of wheat. Unlike wheat, hemp proved to be well adapted to monoculture, since no significant differences with hemp rotation were found.

It is concluded that hemp is a suitable crop for the rainfed Temperate Mediterranean areas as it was an excellent precedent to wheat, the production of fibre was quite stable and it gave higher grain yields than those obtained in the centre and north of Europe, moreover, hemp does not need biocides and helps to suppress weeds. It is even more appropriate nowadays when it is agreed that farming systems should become more sustainable, using appropriate crop rotations and applying less biocides. Nevertheless, there is still much research to be done, such as the cause of the increase in wheat yield after hemp and whether it is possible to obtain hemp cultivars better adapted to Mediterranean conditions.

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1.1. <i>Cannabis sativa</i> L, peu mascle, peu femella, flors masculina i femenina i llavor.....	5
Figura 1.2. Secció transversal de la tija de cànem.....	7
Figura 1.3. Esquema de transformació del cànem i usos principals a Espanya..	10
Figura 1.4. Camps de cànem a Sagàs i a Merlès.	13
Figura 1.5. Recol·lecció del gra a Olost i embalat de la palla de cànem a Merlès.	13
Figura 1.6. Detall de la tija, separant la fibra cortical del cilindre central, i del gra de cànem.....	13
Figura 1.7. Detall del cultiu on es pot observar la fulla caiguda al sòl i l'absència de males herbes a l'interior de la parcel·la	15
Figura 2.1. Diagrama ombrotèrmic de Prats de Lluçanès.	32
Figura 3.1. Mitjana per desenes de la precipitació i temperatura màxima i mínima durant els cinc anys de durada dels assaigs a Merlès.	38
Figura 3.2. Màquina per separar les tiges, en fibra cortical i cilindre central o canemuixa	45
Figura 3.3. Densitat de cultiu a naixença i a collita i mortalitat de plantes en funció de l'adobat nitrogenat i la dosi de sembra aplicada al cànem..	50
Figura 3.4. Proporció de tija a la biomassa segons la dosi de nitrogen i la dosi de sembra aplicades al cànem.....	57
Figura 3.5. Rendiment de biomassa i distribució a les diferents parts de la planta en funció de la dosi de nitrogen i la dosi de sembra aplicada al cànem.....	59
Figura 3.6. Rendiment de gra a Collita 2, segons l'adobat nitrogenat i dosi de sembra aplicada al cànem.	61
Figura 3.7. Residus (rendiment observat – predit) respecta la dosi de N aplicada per als models quadràtic i exponencial.	65
Figura 3.8. Residus (rendiment observat – predit) en funció de la desviació respecte a la dosi de N òptima calculada per als models quadràtic i exponencial.	66
Figura 3.9. Efecte de la dosi de N sobre el rendiment de biomassa a Collita 1 i en el valor de lectura SPAD a inici de floració femenina i a Collita 1	70
Figura 3.10. Relació entre el valor de lectura SPAD abans de Collita 2 i rendiment relatiu de biomassa a Collita 2 per a l'any 1997.....	72
Figura 3.11. Efecte de la dosi de sembra sobre la relació entre el valor de lectura SPAD a inici de floració femenina i rendiment relatiu de biomassa a Collita 1.	73
Figura 3.12. Gràfic modificat de Cate-Nelson relacionant l'SPAD relatiu a inici de floració femenina i el rendiment relatiu de biomassa a Collita 1.	74
Figura 3.13. Evolució de la longitud dels 11-12 primers entrenusos en funció de la dosi de nitrogen i la dosi de sembra.....	83
Figura 3.14. Evolució del número de nusos totals durant el cicle de cultiu i número de nusos oposats a collita en funció de la dosi de nitrogen i la dosi de sembra.....	84

Figura 3.15. Taxa mitjana d'aparició dels nusos alterns segons l'adobat nitrogenat i la dosi de sembra.....	86
Figura 3.16. Diàmetre de la tija a la base i a inici de la inflorescència a Collita 1 i a Collita 2, en funció de la dosi de nitrogen i la dosi de sembra.....	87
Figura 3.17. Alçada, diàmetre de la tija a la base i número de nusos totals a Collita 1 en funció de l'expressió sexual.....	90
Figura 3.18. Proporció de canemuixa residual a la fibra cortical després del decorticat, en funció de l'any, la dosi de nitrogen i la dosi de sembra.....	96
Figura 3.19. Rendiment de fibra cortical, de fibra de la fibra cortical i de canemuixa a collita en funció de l'any, la dosi de nitrogen i la dosi de sembra.....	99
Figura 3.20. Contingut de N-NO ₃ ⁻ residual en el sòl després de Collita 2 del cànem per a cada dosi de sembra, en funció de la dosi de nitrogen.....	104
Figura 3.21. Inflorescència de planta mascle, femella, i monoica.....	105
Figura 3.22. Vista Assaig 1, Tècniques de conreu en cànem, el 31 de maig 1996.....	106
Figura 3.23. Assaig 1, Tècniques de conreu en cànem, el 14 de juny de 1998.....	106
Figura 3.24. Densitat de cultiu a collita, segons la dosi de N i la dosi de sembra aplicada al cànem per a l'any 1998.....	107
Figura 3.25. Proporció de tija a la biomassa a collita del cànem, en funció de la dosi de nitrogen, la dosi de sembra i la culti-var per a l'any 1998.....	110
Figura 3.26. Rendiment de gra a Collita 2, segons l'adob N, la dosi de sembra i la culti-var per a l'any 1998.....	111
Figura 3.27. Alçada i diàmetre de la tija a la base a collita, segons la dosi de nitrogen, la dosi de sembra i la culti-var per a l'any 1998.....	116
Figura 3.28. Expressió sexual i alçada segons la dosi de nitrogen i la dosi de sembra a Collita 1 de l'any 1998.....	117
Figura 4.1. Esquema general de la rotació cànem—blat estudiada a l'Assaig 2.....	126
Figura 4.2. Vista de l'Assaig 2, Rotació cànem—blat, amb l'estació agroclimàtica.....	132
Figura 4.3. Vista Assaig 2, Rotació cànem—blat.....	132
Figura 4.4. Rendiment de gra del cànem a Collita 2.....	136
Figura 4.5. Evolució de l'alçada del cànem segons l'adobat i la rotació.....	137
Figura 4.6. Mitjana del rendiment en gra i biomassa aèria del blat segons la rotació.....	144
Figura 4.7. Efecte rotació en percentatge d'increment del rendiment de gra del blat rere cànem respecte al rendiment del blat monocultiu.....	146
Figura 4.8. Mitjana de l'efecte rotació del cànem en el rendiment de gra de blat respecte al del blat monocultiu.....	147
Figura 4.9. Concentració de nitrats en el suc de la base de la tija del blat a finals de canoneig.....	154
Figura 4.10. Resistència del sòl a la penetració del con per al blat monocultiu, primer any de blat rere cànem adobat i primer any de blat rere cànem sense adobar després de collir el blat.....	162
Figura 4.11. Contingut de nitrogen nítric en el sòl a filloleig i després de la collita del blat segons la rotació.....	165
Figura 5.1. Mitjana de dos anys del contingut de N-NO ₃ ⁻ en el sòl a 0-60 cm després de collir el cànem i rendiment de gra del següent cultiu de blat, segons la dosi de N i la dosi de sembra aplicades al cànem precedent.....	175

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1.1. Preus de mercat de la fibra cortical i de la canemuixa del cànem.....	12
Taula 3.1. Anàlisi de sòl inicial per a l'Assaig 1.....	37
Taula 3.2. Precipitació i temperatura mitjana per a les cinc campanyes agrícoles de durada dels tres assaigs plantejats i mitjana de llarg termini.....	39
Taula 3.3. Detalls experimentals per al cànem de l'Assaig 1.....	41
Taula 3.4. Data, dia de l'any, dies des de sembra i graus-dia per als diferents controls d'alçada i del número de nusos del cànem.	42
Taula 3.5. Densitat de cultiu a naixença, a Collita 1 i a Collita 2 segons la dosi de nitrogen i dosi de sembra aplicada al cànem.	48
Taula 3.6. Rendiment de biomassa aèria i de tija a collita en funció de la dosi de nitrogen i la dosi de sembra aplicada al cànem.	54
Taula 3.7. Anàlisi de la variància per al conjunt dels anys per a la proporció tija i el rendiment de fulla, inflorescència i gra a Collita 1 i a Collita 2.....	57
Taula 3.8. Paràmetres estimats per a la relació entre dosi de N i rendiment de tija o gra segons el model de regressió.	62
Taula 3.9. Dosi de N òptima econòmicament i màxima, i rendiment òptim i màxim predits per a cada any, i test de normalitat dels residus segons el model utilitzat.....	63
Taula 3.10. Durada de les principals fases del cicle de cultiu i data d'aparició de les primeres flors per al cànem i radiació global des de naixença fins a 31 d'agost.....	67
Taula 3.11. Valor de lectura SPAD en tres estadis segon la dosi de nitrogen i la dosi de sembra aplicada al cànem.....	69
Taula 3.12. Relació entre el valor de lectura SPAD a inici de floració femenina i el rendiment relatiu de biomassa a collita per als anys 1996 i 1997.	71
Taula 3.13. Índex d'àrea foliar i radiació fotosintètica activa interceptada per la coberta vegetal en funció de la dosi de nitrogen i la dosi de sembra	76
Taula 3.14. Correlació entre l'índex d'àrea foliar (LAI), el valor de lectura SPAD i LAI x SPAD amb la proporció de radiació fotosintètica activa (PAR) interceptada.....	78
Taula 3.15. Evolució de l'alçada del cultiu i anàlisi de la variància per al número de nusos.....	80
Taula 3.16. Expressió sexual segons la dosi de nitrogen i la dosi de sembra aplicada al cànem.....	89
Taula 3.17. Alçada en funció de l'expressió sexual de la planta i segons la dosi de nitrogen i la dosi de sembra a Collita 1.	91
Taula 3.18. Proporció de fibra cortical a la tija i proporció d'elements no fibrosos de la fibra cortical a la tija, segons la dosi de nitrogen i la dosi de sembra aplicada al cànem.....	93
Taula 3.19. Anàlisi de la variància per al conjunt dels anys del rendiment de fibra cortical, de fibra de la fibra cortical i de la canemuixa.....	97

Taula 3.20. Contingut en N nítric en el sòl després de collita del cànem per a tres anys d'assaig en funció de la dosi de nitrogen i la dosi de sembra aplicada al cànem.	102
Taula 3.21. Densitat de cultiu i rendiment de biomassa aèria i de gra a collita, en funció de la dosi de N, la dosi de sembra i la culti-var de cànem per a l'any 1998.	108
Taula 3.22. Paràmetres estimats per a la relació entre rendiment de tija o gra i dosi de N segons el model de regressió i dosi de N òptima i màxima per a l'any 1998.....	112
Taula 3.23. Proporció de fibra cortical a la tija, proporció d'elements no fibrosos de la fibra cortical a la tija i rendiment de fibra cortical a collita, segons la dosi de nitrogen, la dosi de sembra i la culti-var de cànem per a l'any 1998.	114
Taula 4.1. Anàlisi de sòl inicial per a l'Assaig 2.....	124
Taula 4.2. Precipitació i temperatura mitjana anual i per campanya durant els cinc anys de durada de l'Assaig 2.	125
Taula 4.3. Detalls experimentals per al blat de l'Assaig 2.....	127
Taula 4.4. Densitat de cultiu a naixença i a collita del cànem.....	133
Taula 4.5. Rendiment de biomassa i de tija a collita per al cànem rere blat, en funció de l'adobat aplicat al cànem.	134
Taula 4.6. Rendiment de biomassa i de tija a collita del cànem en funció de la rotació.....	135
Taula 4.7. Contingut en nitrogen nítric en el sòl després de collita del cànem, en funció de l'adobat per al cànem rere blat.....	138
Taula 4.8. Contingut en nitrogen nítric en el sòl després de collita del cànem, segons la rotació per al cànem adobat rere blat.....	139
Taula 4.9. Producció del blat a l'any previ del primer any de blat de l'Assaig 2 (Capítol II).	140
Taula 4.10. Anàlisi de la variància per al rendiment del blat, components del rendiment i característiques de gra i de la planta segons la rotació.	141
Taula 4.11. Rendiment del blat en gra, palla i biomassa aèria en funció de la rotació	143
Taula 4.12. Efecte rotació del cànem en el rendiment de gra del blat.....	145
Taula 4.13. Índex de collita i alçada del cultiu segons la rotació.....	148
Taula 4.14. Components del rendiment del blat segons la rotació.....	150
Taula 4.15. Pes específic i contingut de proteïna bruta del gra en funció de la rotació	153
Taula 4.16. Contingut de matèria orgànica en el sòl a diferents fondàries després de la collita del blat segons la rotació.	156
Taula 4.17. Estabilitat dels agregats de >0,2 mm a 0-20 cm de fondària després de collir el blat.	158
Taula 4.18. Anàlisi de la variància per als diferents paràmetres del sòl.	159
Taula 4.19. Densitat aparent i humitat volumètrica del sòl a 0-20 cm després de collir el blat.	160
Taula 4.20. Mitjana de tres anys (1996 a 1998) del contingut en N-NO ₃ ⁻ en el sòl a filloleig i després de collir el blat, segons la rotació.	163
Taula 5.1. Rendiment en gra i biomassa aèria, pes específic del gra i alçada del blat, segons les tècniques de conreu (dosis d'adob N i dosi de sembra) aplicades al cànem precedent.	174

1. Introducció general

1. INTRODUCCIÓ

La Unió Europea i altres països desenvolupats necessiten promoure cultius alternatius als produïts en excés (com els cereals), que tinguin un impacte més reduït per al medi ambient. El cànem (*Cannabis sativa* L.) pot satisfer aquests requeriments perquè produeix productes (fibra i cel·lulosa) dels que la UE i altres països en són deficitaris i perquè té el perfil adequat per encaixar en sistemes agrícoles més sostenibles. L'interès en “nous” cultius de fibra creix, per exemple, per substituir el cotó per a alternatives menys contaminants, per disminuir la pressió de la indústria del paper sobre els boscos naturals, o bé per substituir la utilització de plàstics no degradables fets a partir de recursos fòssils. El contingut en oli del gra de cànem és alt i s'acosta al rendiment en oli de la colza i del gira-sol. L'oli de cànem és valuós per a l'alimentació humana, a banda de tenir altres aplicacions industrials, i s'està fent un mercat preat. A Espanya, aquests atots li han permès fer-se un lloc en els secans frescals del Prepirineu, on es cultiva en rotació amb el blat des de l'inici dels anys setanta.

En aquesta tesi ens referim al cànem industrial, perquè el cànem també té un desavantatge major que l'ha perjudicat extraordinàriament: s'associa amb l'ús il·legal de narcòtics. Abans de la floració, en un camp de cultiu, no és possible distingir el cànem per a fibra del cànem per a droga (anomenat marihuana), si no és amb anàlisis costosos. Per això a la UE només es permet el cultiu de culti-vars registrades que tinguin un nivell de THC (Δ^9 tetrahidrocannabinol) inferior a 0,2% sobre matèria seca (no és útil com a narcòtic). No obstant, els cannabinoides també tenen propietats terapèutiques valuoses, però és un altre cultiu.

2. ORIGEN I HISTÒRIA DEL CÀNEM

El cànem (*Cannabis sativa* L) es cultiva per a la producció de fibra, cannabinols i gra (Mela, 1962; Karus i Lson, 1997). L'origen exacte del *Cannabis* no és clar, però es creu que es va originar a l'Àsia central (Clarke, 1999). La classificació del *Cannabis* (família *Cannabaceae*) tampoc s'ha determinat amb precisió. *C. Sativa* L. és el tàxon més variat i divers geogràficament (de l'equador al cercle polar àrtic), si bé se n'han descrit altres com *C. indica* Lam. i *C. ruderalis* Janishevsky (Clarke, 1999). En tot cas, el desacord taxonòmic no afecta a les culti-vars de fibra i gra, i a la majoria de les de droga, pels que s'accepta el nom *C. Sativa* L. El contingut en fibra i en cannabinols, els majors objectius de la domesticació, discriminen clarament ambdós grups (Meijer, 1999).

El cànem és una de les plantes més antigues i versàtils conegudes per l'home i la seva utilització data del neolític (Abel, 1980). Probablement és el cultiu no alimentari més antic (Dempsey 1975) i durant segles ha estat un dels cultius més importants. La fibra cortical s'ha utilitzat per a la fabricació de teixits, cordes, sacs i paper. Els cannabinols s'han utilitzat amb finalitats medicinals, rituals i recreatives, mentre que el gra s'ha produït per a l'alimentació i per al seu oli. L'oli de cànem s'ha utilitzat com aliment, en la indústria i la cosmètica mentre que la coca s'ha utilitzat en la alimentació animal.

El segle XVII va ser el punt àlgid del cultiu del cànem a Europa (Abel, 1980), però la importació de fibres tropicals (Ríos, 1927) i el cultiu a gran escala del cotó (Mela, 1962) fan decreixer el cultiu durant el segle dinou (Conrad, 1993). Declivi que continua amb la substitució per altres productes, des de la goma per a la sola de les espadenyes (Guillén, 1927) fins a l'arribada de les fibres sintètiques, i perquè el cultiu es va declarar il·legal en molts països al considerar-se droga (Herer, 1992). Des de mitjans del segle XX, l'àrea més important de cultiu ha estat Xina, Rússia, Corea i Europa de l'est. L'any 2004 es van cultivar unes 74.000 ha de cànem al món, 18.000 ha a la UE-15 (6500 ha a França) (FAO, 2004).

Hanson (1980) va ser un dels primers en apuntar l'interès del cànem com a cultiu atractiu per a la producció sostenible de fibra, opinió que van confirmar posteriorment a Holanda, amb un ampli estudi sobre el cànem (van der Werf *et al.*, 1995c).

Espanya, i especialment França, són els dos únics països de l'Europa de l'Oest en què el cultiu no es va abandonar durant el segle vint (Gorchs i Lloveras, 2003), gràcies a un oportú canvi en la utilització de la fibra, si bé el cas de França és més conegut (Mathieu, 1982; Meijer, 1995; Bocsa i Karus, 1998). A Espanya, quan la indústria tèxtil deixava d'utilitzar la fibra de cànem —de 13000 ha el 1958 (Mela, 1962) es va passar a 85 ha el 1972 (MAPA, 1972)—, la indústria paperera va introduir el cultiu del cànem per la producció de paper especial i tècnic el 1972 (Castells, com. pers.). El canvi d'ús també va comportar el desplaçament del cultiu del regadiu (el 99% de la superfície Espanyola era en regadiu i el 60% a la Horta del baix Segura; Mela, 1962) cap al secà, perquè no competia econòmicament amb altres cultius com el morenc o l'alfals (Gorchs i Lloveras, 2003).

Des del 1972, el cultiu del cànem a Espanya s'ha centrat en els secans relativament humits del Prepirineu que van de Girona al nord de Lleida (1869 ha el 1998; MAPA, 2000), on conreat en rotació amb el blat ha mostrat una excel·lent adaptació i ha esdevingut una àrea natural de cultiu. El 1996 els cultivadors de cànem d'aquesta zona van crear Agrofibra S.L. per processar la tija, separant la fibra cortical (conjunt de teixits corticals) del cilindre central (d'aspecte llenyós, anomenat canemuixa). L'objectiu era incrementar la varietat de productes obtinguts, els quals es destinen a nous mercats (jaç per a cavalls, construcció d'habitatges, etc.) que complementen el de la indústria paperera (Gorchs i Lloveras, 2003).

3. MORFOLOGIA DE LA PLANTA I ESTRUCTURA DE LA TIJA

Característiques morfològiques generals

Cannabis sativa L. és una planta anual i vigorosa. La plàntula té dos cotiledons sèssils, la resta de fulles tenen pecíol. Les fulles del segon parell tenen tres folíols asserrerats. Les del tercer parell tenen 5 folíols i les restants entre 9 i 13. Les plantes joves tenen filotaxis oposada, però al iniciar-se la floració passa a alternada i el número de folíols disminueixen (Clarke, 1999). La tija del cànem és acanalada en diferents graus i parcialment buida, a densitats altes no ramifica. La tija pot mesurar d'1 a 5 m d'alçada, depenent de la culti-var, el sexe i les condicions de cultiu. El cànem té una arrel primària pregonna ben desenvolupada, arribant a 2 m de fondària en condicions adequades (Bocsa i Karus, 1998).

El fruit és un aqueni que conté una sola llavor amb una coberta dura, estretament coberta per una fina paret de l'ovari. És el·líptic, lleugerament comprimit, llis, 2 a 6 mm llarg i 2 a 4 mm de diàmetre màxim. La llavor és lleugerament marró a gris fosc, conté un 35% d'oli i 25% de proteïna (Deferne i Pate, 1996; Callaway i Laakkonen, 1996).



Figura 1.1. *Cannabis sativa* L. a) Rama del peu mascle; b) Flor masculina; c) Rama del peu femella; d) Flor femenina; e) Llavor (Font i Quer, 1961)

El cànem és una planta de dia curt, al·lògama i normalment dioica, però s'han obtingut cultius monoiques. Ambdós sexes són morfològicament indiferenciables abans de la floració. Durant la formació dels primordis florals els mascles es distingeixen pel botó floral, acabat en punta arrodonida, el qual té 5 segments radials. Els primordis femenins es distingeixen per l'allargament tubular i simètric del calze. La inflorescència masculina és ramificada, amb poques o gens de fulles; la inflorescència de les plantes femella presenta fulles abundants, és robusta i no ramificada (Figura 1.1). Les plantes mascles són més altes i moren després de florir. Les plantes femelles viuen 3-5 setmanes més, fins que la llavor madura. Les bràctees que tanquen l'ovari de les flors femenines estan cobertes de tricomes (pèls unicel·lulars amb cistòlits; Esau, 1985) que secreten la resina que conté els cannabinols (Clarke, 1999).

Estructura de la tija i composició química

Ranalli (1999) distingeix dues parts en la tija del cànem: els teixits situats fora del càmbium (fibra cortical, també anomenat fibres del floema; Garcia Hortal; 1993) i els teixits situats a l'interior del càmbium (canemuixa) (Figura 1.6). La fibra cortical representa un 32% de la tija i la canemuixa un 68% (Gilabert, 1981; Meijer, 1994), però aquests percentatges poden variar amb les pràctiques culturals (van der Werf *et al.*, 1994b). Els trets morfològics i químics de la fibra cortical i la canemuixa són clarament diferents i s'han de considerar dues matèries primeres distintes.

La fibra cortical consta de l'epidermis, el còrtex i el floema (Figura 1.2). Entre altres elements, en el floema hi ha els vasos liberians i les fibres primàries, les quals s'originen en el prodesmogen. També pot tenir fibres secundàries, que s'originen a partir del càmbium (Kundu, 1942). Van der Werf *et al.* (1994b) i Meijer (1994) en recullen les principals característiques: Les fibres primàries són més llargues (5 a 40 mm, 20 mm de mitjana) i gruixudes (0,034 mm) que les secundàries (2 mm de llarg i 0,017 mm de gruix). Les fibres del floema s'agrupen en feixos de fibres elementals formant anells sota el còrtex, quedant unides i cimentades per la làmina mitjana interna, formada bàsicament per pectines. L'amarat consisteix en el trencament de la làmina per medi de l'activitat de diversos fongs, facilitant la separació dels feixos de fibres de la tija sense danyar-los (Garcia Hortal, 1993).

La canemuixa, d'aspecte llenyós, consta de la medul·la i del xilema. El xilema conté el parènquima, vasos llenyosos (ambdós amb funcions de transport en la planta) i les fibres libriformes (Esau, 1985, p. 263), que donen rigidesa i resistència. Les fibres del xilema són fines i curtes (0,55 mm de llarg per 0,025 mm d'ample; Bosia, 1976). La fibra cortical i la canemuixa també difereixen en la composició química: Bedetti i Ciaralli (1976) troben 67% de cel·lulosa, 13% d'hemicel·lulosa i 4% de lignina per a la fibra cortical d'una culti-var italiana recollida a l'octubre. Per a la canemuixa troben una composició química semblant a la de la fusta: 38% de cel·lulosa, 31% de hemicel·lulosa i 18% de lignina.

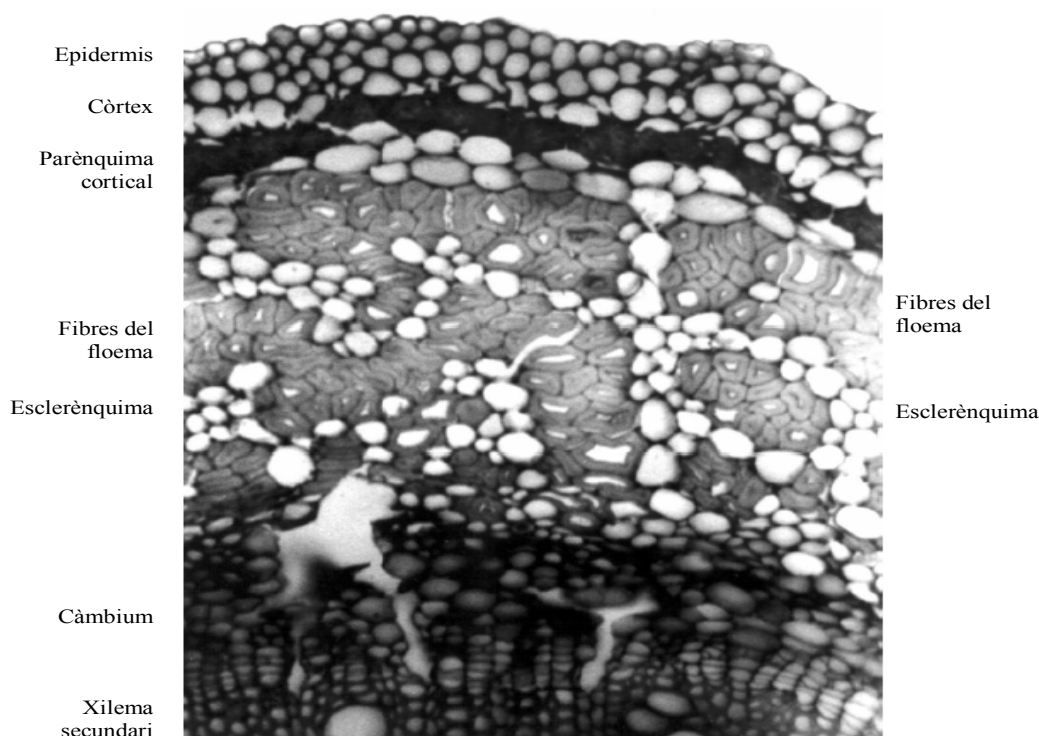


Figura 1.2. Secció transversal de la tija de cànem (cv. Beniko) (augment 173x) (Sankari, 2000a).

Qualitat de la tija

Fibra cortical

El valor de la tija depèn primerament de la proporció de fibra cortical, per a les utilitzacions que requereixen fibra llarga (p. ex. tèxtil, compòsits d'alta tecnologia, paper). Per a tèxtil i per a compòsits d'alta tecnologia és necessita un rendiment alt en fibres primàries individualitzades, la qual cosa depèn del contingut en fibra cortical de la tija i del procés de separació emprat (separació mecànica de la tija, separació de les fibres per a enzims, etc.) (Keller *et al.*, 2001; Dreyer *et al.*, 2002). També interessa un contingut baix en fibres secundàries (dificulten la separació), entre molts altres aspectes (Mediavilla *et al.*, 2001).

Com a matèria primera per a paper, la fibra cortical també és més valuosa perquè les fibres són més llargues, el contingut en cel·lulosa més alt, i el contingut en lignina més baix que en la canemuixa. Van der Werf *et al.* (1994b) resumeixen els avantatges que comporten aquestes característiques: la resistència del paper s'incrementa amb la longitud de la fibra; el contingut de cel·lulosa és important perquè en la fabricació de pasta química, el rendiment en pasta correspon al contingut en cel·lulosa de la matèria primera.

A més a més, és desitjable un contingut baix en lignina, donat que la lignina es treu mitjançant procediments nocius per al medi ambient (lleixius). D'aquí que, per a paper, també interessin més les fibres primàries (les secundàries tenen més lignina i són més curtes), si bé obtenir fibres individualitzades no és transcendent perquè durant el procés de fabricació de la pasta ja s'alliberen sense problema.

Per a la producció de pasta i paper, l'avaluació completa de les matèries primeres es realitza amb els mètodes normalitzats de la "Technical Association of the Pulp and Paper Industry" (TAPPI) (cel·lulosa, hemicel·lulosa i lignina, principalment). El procediment T-212 om-88 (TAPPI, 1988) permet estimar el rendiment en pasta d'una matèria primera (fibra cortical o canemuixa en el nostre cas) extraient els elements no fibrosos (solubles) d'una mostra molta bullida en una solució d'hidròxid de sodi (1%). Meijer i van der Werf (1994) proposen un mètode simplificat del mètode T-212 aplicable a la fibra cortical del cànem separada de la tija. Aquest mètode dona resultats molt similars als del mètode de referència (T-212), però resulta menys costós i laboriós (no cal moldre la mostra). És aplicable en estudis agronòmics i tècnics en què s'hagi d'analitzar un gran nombre de mostres.

Van der Werf *et al.* (1994b) conclouen que per valorar la qualitat de la tija de cànem, primer s'ha de determinar la proporció de fibra cortical a la tija, ja que és la fracció amb major valor econòmic. Després caldrà avaluar els paràmetres adequats per a cada aplicació. Per a pasta per paper, estimant el rendiment en pasta de la fibra cortical segons el mètode simplificat de la norma T-212 proposat per Meijer i van der Werf (1994) es té una informació valuosa de la qualitat de la tija de cànem, permetent discriminar la qualitat de diverses mostres.

Canemuixa

Les referències que tracten sobre els trets que marquen la qualitat de la canemuixa són molt escasses, a diferència del que succeeix amb la fibra cortical. De Groot *et al.* (1998) estudien la utilització de la canemuixa com a matèria primera per a paper, el qual té unes característiques similars al paper produït amb fusta dura. La canemuixa és molt adequada per jaç d'animals, perquè és molt absorbent (de sis a vuit vegades el seu pes; Brunet, 2000), fàcilment compostable, fàcil de manejar i ha de ser clara i lliure de fibra cortical (Karus i Lesson, 1997). Però no s'especifiquen els paràmetres que permeten valorar la qualitat ni quins factors hi influeixen. Utilitzada per a la fabricació de materials de construcció, tampoc no es troben referències que detallin els trets més convenients de la canemuixa.

4. LA PRODUCCIÓ DE CÀNEM A LA UNIÓ EUROPEA I A ESPANYA

Línies de productes a la UE

Els productes que potencialment es poden obtenir del cànem són molt diversos (fins a més de 25000) (Roulac, 1996), si bé els que actualment es produeixen a la UE i a Espanya (a partir de la tija o del gra) són força més reduïts. Per a l'aprofitament de la tija cal separar la fibra cortical (teixits exteriors al càmbium) de la canemuixa (teixits interiors al càmbium), de manera que bàsicament hi ha tres línies de productes de cànem: fibra cortical, canemuixa i gra (Karus i Lesson, 1997; Karus, 2002). A Europa la separació de la fibra es realitza mecànicament (diverses plantes són de construcció recent). La separació de la fibra cortical també es pot realitzar amb altres mètodes (explosió de la tija i ultrasons), però encara no són practicables a escala industrial (Dreyer *et al.*, 2002).

Per al conjunt de la UE per a l'any 2001, Karus (2002) estima una producció d'unes 25000 t de fibra cortical, 40000 t de canemuixa i 4300 t de gra. També especifica els principals mercats, els quals comprenen alguns usos addicionals als descrits per a Espanya a la Figura 1.3: La fibra cortical s'utilitza per a la producció de paper (75%), de compòsits per a la indústria automobilística (17%), materials de construcció (7%; aïllants) i altres usos (1%; agro i geotèxtils, matalassos, etc.); La canemuixa s'utilitza per a llit d'animals (92%) i en la construcció (8%); El gra s'utilitza com aliment d'ocells (95%) i per alimentació humana (5%; gra sencer o bé oli i coca de cànem).

A Espanya, la fibra cortical s'utilitza gairebé en exclusiu per a la producció de pasta per a papers especials i tècnics (paper de fumar, paper bíblia, moneda, filtres, etc.; Gilabert, 1981; J. Castells de Semillas Castells, com. personal). Per a tèxtil, la tecnologia actualment disponible no permet obtenir fibra de qualitat suficient. La fibra, el fil o bé la tela s'importa de països que encara processen la tija de forma manual (Dreyer *et al.*, 2002). Cal superar dos problemes tècnics per poder produir fibra de qualitat per a tèxtil o bé compòsits d'alta tecnologia als països desenvolupats: l'amarat ("enriado" en castellà) i la separació de la fibra cortical (Ranalli, 1999). Els processos actuals donen lloc a fibres curtes, utilitzables per productes que no exigeixen fibra d'alta qualitat (farciment, compòsits, geotèxtils, etc.) (Keller *et al.*, 2001).

L'amarat en el camp (amb la rosada o la pluja) depèn de la climatologia i dona lloc a una fibra no homogènia, mentre que l'amarat en basses és laboriós i qüestionable des del punt de vista ecològic, ja que requereix molt d'oxigen i deixa un residu líquid molt contaminant (Karus i Lesson, 1995).

El cànem a Espanya–Catalunya

Les referències sobre cànem a partir de mitjans del segle XX a Espanya són molt escasses, tret dels treballs que es presenten en aquest document. Gilabert (1981) estudia la utilització de la tija integral (sense separar la fibra cortical) per la fabricació de pasta per a paper. Acosta (1997) planteja l'adaptació del cànem a Galícia i aporta algunes dades de cultiu (alçada, durada del cicle i proporció de tija). Lloveras *et al.* (2006) comparen la producció del cànem (tres varietats: Delta 405, Delta-Llosa i Futura 77) i del lli (5 varietats) en condicions de regadiu a Lleida durant dos anys.

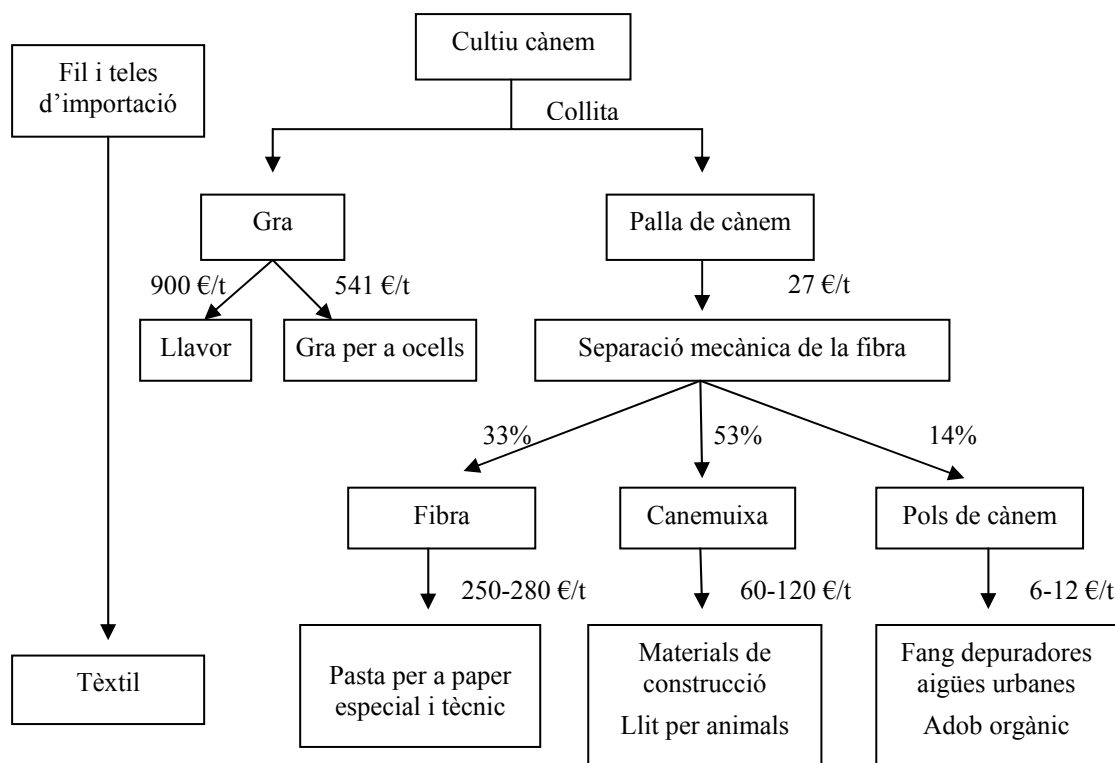


Figura 1.3. Esquema de transformació del cànem, productes obtinguts i usos principals a Espanya. Rendiment industrial en % del pes de la palla transformada. Els preus corresponen a l'any 2002 (Gorchs i Lloveras, 2003).

El cultiu

A Espanya, el cultiu del cànem, i la transformació, se centren en les àrees del secà semifrescal i frescal del Prepirineu (Figura 1.4) (Gorchs i Lloveras, 1998b i 2003). Aquestes zones agroclimàtiques es defineixen en funció de la pluviometria i de la temperatura, que són els factors que més limiten la productivitat en les nostres condicions. El secà frescal té una precipitació superior als 700 mm, mentre que en els semi-frescals es situa al voltant dels 600 mm i l'altitud oscil·la entre els 500 i els 700 mm (López i Serra, 1995).

Els agricultors estan interessats en el cànem com a cultiu alternatiu per evitar el monocultiu de cereal (Gorchs i Lloveras, 1997). El cànem s'ha integrat fàcilment en les explotacions cerealistes d'aquestes àrees perquè és un bon precedent per al cereal (Bocsa i Karus, 1998), té un cicle curt que facilita organitzar els treballs d'explotació (FNPC, 1995) i ha mostrat ser econòmicament competitiu respecte a altres cultius (Gorchs i Lloveras, 1998b i 2003).

El cultiu està totalment mecanitzat. La sembra es realitza amb una sembradora de cereals (45-60 kg ha⁻¹ de llavor). L'establiment del cultiu és delicat: el cànem és molt sensible a un llit de sembra mal preparat i a la manca d'aigua durant els primers estadis de creixement (experiència personal de l'autor). Després, ja no es necessita fer cap treball fins a la collita. Si es cultiva només per a fibra, es dalla a mig agost (final floració), amb una condicionadora i posteriorment s'embla amb embaladora de bales rodones. Si es cultiva per a gra i fibra, es cull quan les llavors de la base de la inflorescència són madures i estan a punt de caure (mig setembre). Primer es dalla i s'afilera. Després es recull i es bat amb una recol·lectora equipada amb un capçal pick-up (Figura 1.5). Posteriorment s'embla la palla. L'alt preu del gra (Figura 1.3) ha incentivat el cultiu per a doble ús gra/fibra, si bé es segueixen utilitzant les varietats orientades a la producció de fibra (Gorchs i Lloveras 2003).

La palla, tant si es recull el gra com si no, es deixa 2-3 setmanes en el camp abans d'embalar-la per permetre l'amarat, ja sigui per medi de la rosada o de la pluja. Però el control d'aquest procés és deficient perquè depèn de la meteorologia, molt variable d'un any a l'altre i tant es pot donar un amarat excessiu els anys plujosos, com insuficient els anys secs (Gorchs i Lloveras, 2003). Tanmateix, destaca la bona adaptació del cultiu, sobretot quan es cultiva per fibra/gru. Els nivells productius són clarament inferiors als que s'obtenen a altres àrees del centre i nord d'Europa (Meijer *et al.*, 1995; van der Werf *et al.*, 1995b; Mediavilla *et al.*, 2001), però en aquestes àrees l'assecat de la palla és molt difícil (van der Werf *et al.*, 1996; Ranalli, 1999; Hobson *et al.*, 2001). Si la collita es retarda fins l'octubre l'agricultor ja no pot sembrar blat d'hivern i el cànem perd interès com a cultiu alternatiu (Hobson *et al.*, 2001). En les condicions del prepirineu, la collita del gra i l'assecat de la palla s'acostumen a realitzar de forma satisfactòria i no dificulten la sembra del blat (Gorchs i Lloveras, 2003).

Rendiments i dades econòmiques

El rendiment de palla als secans frescals del Prepirineu pot variar entre 4 i 12 t ha⁻¹ segons les condicions climàtiques de l'any, però el rendiment mitjà es situa entre 5 i 6 t ha⁻¹, segons informacions aportades pels propis agricultors. El rendiment mig de gra és uns 600 kg ha⁻¹, si bé pot variar de 400 a 1500 kg ha⁻¹. En anys plujosos alguns agricultors informen de rendiments superiors a 1800 kg ha⁻¹ de gra (Gorchs i Lloveras, 2003). En regadiu els rendiments són superiors, de 10 a 12 t de palla (Lloveras *et al.*, 2006)

Durant els anys noranta el rendiment de palla a nivell d'agricultor va baixar notablement, pel baix preu de la palla de cànem (3 € t⁻¹, l'any 1997) (Gorchs i Lloveras, 2003). L'ajut de la UE (774,74 € ha⁻¹ l'any 1997) (CE, 1997) va esdevenir, de lluny, el principal ingrés i l'agricultor va extensificar la producció, reduint l'adobat (dràsticament) i la dosi de sembra. Però el 2001 la UE va situar l'ajut al cànem al mateix nivell dels cereals (CE, 2000), forçant la indústria a incrementar el preu de la palla (120 € t⁻¹, l'any 2002; Figura 1.3), de manera que el marge brut del cànem es manté competitiu davant altres cultius (665 i 443 € ha⁻¹ per l'any 2002 per al cànem i colza, respectivament) (Gorchs i Lloveras, 2003).

Cànem per a fibra o bé per a doble ús fibra/gra?

La fibra cortical ha estat més valuosa en general (Taula 1.1), però els usos donats recentment a la canemuixa (Figura 1.3) n'han augmentat la demanda i el preu de mercat: d'utilitzar-se com a font d'energia a les cases dels jornalers (Ruchena, 1927), ha passat a valer gairebé la meitat del preu de la fibra cortical. Conseqüentment, la contribució de la fibra cortical en el valor de la tija ha disminuït (del 97% el 1927 al 50-69% el 2002) i no és tant fonamental obtenir un alt contingut en fibra cortical com havia estat, només serà interessant si permet augmentar el marge econòmic. L'agricultor ha de valorar quin objectiu de producció li convé més: fibra, fibra i gra o només gra. Produir cànem exclusivament per a gra (la palla seria un subproducte) encara no és possible a Espanya perquè no s'han seleccionat culti-vars per a gra adaptades a la nostra latitud, si bé és presenta com una opció de futur.

A Espanya, cultivar cànem només per a fibra és menys interessant que per a doble ús fibra i gra. El marge brut del cultiu és inferior (514 i 665 € ha⁻¹ per a fibra i doble ús, respectivament) (Gorchs i Lloveras, 2003) i el cultiu per a doble ús fibra/gra és possible per dos aspectes bàsics: a) la utilització predominant de la fibra a Espanya (pasta per paper) permet collir a maduració del gra sense pèrdua significativa de qualitat de la fibra cortical; b) La climatologia en el moment de la collita permet aquesta producció. Stutterheim *et al.* (1999) suggereixen que Europa central és adequada per a la producció de fibra i el sud d'Europa ho és més per al doble ús fibra/gra. No obstant, cal determinar de forma acurada l'efecte que la collita a maduració del gra té en el rendiment industrial de la fibra cortical i la canemuixa.

Taula 1.1. Preus de mercat de la fibra cortical i de la canemuixa del cànem i contribució de la fibra cortical en el valor de la tija de cànem en diferents anys.

Any	Fibra cortical (1)	Canemuixa (2)	Relació de preus (1:2)	Pes de la fibra cortical en el valor de la tija ‡	Font
	€ t ⁻¹ †			%	
1927	8,0	0,12	66,6	97	Ruchena, (1927)
1992	380	38-90	10,0 a 4,2	82-67	van der Werf <i>et al.</i> (1994b)
2002	250-280	60-120	4,2 a 2,3	69-50	Gorchs i Lloveras (2003)

† Preus no actualitzats, els preus originals, per la fibra cortical i la canemuixa respectivament, són: 1300 i 20 PTA t⁻¹ el 1927; 2500 i 250-600 Francs t⁻¹ el 1992. ‡ Es considera un 32% de fibra cortical i un 68% canemuixa en la tija de cànem (Gilabert, 1981).



Figura 1.4. Camps de cànem a Sagàs (esquerra; 12 juny 1995) i a Merlès (dreta; 2 agost 1999) (Barcelona).



Figura 1.5. Recol·lecció del gra a Olost (esquerra; setembre 1999) i embalat de la palla de cànem a Merlès (dreta; 14 setembre 2002) (Barcelona).



Figura 1.6. Detall de la tija (esquerra), separant la fibra cortical (teixits situats fora del cambium) del cilindre central o canemuixa (teixits situats a l'interior del cambium), i gra de la cv. Fibrimon 56 (dreta; grans de cigró a dalt a l'esquerra com a referència).

5. FISIOLOGIA I AGRONOMIA DE CULTIU DEL CÀNEM

Un tret remarcable del cànem és que cobreix el sòl molt ràpidament, després d'acumular 400-450 °C (van der Werf *et al.*, 1995d), mentre que un cultiu comparable com la remolatxa requereix 600-700 °C (vegis p. ex. Smit i Struik, 1995). Per l'emergència i l'establiment de la superfície foliar, les temperatures considerades base són: 1 i 2,5 °C per al cànem i 1 i 3 °C per a la remolatxa, respectivament. És a dir, el cànem creix a temperatures més baixes i es poden plantejar sèmres precoces per maximitzar el rendiment (van der Werf *et al.* 1996).

No obstant, hi ha dos trets fisiològics que requereixen una atenció especial, perquè són determinants per al rendiment i per a la qualitat de la fibra: el cànem és una planta de dia curt i el cultiu presenta una gran heterogeneïtat. El primer tret (planta de dia curt) afecta la producció, perquè l'eficiència en l'ús de la radiació (RUE; biomassa produïda per unitat de PAR — radiació fotosintètica activa interceptada — en un cultiu no estressat; Monteith, 1977) cau ràpidament a partir de l'inici de la floració. Meijer *et al.* (1995) i Struik *et al.* (2000) obtenen una RUE de 2,0 a 2,2 g MJ⁻¹ abans de floració, quan després de floració es situa entre 1,0 i 1,2 g MJ⁻¹. Aquests valors de RUE es situen en la banda baixa dels valors que es donen per a altres cultius C₃ (Villalobos *et al.*, 2002).

Meijer *et al.* (1995), van der Werf *et al.* (1996) i Ranalli (1999) suggereixen diversos factors com a responsables de la baixa RUE que presenta el cànem: a) La fotosíntesi del cobert vegetal es veu negativament afectada per l'alt coeficient d'extinció de la radiació degut al caràcter planòfil del cobert vegetal del cànem (la majoria de fulles són gairebé horitzontals (Meijer *et al.*, 1995); b) A partir de la floració hi ha un declivi en la fotosíntesi bruta, probablement com a resultat de la senescència de les fulles (van der Werf *et al.*, 1994a); c) La producció de biomassa es redueix d'un 6 a 7% com a resultat de les pèrdues de conversió durant la síntesi d'una quantitat de lignina relativament alta en la tija (15%; Bedetti i Ciaralli, 1976) ; d) després de la floració, la producció de biomassa es redueix per la síntesi d'oli i de proteïnes per al gra, degut a que aquests productes tenen un cost de conversió dels assimilats primaris superior als de la cel·lulosa (la respiració incrementa); e) finalment, la pèrdua de biomassa durant el creixement, a mesura que la planta madura, pot ser important degut a que les fulles mortes cauen ràpidament al sòl (Figura 1.7).

Respecte al segon tret fisiològic que esmentàvem abans, el cultiu és molt heterogeni (van der Werf *et al.*, 1995a) a causa del dimorfisme sexual, ja que les plantes mascle i femella difereixen en el creixement i el desenvolupament (a les culti-vars monoiques també hi ha plantes dioiques, a nivell d'agricultor) (van der Werf i Berg, 1995) i els mascles tendeixen a florir i morir abans. A més a més, a densitats de cultiu altes es genera una jerarquia degut a la competència entre plantes, la variabilitat incrementa (van der Werf *et al.*, 1995a) i les plantes més desenvolupades poden suprimir les més petites provocant l'autoclarida.

La variació entre plantes descrita abans pot limitar els rendiments i donar lloc a diferències de qualitat. Meijer *et al.* (1995) estimen que en conjunt, entre la caiguda de fulles mortes i la pèrdua de plantes, es poden perdre fins a 3 t ha⁻¹ de matèria seca, donant lloc a una reducció de la RUE aparent del cànem.

S'han proposat diverses mesures per incrementar la productivitat del cànem. Primerament, es tractaria de seleccionar culti-vars tardanes a floració (Meijer *et al.*, 1995). Això especialment per a zones de latitud mig-alta i per a la producció de fibra, mentre que al sud d'Europa es podrien seleccionar genotips de fotoperíode més llarg per aprofitar de forma òptima el cicle de cultiu disponible (Stutterheim *et al.*, 1999). Però, per a produir gra, hi ha un fotoperíode crític a no depassar, contràriament, en les condicions del prepirieu, el cicle de cultiu s'allargaria excessivament i dificultaria la collita i la sembra del posterior cultiu de blat.

D'altra banda, convé seleccionar varietats amb un menor contingut de lignina a la tija: es reduirien les pèrdues de conversió de la radiació en biomassa, alhora que s'incrementaria la qualitat de la tija per a pasta i paper (Meijer *et al.*, 1995). Altres mesures es relacionen més amb diverses pràctiques culturals, les quals es revisen en l'apartat que segueix.

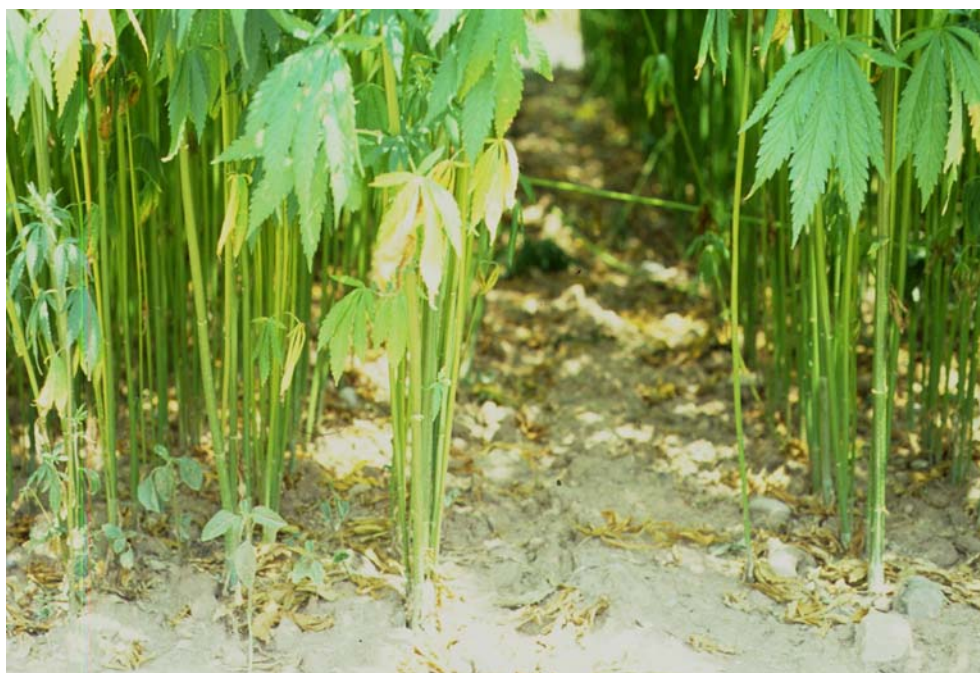


Figura 1.7. Detall del cultiu on es pot observar la fulla caiguda al sòl i l'absència de males herbes a l'interior de la parcel·la (Merlès, 20 juliol 1995)

5.1. Efecte de les pràctiques culturals en la producció de fibra

L'agricultor pot controlar la producció i la qualitat de la fibra, bàsicament, a través de la culti-var, la densitat de sembra, l'adobat N i el moment de la collita, si bé aquests elements actuen diferentment: el N afecta especialment la producció (van der Werf *et al.*, 1995b); la densitat de sembra condiona bàsicament la proporció de tija a la biomassa i de fibra cortical a la tija i la qualitat de la fibra (van der Werf, 1996); la data de collita afecta més a la qualitat que la producció (Mediavilla *et al.* 2001); en canvi, la culti-var afecta la producció (qüestió de cicle) i la qualitat (van der Werf, 1996). La qüestió és ajustar les pràctiques culturals per a obtenir una producció de fibra màxima, mantenint la qualitat. Assumir una certa disminució de la qualitat pot ser raonable, si l'increment de rendiment o de productes que es comercialitzen (fibra/gra) generen un marge econòmic superior (Ranalli, 1999).

Culti-var

La elecció de la culti-var és un punt crític en el cultiu del cànem (superior, probablement, al que juga en altres cultius) perquè hi ha diferències considerables entre culti-vars pel que fa al rendiment de tija i de gra, la proporció de fibra cortical (Bocsa i Karus, 1998) i la relació fibra primària/secundària (Ranalli, 1999). Les culti-vars també es distingeixen per la precocitat a floració. Les culti-vars tardanes tenen un potencial de producció de tija superior (van der Werf *et al.*, 1994; Cromack, 1998; Bocsa, 1999; Lisson i Mendham, 2000; Sankari, 2000a; Struik *et al.*, 2000), pels tret fisiològics comentats en l'apartat anterior. En tot cas, les culti-vars més utilitzades a Europa s'han obtingut a França i tenen un fotoperíode crític entre 14 i 15,5 h. El seu comportament variarà en les diferents eco-regions i poden no expressar tot el seu potencial a les diferents àrees d'Europa (Struik *et al.*, 2000).

Els objectius de la millora s'han centrat en incrementar el contingut de fibra cortical, el qual s'ha doblat (Rumyantseva i Lemeshev, 1994; Bocsa, 1999), i reduir el de cannabinols (en particular Δ^9 tetrahidrocannabinol, THC) per situar-lo per sota del 0,2 % sobre matèria seca que marca la normativa comunitària (CE, 2000). Les culti-vars monoiques es van obtenir primerament a Rússia, per augmentar la producció de gra i l'homogeneïtat de la fibra del cànem collit a maduració del gra: les plantes mascles de les culti-vars dioiques no porten gra i després de florir moren i es trenquen, amb la qual cosa la meitat del cultiu es perd (Bocsa, 1999). No obstant, les culti-vars monoiques mostren algunes limitacions: la selecció, el manteniment i la multiplicació és difícil, ja que es dona una deriva genètica natural que les fa revertir en dioiques, de manera que la llavor que arriba a l'agricultor comprèn entre un 15 i 30% de mascles així com una quantitat de femelles veritables (Meijer, 1995); el rendiment de tija i la proporció de fibra cortical (van der werf *et al.*, 1994a; Cromak, 1998) i la qualitat (Horkay i Bocsa, 1996) sembla ser inferior al de les culti-vars dioiques, fet que s'explicaria per la depressió endogàmica deguda a una certa autofecundació (Gauca, 1990).

A Espanya s'utilitzen culti-vars monoiques, obtingudes a França (Fibrimon 56, Futura 77, Felina, etc.) des del 1972, i les registrades per CELESA a Espanya (Delta-Llosa i Delta 405) des de l'any 1996 (Gorchs i Lloveras, 2003). A diferència de les culti-vars franceses, amplament conegudes (Meijer, 1995; Bocsa, 1999), de les culti-vars espanyoles es disposa de poca informació, tot i que haurien de tenir un cicle més llarg que Futura 77 (precocitat a floració mig-tardana; Meijer, 1995) i produir més gra (Gorchs i Lloveras, 1999).

Incrementar el rendiment de gra no havia estat mai un objectiu bàsic per a la millora (Rumyantseva i Lemeshev, 1994). Però recentment, degut al nou interès en l'oli de cànem i en altres productes derivats del gra, es va obtenir la primera varietat (Finola) dirigida exclusivament a la producció de gra. Finola és molt precoç a floració i s'adapta a latituds superiors a 60⁰ N (Callaway, 2003). L'oli d'aquesta varietat té nivells elevats de àcids grassos essencials (4,4% de γ -linolènic i 1,7% de stearidònic) que el fan valuós per a la nutrició i per a productes farmacèutics (Laakonen i Callaway, 1998; Callaway, 2002).

Densitat de cultiu

Les densitats de cultiu recomanades per al cànem es mouen en un rang molt ampli (entre 5 i 750 plantes m⁻²) (Dempsey, 1975), depenent de l'objectiu de producció i el nivell de rendiment esperat. Per a la producció de fibra, diversos autors suggereixen que la densitat de cultiu òptima a la collita estaria al voltant de 100 plantes m⁻² (Dempsey, 1975; Meijer *et al.*, 1995; van der Werf *et al.*, 1995a; Venturi i Amaducci, 1997; Cromack, 1998; Lisson i Mendham, 2000), si bé també es recomanen densitats de cultiu a collita força superiors —de 250 (Mathieu, 1982) a 300 plantes m⁻² (Thomas, 1988; van der Werf, 2002)—. Contràriament, per la producció de gra són preferibles densitats baixes, de 5 a 30 plantes m⁻² (Hennink *et al.*, 1994; Bocsa i Karus, 1998, p. 125; Meier i Mediavilla, 1998; van der Werf, 2002). D'altra banda, pocs autors tracten sobre la densitat de cultiu òptima per al cànem de doble ús fibra/gra. Mathieu (1982) proposa 200 plantes eficaces m⁻².

La densitat de cultiu a collita és difícil de preveure en el cànem. L'autoaclerida (Westboy, 1984) s'ha descrit per a densitats de cultiu altes (van der Werf *et al.*, 1995a, 1995b; Lisson i Mendham, 2000; Struik *et al.*, 2000), però presenta resultats contradictoris (Struik *et al.*, 2000). Per tant, no és fàcil donar referències sobre el número de llavors viables per m² per a les diferents àrees, que seria la dada més útil per a l'agricultor. Starcevic (1978) (225-250 llavors viables m⁻²) i Gauca *et al.* (1986) (350-450 llavors viables m⁻²) donen algunes referències vàlides per a cànem per a fibra per a Iugoslàvia i Romania, respectivament. Per a cànem per a doble ús fibra/gra es donen valors lleugerament inferiors —entre 100-150 (Tabara, 1985) i 150-200 (Gauca *et al.*, 1986) llavors viables m⁻²—. En conjunt, la dosi de sembra més comunament proposada es situa entre 3 i 25 kg ha⁻¹ per a producció de gra, 15 i 60 kg ha⁻¹ per a doble ús fibra/gra i 45-90 kg ha⁻¹ per a producció de fibra.

Les densitats de cultiu òptimes per al cànem per a fibra són superiors a les densitats relativament baixes que donen el màxim rendiment en biomassa (30-50 plantes m⁻²; van der Werf *et al.*, 1995a; Amaducci *et al.*, 2002a) perquè la qualitat de la tija segueix millorant quan el rendiment de biomassa ja no augmenta. La proporció de tija a la biomassa i de fibra cortical a la tija augmenten (i el rendiment de fibra cortical, consegüentment) amb la densitat de cultiu (van der Werf *et al.*, 1995a; Cromak, 1998; Struik *et al.* 2000; Amaducci *et al.*, 2002a) perquè la tija és més esvelta i la relació fibra cortical/canemuixa és més favorable.

D'altra banda, la finor de la fibra també augmenta amb la densitat, perquè la proporció de fibra secundària baixa al disminuir el diàmetre de la tija. La fibra secundària es forma amb el creixement secundari durant el desenvolupament del cultiu (Keller *et al.*, 2001), el qual és més limitat a densitats altes. I un contingut baix de fibra secundària és desitjable per a la majoria d'aplicacions, en particular per a tèxtil i per a paper.

A més a més, a densitats altes els primers entrenusos són més llargs (Amaducci *et al.*, 2002a), alhora que la fibra primària també ho seria (Kundu, 1942). Van der Werf (1996) conclou que la densitat òptima per a la producció de fibra cortical serà la màxima densitat possible que no causa autoaclarida. Però Höpner i Menge-Hartmann (1995) també apunten que aquesta densitat ve marcada per a la culti-var. Les culti-vars de cicle llarg i creixement important admeten densitats de sembra inferiors en relació a les culti-vars precoces i menys desenvolupades. En canvi, Amaducci *et al.* (2002b) no observen aquesta relació.

Nitrogen

L'efecte de l'adobat nitrogenat en el rendiment i la qualitat en el cànem és complex (van der Werf *et al.*, 1995b). El nitrogen afecta el creixement del cànem directament, doncs el rendiment de biomassa i de tija augmenten amb la dosi de nitrogen. Però el nitrogen també afecta indirectament el creixement, incrementant la competició entre plantes i forçant l'autoaclarida. És a dir, a dosis de nitrogen altes (200 kg N ha⁻¹) menys plantes contribueixen a la collita i les plantes que queden són més pesades, de manera que el contingut de fibra cortical en la tija disminueix (van der Werf *et al.*, 1995b; Struik *et al.*, 2000).

En assaigs realitzats per Höppner i Menge-Hartmann (1995) (entre 60 i 100 kg N ha⁻¹), van der Werf *et al.* (1995b) (80 kg N ha⁻¹ per unes 120 plantes m⁻² a collita) i Mediavilla *et al.* (1998b) (50-85 kg N ha⁻¹ amb 30 kg llavor ha⁻¹ com a mínim) conclouen que dosis moderades de nitrogen serien les més convenientes. Alguns treballs avaluen l'efecte conjunt nitrogen—densitat de sembra (Venturi i Amaducci, 1997; Mediavilla *et al.*, 1998b; Struik *et al.*, 2000; Amaducci *et al.*, 2002b; Grabowska i Koziara, 2005), però cal veure com interaccionen ambdós factors en àrees més seques a les d'aquests autors.

D'altra banda, en diversos cultius s'han desenvolupat diferents mètodes de diagnòstic que permeten ajustar les necessitats de nitrogen i la fertilització nitrogenada, per tal d'assolir rendiments elevats i disminuir tant els costos de producció com els ambientals derivats de les fugues de nitrogen cap al medi ambient. El mesurador de clorofil·la SPAD 502 (Minolta, Tokio, Japó) està guanyant interès per tractar-se d'una mesura instantània, no destructiva i simple de realitzar (Blackmer i Schepers, 1995; Sainz i Echevarria, 1998). Els valors del mesurador de clorofil·la han provat abastament tenir una bona correlació amb el contingut de clorofil·la i/o el contingut de nitrogen en cultius com el blat de moro (Schepers *et al.*, 1992), el blat (Peltonen *et al.*, 1995; López-Bellido *et al.*, 2004b), l'arròs (Peng *et al.*, 1993) i el cotó (Malavolta *et al.*, 2004), entre altres cultius.

En cànem, la concentració de nitrogen a la fulla s'associa amb el rendiment de tija, essent necessari assolir un 5-6% de concentració N en fulla per a rendiments elevats (Ivanyi, 2005). Daughtry i Walthall (1998) reporten una correlació positiva entre el contingut de clorofil·la i la dosi de nitrogen en *Cannabis sativa* L. (en varietats per a droga), alhora que la reflectància disminueix. El SPAD mesura la llum absorbida per una fulla simple per la longitud d'ona clau d'absorció de llum de la clorofil·la (650 nm), mentre que els sensors multiespectrals mesuren la llum reflectada pel cobert vegetal per un ample rang de longitud d'ona (400-1100 nm). En conjunt suggereix que el mesurador de clorofil·la també s'ha de poder utilitzar per a diagnosticar l'estat nutricional del cànem i ha de permetre ajustar la fertilització N. No obstant, no es troben treballs que avaluin si el mesurador de clorofil·la SPAD 502 és adequat per gestionar la fertilització nitrogenada en el cànem industrial.

Collita

Per a la producció de fibra, el màxim rendiment de tija i de fibra i de qualitat de la fibra (maduració tècnica) per a les culti-vars monoiques es dona en el pic de la floració (Bocsa i Karus, 1998; Mediavilla *et al.*, 2001). Posteriorment, el rendiment de tija i de fibra cortical disminueix lleument (Meijer *et al.*, 1995) degut a la senescència, mentre que la proporció de fibra secundària (Mediavilla *et al.* 2001) i lignina (Keller *et al.*, 2001) tendeix a augmentar. No obstant, a inici de maduració del gra la separació mecànica de la fibra cortical de la tija sense amarrar és més fàcil i no afecta la resistència de tracció de la fibra (Keller *et al.*, 2001).

És a dir, el moment de la collita afecta diferentment a la qualitat de la fibra, en funció de l'ús final que se li doni. Per a pasta es pot retardar la collita fins a dos mesos després de la floració sense afectar les propietats i la resistència del full de paper (Riddlestone i Franck, 1995; Veen, 1995), i per tant és possible produir cànem per a doble ús fibra/gru. Per a tèxtil i composts d'alta tecnologia seria convenient collir el cànem a maduració tècnica perquè és quan s'obté la màxima qualitat de fibra que requereixen aquests usos.

5.2. El cànem davant altres cultius de fibra a Espanya

En els darrers anys s'han proposat diversos cultius com a “nous” cultius de fibra per a disposar d'alternatives més benignes pel medi ambient que la indústria paperera (amb fusta) (Young, 1997) i la del cotó (Spelman, 1994), per exemple. Alguns cultius per a zones temperades, a més del cànem, són el lli (*Linum ussitatissimum* L.), el *Miscanthus sinensis* Anders i el kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) (Spelman, 1994; van der Werf *et al.*, 1996). Que qualsevol d'aquests cultius acabi implantant-se dependrà de si s'aconsegueix desenvolupar un programa agro-industrial complet. Però, des del punt de vista agronòmic es pot avaluar quin d'aquest cultius està més ben situat.

L'establiment del *M. sinensis* és costós i el fred i les malalties durant l'hivern poden danyar-lo sovint (Bassam, 1998). A més, la longitud del seu cicle (10 anys) el fan menys atractiu per als agricultors i gairebé només té sortida per a papers de baixa qualitat (Young, 1997). El lli ha consolidat un mercat tèxtil a diversos països de la UE (Spelman, 1994), però un problema major és que té un rendiment molt inferior al del cànem (entre el 50 i el 100%) (Sankari, 2000b). A Espanya també té un rendiment inferior al del cànem, tant en el secà del Prepirineu (Tuson, 1999) com en el regadiu de la vall de l'Ebre (Lloveras *et al.*, 2006).

El potencial del cànem com a productor de fibra a Espanya s'ha d'avaluar comparant-lo amb el kenaf, el qual s'ha proposat per a les zones que van des de l'equador a 45⁰ N (Bassam, 1998). Actualment a Albacete, l'empresa Kafus està construint una planta per a la producció de 15000 t anuals de biocompòsits a partir del kenaf (Anònim, 2003). En principi, l'interès d'ambdós cultius es centrava com a matèries primeres fibroses per a pasta i paper, si bé actualment el ventall d'aprofitaments possibles s'ha eixamplat notablement (Oliveros *et al.*, 2000; Gorchs i Lloveras, 2003).

El kenaf no tolera temperatures baixes i necessita de 13-15 ⁰C per a una germinació correcta (Pascual, 1993), quan el cànem pot establir-se a partir d'1-2 ⁰C (van der Werf *et al.*, 1995d). A la meitat nord d'Espanya, amb temperatures relativament baixes, el kenaf no és convenient sembrar-lo abans de primers juny i només es poden utilitzar culti-vars precoces (Oliveros *et al.*, 2000). Conseqüentment, la collita és dóna més tard que la del cànem i l'agricultor disposa de menys temps per a la sembra del cultiu posterior. D'altra banda, en el kenaf sembla convenient realitzar tractaments herbicides per protegir-lo de les males herbes durant les primeres fases (Oliveros *et al.*, 2000), quan és amplem acceptat que en el cànem no són necessaris (Miquel, 1976; FNPC, 1995; van der Werf *et al.*, 1996; Bocsa i Karus, 1998).

Un tret diferencial, rellevant per a les condicions espanyoles, és que el kenaf té unes necessitats d'aigua superiors a les del cànem (Amaducci *et al.*, 2000). Les necessitats de reg del kenaf serien similars a les del blat de moro i anirien de 300 a 800 mm en funció de la precocitat de la culti-var (Pascual, 1993). En tot cas, a l'àrea Mediterrània no es possible el cultiu sense reg (López Bellido, 2003), fins i tot a les zones atlàntiques el kenaf necessitaria un recolzament de reg (Oliveros *et al.*, 2000). En canvi, per al cànem en àrees mediterrànies, dosis de reg de 150 a 300 mm serien suficients (López Bellido, 2003). El cànem també ha mostrat una bona adaptació al cultiu en secà de les àrees semi-frescals i frescals de Catalunya, donant lloc a rendiments acceptables (6000 kg biomassa ha⁻¹) inclusivament en anys secs (126 mm de març a juliol) (Gorchs i Lloveras, 1998a).

És a dir, el kenaf s'adapta molt bé als regadius més càlids del sud d'Espanya, on de fet s'obtenen els rendiments més elevats d'Europa, podent superar els 30000 kg ha⁻¹ de matèria seca (Oliveros *et al.*, 2000). Però en aquestes àrees el kenaf ha de competir amb cultius com el blat de moro, el cotó, la remolatxa i cultius hortícoles, que no són fàcilment desplaçables des del punt de vista econòmic.

D'altra banda, la producció de gra en el kenaf s'ha de descartar a bona part de la península, ja que només a les zones més càlides del sud d'Espanya o bé a Canàries es possible la producció de gra, si bé el cicle s'allarga molt (Oliveros *et al.*, 2000). En canvi, en el cànem la producció de gra com a producte principal (la palla seria un subproducte) es planteja com una opció de futur (Callaway, 2002).

Des del punt de vista fisiològic, l'eficiència en l'ús de la radiació (entre 2,26 i 4 g MJ⁻¹), la disposició de la matèria seca a la planta (83-89 % de matèria seca és tija) i la proporció de fibra cortical a la tija (fins a 40%) del cànem i del kenaf són molt similars (van der Werf *et al.*, 1996). El cànem té probablement més potencial en amplies zones de la meitat nord d'Espanya, ja que la baixa temperatura de base que té permet sembrar-lo abans i el situa en millors condicions d'humitat, podent-se cultiva en secà. A la meitat sud d'Espanya caldria estudiar el cultiu en sembres precoces, la qual cosa donaria lloc a unes necessitats d'aigua menors i no hauria de competir tan directament amb els cultius base d'aquestes zones. En conjunt, el cànem sembla ser un bon candidat per ocupar l'espai existent per a un cultiu anual de fibra a Espanya.

No obstant, a part del present treball en secà i el de Lloveras *et al.* (2006), que estudien el cultiu en regadiu a Lleida, a Espanya no es troben altres estudis publicats sobre el cànem.

6. ROTACIÓ DE CULTIUS

6.1. Efectes de la rotació de cultius

Els efectes positius de les rotacions de cultius estan ben documentats (Bullock, 1992; Pierce i Rice, 1988; Karlen *et al.*, 1994) i queda lluny el temps en el qual, al disposar d'adobs i fitosanitaris relativament barats, es va creure que es podria prescindir de les rotacions per sempre més, sense pèrdua de rendiment (Aldrich, 1964; Benson, 1985).

Els problemes derivats del monocultiu han persistit i les rotacions de conreus recuperen interès (Pierce i Rice, 1988) degut a que: a) s'ha recorregut al conreu de conservació com a via de reducció de costos (forçat per la baixada de preus agrícoles) i en aquests, especialment en el no treball del sòl, els rendiments poden millorar més fàcilment en rotació que en monocultiu (Hammel, 1995); b) les rotacions permeten reduir l'ús d'agroquímics (Riedell *et al.*, 1998), reducció obligada pel creixent interès de disminuir l'impacte de l'agricultura sobre la qualitat del medi ambient (agricultura sostenible) i perquè els consumidors cada vegada estan qüestionant més la seguretat dels aliments que se'ls subministra (Cook, 1993).

S'han identificat diversos factors responsables de l'increment de rendiment dels cereals en rotació respecte al monocultiu, especialment l'augment en el subministrament de nitrogen que prové de les lleguminoses (Pierce i Rice, 1988), però també altres. Karlen *et al.* (1994) en donen la següent relació: millora de la disponibilitat d'aigua i de nutrients, de l'activitat microbiana i de l'estructura del sòl; ajuda en el control de males herbes i de malalties; trencament del cicle d'insectes i de nemàtodes i reducció de la incidència; i evita la presència de components fitotòxics que provenen dels residus de cultius. No obstant, molts dels mecanismes i factors responsables de l'increment del rendiment dels cultius en rotació romanen desconeguts: Cap adob químic ni cap fitosanitari pot compensar totalment "l'efecte rotació" i l'anàlisi individual de cada factor no explica de forma completa i general l'increment de rendiment obtingut amb la rotació (Bullock, 1992; Karlen *et al.*, 1994).

És més, l'efecte rotació segueix detectant-se encara que algunes rotacions poden afectar negativament algun factor en comparació al monocultiu. Per exemple, Arshad *et al.* (1998) observen que el blat rere colza té més males herbes que el blat monocultiu, mentre que Unger (2001) obté un contingut de matèria orgànica més elevat per al blat monocultiu. López Bellido *et al.* (1997) també obtenen un contingut de matèria orgànica més elevat per al blat monocultiu respecte al blat en rotació amb fava. Però, en tots tres casos el blat en rotació rendeix més. Algunes informacions apunten que la pèrdua de rendiment en monocultiu es deuria a certs patògens del sòl o bé a components nocius generats pels residus del cultiu, si bé cal resoldre si es tracta de factors físics, de compostos químics, d'organismes no identificats o bé d'organismes que actuen d'una manera desconeguda (Bullock, 1992).

Des del punt de vista econòmic també es demostra l'interès de les rotacions de cultius davant el monocultiu. D'una banda, al diversificar s'assumeix un menor risc ja que les fluctuacions climàtiques i de preus no afectaran per igual als diferents cultius (Arnon, 1992). A la UE els preus mostren una variabilitat creixent a mida que els preus d'intervenció s'apropen als preus mundials (Viaux, 2000). D'altra banda, es redueixen significativament els costos de producció pels majors rendiments i perquè en rotació es poden utilitzar nivells baixos d'agroquímics de forma avantatjosa (Viaux, 2000; Katsvairo i Cox, 2000). En relació al blat monocultiu, Wibberley (1996) a Anglaterra indica que el blat en rotació té un marge brut entre un 15 i un 20% superior. Schlegel *et al.* (2002) a Kansas (U.S.A.) estimen que un increment del rendiment del 43% del blat, en una rotació de 4 anys, equival a un increment del benefici del 92 % ($46 \$ \text{ha}^{-1}$). En blat de moro, la reducció del risc es deuria més als aspectes positius de les rotacions (67,3% de reducció del risc en relació al monocultiu) que a la diversificació en sí (27,7%), tot i que l'impacte relatiu de la rotació i el risc dependrà de cada cultiu i de cada localitat (Helmers *et al.*, 2001).

El balanç energètic s'ha establert com a indicador de la durabilitat de l'agricultura, al mateix nivell que ho són els indicadors biològics i agronòmics: valorar l'eficàcia de la producció agrícola davant els recursos fòssils no renovables. Les rotacions que inclouen lleguminoses solen presentar una eficiència energètica superior, degut al menor cost energètic derivat de l'estalvi en adob nitrogenat. Combés (2000), a França, estima que l'eficiència energètica de la rotació pèsol-blat és un 42 % superior a la del blat monocultiu ($6,11 \text{ MJ ha}^{-1}$) i que el cost energètic total de la rotació és un 36% inferior. Però, el major rendiment del blat en rotació i/o l'estalvi de fitosanitaris també contribueixen a la major eficiència energètica del blat en rotació (en general) respecte del blat en monocultiu (Abdulhamid, 1994; Harasim, 1999).

Una qüestió transcendent és entendre perquè les rotacions de cultius són amplament recomanades pels agrònoms, en base a què les avantatges que aporten estan ben documentades, i perquè els agricultors sovint no les practiquen. Diverses causes expliquen, en part, aquesta paradoxa. L'optimització econòmica de l'alternativa es realitza tenint en compte només els marges bruts dels cultius, deixant de banda els efectes dels precedents culturals que romanen com un concepte acadèmic. Malauradament, a l'agricultor li manca informació perquè sovint no es disposa de les referències tècnico-econòmiques necessàries o bé no arriben als agents del sector (Viaux, 2000). Els ajuts de la Unió Europea ha estat un altre element de distorsió freqüent, ja que certs cultius s'han elegit més en funció de l'import de l'ajut que de la rendibilitat del cultiu en sí (Gabinet Tècnic, 2003). Una altra raó dels dubtes dels agricultors a utilitzar les rotacions de cultius seria que els científics agrícoles són encara incapaços d'explicar l'efecte rotació (Karlen i Sharpley, 1994).

Donada l'evidència que alguns efectes que produeixen les rotacions s'observen a llarg plaç i que la resposta a la rotació de cultius difereix en funció del nivell "d'inputs" utilitzats (treball del sòl, adobs i fitosanitaris) la investigació agrícola durant els anys vuitanta es va orientar a investigar l'efecte a llarg plaç (Norwood, 1994; Hammel, 1995; López Bellido *et al.*, 1996).

El consens actual és que les rotacions incrementen el rendiment i són un pilar bàsic per assolir una producció més sostenible, alhora que també s'està d'acord en què aquests efectes són específics per a cada zona (Bullock, 1992). D'aquí que es necessiti identificar i quantificar per "a cada zona" els efectes de les diferents rotacions per poder dissenyar seqüències de cultius que aprofitin al màxim els efectes beneficiosos de les rotacions de cultius (Francis i Clegg, 1990) i que evitin els aspectes negatius que certs cultius poden presentar pel que fa a increment de plagues, malalties, males herbes, al·lelopaties. En zones àrides resulta transcendent que certs cultius disminueixen l'aigua disponible en el sòl, ja sigui perquè en necessiten un alt consum (López Bellido *et al.*, 1998), o bé perquè són menys efectius reduint l'evaporació, per deixar menys residus per exemple (Norwood, 2000).

Rotacions i rendiment en blat (*Triticum aestivum* L.)

Pel que fa al blat, diversos autors descriuen l'efecte positiu de les rotacions de cultiu i en quantifiquen l'efecte rotació. Doucet (2000) a França revisa les dades de diversos assaigs i xifra en 11% (800 kg ha⁻¹) la reducció del rendiment del blat en monocultiu de llarga durada, si bé entre el 2n i 4t any la pèrdua de rendiment es situaria entre el 10 i el 40 %. Al nord-oest d'EUA, Cook i Veseth (1991) xifren entre 1000 i 2000 kg ha⁻¹ l'increment de rendiment mínim del blat en rotació respecte al monocultiu, depenent de si es tracta d'una rotació de 2 o bé de 3 anys respectivament. Young *et al.* (1994) troben increments en blat similars (2050 kg ha⁻¹) en una rotació de 3 anys davant el blat en monocultiu. Hammel (1995) obté rendiments del blat un 8% superiors en una rotació de 3 anys davant una de 2 anys. Aquests autors coincideixen en què l'efecte rotació es deu bàsicament a la reducció de patògens en sòl que s'obté amb la rotació de cultius. Schlegel *et al.* (2002) conclou que una rotació de 4 anys és favorable davant d'una de tres anys de durada i dona increments de rendiment del 43% (1200 kg ha⁻¹) per al blat en rotació, però ja no troba diferències pel segon blat, o bé tercer blat, respecte el blat monocultiu, a l'igual que Arshad *et al.* (1998).

A Espanya les referències sobre rotacions de cultiu són escasses en general i sobre el blat en particular, excepte l'estudi de López Bellido *et al.* (1996, 1997, 1998, 2001a, 2001b) a la Campinya cordovesa. Aquest autor estudia l'efecte a llarg termini del blat en rotació respecte el blat monocultiu, a més del treball del sòl i de la dosi de nitrogen. Els resultats mostren que la rotació incrementa el rendiment del blat en relació al blat monocultiu i que el millor precedent pel blat és la fava, per davant del cigrò i el gira-sol, que donen un efecte rotació de 948, 644 i 625 kg ha⁻¹, respectivament (López Bellido *et al.*, 2001a).

Hernanz *et al.* (2000) estudien una rotació veça-blat en climes semiàrids i a Navarra Lezuan, *et al.* (1997) comparen el blat en rotació amb gira-sol o colza amb el blat en monocultiu. Ambdós conclouen que la rotació és beneficiosa davant el monocultiu. Però, en general, les dades disponibles fan referència a experiències realitzades en zones Mediterrànies càlides (López Bellido *et al.*, 1996, 1997, 1998, 2001a, 2001b i 2001c), en secans semiàrids amb ordi (Escribano *et al.* 1998; Dorado *et al.*, 1998) i es centren més en l'estudi d'altres factors (treball del sòl, adobat nitrogenat, etc.) que en l'efecte rotació en sí. No es troben estudis centrats en rotacions de blat en zones relativament humides amb pluviometries mitjanes superiors als 700 mm anuals, com és l'àrea del Prepirineu o bé altres àrees humides del nord de la península.

Rotació i condicions del sòl. Mesura de l'estructura del sòl

Les rotacions de cultius influeixen sobre les característiques del sòl, especialment a través de l'efecte que tenen sobre l'estructura del sòl i l'acumulació de la matèria orgànica, qüestions que guarden una forta interrelació en zones temperades (Carter, 2002). És a dir, emprant rotacions adequades és pot millorar la qualitat del sòl i el rendiment dels cultius, si bé demostrar el lligam directe entre rotació, estructura del sòl i rendiment dels cultius és molt difícil (Karlen *et al.* 1994).

La rotació de cultius afecta l'evolució del contingut de matèria orgànica en el sòl a través de la quantitat de residus generats pels cultius (Havlin *et al.* 1990; Potter *et al.*, 1997; Unger, 2001). Bullock (1992) i Karlen *et al.* (1994) resumeixen el paper rellevant que la matèria orgànica del sòl té per a la producció dels cultius: s'accepta que afecta positivament a la disponibilitat de nutrients minerals (nitrogen principalment), a la formació i l'estabilitat dels agregats i les característiques que se'n deriven (porositat, taxa d'infiltració d'aigua, capacitat de retenció d'aigua, ventilació del sòl). A més a més, la rotació també pot afectar l'estructura del sòl directament, a través de la diferent capacitat de cada cultiu per extreure aigua i dipositar fotosintetitzats a diferents fondàries (Glinski i Liep, 1990).

L'estructura del sòl es pot valorar amb diversos mètodes, si bé els aspectes que permeten caracteritzar-la són bàsicament dos: la forma estructural (mida i distribució de l'espai porós) i l'estabilitat estructural (capacitat dels agregats de mantenir la forma i la mida davant un estrès) (Carter, 2002). Densitat aparent i resistència a la penetració pretenen mesurar el primer aspecte, mentre que el contingut d'agregats estable en el sòl permet mesurar el segon aspecte. Densitat aparent i resistència a la penetració s'utilitzen comunament per avaluar l'estructura del sòl. Ambdós paràmetres estan interrelacionats, i l'ús de només una d'aquestes variables pot portar a resultats enganyosos (Cambell i Henshall, 1991).

La densitat aparent és una dada necessària per valorar l'estructura del sòl. Informa sobre el grau de compactació del sòl i permet mesurar l'espai porós pel que es mouen l'aire i l'aigua, donada la relació inversa que té amb la porositat total (Porta *et al.*, 1994). Una densitat aparent excessivament alta pot reduir el creixement de les arrels, degut a que la resistència a la penetració tendeix a incrementar i la porositat a disminuir. Però no és una mesura del funcionament del sòl, no hi ha una relació directa entre densitat aparent i creixement d'arrel, i està sotmesa a limitacions. La densitat està directament relacionada amb la textura i per tant també depèn la composició del sòl (Chan, 2002).

Els factors que més afecten a la resistència a la penetració, o l'índex del con del sòl, són la humitat i la densitat aparent del sòl: incrementa amb la densitat aparent i a mesura que el contingut en aigua disminueix (Taylor i Gardner, 1962). Però la textura i la matèria orgànica, entre altres, també poden donar diferències de resistència a la penetració, la qual incrementa amb la profunditat degut a l'increment de la fricció de la vara i perquè el sòl és més dens (Bradford, 1986). La resistència a la penetració es correlaciona bé amb la resistència del sòl que perceben les arrels en sòls relativament homogenis, i el creixement de l'arrel decreix a mesura que la resistència a la penetració augmenta (Atwell, 1993).

La mesura de l'estabilitat estructural complementa la informació donada pels mètodes que avaluen l'estructura del sòl de forma indirecta (densitat aparent i resistència a la penetració) (Henin, 1972). Els mètodes que determinen l'estabilitat dels agregats sotmesos a diferents tractaments són avantatjosos davant la mesura de distribució de la mida dels agregats, perquè es correlacionen millor amb els processos complexos que es manifesten en el medi natural (Kemper i Rosenau, 1986). Henin (1972) proposa comparar l'estabilitat dels agregats submergits en aigua després de sotmetre'ls a diferents pre-tractaments (alcohol i benzè). La diferència agregats estables pretractats amb benzè – agregats estables a l'aigua es proposa com a indicador de la contribució que la fracció orgànica té en la l'estabilitat dels agregats. D'altra banda, agregats estables pretractats amb alcohol – agregats estables a l'aigua avalua la influència de la forces de cohesió pròpies de la mostra.

6.2. El cànem a la rotació de cultius

A la UE s'ha assistit a la caiguda del preu del producte de molts cultius herbacis (Orson, 1996; MAPA, 2000) i els ajuts als cultius alimentaris s'han reduït amb l'objectiu de limitar la forta gravitació que representen sobre les finances comunitàries (Gabinet Tècnic, 2003). Paral·lelament, les rotacions de cultius s'han simplificat, limitant-se a pocs cultius (cereals bàsicament), i la proporció de monocultiu s'ha incrementat (Bonari *et al.*, 1994). Aquest fet augmenta el risc d'incidència de malalties, (patògens del sòl particularment) (Cook i Veseth, 1991; Arnon, 1992) i la problemàtica de males herbes (Liebman i Jank, 1990; Arshad, 1998), possibilitant el desenvolupament de resistència als herbicides (Taberner, 1995; Orson, 1996).

S'accepta que es tracta d'un desenvolupament erroni i que els sistemes agrícoles han d'esdevenir més sostenibles i emprar menys fitosanitaris (Wibberley, 1996). Un dels principis que inspira la revisió de la Política Agrària Comuna (PAC) és impulsar una agricultura més sostenible a la UE (CE, 2003). Aquest marc reglamentari podria afavorir el desenvolupament de cultius com el cànem perquè té el perfil adequat per contribuir a augmentar la sostenibilitat de l'agricultura.

Els nous cultius a introduir a les rotacions, a més de mitigar els problemes descrits, han de complir, preferentment, els següents requisits: tenir interès per al mercat no alimentari; necessitar pocs o gens de fitosanitaris; i disminuir la incidència dels patògens en els cultius més habituals (van der Werf *et al.*, 1995c). El cànem compleix aquests requeriments perquè: dóna lloc a productes de necessitats creixents, com són paper o bé compòsits per a substituir la utilització de materials plàstics (Karus i Leson, 1997); té un rendiment elevat (van der Werf *et al.*, 1996; Struik *et al.*, 2000); és reconegut com a cultiu millorant, diversos autors (Aguiló, 1927; Mathieu, 1982; FNPC, 1995) suggereixen que estructura el sòl, requereix pocs o gens fitosanitaris i suprimeix eficaçment les males herbes, tal com resumeixen van der Werf *et al.* (2004); redueix patògens majors del sòl com *Verticillium dahliae* i *Meloidogyne* sp (Kok *et al.*, 1994), *Helicotylenchus* sp i *Tylenchorhynchus* sp (Somvanshi i Gupta, 2003) i *Meloidogyne incognita* (Singh i Singh, 2002); és més benigne per al medi ambient que la majoria dels grans cultius (Montford i Small, 1999; van der Werf, 2004).

Com a precedent del blat, l'opinió general dels cultivadors de cànem i dels tècnics és que el cànem és un excel·lent precedent per al blat (Saint-Ellier, 1978; Vincent, 1980; Gorchs, 1994; Gorchs i Lloveras 1998b; van der Werf, 2002; López Bellido, 2003). El blat cultivat rere cànem rendiria entre 10 i 20% més (Roulac, 1997; Bocsa i Karus, 1998) o bé 500 kg ha⁻¹ (Miquel, 1976), però no es precisa respecte a quin altre precedent. Mathieu (1982) afirma que és tant bon precedent com la patata i la remolatxa, si bé no dóna xifres. No obstant, no es troben estudis sòlids que valorin acuradament l'efecte rotació del cànem com a precedent del blat, malgrat les nombroses referències que aporten agricultors i tècnics d'arreu, i menys a Espanya.

Com a precedent d'altres cultiu, en general es considera un bon precedent (Dempsey, 1975). No obstant, a Iugoslàvia Dobrenov i Milosevic (1988) troben una reducció considerable del rendiment de la blada-rave cultivada rere cànem, en relació al que té en una rotació de 5 anys, lligada amb una reducció de l'estabilitat dels agregats (-14% a 0-30 cm).

El cànem s'acostuma a cultivar entre dos cereals, però no té exigències especials i s'adapta a diversos precedents. Fins i tot es pot cultivar en monocultiu durant anys, sense pèrdua aparent de rendiment (Berger, 1969), si bé és més lògic cultivar-lo en rotació per aprofitar el gran valor que té com a precedent per diversos cultius i per al blat en particular (Bocsa i Karus, 1998).

Implicacions de la integració del cànem a les rotacions de cultius

El cànem s'ha de considerar com un "nou cultiu" i, encara que no es troben referències que suggereixin problemes importants, la introducció a les rotacions de conreus pot ocasionar problemes que cal valorar (Eavis i Walker, 1996). Quan el cànem es cull a maduració del gra, les llavors caigudes al sòl poden esdevenir males herbes en el següent cultiu de blat. Per exemple, Soler (Comunicació personal) informa de la presència de plantes de cànem en el següent blat, les quals van ser molt més nombroses durant el segon any de blat rere cànem (en ambdós anys es va utilitzar l'arada de pala). A més a més, el control amb una barreja de 15% 2,4-D (àcid 2,4-diclorfenoxiacètic) i 27% MCPA (àcid 2-(4-clor 2-metilfenoxi) acètic) a 1,5 l ha⁻¹ va ser insuficient, si bé les plantes de cànem no van dificultar la collita del blat.

En regions humides i temperades el cànem és especialment susceptible a *Botritis cinerea* (per exemple a Holanda: Meijer *et al.*, 1995), però *Sclerotinia sclerotiorum* també és força comuna, entre altres malalties (McPartland, 1996a). Segons McPartland (1996b), els corcs del blat de moro (*Ostrinia nubilalis*) i del cànem (*Grapholita delineana*) són les plagues que poden tenir més transcendència, si bé el dany acostuma a ser força limitat econòmicament. Conseqüentment, el cànem no representarà un trencament del cicle d'aquest enemics a les zones on són problemàtics i no contribuirà a disminuir-ne la incidència. Actualment, a Espanya no es requereix l'ús d'insecticides pel control dels corcs i les malalties rarament són una amenaça per al cultiu (Gorchs i Lloveras, 2003).

2. Objectius i assaigs

1. OBJECTIUS

Aquesta tesi té com a objectiu principal l'estudi de l'efecte de les tècniques de conreu en cànem i de l'efecte de la rotació cànem-blat en els secans frescals del nord-est d'Espanya (àrea Mediterrània temperada). En particular, es pretén estudiar tres aspectes principals:

- 1.- L'efecte de l'adobat nitrogenat, la dosi de sembra i la culti-var sobre la producció i la qualitat de la fibra del cànem.
- 2.- L'efecte que el doble aprofitament fibra/gra té sobre la producció i qualitat de la fibra i quantificar la producció de gra.
- 3.- L'efecte de la rotació cànem-blat, quantificant:
 - L'efecte rotació del cànem com a precedent cultural del blat.
 - La repercussió de les pràctiques culturals aplicades al precedent cànem (adobat i dosi de sembra) sobre el successor blat.
 - El comportament del cànem en rotació i en monocultiu.

Aquest estudi ajudarà a omplir el buit d'informació existent a Espanya en el cultiu del cànem. Les dades bàsiques obtingudes sobre la producció, la morfologia i la fisiologia del cànem han de contribuir a definir les pràctiques culturals més adients per a la producció de cànem.

D'altra banda, aquest treball hauria de permetre confirmar l'efecte del cànem com a precedent del blat, tal com afirmen agricultors i tècnics, i posar a disposició dels agricultors i agents del sector una referència tècnica necessària alhora d'optimitzar l'alternativa de cultius a realitzar: l'efecte rotació del cànem. Creiem que es tracta del primer estudi rigorós que quantifica aquesta dada.

2. ASSAIGS I LOCALITZACIÓ

Per tal d'assolir els objectius plantejats, es van portar a terme tres assaigs durant cinc campanyes en condicions de secà a Merlès, en el Prepirineu del nord de Barcelona (525 m d'altitud; 42° 0' N, 1° 58' E), en les parcel·les d'un cultivador habitual de cànem, en un sòl classificat com a Típic Eutrudept (Soil Survey Staff, 2003). Els assaigs van ser els següents:

- Assaig 1. Efecte de les tècniques de conreu (dosi de nitrogen, dosi de sembra i culti-var) en la producció del cànem en dos estadis fisiològics (anys 1995 a 1998). Els resultats d'aquest assaig es presenten en el Capítol I.
- Assaig 2. Efecte de la rotació cànem—blat (anys 1994-95 a 1998-99). Els resultats d'aquest assaig es presenten en el Capítol II.
- Assaig 3. Resposta del blat a les tècniques de conreu aplicades al cànem (nitrogen i dosi de sembra) en una rotació cànem—blat (anys 1996-97 a 1998-99). Els resultats d'aquest assaig es presenten en el Capítol III.

La zona dels Prepirineus on es va localitzar l'assaig presenta un clima Mediterrani temperat amb hiverns freds i estius suaus. La pluviometria (708 mm de mitjana) és més important a la primavera que a inicis de tardor. El període més sec es dona a l'hivern, mentre que a l'estiu la pluviometria és més variable, alternant estius humits amb altres de secs (Figura 2.1).

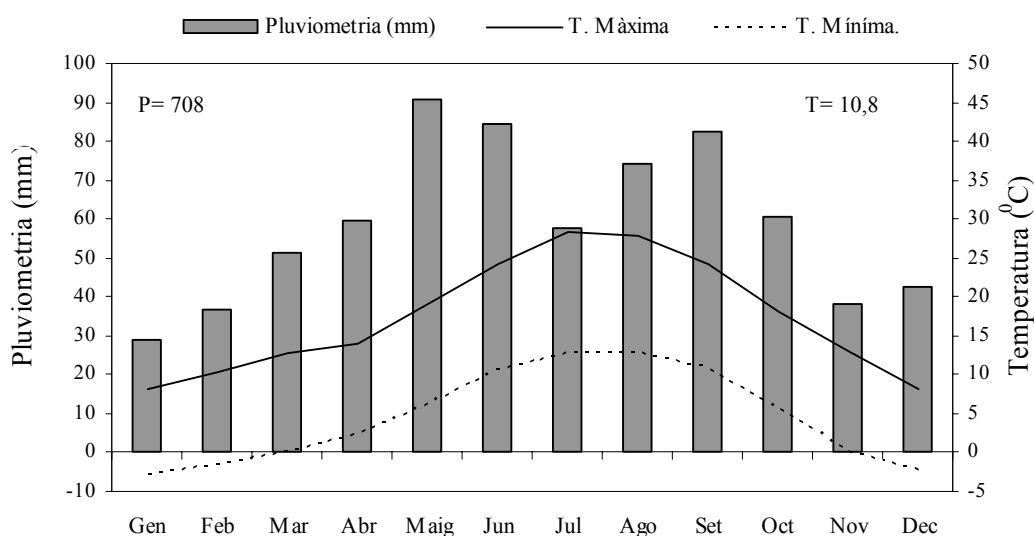


Figura 2.1. Diagrama ombrotèrmic de Prats de Lluçanès (observatori P-114, a 5 km de Merlès i a 185 m per sobre la Vall de Merlès). Temperatura (T) i pluviometria (P) mitjanes de l'any mig (1940-1981).

3. Capítol I

Efecte de les tècniques de conreu (dosi de nitrogen, dosi de sembra i culti-var) en la producció del cànem en dos estadis fisiològics

1. INTRODUCCIÓ

El cànem (*Cannabis sativa* L.) es cultiva principalment per a l'obtenció de productes derivats de la fibra, la canemuixa, el gra i els cannabinols (Mela, 1962; Karus i Lesson, 1997), essent probablement el cultiu no alimentari més antic (Dempsey, 1975). El punt àlgid del cultiu a Europa va ser el segle XVII (Abel, 1980), però la importació de fibres tropicals (Ríos, 1927) o goma (Guillén, 1927), el cultiu a gran escala del cotó (Mela, 1962) i l'arribada de les fibres sintètiques (Herer, 1992) van fer decreixer el cultiu.

Els dos únics països de l'Europa de l'oest on el cultiu del cànem no es va abandonar durant el segle XX van ser Espanya (Gorchs i Lloveras, 2003) i França (Mathieu, 1982), gràcies a un oportú canvi en l'ús de la fibra. Del cultiu tradicional (tèxtil), el cànem es va passar a produir per a la fabricació de pasta per a paper especial i tècnic. A Espanya, des del 1972 el cultiu s'ha centrat en els secans frescals del Prepirineu (900 ha a l'any 2002) (Gorchs i Lloveras, 2003). Les culti-vars més comunament utilitzades han estat franceses (Futura 77, Felina i Fibrimon), però a partir de l'any 1997 es va generalitzar l'ús de les *cv.* obtingudes a Espanya (Delta Llosa i Deltra 405), les quals són monoiques i haurien de tenir un cicle més llarg que Futura 77 (Castells, com. pers.). Tanmateix, la informació disponible d'aquestes culti-vars és molt escassa (Gorchs i Lloveras, 1999),

Actualment, el cànem desperta un renovat interès arreu, perquè és font d'un ampli ventall de productes renovables, encaixa en sistemes agrícoles més sostenibles (van der Werf *et al.*, 1996) i és més benigne per al medi ambient que altres grans cultius (van der Werf, 2004). No obstant, el cànem també té alguns desavantatges. L'associació amb l'ús il·legal de narcòtics, ha limitat el seu cultiu (Herer, 1992). Només es poden conrear culti-vars amb un contingut en tetrahidrocannabinol inferior al 0,2 % sobre matèria seca (CE, 2000).

D'altra banda, el cànem és una planta de dia curt. A Europa la majoria de les culti-vars disponibles s'han originat a França, i al desplaçar-les cap al sud tendeixen a iniciar la floració més aviat (Stutterheim *et al.*, 1999), també a causa de les temperatures més elevades (di Bari, 2004). Les primeres flors poden aparèixer molt aviat, a principis de juny (Lloveras *et al.*, 2006), fet que redueix el potencial de producció, ja que a partir de floració l'eficiència amb la que la radiació interceptada es converteix en matèria seca cau ràpidament (van der Werf *et al.*, 1994). Els limitats rendiments a la Vall de l'Ebre en regadiu (Lloveras *et al.*, 2006), respecte als obtinguts a Europa central, podrien relacionar-se amb aquest fenomen.

La forma que l'agricultor pot controlar la producció i la qualitat de la fibra és, principalment, amb l'elecció de la culti-var, la densitat de sembra, l'adobat nitrogenat i el moment de la collita. Aquests elements actuen de forma diferent: el nitrogen afecta especialment, i de forma positiva, el rendiment de biomassa (van der Werf *et al.*, 1995b; Mediavilla *et al.*, 1998b; Struik *et al.*, 2000); la densitat de sembra afecta negativament el rendiment de biomassa i positivament a la qualitat de la tija (van der Werf, 1995a; Amaducci *et al.*, 2002a; Grabowska i Koziara, 2005); a partir de floració, la data de collita afecta més a la qualitat que a la producció de fibra, (Mediavilla *et al.* 2001); en canvi, la culti-var afecta tant a la producció (qüestió de cicle) com a la qualitat (van der Werf, 1996).

La qüestió és ajustar el conjunt de pràctiques culturals per tal d'assegurar una producció de biomassa màxima mantenint la qualitat de la fibra. Per a l'agricultor, en funció del preu dels diferents productes, pot ser raonable assumir una certa disminució de la qualitat, si l'increment de rendiment o bé de productes que es comercialitzen (fibra/gra) generen un marge econòmic superior (Ranalli, 1999). Però, cal informació vàlida per a cada àrea de l'efecte dels diferents factors en la producció de fibra i gra per poder manejar adequadament el cultiu.

La majoria d'estudis agronòmics del conreu avaluen l'efecte individual d'un factor i alguns avaluen l'efecte conjunt de l'adob N i la densitat de sembra sobre la producció de fibra del cànem en àrees humides (Mediavilla *et al.*, 1998b; Struik *et al.*, 2000; Grabowska i Koziara, 2005), però pocs treballs estudien l'efecte de les tècniques culturals en la producció de gra. A més a més, cal investigar com afecten els diferents factors en àrees més seques a les dels autors anteriors, com és l'àrea Mediterrània temperada. A Espanya la informació disponible és molt escassa, a banda del treball de Lloveras *et al.* (2006) a la Vall de l'Ebre, que estudien l'adaptació del cultiu i de diferents varietats en regadiu.

L'objectiu principal que es va plantejar per a aquest capítol és estudiar l'efecte de les tècniques de conreu en cànem en els secans frescats del nord-est d'Espanya (àrea Mediterrània temperada). En particular, es pretén:

- 1.- Estudiar l'efecte de la dosi d'adob nitrogenat, la dosi de sembra i la culti-var sobre la producció i la qualitat de la fibra del cànem.
- 2.- Estudiar l'efecte que el doble aprofitament fibra/gra té sobre la producció i qualitat de la fibra i quantificar la producció de gra.

2. MATERIALS I MÈTODES

2.1. Sòl i clima

L'Assaig 1 es va portar a terme a Merlès en condicions de secà, en el Prepirineu del nord de Barcelona (525 m d'altitud; 42° 0' N, 1° 58' E), durant quatre anys consecutius (1995-1998). L'assaig es va situar en les parcel·les d'un cultivador habitual de cànem, en una àrea diferent cada any. A l'any 1997 es va situar a la mateixa parcel·la de l'Assaig 2 del Capítol II.

Les principals característiques físiques i químiques del sòl, classificat com a Typic Eutrudept (Soil Survey Staff, 2003), es presenten a la Taula 3.1. Les dades es van obtenir a partir d'un mostreig inicial (abril 1995) de les parcel·les on es va situar l'assaig. A l'horitzó 0-30 cm, la és textura franc-arenosa i el contingut de matèria orgànica és de 16 g kg⁻¹.

Taula 3.1. Anàlisi de sòl inicial per a l'Assaig 1†, a Merlès (Barcelona), abril 1995.

	Fondària (cm)		
	0-30	30-60	60-90
PH	8,2	8,4	8,4
Matèria orgànica, g kg ⁻¹	16	9	7
P‡ assimilable, mg kg ⁻¹	19	5	3
K§ assimilable, mg kg ⁻¹	175	102	92
CaCO ₃ , g kg ⁻¹	131	140	190
Textura U.S.D.A	Franc arenós	Franc	Franc

† A l'any 1997 l'Assaig 1 és va portar a terme en la mateixa parcel·la que l'Assaig 2 (veure Capítol II, apartat 2.1.).

‡ Mètode Olsen.

§ Mètode de l'acetat amònic

Les característiques climàtiques de Merlès per als anys que van durar els tres assaig (1994-95 a 1998-99) es presenten a la Figura 3.1, per desenes i anys naturals, i a la Taula 3.2, per mesos i anys agrícoles. Les dades es van enregistrar amb una estació agroclimàtica instal·lada a la parcel·la de l'Assaig 2 (Efecte de la rotació cànem—blat). L'estació (Campbell Scientific Ltd, Leicestershire, UK) integrava una sonda de temperatura i d'humitat (HMP35AC), un piranòmetre (SP1110) i un pluviòmetre (ARG100) connectats a l'enregistrador de dades BDR320.

Relacionat amb el cànem, el 1995 va ser un any sec però amb pluges ben repartides i oportunes. El 1996 va ser molt plujós, però malauradament una severa pedregada va destruir el cultiu just després de Collita 1 del cànem (floració). El 1998 va ser especialment sec, amb només 125 mm de març a juliol, i càlid (juny i juliol).

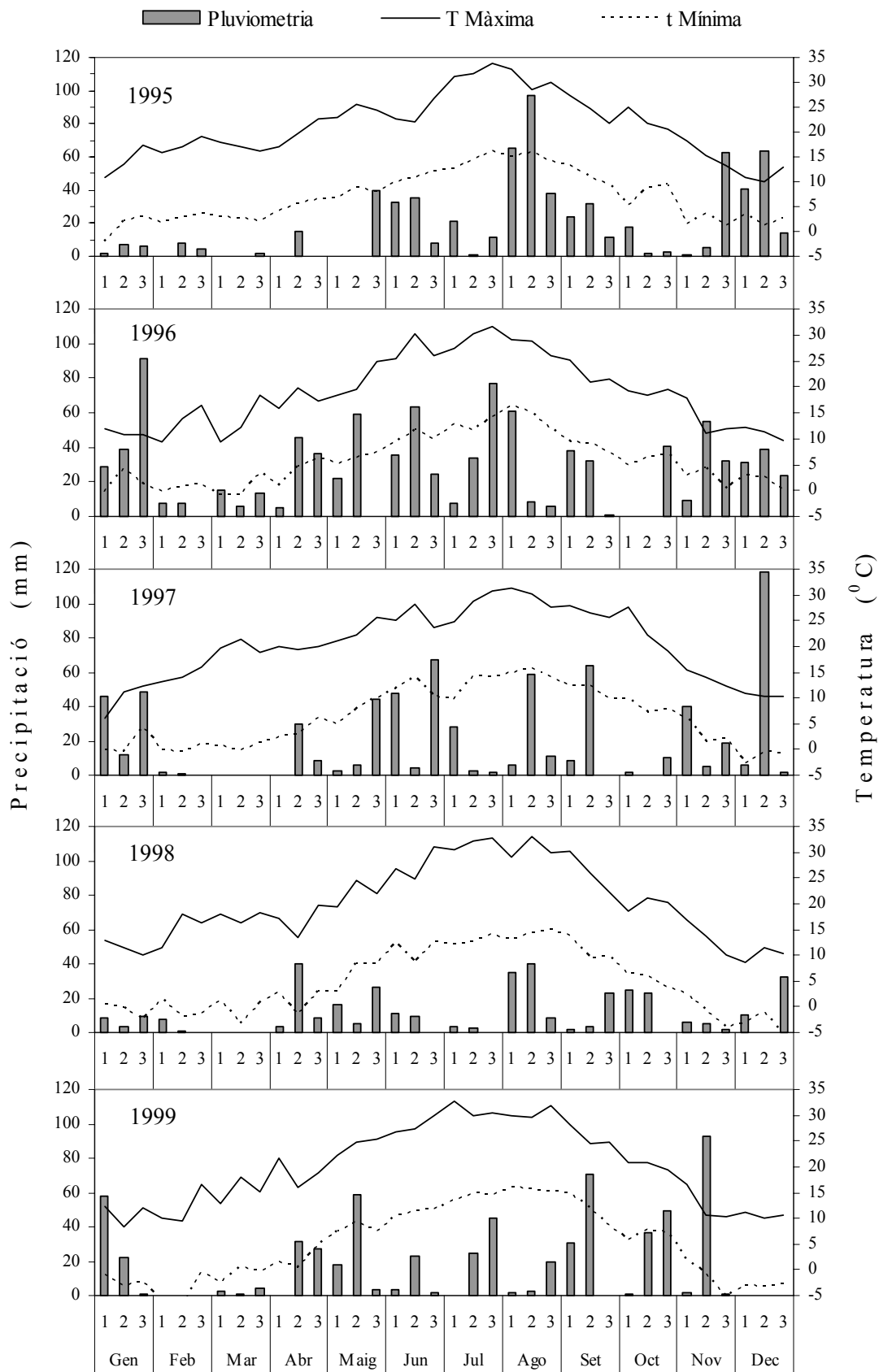


Figura 3.1. Mitjana per desenes de la precipitació i temperatura màxima i mínima durant els cinc anys de durada dels assaigs a Merlès (Barcelona: 525 m altitud, 42° N, 1° 99' E).

Taula 3.2. Precipitació i temperatura mitjana per a les 5 campanyes agrícoles de durada dels tres assaigs plantejats i mitjana de llarg termini a Merlès (Barcelona: 525 m altitud, 42° N, 1° 99' E).

Mes	Precipitació					Mitj. 40 anys†	Temperatura mitjana					Mitj. 40 anys†
	94-95	95-96	96-97	97-98	98-99		94-95	95-96	96-97	97-98	98-99	
	mm						°C					
Oct	35	20	41	12	48	60	12,1	14,7	12,1	15,1	11,9	11,8
Nov	48	67	96	64	13	38	7,8	8,2	7,5	7,9	5,2	5,9
Dec	26	117	93	126	43	43	4,6	6,5	5,8	3,6	2,0	2,9
Gen	16	158	105	22	81	29	7,1	6,2	5,0	4,3	3,3	2,6
Feb	12	16	2	9	0	37	9,6	6,9	6,1	6,3	2,6	4,3
Mar	2	35	0	0	8	51	9,6	7,3	9,6	8,1	7,1	6,4
Abr	15	88	39	52	58	60	12,4	10,6	11,8	9,2	10,5	8,1
Maig	39	81	52	48	81	91	15,4	13,6	15,4	14,2	16,1	12,8
Jun	75	123	119	20	28	84	17,1	18,4	18,9	19,4	19,3	17,3
Jul	33	118	33	5	70	58	23,5	20,8	20,2	22,3	22,4	20,5
Ago	199	75	76	83	24	74	20,9	20,7	21,9	21,5	22,7	20,3
Set	67	71	73	28	101	82	17,9	15,0	18,6	18,3	18,2	17,4
Any	567	968	729	470	554	708	13,2	12,4	12,7	12,6	11,8	10,8
Tot. cànem 1a‡	147	323	203	74	-	233	18,7	17,6	18,2	18,6	-	16,9
Tot. cànem 2a‡	346	398	279	157	-	307	19,3	18,4	19,1	19,4	-	17,7

† Observatori de Prats de Lluçanès (P-114, anys 1941-1980), situat a 5 km de Merlès i a 185 m per sobre el nivell de la Vall de Merlès.

‡ Precipitació total i temperatura mitjana de sembra a collita del cànem (ambdós mesos inclosos): maig - juliol per a Collita 1 (fi flor masculina); maig - agost per a Collita 2 (gra madur).

2.2. Tractaments i disseny experimental

Aquest assaig es va realitzar durant 4 anys (1995 a 1998). El disseny experimental va ser el de parcel·la subdividida (split plot) amb 4 repeticions. Durant els tres primers anys d'assaig (1995, 1996 i 1997) els factors de variació van ser la dosi de N (4 nivells; parcel·la principal) i la dosi de sembra (3 nivells; subparcel·la). La culti-var utilitzada va ser Futura 77.

A l'últim any d'assaig (1998) la culti-var (3 nivells) es va incloure com a tercer factor de variació (es va disposar de llavor de les cv. espanyoles Delta-Llosa i Delta 405) en factorial amb la dosi de sembra (3 nivells) a les subparcel·les i el nitrogen (4 nivells) a la parcel·la principal. Atenent a aquest fet, els resultats s'analitzen i es presenten per separat:

- Efecte del nitrogen i la dosi de sembra; resultats dels tres primers anys d'assaigs (anys 1995, 1996 i 1997), punt 3.1 del present capítol.
- Producció de les culti-var espanyoles; resultats del quart any d'assaig (1998), punt 3.2.

La parcel·la elemental feia 10 x 1,2 m². A cada banda de la parcel·la principal, corresponent als diferents nivells d'adob N, es va deixar una parcel·la elemental de vorera (10 x 1,2 m²). L'assaig es va situar al mig d'un camp de cànem comercial de l'agricultor, en una àrea diferent per a cada any d'assaig. El 1998, any amb major número de tractaments (144 parcel·les elementals), l'assaig ocupava una àrea de 48 per 77 m² (3696 m²).

Dosi d'adob nitrogenat

Les dosis d'adob assajades van ser 0, 50, 100 i 200 kg N ha⁻¹, incorporat abans de sembrar.

Dosi de sembra

Les dosis de sembra van ser 30, 60 i 120 kg ha⁻¹. Per a un pes de 1000 llavors de la *cv.* Futura 77 de 17,1 g. Aquestes dosis de sembra corresponen a densitats de sembra de 175, 350 i 700 llavors m⁻², respectivament. Les dosis de sembra de *cv.* Delta-Llosa i de *cv.* Delta 405 es van ajustar en funció del pes de 1000 llavors (17,4 i 18,2 g, respectivament) per assolir les densitats de sembra abans esmentades, si bé s'esmentaran com a dosis de sembra 30, 60 i 120 kg ha⁻¹. En tots els casos, es va utilitzar llavor comercial R2 i es va comprovar que la germinació en laboratori era superior al 90%.

Culti-vars

La *cv.* francesa Futura 77 es va utilitzar durant els 4 anys (1995, 1996, 1997 i 1998), mentre que les culti-vars espanyoles Delta-Llosa i Delta 405 es van incloure l'any 1998. Durant els tres primers anys d'assaigs no es va poder obtenir llavor de les dues culti-vars espanyoles.

Totes les culti-vars emprades són monoiques i estan incloses en la llista de culti-vars que poden rebre l'ajut de la UE als cultius de Fibra (CE, 2002). La *cv.* Futura 77 es va obtenir a partir de *cv.* Fibrimon i és la més tardana a maduració de les culti-vars obtingudes a França (262 dies) (Meijer, 1995). A Espanya ha estat comunament utilitzada (Gorchs i Lloveras, 2003). De les culti-vars Espanyoles Delta 405 i Delta-Llosa, registrades per CELESA (fàbrica de pasta a Tortosa) el 1986, es disposa de poca informació. No obstant, se suposen ben adaptades, serien lleugerament més tardanes i podrien donar rendiments en gra superiors a *cv.* Futura 77, si bé es van seleccionar per fibra (Castells, comunicació personal).

2.3. Tecnologia de cultiu i determinacions

Les diferents operacions de cultiu es van realitzar d'acord amb les pràctiques habituals dels agricultors a la zona de l'assaig.

Les dates de sembra, collita i de realització dels controls, així com els detalls experimentals més destacats de l'Assaig 1 es recullen a la Taula 3.3. Les dates en què es va controlar l'alçada, el número de nusos i l'evolució del cicle es presenta a la Taula 3.4.

2.3.1. Tecnologia de cultiu

Treball del sòl

Durant els quatre anys d'assaig, el cultiu precedent va ser blat. El llit de sembra es va preparar amb una passada de cisell, una de grada de discs i dues de cultivador equipat amb un curró.

Adob

Previ a la sembra es van incorporar 35 kg P ha⁻¹, 130 kg K ha⁻¹ i el nitrogen [nitrat amònic (NH₄NO₃), 33,5%], el qual es va incorporar segons el nivell corresponent a cada parcel·la principal (0, 50, 100 i 200 kg N ha⁻¹).

Sembra

El cànem es va sembrar entre el 20 d'abril i els 5 de maig (Taula 3.3) amb una sembradora de microparcel·les (Al Andalus, capçal Ojord) de 8 línies de sembra, separades 15 cm. La sembra sempre es va realitzar després d'una pluja, buscant la saó òptima per assegurar una implantació correcta.

Entre sembra i collita no es va realitzar cap altre operació cultural.

Taula 3.3. Detalls experimentals per al cànem de l'Assaig 1.

Concepte	Campanya			
	1995	1996	1997	1998
Data sembra	2-5	5-5	27-4	20-4
Data naixença	15-5	18-5	12-5	7-5
Separació línies	15 cm			
Dosi de sembra	Segons tractament: 0, 30, 120 kg llavor ha ⁻¹			
Adob				
- P	35 kg P ha ⁻¹ de fons			
- K	130 kg K ha ⁻¹ de fons			
- N	Segons tractament: 0, 50, 100, 200 kg N ha ⁻¹ , de fons			
Àrea parcel·la elemental	10 x 1,2 m ² (12 m ²)			
Àrea recol·lectada ‡	2 submostres de 1 x 0,6 m = 1,2 m ²			
Controls				
Data Collita 1 (fi flor masculina) †	7-8	5-8	4-8	7-8
Data Collita 2 (gra madur) †	14-9	- ‡	13-9	19-9
Data lectura SPAD:				
- 1a flor fem.	-	30-6	5-7	-
- Collita 1	-	3-8	31-7	-
- Collita 2	-	-	12-9	-
Data mesura intercepció de PAR:				
- Collita 1	3-8	1-8	30-7	-
- Collita 2	7-9	-	6-9	-
Data mesura N-NO ₃ ⁻ residual en sòl	23-9	12-8	23-9	-

† Estadi 2302-2304 per a Collita 1 i estadi 2306-2307 a Collita 2 (Mediavilla *et al.*, 1998a).

‡ La pedra va destruir el cultiu el 6 d'agost i no es va poder realitzar la Collita 2.

2.3.2. Determinacions

Collites

Es van realitzar dues collites:

- Collita 1, a finals de floració masculina, a principis d'agost; estadi 2302-2304 (Mediavilla *et al.*, 1998a)
- Collita 2, maduració del gra, a mig setembre; estadi 2306-2307 (Mediavilla *et al.*, 1998a)

L'any 1996 no es va poder realitzar la Collita 2 (a maduració del gra) degut a què la pedra va malmetre el cultiu, just després d'haver realitzat la Collita 1. Després de d'haver realitzat les collites, el cultiu romanent a l'àrea de l'assaig i al voltant es va dallar, es va embalar i, un cop assecat, es va retirar tota la vegetació.

Densitat del cultiu a la naixença i seguiment del cicle

La densitat de cultiu a la naixença es va determinar per als anys 1995, 1996 i 1997. Es va comptar les plantes en un metre lineal en quatre punts per parcel·la, quan el cultiu tenia entre 1 i 3 parells de fulles (estadi 1002-1006; Mediavilla *et al.*, 1998a).

Durant el cultiu es va seguir la fenologia, l'estat sanitari, es van comptar el número de nusos (3 plantes per parcel·la) i es va determinar l'alçada del cultiu (distància del sòl a sobre la coberta vegetal, en tres punts per parcel·la). L'alçada del cultiu es va mesurar setmanalment al principi del cicle, quinzenalment després, i a Collita 1 i a Collita 2 (Taula 3.4).

Taula 3.4. Data, dia de l'any, dies des de sembra i graus-dia (GD; °C dia, base 1 °C) per als diferents controls d'alçada i del número de nusos realitzats durant els anys 1995, 1996 i 1997.

1995				1996				1997			
Data	Número dia	Dies sembra	GD	Data	Número dia	Dies sembra	GD	Data	Número dia	Dies sembra	GD
3-6	154	32	421	6-6	158	32	429	23-5	143	26	346
11-6	162	40	547	15-6	167	41	600	31-5	151	34	486
17-6	168	46	632	29-6	181	55	849	14-6	165	48	741
25-6	176	54	778	6-7	188	62	987	22-6	173	56	896
2-7	183	61	907	21-7	203	77	1280	5-7	186	69	1100
20-7	201	79	1290	5-8	218	92	1610	19-7	200	83	1368
7-8	219	97	1726					4-8	216	99	1711
14-9	257	135	2488					13-9	256	139	2535

Producció

Per a la determinació del rendiment de biomassa, a cada collita es varen prendre dues submostres de 0,6 m² (4 línies centrals de la parcel·la, separades 0,15 m entre elles, per 1 m de llarg) per parcel·la elemental (una submostra a cada extrem de la parcel·la, després d'haver descartat el metre inicial). Les plantes es varen dallar a ras de sòl, es va comptar el número de plantes (totals i vives) en 2 línies, de les 4 línies de la submostra, i es va determinar el pes fresc de cada submostra. La humitat es va determinar posant una mostra conjunta de les dues submostres per parcel·la de 300 g a l'estufa, a 105 °C durant 24 h. La mortalitat de plantes (%) a cada collita es va determinar calculant la relació de plantes desaparegudes i mortes respecte les plantes a naixença (plantes vives a collita – plantes a naixença).

La partició de la matèria seca es va determinar prenent 10 plantes a l'atzar per parcel·la (5 plantes per submostra) i descomponent-les en tres parts: fulles, inflorescències (incloent les llavors) i tiges. Amb les fulles verdes es va determinar l'índex d'àrea foliar i les tres parts es van posar 24 h a 105 °C per determinar el pes sec de cada fracció.

A Collita 2, les inflorescències de les 10 plantes es varen desgranar (Walter-Wintersteiger LD 180; Ried, Austria) i es va calcular el rendiment de gra (matèria seca).

Paràmetres morfològics de la planta

Prèviament a la descomposició de la mostra de 10 plantes abans esmentada, en 5 plantes (3+2 per submostra) es van mesurar els següents paràmetres: alçada; número de nusos oposats (el nus cotiledonar no es va comptar) i alterns (més d'1 cm entre inserció fulles); diàmetre de la tija a la base (sobre nus cotiledonar) i a inici de la inflorescència; i tipus d'inflorescència. A Collita 1 de l'any 1995 i 1998 es va determinar la proporció de plantes mascle (una o més flors mascles), femella (una o més flors femelles), monoica (una flor femella i una flor mascle, com a mínim) o sense flor. En els altres casos només es va determinar la proporció de plantes mascle, mentre que la proporció de plantes femella més monoica (plantes que donen gra) es va calcular com a diferència (100-% plantes mascle).

Paràmetres fisiològics

Valor de lectura SPAD

El contingut en clorofil·la es va mesurar de forma indirecta i no destructiva amb el mesurador de clorofil·la Spad-502 (Minolta® SPAD 502, Minolta, Japó). Aquest aparell mesura la concentració relativa de clorofil·la mitjançant la llum transmesa a través de la fulla de 650 a 940 nm (longitud d'ona fotosintèticament activa).

Les lectures es van prendre en 10 plantes per parcel·la, aproximadament a la zona mitja del folioli central d'una fulla situada al pis mig del conjunt de fulles fotosintèticament actives. Les mesures es van realitzar en els estadis inici floració femenina, final floració masculina i maduració del gra (estadis 2300-2301, 2302-2304 i 2306-2307, respectivament; Mediavilla *et al.*, 1998a). Concretament, el 30 de juny i a Collita 1 l'any 1996, i el de 5 de juliol, a Collita 1 i a Collita 2 l'any 1997.

Degut a l'efecte que altres factors específics del lloc i any diferents al N poden tenir sobre el nivell de clorofil·la (Schepers *et al.*, 1992; Blackmer i Schepers, 1995; Sainz i Echeverría, 1998), es va calcular la lectura SPAD normalitzada o SPAD relatiu: relació entre la mitjana de cada unitat experimental i la mitjana de lectura SPAD per al tractament teòricament no limitant en N (200 kg N ha^{-1}). El rendiment relatiu de biomassa (RRB) es va calcular com la relació entre el rendiment de cada unitat experimental i la mitjana del rendiment per a la dosi de N màxima (200 kg N ha^{-1}). La normalització interessa per a l'anàlisi del conjunt dels anys, esmorteix l'efecte d'altres factors diferents al N i permet una estratègia comuna d'interpretació (Schepers *et al.*, 1992; Sainz i Echeverría, 1998).

Índex d'àrea foliar i intercepció de la radiació fotosintètica activa (PAR)

El índex d'àrea foliar (LAI) es va determinar els anys 1995 i 1997 amb el mesurador de superfície Li-Cor 3000 (Lincoln, EUA), prenent les fulles verdes obtingudes a partir de la descomposició de les 10 plantes, a Collita 1 i a Collita 2.

La intercepció de la radiació fotosintètica activa (PAR) pel cobert vegetal es va mesurar just abans de cada collita i durant tres anys (1995, 1996 i 1997), amb la barra sensor LI-COR 190SB connectat a l'integrador LI-188 B (Lincoln, EUA). La radiació integrada durant 10 segons es va mesurar per sobre del cultiu i arran de sòl, a les $12 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$, horari solar.

Mesura del contingut de N-NO_3^- en el sòl després de collir el cànem

El contingut en N-NO_3^- del sòl (0 a 30 cm, 30 a 60 cm i 60 a 90 cm) es va determinar després de Collita 2 del cànem (maduració del gra) (Taula 3.3) per als anys 1995, 1996 i 1997. Es va prendre una mostra composta (dos punts per parcel·la) amb una barrina cilíndrica Eijkelkamp (Giesbeek, Holanda). Es va fer una extracció amb aigua 1:1, es va filtrar i es va determinar el N-NO_3^- per colorimetria amb tires Merckoquant (Merck, Darmstadt, Alemanya). La lectura, repetida en dues tires, es va fer amb el reflectòmetre Nitrachek 10020 (Eijkelkamp, Giesbeek, Holanda) i es va convertir a $\text{kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ prenent una densitat aparent de $1,43 \text{ Mg m}^{-3}$. El contingut d'humitat es va determinar en 5 g de sòl posats a 105°C durant 24 hores.

Qualitat de la tija

Es va prendre una mostra de 20 plantes a l'atzar per parcel·la (10 plantes per submostra) i es va assecat a 25 °C en una cambra d'assecat per aire calent. Les plantes es varen desfullar i es va separar la fibra cortical de la canemuixa mitjançant un aparell accionat amb motor, consistent en un parell de cilindres llisos i dos d'engranats, construït específicament per al decorticat de la tija, similar al descrit per van der Werf *et al.* (1995a) (Figura 3.2).

Les tiges es van fer passar a través de la màquina set vegades. Prèviament, en una mostra presa a l'efecte, s'havia determinat que passant les tiges entre 5 i 7 vegades per la màquina ja no es perdia més canemuixa (dades no presentades). Aquest resultat està d'acord amb Keller *et al.* (2001), per als quals el límit a partir del qual ja no es perd més canemuixa és 5 vegades.

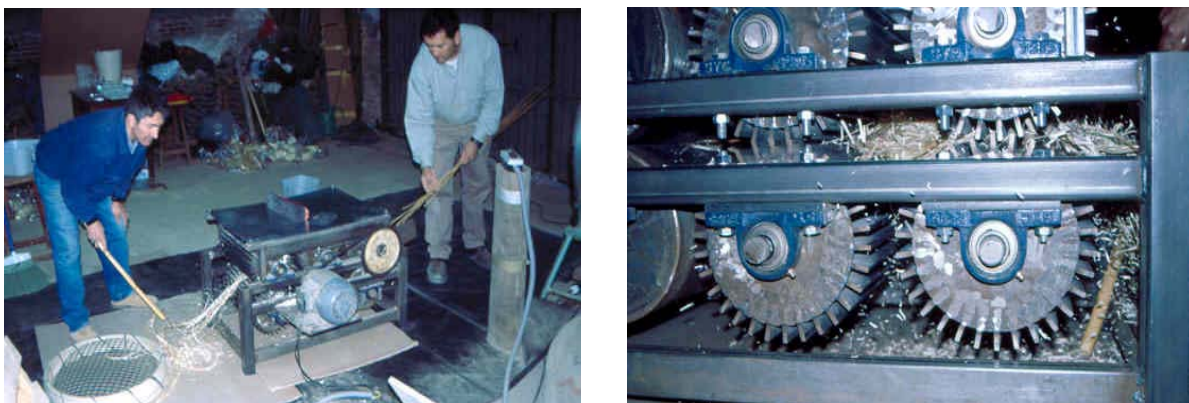


Figura 3.2. Màquina per separar les tiges, en fibra cortical i cilindre central o canemuixa.

El grau de separació mecànica assolit (índex decorticat o taxa de càrrega; Brunet, 2000) al processar les tiges es va determinar en dues repeticions, prenent una mostra de 5 g de fibra cortical, es va separar manualment la canemuixa romanent i es va determinar el pes sec d'ambdues fraccions (24 h a 105 °C).

Per a determinar el contingut en fibra, la mostra de 5 g fibra cortical, neta de canemuixa, es va posar en tubs contenint 50 ml d'una solució al 2% de NaOH i es va posar al bany Maria a 95-100 °C durant 2 hores. Després es va posar sobre una malla de 0,5 mm i el material no fibrós es va remoure amb un raig d'aigua a pressió (Meijer i van der Werf, 1994). El pes sec de la fibra es va determinar per assecat a 105 °C durant 24 h.

2.4. Anàlisi estadística

Els resultats es varen sotmetre a anàlisi de la variància amb el procediment General Linear Model de SAS (versió 8.0) (SAS Institute, 1989). Les diferències significatives entre tractaments es van determinar mitjançant el test de separació de mitjanes LSD per $P < 0,05$. A més a més, l'efecte dels tractaments es va analitzar mitjançant contrastos lineal i quadràtic d'un grau de llibertat. En els casos en que van ser significatives, les interaccions es van estudiar emprant l'opció 'slice' del procediment GLM del programa SAS.

El model de resposta del rendiment de tija i de gra del cànem al nitrogen, i la dosi de N òptima econòmicament, es va determinar amb el procediment SAS-NLIN (SAS Institute, 1989), considerant un cost de 0,7 € kg⁻¹ per al N, i de 0,1, 0,45 i 0,6 € kg⁻¹ com a preu de mercat per a la palla, la fibra cortical i el gra de cànem, respectivament (Gorchs i Lloveras, 2003). Per "palla" s'ha pres el rendiment de tija, perquè és el paràmetre que s'acosta més al que la planta de decorticat anomena palla: en el procés d'assecat i embalat la major part de fulles i la inflorescència es desprenen de la planta (Brunet, 2000).

En els casos que s'ha considerat adient, la regressió entre variables s'ha fet amb el procediment PROC REG (SAS Institute, 1989) a partir dels valors individuals de cada parcel·la experimental.

Els valors de lectura obtinguts amb el mesurador de clorofil·la s'han analitzat amb el mètode modificat d'anàlisi gràfic de Cate-Nelson (Cate i Nelson, 1965), per a poder separar els tractament deficients en N dels no deficients. L'SPAD relatiu per a cada tractament N es representa en relació al rendiment relatiu de biomassa per al tractament N corresponent (el càlcul del SPAD relatiu i del rendiment relatiu de biomassa s'ha detallat més amunt, apartat 2.3.2).

En el procediment de Cate-Nelson, els nivells crítics horitzontal (rendiment relatiu) i vertical (SPAD relatiu) es fixen per maximitzar els punts en dos grups: els del quadrant inferior esquerra (deficients en N) i els del quadrant superior dret (no deficients en N). En el nostre cas s'ha pres 0,95 com a nivell crític horitzontal (rendiment relatiu de biomassa). És el valor que correspon al rendiment relatiu de biomassa per a la dosi òptima de nitrogen, calculada amb el procediment SAS-NLIN (Taula 3.9). El nivell crític vertical s'ha pres buscant minimitzar el número d'outliers en el quadrant inferior dret. Aquests són punts per als quals el test sobreestima l'estatus N i el rendiment relatiu. Els outlier situats en el quadrant superior esquerra són punts per als quals el test subestima l'estatus N i el rendiment relatiu. Perquè el test sigui acceptable per als agricultors, s'ha de minimitzar la possibilitat de sobreestimar incorrectament l'estatus N i el rendiment.

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

Els resultats corresponents a l'efecte de la dosi de nitrogen i la dosi de sembra durant els anys 1995, 1996 i 1997, amb Futura 77 com a culti-var, es presenten a l'apartat 3.1. Els resultats de producció de les culti-vars espanyoles Delta 405 i Delta Llosa i la culti-var francesa Futura 77 a l'any 1998, en funció del nitrogen i la dosi de sembra es presenten a l'apartat 3.2.

3.1. Efecte de la dosi de nitrogen i la dosi de sembra

3.1.1. Densitat de cultiu i autoaclerida

La densitat de cultiu a naixença i a collita es presenten a la Taula 3.5 i a la Figura 3.3. La mitjana de plantes va ser 202 plantes m⁻² a naixença i unes 115 plantes m⁻² a collita.

Densitat de cultiu a naixença

L'any va afectar significativament la densitat de cultiu a naixença, amb 224, 239 i 143 plantes m⁻² de mitjana per als anys 1995, 1996 i 1997, respectivament. A l'any 1997 la implantació va ser més difícil i la densitat de cultiu va ser significativament més baixa, però també va presentar una distribució més irregular (16, 17 i 50 % coeficient de variació entre parcel·les per als anys 1995, 1996 i 1997, respectivament): la naixença es va donar en dues o més etapes, degut a què una pluja posterior a la sembra va encrostar el sòl, alhora que es van donar temperatures superiors a 25 °C a primers de maig. Les densitats de cultiu obtingudes a naixença es situen en la banda mig-alta de les densitats de cultiu assajades per a producció de fibra per van der Werf *et al.* (1995a), Venturi i Amaducci (1997), Lisson i Mendham (2000), Struik *et al.* (2000) i Amaducci *et al.* (2002a), autors que van controlar manualment les densitats de cultiu assajades.

La dosi de nitrogen (0, 50, 100 i 200 kg N ha⁻¹) només es va afectar significativament la implantació l'any 1997, la qual va disminuir de forma lineal amb la dosi de nitrogen, fet que s'explicaria pel major desenvolupament de les plantes nascudes en la primera etapa, al augmentar la dosi de nitrogen, dificultant l'establiment de les nascudes posteriorment.

Taula 3.5. Densitat de cultiu a naixença, a Collita 1 (final floració masculina) i a Collita 2 (maduració del gra) segons la dosi de nitrogen (kg N ha⁻¹) i la dosi de sembra (kg ha⁻¹) aplicada al cànem (cv Futura 77).

Tractaments estadística	i	Naixença			Collita 1†			Collita 2†	
		1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1997
Plantes m ⁻²									
Nitrogen (N)									
0		223	231	188	110	205	146	111	144
50		213	253	137	92	177	117	98	132
100		232	238	131	78	177	97	82	116
200		229	233	115	78	170	96	81	86
Significació		NS	NS	NS	*	NS	NS	**	NS
Lineal		NS	NS	*	**	NS	*	**	*
Quadràtic		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Dosi sembra (DS)									
30		98	101	67	58	98	54	64	71
60		191	217	114	81	161	105	97	101
120		384	399	246	129	288	183	118	187
Significació		**	**	**	**	**	**	**	**
Lineal		**	**	**	**	**	**	**	**
Quadràtic		NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
N x DS		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ANOVA per al conjunt dels anys									
Any (A)			**			**			NS
Error a			-			-			-
Nitrogen (N)			NS			**			**
Lineal			NS			**			**
Quadràtic			NS			*			NS
A x N			NS			NS			NS
Error b			-			-			-
D. sembra (DS)			**			**			**
Lineal			**			**			**
Quadràtic			NS			NS			NS
A x DS			**			**			**
N x DS			NS			**			NS
A x N x DS			NS			NS			NS
Error c			-			-			-

† Per a les dates de collita, veure Taula 3.3.

** , * Significatiu per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS, no significatiu.

La densitat de cultiu mitjana a naixença va incrementar de forma lineal amb la **dosi de sembra** a tots els anys, com era d'esperar: 89, 174 i 343 plantes m⁻² de mitjana per a les dosis de sembra 30, 60 i 120 kg ha⁻¹, respectivament. Però, a l'any 1997 presentava un pendent més suau (densitat de cultiu per 60 i 120 kg llavor ha⁻¹ significativament inferiors a altres anys; **any x dosi sembra** significatiu). Cal observar que la densitat de cultiu assolida és aproximadament el 50% de la densitat de sembra utilitzada (175, 350 i 700 llavors m⁻² per a 30, 60 i 120 kg llavor ha⁻¹, respectivament). Aquests resultats posen de manifest el limitat control que es té de la implantació del cultiu en zones de secà.

Densitat de cultiu a collita

La densitat de cultiu mitjana a Collita 1 (final floració masculina, estadi 2003-2004; Mediavilla *et al.*, 1998a) i a Collita 2 (maduració gra, estadi 3001-3002; Mediavilla *et al.*, 1998a) va ser 129 i 106 plantes m⁻², respectivament. Són valors inferiors als de l'any 1998 (140 plantes m⁻²; apartat 3.2.1), però adequats per a la producció de fibra (van der Werf *et al.*, 1995a; Lisson i Mendham, 2000; Amaducci *et al.* 2002a).

La densitat de cultiu a Collita 1 va variar amb l'any, la dosi de nitrogen i la dosi de sembra, amb les interaccions any x dosi de sembra i nitrogen x dosi de sembra significatives. A Collita 2 es va tenir un comportament similar, a excepció d'any i de la interacció nitrogen x dosi sembra, que no van ser significatius.

A Collita 1, l'any 1996 va conservar una densitat de cultiu superior (182 respecte a 89 i 114 plantes m⁻² l'any 1995 i 1997, respectivament). A Collita 2, la densitat de cultiu va presentar valors similars als de Collita 1 (93 i 120 plantes m⁻² per l'any 1995 i 1997, respectivament; any no significatiu). Destaca la gran variabilitat entre anys que presenta la densitat de cultiu a collita en les condicions assajades (àrea mediterrània frescal), superior a la que presenten Venturi i Amaducci (1997) i Struik *et al.* (2000), tots ells per condicions d'aigua no limitant.

El número de plantes a collita va decreixer de forma lineal amb la **dosi de nitrogen**, amb una mitjana de 154, 129, 117 i 115 plantes m⁻² a Collita 1, i 128, 115, 99 i 83 plantes m⁻² a Collita 2, per a 0, 50, 100 i 200 kg N ha⁻¹ respectivament.

La **dosi de sembra** va afectar de forma lineal la densitat de cultiu, amb 70, 116 i 200 plantes m⁻² de mitjana a Collita 1 i 68, 99 i 152 plantes m⁻² de mitjana a Collita 2, per a dosis de sembra 30, 60 i 120 kg llavor ha⁻¹, respectivament. Aquest comportament està d'acord amb el que presenten la majoria d'autors (van der Werf *et al.*, 1995a, Struik *et al.*, 2000; Amaducci *et al.*, 2002), però contrasta amb el de Meijer *et al.* (1995), per als quals la densitat de cultiu final era la mateixa (unes 80 plantes m⁻²), per a densitats de 80-900 plantes m⁻² a naixença, fet que indica que l'autoaclurada va ser extrema (veure següent apartat).

La interacció **any x dosis** de sembra a ambdues collites va ser significativa degut al menor increment de plantes amb la dosi de sembra per a l'any 1995, respecte al 1996 i 1997.

En relació a la interacció **nitrogen x dosi** de sembra a Collita 1 (Figura 3.3) s'observa que l'efecte del nitrogen sobre la densitat de cultiu a collita s'intensifica a mesura que augmenta la dosi de sembra: per a 120 kg llavor ha⁻¹ la densitat de cultiu disminueix significativament amb la dosi de nitrogen, però no per 30 i 60 i kg llavor ha⁻¹. Però, cal veure que una part de l'efecte combinat de la dosis de sembra i del nitrogen ja s'arrossega des de la naixença.

Cal precisar que la densitat de cultiu a collita es refereix a plantes presents (vives més mortes). Les plantes mortes són bàsicament mascles (aspecte que no es va controlar), la qual cosa explicaria, en part, la major presència de plantes vives a Collita 1 que a Collita 2 (92 i 78 % de mitjana, respectivament) (Figura 3.3). No obstant, es pot observar que la dosi de sembra i el nitrogen també afecten: a) les plantes mortes presents a collita (diferència plantes totals i vives) augmenten amb la dosi de sembra, tant a Collita 1 com 2; b) En canvi, el nitrogen afecte de forma diferent, ja que a Collita 1 les plantes mortes augmenten amb la dosi de nitrogen i a Collita 2 disminueixen (la proporció de plantes vives a Collita 1 és significativament més elevat per a 0 kg N ha⁻¹ i viceversa a Collita 2; dades no presentades).

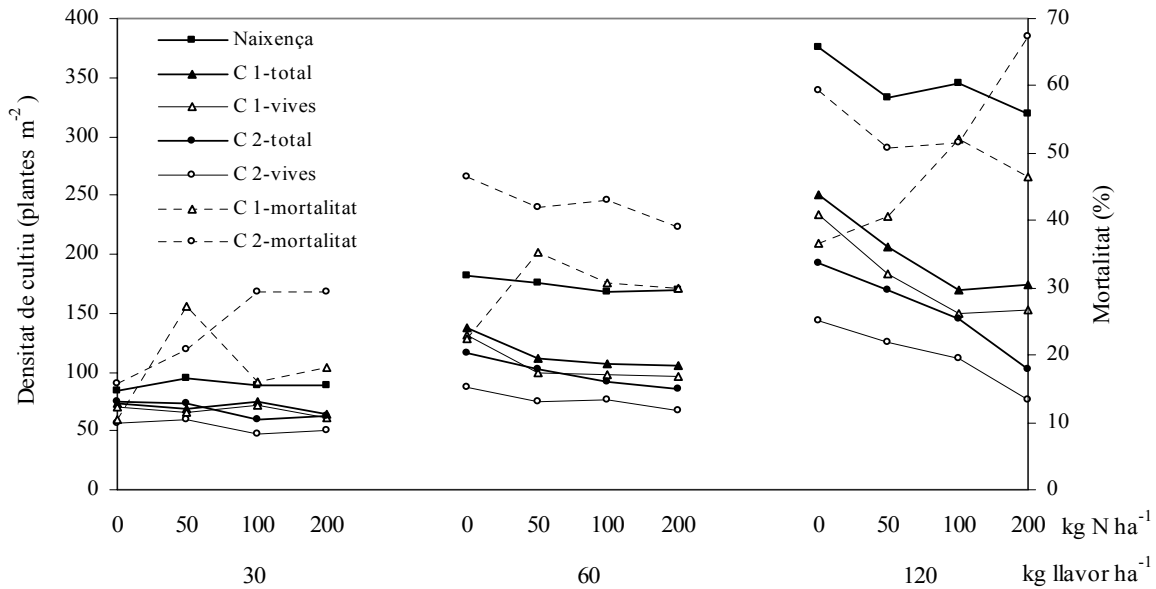


Figura 3.3. Densitat de cultiu a naixença i a collita (totals i vives) i mortalitat (plantes naixença–plantes vives a collita, en %) en funció l'adobat nitrogenat (kg N ha⁻¹) i la dosi de sembra (kg ha⁻¹) aplicada al cànem (cv Futura 77). Cada punt representa la mitjana de tres anys a Collita 1 (1995, 1996 i 1997), i 2 anys a Collita 2 (1995 i 1997). C 1= Collita 1 (fi flor masculina); C 2= collita 2 (maduració gra).

Autoaclarida

La densitat de cultiu total va decreïxer entre naixença (7-18 maig) i Collita 1 (4-7 agost), mantenint-se a Collita 2 (13-14 setembre). Fet que contrasta amb les dades de Struik *et al.* (2000) a Holanda, Anglaterra i nord d'Itàlia, on la densitat de cultiu total disminueix fins a setembre. En canvi, la densitat de plantes vives m^{-2} segueix decreixent fins a Collita 2 (maduració gra), anàlogament al que troben Meijer *et al.* (1995) i van der Werf *et al.* (1995a) a Holanda i Amaducci *et al.* (2002a) al nord d'Itàlia.

Però a Espanya es donen dos trets diferencials: la fase prefloració és més curta que al centre-nord d'Europa (Taula 3.10; Stutterheim *et al.*, 1999); i el dèficit hídric i/o tèrmic, que amb major o menor intensitat es dona gairebé a tots els anys a l'àrea de l'assaig. Ambdós trets limitarien el creixement vegetatiu, la variació entre plantes i, per tant, la competència entre plantes disminuiria abans, així com l'autoaclarida (mortalitat induïda per la densitat).

La reducció de plantes entre naixença i collita va ser especialment severa a l'any 1995, un 53% de mitjana a Collita 1, i més limitada els anys 1996 i 1997 (17 i 7% respectivament). El major nivell de nitrogen en el sòl de l'any 1995, probablement superior al dels anys 1996 i 1997 (veure apartat 3.1.9), hauria contribuït a aquesta reducció, ja que el nitrogen intensifica la competència entre plantes i augmenta l'autoaclarida (van der Werf *et al.*, 1995b).

La pèrdua de plantes entre naixença i collita augmenta especialment amb la dosi de sembra, lògicament. Per als tres anys en conjunt, la relació entre dosis 1-2-4 a sembra s'ha mantingut a naixença (1-2-3,9), passant a 1-1,6-2,8 a Collita 1 i a 1-1,5-2,3 a Collita 2.

El nitrogen amplia la pèrdua de plantes entre naixença i collita, la qual cosa està d'acord amb el que descriuen altres autors (Rivoira i Marras, 1976; Höppner i Menge-Hartmann, 1995; van der Werf *et al.*, 1995b; Struik *et al.*, 2000; Amaducci *et al.* 2002b; Grabowska i Koziara, 2005). A dosis de nitrogen baixes, s'estableix més competició per al nitrogen i menys per la llum que a nivells de N alts.

En conjunt, l'autoaclarida es deuria a la competència entre plantes: la Figura 3.3 mostra com la mortalitat a collita augmenta a mesura que la competència entre plantes augmenta (dosis de sembra i de nitrogen altes). En cultius no estressats (aigua i nutrients no limitants), Van der Werf *et al.* (1995a i 1995b) i Amaducci *et al.* (2002a) ho atribueixen a la competència per la intercepció de la llum. En les condicions d'aquest estudi, poden haver-hi relacions més complexes, per l'efecte de l'estrès hídric que, en funció del moment en què es dona, pot parar el creixement, provocar una ràpida caiguda de fulles i una disminució de la competència per la llum, donant lloc a una reducció de l'autoaclarida. Aquest podria ser el cas de l'any 1997.

3.1.2. Producció i partició de la biomassa

Les dades de producció de biomassa i de tija es presenten a la Taula 3.6, la proporció de tija a la Figura 3.4 i la partició de la biomassa es presenta a la Figura 3.5.

Rendiment de biomassa

La mitjana del rendiment de biomassa de l'assaig va ser 9750 kg ha⁻¹ a Collita 1 (final floració masculina) i 9736 kg ha⁻¹ a Collita 2 (maduració del gra). L'any només va afectar significativament el rendiment de biomassa a Collita 2, essent més elevat a l'any 1995 (10777 kg ha⁻¹) que a l'any 1997 (8694 kg ha⁻¹). A Collita 1 el rendiment de biomassa va ser 10261, 9301 i 9688 kg ha⁻¹ per als anys 1995, 1996 i 1997, respectivament. El rendiment de biomassa entre Collita 1 i 2 augmenta en 500 kg ha⁻¹ a l'any 1995 (199 mm a l'agost) i disminueix en uns 1000 kg ha⁻¹ a l'any 1997. El cànem sol perdre biomassa a partir del pic de floració femenina (Mediavilla *et al.*, 2001), perquè les fulles senescentes cauen al sòl, alhora que algunes de les plantes mascles i altres plantes que moren per l'autoaclerida es degraden per factors biòtics i acaben perdent-se (Meijer *et al.*, 1995).

Els rendiments de biomassa d'aquest assaig són considerablement inferiors als 12000-18000 kg ha⁻¹ que descriuen diversos autors per a zones amb una pluviometria més ben distribuïda i temperatures més suaus d'Europa central (Meijer *et al.*, 1995; van der Werf *et al.*, 1995a i 1995b; Struik *et al.*, 2000; Mediavilla *et al.*, 2001), Nord d'Itàlia (Venturi i Amaducci, 1997; Amaducci *et al.*, 2002a); Oest d'Europa (Ivonyi *et al.*, 1997) i Tasmània (Austràlia, en regadiu; Lisson i Menham, 2000).

En el present estudi, destaca l'estabilitat entre anys que presenta el rendiment de biomassa, quan climatològicament són força diferents (secs l'any 1995 fins a Collita 1, però amb pluges ben distribuïdes, i l'any 1997 en la fase de naixença; molt humit l'any 1996; Taula 3.2). Però, la precipitació mitjana dels tres anys d'assaig (224 mm de sembra a Collita 1) és propera als 230-250 mm d'Amaducci *et al.* (2002a) al nord d'Itàlia o bé a la de Meijer *et al.* (1995) a Holanda en determinats anys, si bé a l'àrea de l'assaig les precipitacions no estan tan ben distribuïdes i l'evapotranspiració potencial és segurament superior.

Emergeix, doncs, la qüestió de si 10000-12000 kg ha⁻¹ de biomassa representa un límit de rendiment del cànem en les condicions de l'assaig. A la Vall de l'Ebre en regadiu, amb bon subministre hídric per tant, Lloveras *et al.* (2006) tampoc passen dels 10000-12000 kg ha⁻¹ de biomassa, el qual és molt inferior al de l'alfals (21,5 Mg ha⁻¹) (Lloveras *et al.*, 2001b) o del panís (20,3 Mg ha⁻¹) (Villar *et al.*, 2002) a la mateixa àrea. En conjunt suggereix que l'estrès hídric no és la única causa del limitat rendiment del cànem a l'Europa mediterrània.

Di Bari *et al.* (2004) precisen que és una qüestió de manca d'adaptació de les culti-vars obtingudes en àrees fredes del centre i nord d'Europa a les condicions ambientals del sud d'Europa, donat que al sud d'Itàlia les culti-vars monoiques Fedora i Futura, obtingudes a França, avancen l'entrada en floració com a conseqüència de desenvolupar-se a temperatures més altes, fet que en limita el rendiment. Lloveras *et al.* (2006) també apunten que el ràpid augment de la temperatura a la primavera a la Vall de l'Ebre redueix la durada de la fase naixença - floració i limita el rendiment de la culti-var francesa Futura 77 i de les espanyoles Delta-Llosa i Delta 405 (origen no establert; Meijer, 1995). En canvi, Sturterheim *et al.* (1999) suggereixen que és una qüestió de fotoperíode: essent el cànem de dia curt, les varietats obtingudes al nord escurcen la fase de prefloració quan es cultiven al sud.

El rendiment de biomassa va augmentar amb la **dosi d'adob N** (aplicat en presembra), segons una tendència lineal i quadràtica significativa a ambdues collites. No obstant, a l'any 1995 l'increment de biomassa amb la dosi de nitrogen va ser més limitada (no significativa) que per als altres anys, especialment a Collita 1, donant lloc a què **any x nitrogen** fos significativa. La causa més probable va ser el major nivell de nitrogen nítric en el sòl a l'any 1995 (veure Taula 3.20), el qual va donar lloc a que el rendiment de biomassa de 0 kg N ha⁻¹ fos significativament superiors als dels altres anys. En condicions mediterrànies, en períodes secs el N nítric es pot acumular en el sòl (Lloveras *et al.* 2001a). L'any 1994 i la primera part de l'any 1995 van ser molt secs (Taula 3.2), però malauradament no es va avaluar el nitrogen nítric en el sòl a la sembra, per a poder donar una conclusió més definitiva.

La **dosi de sembra** va afectar el rendiment de biomassa a ambdues collites, disminuint de forma lineal significativa per al conjunt dels anys a l'augmentar la dosi de sembra. La interacció **any x dosi sembra** a Collita 1 és significativa degut a què la disminució del rendiment de biomassa a l'any 1996 presenta un pendent significativament menor al de l'any 1995 i, especialment, al de l'any 1997, en què la disminució del rendiment de biomassa és més marcada.

La interacció **any x nitrogen x dosi sembra** a Collita 1 també va ser significativa. El rendiment en biomassa per a 200 kg N ha⁻¹ per als 3 anys en conjunt no disminueix significativament amb la dosi de sembra, per al diferent comportament de l'any 1996 on augmenta lleugerament. De fet, el comportament de l'any 1996 està en contradicció amb els resultats de van der Werf *et al.* (1995a), doncs a densitats de cultiu més altes (cas del 1996) es perden més plantes, degut a l'increment de la competència, i les diferències de rendiment de biomassa entre dosis de sembra es magnifiquen. Però en el present estudi, a l'any 1996 l'autoaclarida va ser menor que en els altres anys (Taula 3.5), potser per un menor contingut de N inicial en el sòl, si bé aquesta dada no es va controlar.

Taula 3.6. Rendiment de biomassa aèria i de tija (kg matèria seca ha⁻¹) a collita en funció de la dosi de nitrogen (kg N ha⁻¹) i la dosi de sembra (kg ha⁻¹) aplicada al cànem (cv Futura 77).

Tractaments i estadística	Collita 1 (final flor mascle) †						Collita 2 (maduració gra) †			
	Biomassa			Tija			Biomassa		Tija	
	1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1997	1995	1997
	Kg MS ha ⁻¹									
Nitrogen (N)										
0	9577	6048	7076	7186	4587	5296	9383	6261	6716	4267
50	10165	9474	9736	7696	7419	7692	10875	8167	7432	6032
100	10329	10375	10793	7752	8501	8304	11408	9660	7725	6891
200	10974	11308	11147	8029	8909	8419	11446	10690	7613	7677
Significació	NS	**	**	NS	**	**	**	**	NS	**
Lineal	*	**	**	*	**	**	**	**	NS	**
Quadràtic	NS	**	*	NS	**	*	*	NS	NS	NS
D. sembra (DS)										
30	10679	9474	10889	7805	7381	8293	11599	9285	7689	6547
60	10276	9289	9582	7681	7357	7392	10363	8634	7068	6172
120	9829	9141	8594	7511	7324	6600	10371	8164	7358	5932
Significació	NS	NS	*	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS
Lineal	*	NS	*	NS	NS	**	NS	**	NS	NS
Quadràtic	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N x DS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ANOVA per al conjunt dels anys										
Any (A)	NS			NS			*	NS		
Error a	-			-			-	-		
Nitrogen (N)	**			**			**	**		
Lineal	**			**			**	**		
Quadràtic	**			**			**	**		
A x N	**			**			NS	*		
Error b	-			-			-	-		
D. sembra (DS)	**			**			**	NS		
Lineal	**			**			**	NS		
Quadràtic	NS			NS			NS	NS		
A x DS	*			**			NS	NS		
N x DS	NS			NS			NS	NS		
A x N x DS	*			NS			NS	NS		
Error c	-			-			-	-		

† Per les dates de collita, veure Taula 3.3.

**, * Significatiu per a P <0,01 i 0,05, respectivament. NS, no significatiu.

Els resultats de biomassa obtinguts estan d'acord amb els reportats per Starcevic (1978), van der Werf *et al.* (1995a) i Lisson i Mendham (2000), per als quals a densitats de cultiu altes (més de 70-100 plantes m⁻² a collita) el rendiment de biomassa també disminueix. En canvi, Venturi i Amaducci (1997), Struik *et al.* (2000) i Amaducci *et al.* (2002b) no van trobar diferències significatives en un rang de densitats de cultiu molt ampli (de 30 a 150 plantes m⁻² a collita). Els resultats de l'any 1996 es correspondrien amb aquest comportament.

L'efecte de la dosi de sembra sobre el rendiment de biomassa no interactua amb la dosi de nitrogen (nitrogen x dosi sembra no significatiu en cap cas) i és més moderat que el de la dosi de nitrogen (Taula 3.6). Venturi i Amaducci (1997), Struik *et al.* (2000) i Amaducci *et al.* (2002b) descriuen comportaments similars.

Rendiment de Tija

L'any no va afectar significativament el rendiment de tija a ambdues collites (Taula 3.6), presentant una mitjana de 7482 kg ha⁻¹ a Collita 1 i de 6794 kg ha⁻¹ a Collita 2. A diferència del que succeïa amb la biomassa, el rendiment de tija entre Collita 1 i Collita 2 disminueix en tots els casos, si bé més marcadament per a l'any 1997. Això significa que l'increment de biomassa de l'any 1995 a Collita 2 (maduració gra) respecta a Collita 1 (fi flor mascle), es devia a la contribució de la inflorescència (el % tija a la biomassa baixa; Figura 3.4).

Anàlogament al que succeïa amb la biomassa, es tracta de rendiments de tija inferiors als 10000-15000 kg ha⁻¹ que troben altres autors per a zones amb pluviometria més ben distribuïda i temperatures més suaus d'Europa central i del nord (Meijer *et al.*, 1995; van der Werf *et al.*, 1995a 1995b; Flengmark, 2000; Struik *et al.*, 2000; Mediavilla *et al.*, 2001); Nord d'Itàlia (Venturi i Amaducci, 1997; Amaducci *et al.*, 2000; Amaducci *et al.*, 2002b); i Oest d'Europa (Starcevic, 1978; Ivonyi *et al.*, 1997). Els rendiments obtinguts també són inferiors als 12000-16000 kg ha⁻¹ de tija que troben en regadiu Rivoira i Marras (1976) i Di Bari *et al.* (2004) al sud d'Itàlia, Lisson i Menham (2000) a Tasmània i Lloveras *et al.* (2006) al regadiu de la Vall de l'Ebre. En canvi, s'acosten als que obté Gauca *et al.* (1986) a Rumania i Dippenaar *et al.* (1996) a Sudàfrica.

La **dosi de nitrogen** va afectar el rendiment de tija a Collita 1 i 2, segons una tendència lineal i quadràtica significativa per al conjunt dels anys i per als anys 1996 i 1997 a Collita 1 (lineal per a l'any 1995 a Collita 1 i a l'any 1997 a Collita 2). L'increment de rendiment de tija amb els primers 50 kg N ha⁻¹ (35% de mitjana a Collita 1) és superior al d'Amaducci *et al.* (2002b) al nord d'Itàlia (25 %) i Ivonyi *et al.* (1997) a Hongria (15%). La interacció **nitrogen x any** va ser significativa a ambdues collites, a causa del menor pendent que presenta la resposta a la dosi de nitrogen a l'any 1995, degut a què el rendiment de tija per a 0 kg N ha⁻¹ va ser superior al dels altres anys, probablement pel major contingut de nitrogen nítric en el sòl. Venturi i Amaducci (1997) també troben una baixa resposta del cànem a l'adobat nitrogenat segons l'any, si bé ho relacionen més amb la manca de pluges (no controlen el contingut de nitrogen nítric en el sòl).

El rendiment de tija va decreïxer amb la **dosis de sembra** a Collita 1, l'any 1997 i els tres anys en conjunt, seguint una tendència lineal significativa. A Collita 2 les diferències no van ser significatives. No obstant, a tots els anys per a ambdues collites el rendiment màxim de tija es va obtenir amb la dosi de sembra més baixa (30 kg llavor ha⁻¹, unes 70 plantes m⁻² a collita de mitjana; Taula 3.5) i va minvar amb la dosi de sembra. A l'any 1997 a Collita 1, el pendent de la disminució del rendiment de tija va ser més pronunciat que a l'any 1995 i 1996 (**any x dosi sembra** significatiu). La naixença poc uniforme de l'any 1997 hauria accelerat l'eliminació de les plantes més endarrerides a densitats altes (van der Werf *et al.*, 1995a).

Els resultats obtinguts estan d'acord amb van der Werf *et al.* (1995a), Lisson i Mendham (2000) i Amaducci *et al.* (2002a), que diuen que densitats de cultius moderades (< 70 pl m⁻² a collita) donen un rendiment de tija màxim. En el present estudi destaca que el rendiment de tija es manté força estable en els diferents anys, quan la densitat de cultiu a collita és molt variable (Taula 3.5). D'altra banda, l'efecte de la dosi de sembra sobre el rendiment de tija sol créixer en avançar el cicle (Venturi i Amaducci, 1997; Amaducci *et al.*, 2002a), fet que explicaria la manca de diferències a Collita 2.

La interacció **nitrogen x densitat sembra** no és significativa en cap cas. Struik *et al.* (2000) i Amaducci *et al.* (2002b) tampoc troben que el nitrogen interactuï amb la dosi de sembra. La interacció **any x nitrogen x dosi sembra** tampoc és significativa per cap any ni a cap collita.

Proporció de tija a la biomassa

La mitjana de la proporció de tija a la biomassa va ser 76,8% a Collita 1 i 70,0% a Collita 2 (Figura 3.4). En el primer cas, va variar significativament amb l'**any** (Taula 3.7), essent més elevat a l'any 1996 (78,6%) que els anys 1995 i 1997 (74,8% i 76,9%, respectivament). Aquest comportament coincideix amb el que seguia la densitat de cultiu a collita, més elevada per a l'any 1996 (Taula 3.5). A Collita 2, l'any no va influir significativament.

La proporció de tija a la biomassa es superior al 65-70% que descriuen Dempsey (1975) i Bocsà i Karus (1998). Però, és clarament inferior al 83-87% que reporten Meijer *et al.* (1995), van der Werf *et al.* (1995a i 1995b) i Amaducci *et al.* (2002a). A més, en les condicions d'aquests autors, la proporció de tija a floració es manté posteriorment (Meijer *et al.*, 1995; Amaducci *et al.*, 2002a), perquè l'increment de matèria seca a la inflorescència és similar a la pèrdua de fulles (Meijer *et al.*, 1995). En culti-vars dioiques fins i tot augmenta (van der Werf *et al.*, 1995a), assolint valors molt elevats (91%; van der Werf *et al.*, 1994a). En el present estudi la proporció de tija ha baixat marcadament, a conseqüència de la major contribució de la inflorescència, i del gra, a la biomassa total (Figura 3.5).

A Collita 1, la proporció de tija augmenta amb la **dosi de N**, segons tendència quadràtica significativa, si bé la resposta difereix amb l'any (**any x dosi nitrogen** significativa; Taula 3.7). A l'any 1996 augmenta significativament fins a 100 kg N ha⁻¹ (82%) i posteriorment disminueix. En canvi, els anys 1995 i 1997 la màxima proporció de tija s'assoleix per a 50 kg N ha⁻¹ (75,8% i 79,2% de tija, respectivament), però les diferències no són significatives.

A Collita 2, la proporció de tija presenta una resposta a la dosi de N similar al de Collita 1, però amb valors inferiors i diferències no significatives. Van der Werf *et al.* (1995b) també troben que la proporció de tija baixa a dosis de nitrogen elevades, però de forma més moderada que en el present estudi (89 i 88% per 80 i 200 kg N ha⁻¹, respectivament).

Taula 3.7. Anàlisi de la variància per al conjunt dels anys per a la proporció tija i el rendiment de fulla, inflorescència i gra a Collita 1 (fi flor mascle) i a Collita 2 (maduració del gra) (cv. Futura 77).

Font de variació	Collita 1 (anys 1995, 1996 i 1997)			Collita 2 (anys 1995 i 1997)			
	Tija	Fulla	Inflorescència	Tija	Fulla	Inflorescència	Gra
	%	kg ha ⁻¹		%	kg ha ⁻¹		
Any (A)	**	*	**	NS	*	*	*
Error a	-	-	-	NS	-	-	-
Nitrogen (N)	**	**	*	NS	**	**	**
Lineal	NS	**	**	NS	**	**	**
Quadràtic	**	NS	NS	NS	NS	NS	*
A x N	*	*	NS	*	**	NS	NS
Error b	-	-	-	-	-	-	-
D. sembra (DS)	**	**	**	**	NS	**	**
Lineal	**	**	**	**	NS	**	**
Quadràtic	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A x DS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N x DS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A x N x DS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Error c	-	-	-	-	-	-	-

** , * Indica significació per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS, no significatiu.

La proporció de tija va augmentar amb la **dosi de sembra**, seguint una tendència lineal significativa a ambdues collites. Aquest increment ve principalment donat pel declivi en el pes sec de la inflorescència i del gra a l'augmentar la densitat de cultiu (Figura 3.5). Els resultats del present estudi difereixen parcialment dels de van der Werf *et al.* (1995a), els quals troben una resposta quadràtica, de manera que a densitats elevades la proporció de tija a la biomassa acaba disminuint, i dels d'Amaducci *et al.* (2002a), segons els quals la densitat de cultiu no influeix la proporció de tija al final del cicle. En les condicions de l'assaig, es mantenen densitats de cultiu superiors a les d'aquests autors (menys autoaclariada), fet que permet que la proporció de tija sigui superior.

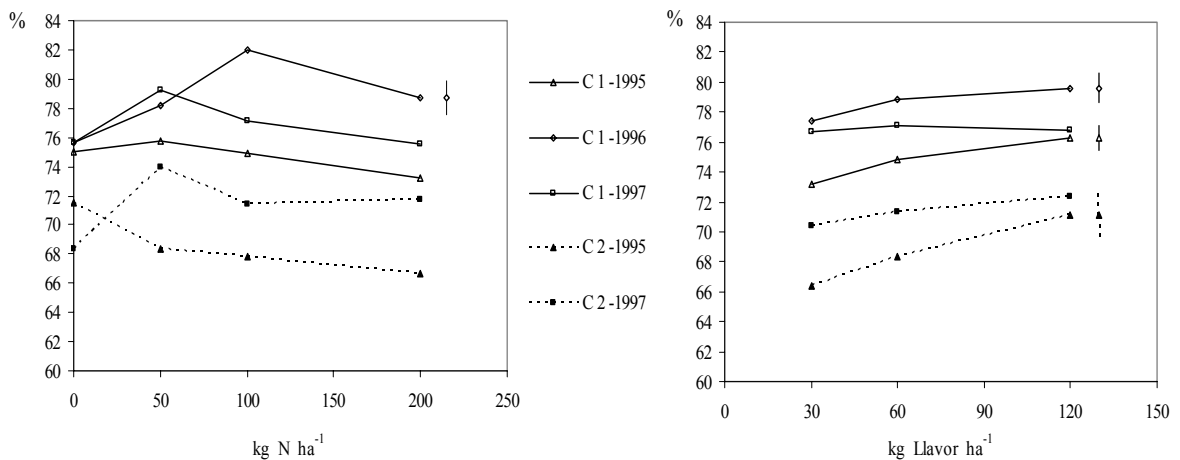


Figura 3.4. Proporción de tija a la biomassa, segons la dosi de nitrogen (kg N ha⁻¹) i la dosi de sembra (kg ha⁻¹) aplicades al cànem (cv. Futura 77). Les barres verticals indiquen LSD ($P < 0,05$) per a cada any, si les diferències són significatives. C 1 = Collita 1 (fi flor mascle); C 2 = Collita 2 (maduració gra).

Rendiment de fulla i inflorescència

La mitjana del rendiment de fulla a Collita 1 i a Collita 2 va ser 1300 i 366 kg ha⁻¹, que representen un 13% i 4% de la biomassa total, respectivament. L'any va afectar significativament el rendiment de fulla a Collita 1 i 2 (Taula 3.7), amb valors superiors per a l'any 1995 (1476 i 435 kg ha⁻¹, respectivament). El rendiment de fulla també va incrementar de forma lineal significativa amb la **dosi de nitrogen** a ambdues collites. Altrament, el rendiment de fulla va disminuir amb la **dosi de sembra**, de forma lineal significativa a Collita 1. La interacció any x nitrogen va ser significativa perquè l'any 1996 l'increment de fulla amb la dosi de nitrogen presenta un pendent menor a Collita 1, mentre que a Collita 2 és negativa per a l'any 1997.

Es tracta de produccions de fulla inferiors a les de van der Werf et al. (1995 a i 1995b) i Amaducci *et al.* (2002b). En part, deriven del menor rendiment de biomassa, però també d'una proporció de fulla inferior al que reporten aquest autors. En el cànem les fulles senescents cauen ràpidament (Meijer *et al.*, 1995). En el present estudi no s'ha valorat la fulla caiguda al sòl, però es van observar caigudes massives, bàsicament en fases seques del juliol. Bocsa i Karus (1998) indiquen que la fulla passa de pesar un 25% de la biomassa a un 8-14% al final del període vegetatiu. Els resultats obtinguts a Collita 2 són inferiors, suggerint que la pèrdua de fulla abans de la collita hauria estat relativament més important.

La mitjana del rendiment d'inflorescència va ser 961 i 2576 kg ha⁻¹ a Collita 1 i 2, respectivament. L'any va influir significativament, essent més elevada l'any 1995 (1119 i 2930 kg ha⁻¹ a Collita 1 i 2, respectivament) que a l'any 1996 (843 kg ha⁻¹ a Collita 1).

Es tracta de valors clarament superiors als 300-1500 kg ha⁻¹ que reporten Meijer *et al.* (1995) i van der Werf *et al.* (1995 a i 1995b) a Holanda, quan el rendiment de tija que obtenen és molt superior (9 a 14 t ha⁻¹) al de la present experiència. La formació de gra redueix l'eficiència d'ús de la radiació, la qual s'associa a una conversió inferior dels assimilats primaris en oli i proteïna, respecte al midó. I el gra de cànem és ric en ambdós productes (Deferne i Pate, 1996). No obstant, la reducció de biomassa seria limitada, un 2,5% per kg de gra (Meijer *et al.*, 1995). Conseqüentment, en les condicions de l'assaig es pot esperar un rendiment de biomassa i de tija inferior.

El rendiment d'inflorescència va augmentar de forma lineal significativa amb la **dosi de nitrogen**, a ambdues collites. La **dosi de sembra** va afectar el rendiment d'inflorescència, decreixent de forma lineal significativa tant a Collita 1 com a Collita 2. Aquests resultats estan d'acord amb els de van der Werf *et al.* (1995 a i 1995b).

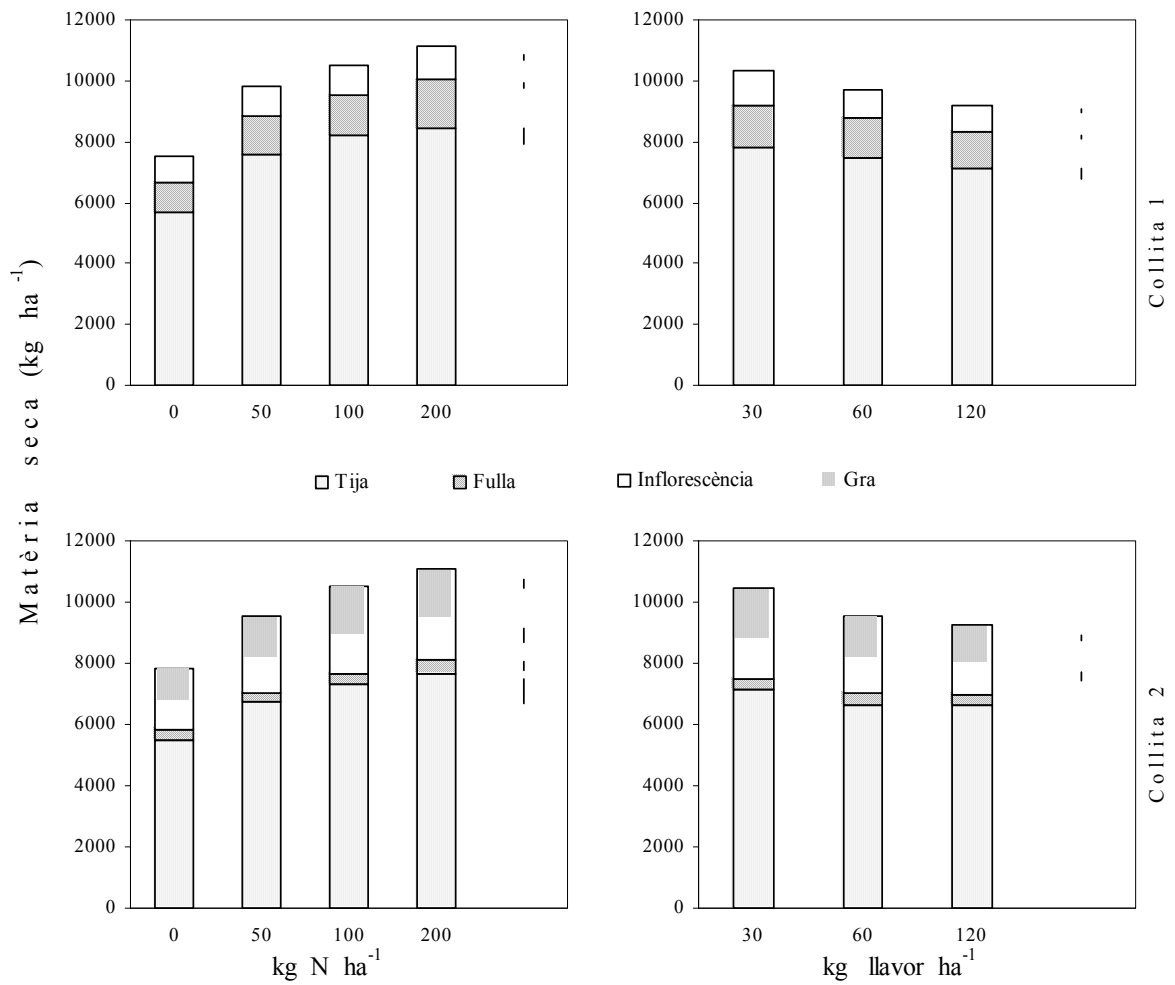


Figura 3.5. Rendiment de biomassa i distribució a les diferents parts de la planta (matèria seca) en funció de la dosi de nitrogen (kg N ha⁻¹) i la dosi de sembra (kg ha⁻¹) aplicada al cànem (cv. Futura 77). Barres verticals indiquen LSD per $P < 0,05$ per cada any i part de la planta, si les diferències són significatives. Cada dada és la mitjana de 3 anys a Collita 1 (fi flor mascle) (1995, 1996 i 1997) i de 2 anys a Collita 2 (maduració gra) (1995 i 1997).

Rendiment de gra

El rendiment de gra per a Collita 2 es presenta a la Figura 3.6, i l'anàlisi de la variància es presenta a la Taula 3.7. La mitjana del rendiment de gra va ser 1352 kg ha⁻¹ (matèria seca). L'any, la dosi de nitrogen i la dosi de sembra van influir significativament el rendiment de gra. Cap de les interaccions possibles va ser significativa.

L'any va influir significativament el rendiment de gra, amb 1532 i 1172 kg ha⁻¹ (matèria seca) per als anys 1995 i 1997, respectivament. El final de cicle de l'any 1995 es va beneficiar d'una climatologia més benigna, amb precipitacions superiors i temperatures menys extremes que a l'any 1997. Aquests rendiments de gra es situen a la banda alta dels que reporten Gorchs i Lloveras (2003) a nivell d'agricultor per a la mateixa àrea de l'assaig.

Les mitjanes del rendiments de gra d'aquest assaig són clarament superiors als que reporten una gran majoria d'autors, generalment per a àrees més humides i temperades que la de l'assaig, a diferència del que succeïa amb la biomassa i la tija. En la banda més alta (700 a 1000 kg ha⁻¹) hi hauria Meijer *et al.* (1995) a Holanda; Mathieu (1982), FNPC (1995), Esnault i Le Texier (1997) i Béhérec (2000) a França; Gauca *et al.* (1986) a Romania. Mentre que altres autors donen rendiments de gra que es situen en una banda més baixa (300 i 700 kg ha⁻¹), per exemple Tabara (1984) a Romània, Vogl *et al.* (2004) a Àustria, Mediavilla *et al.* (1999) a Suïssa, i Vera *et al.* (2004). Les úniques referències consultades que reporten rendiment de gra lleugerament superiors a la mitjana del present estudi són les de Callaway (2004) a Finlàndia i Girouard *et al.* (2004) a Canadà amb 1700 kg ha⁻¹ per la cv. Finola. Després d'Uniko B (Watson i Clarke, 1997), es tractaria de la segona culti-var especialment seleccionada per a producció de gra. Finola es va seleccionar a Finlàndia, és baixa, molt precoç i està adaptada a latituds superiors a 50° N (Callaway, 2002).

En conjunt, aquests resultats refermen el suggeriment d'Stutterheim *et al.* (1999), segons els quals el sud d'Europa seria una àrea privilegiada per a la producció de gra de cànem, mentre que l'Europa central ho seria per a la producció de fibra. Més encara si es té en compte que en les condicions del nord-est d'Espanya, a nivell d'agricultor, el gra s'asseca naturalment al camp i habitualment es pot emmagatzemar sense passar per l'assegador, quan en altres àrees es cull amb humitats superiors al 20%, i a vegades la climatologia fa impossible la collita (Laakkonen i Callaway, 1998; Bocsa i Karus, 1998).

El rendiment de gra va variar amb la **dosi de N** (Figura 3.6), seguint una tendència lineal i quadràtica significativa (Taula 3.7). La mitjana del rendiment de gra va ser 1041, 1279, 1572 i 1516 kg ha⁻¹ per a 0, 50, 100 i 200 kg N ha⁻¹, respectivament. És a dir, el màxim rendiment de gra es va obtenir per a 100 kg N ha⁻¹, amb un pic de 1733 kg ha⁻¹ a l'any 1995.

Per a la producció de gra, els resultats obtinguts suggereixen que uns 100 kg N ha⁻¹ serien adequats (veure apartat 3.1.3). Aquests resultats són superiors als de Mediavilla *et al.* (1998b), el qual conclou que 50-85 kg N ha⁻¹ serien suficients per a la producció de gra, tot i que el rendiment de gra segueix incrementant a dosis superiors, però també el risc de tombat. En canvi, serien properes a les de Tabara (1984), el qual conclou que la dosi òptima de nitrogen estaria entre 100 i 150 kg ha⁻¹.

La **dosi de sembra** va influir negativament el rendiment de gra, ja que va decreixer de forma lineal significativa a l'augmentar la dosi de sembra. El màxim rendiment de gra es va obtenir l'any 1995 per a 30 kg llavor ha⁻¹ amb 1814 kg ha⁻¹. Aquest rendiment de gra és similar als màxims rendiments de gra que s'ha trobat en les referències consultades (Girouard *et al.*, 2004; Callaway, 2004).

Aquests resultats estan d'acord amb el que descriuen la majoria d'autors per a l'Europa central i de l'est. Fins i tot, alguns autors proposen dosis de sembra inferiors, de 2,5 kg ha⁻¹ (Bocsa i Karus, 1998) a 15-25 kg ha⁻¹ (Tabara, 1985; Gauca *et al.*, 1986 i 1990). Mediavilla *et al.* (1998b) obtenen el màxim rendiment de gra amb 10 kg llavor ha⁻¹, però proposa 30 kg llavor ha⁻¹. A dosis de sembra tant baixes el cultiu és sensible a les males herbes, i la mida i la ramificació de les plantes pot dificultar la collita mecànica (Bocsa i Karus, 1998).

Els resultats obtinguts permeten qüestionar l'obligació d'haver de sembrar 40 kg ha⁻¹ com a mínim per accedir a l'ajut de la UE a determinats cultius herbacis (DARP, 2003). Per al cànem cultivat per a gra i fibra redueix el rendiment de gra (Figura 3.6) i augmenten les despeses en llavor.

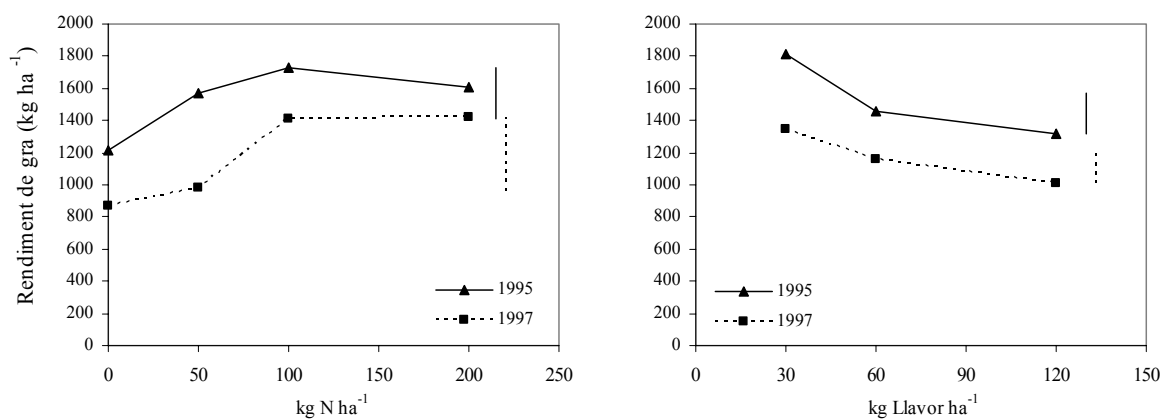


Figura 3.6. Rendiment de gra a Collita 2 (maduració gra), segons l'adobat nitrogenat (kg N ha⁻¹) i la dosi de sembra (kg ha⁻¹) aplicada al cànem (cv. Futura 77). Barres verticals indiquen LSD per P<0,05 per cada any, si es detecten diferències significatives.

3.1.3. Càlcul de la dosi de nitrogen òptima econòmicament. Comparació del dos models de resposta

A la Taula 3.8 es presenta la relació entre la dosi de N i el rendiment de tija o de gra, segons els models quadràtic o exponencial (corba de Mitscherlich). Aquesta relació també s'ha ajustat amb models segmentats, però el lineal-planell no s'ajusta en cap cas mentre que el quadràtic-planell només convergeix puntualment, probablement perquè el número de dosis de N assajades va ser massa baix. Per tant, aquests resultats no es presenten.

Significació estadística i coeficient de determinació R^2

Els models quadràtic i exponencial expliquen significativament la variabilitat del rendiment de tija o gra dels anys 1996 i 1997, però no el rendiment de tija de l'any 1995. Per als anys 1996 i 1997, tots els paràmetres estimats del model quadràtic són significatius. Per al model exponencial els paràmetres B i C només són significatius per al rendiment de tija a Collita 1 (fi flor mascle) l'any 1996 i a Collita 2 (gra madur) l'any 1997.

En el model quadràtic, el major valor de B (component lineal) per al rendiment de tija els anys 1996 i 1997 està d'acord amb la major resposta al N d'aquests anys (Taula 3.6). En el model exponencial, el major valor del coeficient C l'any 1995 (per al rendiment de tija) prediria un nivell de nitrogen inicial en el sòl superior a altres anys. Encara que C no és significatiu, i que el N inicial en el sòl no es va mesurar, això concorda amb la manca de resposta estadísticament significativa al N a l'any 1995, i amb els majors nivells de $N-NO_3^-$ en el sòl al final del cicle per aquest any (Figura 3.20).

La proporció de variabilitat explicada per ambdós models segons l'estadístic R^2 varia amb l'any, essent $>0,42$ per al rendiment de tija (traient l'any 1995) i el valor més elevat s'obté a Collita 1 l'any 1996 (0,73). El rendiment de gra presenta valors inferiors (0,19 a 0,30).

Taula 3.8. Paràmetres estimats per a la relació entre dosi de N i rendiment de tija o gra segons el model de regressió a Collita 1 (fi flor mascle) i a Collita 2 (maduració gra).

Any	Quadràtic ($Y=A + B*X + C*X^2$) †					Exponencial ($Y=A * (1-e^{-B(X+C)})$) †				
	A	B	C	Pr>F ‡	R^2 §	A	B	C	Pr>F ‡	R^2 §
Tija a Collita 1										
1995	7227	8,22	-0,0214	0,0951	0,10	8052	0,0138	162,9	0,0901	0,10
1996	4682	59,22	-0,1912	0,0001	0,73	8998	0,0209	34,0	0,0001	0,73
1997	5412	47,62	-0,1639	0,0001	0,42	8448	0,0289	34,1	0,0001	0,43
Tija a Collita 2										
1995	6731	16,11	-0,0586	0,0746	0,11	7676	0,0309	67,2	0,0784	0,11
1997	4316	36,71	-0,0999	0,0001	0,56	7957	0,0127	60,7	0,0001	0,57
Gra a Collita 2										
1995	1217	8,52	-0,0328	0,0062	0,20	1666	0,0372	34,9	0,0089	0,19
1997	821	6,79	-0,0185	0,0004	0,30	1577	0,0092	81,7	0,0005	0,29

† Paràmetres en negreta significatius en el model (cursiva no significatiu). ‡ Pr>F; Probabilitat associada a la significació del model.

§ R^2 ; Coeficient de determinació.

En les condicions d'aquest estudi, cultiu d'estiu en secà, una part de la variabilitat de R^2 es podria relacionar amb l'estrès hídric (Belanger *et al.*, 2000), i el fet d'incloure diverses dosis de sembra. Però si l'anàlisi es realitza per a cada dosi de sembra, l'estadístic R^2 segueix movent-se en un rang ample (0,43 a 0,98 per al rendiment de tija) i en pocs casos tots els paràmetres del model són significatius (cap en al model exponencial i puntualment en el quadràtic; dades no presentades), en part perquè el número de dades experimentals disponibles per a realitzar l'anàlisi individualitzat, per any i per dosi de sembra, és reduït (16 per any). D'aquí que l'anàlisi es presenta per al conjunt de dosis de sembra, per anys.

Ambdós models presentarien un ajust entre N i rendiment de tija o gra igual de bo, si es pren l'estadístic R^2 com a criteri d'avaluació, ja que presenten valors R^2 gairebé idèntics en tots els casos. En canvi, la dosi de N òptima i el rendiment predit varien segons el model, com veurem més endavant. Per tant, R^2 no és un indicador fiable per seleccionar el model més adequat per a identificar la dosi de N òptima econòmicament. Això està d'acord amb el que reporten Cerrato i Blakmer (1990) en blat de moro o bé Belanger *et al.* (2000) en patata.

Dosi de N econòmicament òptima i dosi de N màxima

La dosi de N econòmicament òptima varia segons el model i, especialment, l'any (28-192 kg N ha⁻¹), tant per al rendiment de tija com per al de gra (Taula 3.9), però totes es troben dins l'interval de dosis de N assajades. La dosi de N òptima calculada amb el model quadràtic és superior a la calculada amb el model exponencial (entre 0 i 40 kg N ha⁻¹), excepte per al rendiment de gra a l'any 1997. El model quadràtic dona una dosi de N òptima mitjana de 122 a 126 kg N ha⁻¹ per al rendiment de tija a Collita 1 i a Collita 2 o de gra a Collita 2, mentre que el model exponencial presenta un rang més ampli (96-120 kg N ha⁻¹). Són valors superiors als 80 kg N ha⁻¹ com a màxim que recomanen Starcevic (1974), Mediavilla *et al.* (1998b) o bé Struik *et al.* (2000), mentre que Ivonyi *et al.* (1997) suggereixen dosis de N superiors.

Taula 3.9. Dosi de N (X) òptima econòmicament (Opt) i màxima (Max) (kg N ha⁻¹), rendiment (Y) òptim i màxim (kg MS ha⁻¹) predits per a cada any, i test de normalitat dels residus segons el model utilitzat.

Any	Quadràtic						Exponencial					
	X - Nitrogen		Y - Rendiment		T. normalitat†		X - Nitrogen		Y - Rendiment		T. normalitat†	
	Opt	Max	Opt	Max	Pr<W	Pr>D	Opt	Max	Opt	Max	Pr<W	Pr>D
Tija a Collita 1 (fi flor mascle) ‡												
1995	28	192	7444	8017	0,70	>0,15	37	338	7545	8044	0,69	>0,15
1996	137	155	9203	9267			123	296	8664	8989		
1997	124	145	8797	8871			89	205	8206	8440		
Tija a Collita 2 (maduració gra) ‡												
1995	78	137	7629	7838	0,34	>0,15	47	156	7449	7668	0,30	>0,15
1997	149	184	7565	7688			149	483	7406	7949		
Gra a Collita 2 (maduració gra)												
1995	112	130	1760	1770	0,001§	0,011§	72	151	1634	1664	0,001§	0,01§
1997	152	184	1426	1444			192	666	1451	1576		

† Test de normalitat Shapiro-Wilk (W) i Kolmogorov-Smirnov (D) per als residus, analitzat per anys. ‡ Números en cursiva si model no és significatiu (Taula 3.8). § Aquesta dada discrepa del gràfic de probabilitat acumulada (mostra distribució normal de residus estandarditzats) i de l'estadístic D de Cook (cap residu supera el valor crític), és a dir no es detecta cap outlier.

No obstant, ambdós models coincideixen en donar dosis de N òptimes superiors per al rendiment de tija i gra a Collita 2 que per al de tija a Collita 1 ($10\text{-}103\text{ kg N ha}^{-1}$), i per al rendiment de gra respecte al de tija a Collita 2 (de $3\text{ a }43\text{ kg ha}^{-1}$). També coincideixen en donar dosis de N òptimes moderadament més elevades a mida que augmenta la dosi de sembra. Per exemple, per al rendiment de tija a Collita 1 l'any 1996 (per al que R^2 és més elevat i més paràmetres són significatius), les dosis de N òptimes calculades amb el model quadràtic són $130, 139$ i 140 kg N ha^{-1} , mentre que per a l'exponencial són $111, 127$ i 136 kg N ha^{-1} , per a les dosis $30, 60$ i $120\text{ kg llavor ha}^{-1}$, respectivament (dades no presentades).

Pel que fa a la dosi de N a la que s'assoleix el rendiment màxim, inversament al que succeïa amb la dosi de N econòmicament òptima, el model exponencial dona valors molt superiors als del model quadràtic, situats fora el rang de dosis assajades i que, per tant, s'obtenen per interpolació, fet que en redueix la fiabilitat (Neeteson i Wadman, 1987). En canvi, totes les dosis de N màximes obtingudes amb el model quadràtic es situen en el rang de dosis assajades.

En conjunt, la majoria de dosis de N econòmicament òptimes es situen entre 50 i 150 kg N ha^{-1} , i les màximes per sobre 100 kg N ha^{-1} , fet que suggereix que caldria assajar més dosis de N, amb un interval entre dosis inferior a l'emprat, especialment a partir de 100 kg N ha^{-1} , per a poder calcular més finament la dosi de N òptima amb els diversos models.

Els rendiments econòmicament òptims, i màxims, predits per a ambdós models són força similars, encara que el model quadràtic tendeix a predir rendiments lleugerament superiors (uns 230 i 45 kg ha^{-1} de mitjana per al rendiment de tija i de gra, respectivament) (Taula 3.9). És a dir, el rendiment predit és una dada feble per a seleccionar un model per sobre l'altre.

Anàlisi de residus

Per a ser fiables, els models no han de presentar cap biaix sistemàtic. Per tant, els residus de la regressió han de tenir una distribució normal. D'acord amb el test estadístic de Shapiro-Wilk, ambdós models presenten una distribució normal dels residus per al rendiment de tija a Collita 1 ($P \approx 0,7$) i a Collita 2 ($P \approx 0,7$), però no per al rendiment de gra ($P \approx 0,001$) (Taula 3.9). No obstant, aquesta dada per al rendiment de gra discrepa del que mostra l'estadístic D de Cook, ja que cap residu ($2,7$ el valor màxim) supera el valor crític ($3,39$ per $n=96$ i $q=2$) (Bowley, 1999) i, per tant, cap valor pot ser considerat 'outlier'. El gràfic de probabilitat acumulada per als residus estandarditzats (no presentat) també mostra una tendència lineal, confirmant que la distribució de residus seria normal, tant per al rendiment de gra com per al de tija. És a dir, aquest criteri tampoc no seria útil per elegir un d'ambdós models.

A la Figura 3.7 es presenta la distribució de residus per tractaments. S'utilitzen els residus respecte les mitjanes de rendiment perquè permet apuntar alguna tendència que resulta difícil d'observar amb les dades de cada parcel·la elemental, que presenten un núvol de punts que emmascaren la tendència (figura no presentada). Els punts per sobre la línia horitzontal (residu=0) indiquen punts per als que el model subestima el rendiment (mitjana mesura > predit), i inversament per als punts situats per sota.

Els residus es distribueixen sense mostrar cap tendència general en tots els casos, però el model exponencial sembla presentar una distribució de residus del rendiment de tija més homogènia per a les diferents dosis de N, mentre que el model quadràtic tendiria a subestimar el rendiment de tija per a 50 i 200 kg N ha⁻¹ i a sobreestimar el de 0 i 100 kg N ha⁻¹. Prop d'aquest últim és on es situa la dosi de N òptima, suggerint que les dosis de N òptimes del model quadràtic podrien ser excessives. En canvi, els residus per al rendiment de gra presentarien un comportament invers, lleugerament més homogeni per al model quadràtic.

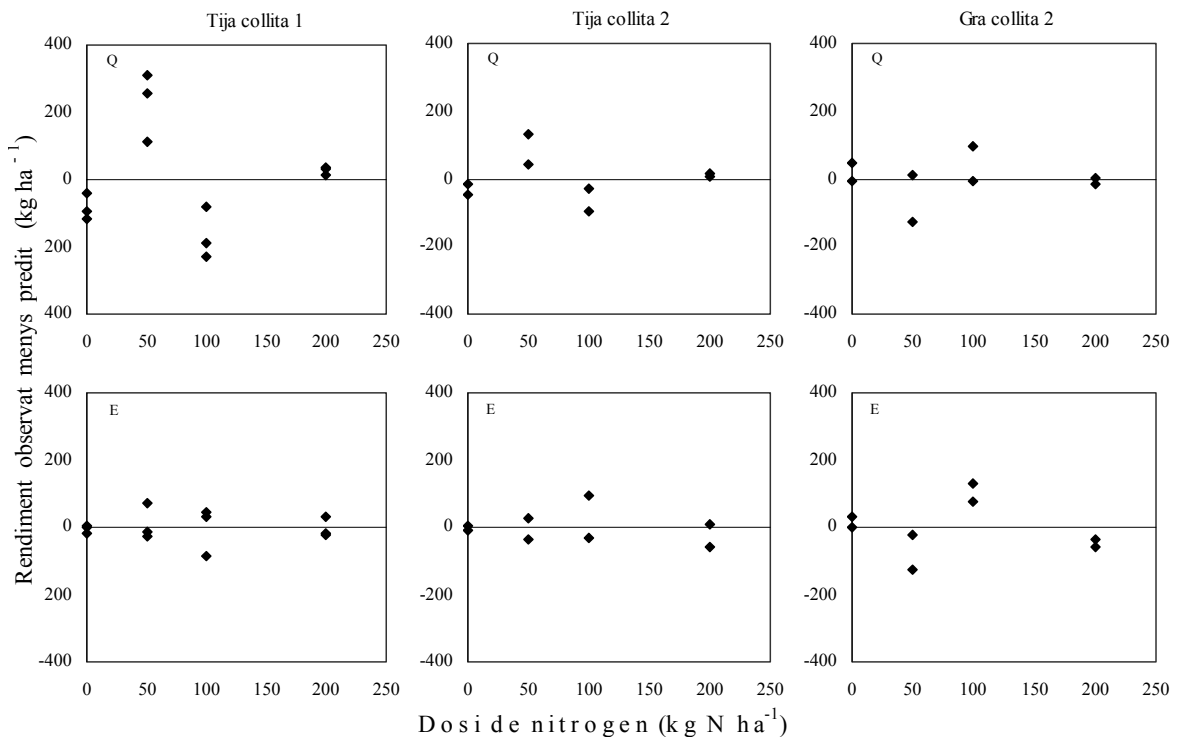


Figura 3.7. Residus (rendiment observat – predit) respecte la dosi de N aplicada per al model quadràtic (Q) i exponencial (E), ajustats per a cada any (1995, 1996 i 1997 a Collita 1 –fi flor mascle; 1995 i 1997 a Collita 2 –gra madur). Cada punt representa la mitjana de cada tractament N per a cada any (12 dades).

Els residus per a cada any i paràmetre també es presenten en funció de la desviació respecte a la dosi de N econòmicament òptima (Figura 3.8), la qual es situa en el centre de la figura. El model quadràtic tendiria a sobreestimar el rendiments de tija (a Collita 1 i 2) situats prop de la dosi de N identificada com a òptima, i a subestimar el rendiment de tija a les dosis de N superior a la òptima, mentre que els residus per al model exponencial es distribueixen dels forma més homogènia a prop de zero. Inversament, el model quadràtic mostraria una distribució del residu del rendiment de gra més homogènia, i seria més adequat que el model exponencial.

En conjunt, la distribució de residus, especialment respecte a la dosis de N òptima (Figura 3.8), és el criteri que inicialment sembla aportar més informació per a seleccionar un d'ambdós models testats. Els resultats del present estudi suggereixen que les dosis de N òptimes que dóna el model quadràtic per al rendiment de tija serien excessives. Aquests resultats estan d'acord amb els que reporten Cerrato i Blakmer (1990) en blat de moro, que indiquen que la forma simètrica de la corba prop del màxim fa que aquest model tendeixi a definir dosis de N òptimes excessives.

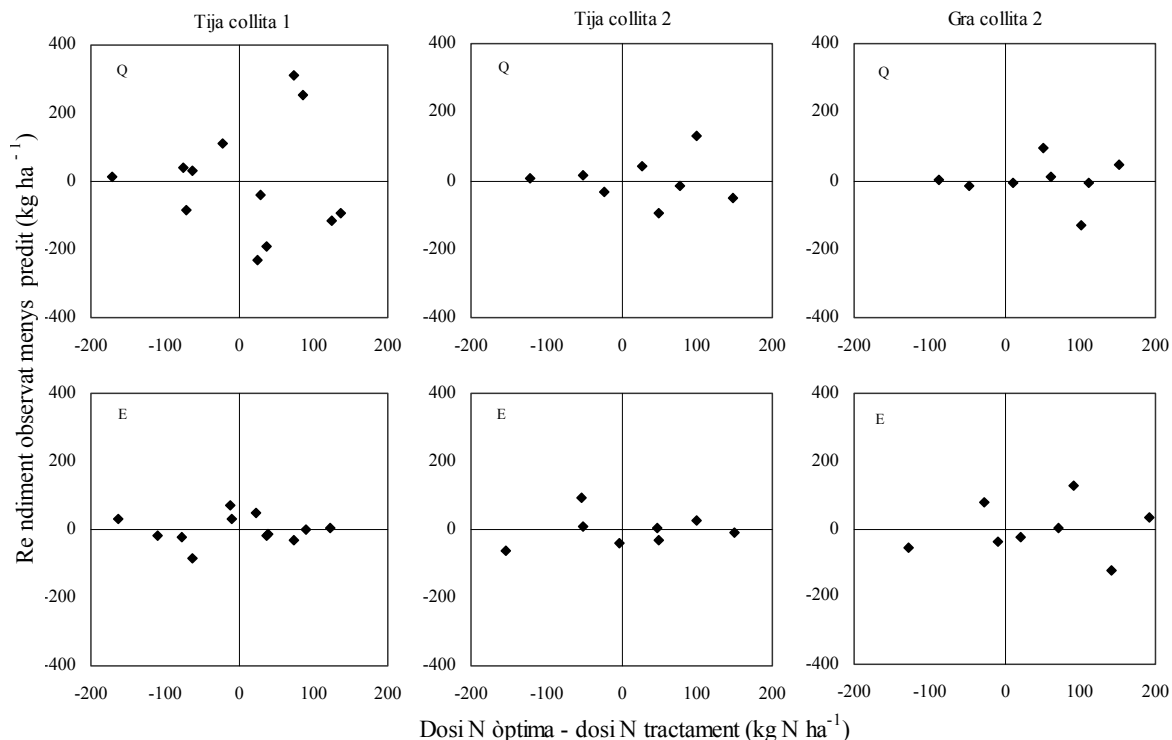


Figura 3.8. Residus (rendiment observat – predit) en funció de la desviació respecte a la dosi de N òptima calculada per als models quadràtic (Q) i exponencial (E). La dosi òptima per cada any es situa en el centre de la figura. Cada punt representa la mitjana de cada tractament N per cada any (12 dades) (1995, 1996 i 1997 a Collita 1–fi flor mascle; 1995 i 1997 a Collita 2–gra madur).

3.1.4. Durada de les principals fases del cicle del cultiu del cànem

La durada mitjana de la fase sembra - naixença per la cv Futura 77 va ser de 14 dies o 165 °Cdia, per als anys 1995 a 1997 (Taula 3.10). Es tracta de valors gairebé idèntics als d'Amaducci *et al.* (2002a) per la mateixa culti-var al nord d'Itàlia.

La durada mitjana per als anys 1995 a 1997 de la fase sembra – aparició primeres flors masculines va ser de 49 dies o 739 °Cdia, mentre que a per la fase aparició primeres flors masculines – Collita 2 va ser de 87 dies o 1762 °Cdia. La variació entre anys és relativament moderada, especialment per a la duració de les fases expressades en °Cdia.

En el present estudi (42° 00' N), la durada de la fase sembra–aparició primeres flors està d'acord amb que reporten Lloveras *et al.* (2006) a Lleida en regadiu per cv Futura 77 (750 °Cdia), mentre que és lleugerament inferior a la del nord d'Itàlia (775 °Cdia) i molt inferior a la d'Holanda (1250 °Cdia) (44°55' N i 51°58' N, respectivament) (Stutterheim *et al.*, 1999). Inversament, en aquest estudi la fase primeres flors–Collita 2 (maduració del gra) és superior a la que té al nord d'Itàlia i a Holanda (uns 1625 i 800 °Cdia, respectivament).

Per tant, el període vegetatiu de cv Futura 77 és més curt, ja sigui per falta d'adaptació al fotoperíode o a la temperatura més elevada en les condicions de l'assaig, suggerint que podria ser una de les causes dels limitats rendiments de biomassa i de tija del present estudi. A partir de floració l'acumulació de matèria seca s'alenteix, pel major cost de conversió dels fotosintetitzats en oli, proteïna, o bé lignina (van der Werf *et al.*, 1996). En tot cas, no ha de ser una qüestió de manca de radiació, superior als 16 MJ m⁻² d⁻¹ de Meijer *et al.* (1995) a Holanda, o només d'estrès hídric, doncs Lloveras *et al.* (2006) a la Vall de l'Ebre en regadiu obtenen rendiments de biomassa no gaire superiors als d'aquest treball (≈1500 kg ha⁻¹).

Taula 3.10. Durada de les principals fases del cicle de cultiu i data d'aparició de les primeres flors per al cànem (cv Futura 77), i radiació global des de naixença fins al 31 d'agost.

Concepte	1995	1996	1997	1998	1995	1996	1997	1998
Durada fase †	Dies				Graus – dia (°Cdia, base 1 °C)			
Sembra - naixença	13	13	15	17	153	149	191	165
Sembra – 1a flor	54	47	47	50	778	718	721	671
1a flor - Collita 1	43	45	52	59	948	893	990	1179
1a flor - Collita 2	81	-	92	102	1709	-	1814	2067
Sembra - Collita 1	97	92	99	109	1726	1610	1711	1850
Sembra - Collita 2	135	-	139	152	2488	-	2535	2738
Data 1a flor i radiació global	Data aparició primeres flors				Radiació mitjana (MJ m⁻² dia⁻¹)			
	25-6	21-6	13-6	9-6 ‡	20,8	23,9	23,2	-

† Per dates de sembra, naixença i Collita 1 (fi flor mascle) i Collita 2 (maduració del gra) veure Taula 3.3.

‡ 13/6 per Delta 405; 10/6 per Delta Llosa.

3.1.5. Mesurador de clorofil·la (Minolta SPAD 502) en cànem

Valors de lectura SPAD

La mitjana dels valors obtinguts per als anys 1996 i 1997 va ser 38 a inici de floració femenina i 37 a Collita 1 (fi flor masculina). A Collita 2 (maduració gra) només es disposa de dades per a l'any 1997, amb 27 unitats SPAD de mitjana.

L'any no va influir significativament el valor de lectura SPAD a inici de floració femenina, (38,0 i 38,9 unitats SPAD per als anys 1996 i 1997, respectivament), mentre que a Collita 1 l'any 1996 presenta valors significativament inferiors als de l'any 1997 (32 i 41 unitats SPAD, respectivament). El contingut de clorofil·la en fulla pot variar amb diversos factors (Blackmer i Shepers, 1995; Fox *et al.*, 2001), particularment augmenta amb l'estrès hídric (Barraclough i Kyte, 2001; Martínez i Guamet, 2004) i disminueix amb la densitat de sembra (Spaner *et al.*, 2005). Per tant, la major disponibilitat hídrica (Taula 3.2) i densitat de cultiu (Taula 3.5) a l'any 1996 explicarien els menors valors de lectura SPAD d'aquest any.

No es disposa de referències del valor de lectura SPAD en cànem, però es tracta de valors inferiors a les 40-60 unitats SPAD de mitjana que reporten per a blat de moro Schepers *et al.* (1992) i Sainz i Echeverría (1998) a floració i Piekielek *et al.* (1995) a l'estadi gra lletós, o bé a les 35-55 unitats SPAD per al blat a sortida d'espiga (Spaner *et al.*, 2005) i durant l'antesi (López Bellido *et al.*, 2004). Sainz i Echeverria (1998) en blat de moro i Gandrup (2004) en blat també observen que el valor de lectura SPAD varia al llarg del cicle, mostrant la importància de referir-ho a un estadi fenològic donat.

Les diverses **interaccions** possibles entre any, nitrogen i dosi de sembra no van ser significatives en cap cas.

El Valor de lectura SPAD augmenta amb la **dosi de nitrogen**, de forma significativa a inici de floració femenina (tendència lineal i quadràtica) i a Collita 1 (tendència lineal) i de forma no significativa a Collita 2 (Taula 3.11). Les diferències entre valors de lectura SPAD per als diferents nivells de nitrogen són relativament més amplis cap al final del cicle (Collita 1 i 2).

Aquests resultats concorden amb els d'Spaner *et al.* (2005) en blat i ordi, per als que reporten un augment del valor de lectura SPAD amb la dosi de nitrogen lineal, bàsicament, però que per al blat, en certs estadis, també presenta una tendència quadràtica. Sainz i Echeverria (2004) i Blackmer i Schepers (1995) en blat de moro i Gandrup *et al.* (2004) en blat també descriuen diferències més àmplies entre dosis de N al avançar el cicle, que atribueixen a la disminució de N en el sòl per l'absorció del cultiu en els tractaments amb dosis insuficients.

Taula 3.11. Valor de lectura SPAD (unitats) en tres estadis segon la dosi de nitrogen (kg N ha^{-1}) i la dosi de sembra (kg ha^{-1}) aplicada al cànem (cv Futura 77).

Tractaments i estadística	Inici floració femenina †		Collita 1 (fi flor mascle) ‡		Collita 2 (mad. gra)‡
	1996	1997	1996	1997	1997
Nitrogen (N)					
0	31	33	27	32	11
50	38	39	28	36	11
100	40	40	32	46	17
200	43	43	41	52	25
Significació	**	**	**	**	NS
Lineal	**	**	**	**	*
Quadràtic	**	**	NS	NS	NS
Dosi sembra (DS)					
30	41	41	35	43	16
60	37	39	31	42	18
120	36	36	30	40	14
Significació	**	**	**	*	NS
Lineal	**	**	**	*	NS
Quadràtic	NS	NS	NS	NS	NS
N x DS	NS	NS	NS	NS	NS
ANOVA per al conjunt dels anys					
Any (A)	NS		**		-
Error a	-		-		-
Nitrogen (N)	**		**		-
Lineal	**		**		-
Quadràtic	**		NS		-
A x N	NS		NS		-
Error b	-		-		-
Dosi sembra (DS)	**		**		-
Lineal	**		**		-
Quadràtic	NS		NS		-
A x DS	NS		NS		-
N x DS	NS		NS		-
A x N x DS	NS		NS		-
Error c	-		-		-

† 30 juny per a l'any 1996; 5 de juliol per a l'any 1997 (estadi 2301; Mediavilla *et al.*, 1998a).

‡ Per a les dates de collita, veure Taula 3.3. **, * Significatiu per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS, no significatiu.

Per als anys 1996 i 1997 en conjunt, tant a inici de floració femenina com a Collita 1, els valors de lectura SPAD van diferenciar-se significativament per a totes les dosis de N emprades (Figura 3.9). És a dir, no es van assajar dosis de N prou altes com per assolir valors de lectura SPAD constants, la qual cosa és especialment evident a Collita 1, on l'increment del valor de lectura SPAD per a més de 100 kg N ha^{-1} es manté. D'acord amb Schepers *et al.* (1992) i amb Peltonen *et al.* (1995), a nivells de N elevats el valor de lectura SPAD es fa constant, a diferència del contingut de N en fulla, que continua augmentant.

A inici de floració femenina, els valors de lectura SPAD semblen reflectir força bé la diferent disponibilitat en N generada pels nivells de N aplicats (Figura 3.9), suggerint una correlació positiva entre dosi de nitrogen i contingut de clorofil·la a la fulla i rendiment de biomassa, en tot cas millor que el que es pot donar a Collita 1 (veure més endavant).

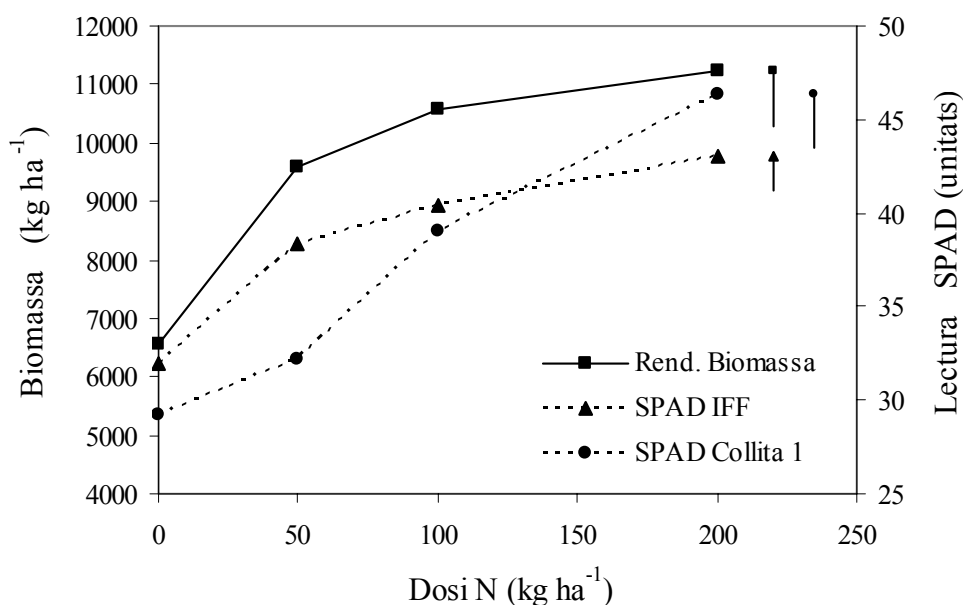


Figura 3.9. Efecte de la dosi de N sobre el rendiment de biomassa a Collita 1 (fi flor mascle) i en el valor de lectura SPAD a inici de floració femenina (IFF) i a Collita 1 per als anys 1996 i 1997. Barres verticals indiquen LSD per $P < 0,05$. Estadística a Taula 3.6 i Taula 3.11 per a biomassa i SPAD, respectivament.

El valor de lectura SPAD disminueix de forma lineal significativa amb la **dosi de sembra** a inici de floració femenina i a Collita 1. A Collita 2 (any 1997) també disminueix, però no de forma significativa. Spaner *et al.* (2005) també reporten una disminució del valor de lectura SPAD amb l'augment de la dosi de sembra, disminució de caràcter lineal per a l'ordi i quadràtica per al blat.

Relació entre el valor de lectura SPAD i el rendiment de biomassa

A la Taula 3.12 es presenta la relació entre la lectura SPAD a inici de floració femenina i el rendiment relatiu de biomassa (RRB) a collita 1 (fi flor masculina). El rendiment normalitzat s'obté assignant 1 a la mitjana del rendiment per a 200 kg N ha⁻¹ i interessa per a poder fer la comparació pel conjunt dels anys, permetent una estratègia comuna d'interpretació (Schepers *et al.*, 1992; Sainz i Echeverría, 1998).

La regressió lineal entre valor de lectura SPAD a inici de floració femenina i rendiment relatiu de biomassa a Collita 1 és significatiu ($P < 0,01$), si bé presenta un ajust moderat ($R^2 = 0,43$ i $0,53$ per a l'any 1996 i 1997 respectivament) (Taula 3.12). Aquest ajust és clarament superior al que mostren SPAD a Collita 1 i rendiment relatiu de biomassa a Collita 1 ($R^2 = 0,24$ i $0,32$ per als anys 1996 i 1997 respectivament) (dades no presentades). En canvi, el millor ajust s'obté a Collita 2 (maduració gra), especialment entre valor de lectura SPAD a Collita 2 i RRB a Collita 2 ($R^2 = 0,7$, disponible només per a l'any 1997) (Figura 3.10).

Les relacions obtingudes són moderades o baixes, inferiors a les descrites per al blat (Peltonen *et al.*, 1995; López Bellido *et al.*, 2004b), blat de moro (Schepers *et al.*, 1992; Waskom *et al.*, 1996) i arròs (Peng *et al.*, 1993), entre altres cultius. L'evolució de la relació entre SPAD i rendiment també difereix de la descrita per al blat de moro (Blackmer i Schepers, 1995; Sainz i Echevarria, 1998) o bé per al blat (Gandrup *et al.*, 2004), per el quals l'ajust sol millorar en avançar el cicle. Però, diversos factors poden interferir el valor de lectura SPAD i modificar aquesta tendència més general. Ortuzar *et al.* (2005) reporten una millor relació entre lectura del Hydro N-Tester (Yara International) i rendiment de gra per a l'estadi 32 que per al 37 (Zadocks *et al.*, 1974) i conclouen que en les condicions edafoclimàtiques d'Alava el mesurador de clorofil·la no és gaire útil per a predir el rendiment de gra del blat en secà.

Taula 3.12. Relació entre el valor de lectura SPAD a inici de floració femenina i el rendiment relatiu de biomassa a collita per als anys 1996 i 1997.

Collita ‡	Any	Equació de regressió (RRB = A+B*SPAD)			Significació	Valor lectura SPAD a IFF† per a 95% Rmax §
		-- A --	-- B --	-- R ² --		
Collita 1 (fi flor masculina)	1996	-0,07	0,024	0,43	**	42,5
	1997	-0,43	0,033	0,53	**	41,8
Collita 2 (maduració gra)	1996	-	-	-	-	-
	1997	-0,36	0,030	0,46	**	43,7

† IFF = Inici flor femenina, estadi 2301 (Mediavilla *et al.*, 1998a). Mesurat a 30/6 i 5/7 per l'any 1996 i 1997, respectivament.

‡ Estadis 20302-2304 (fi flor mascle) a Collita 1 i 2306-2307 (gra madur) a Collita 2 (Mediavilla *et al.*, 1998a). Dates collita a Taula 3.3.

§ Rmax = rendiment màxim. R²; coeficient de determinació

**, * Significatiu per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament.

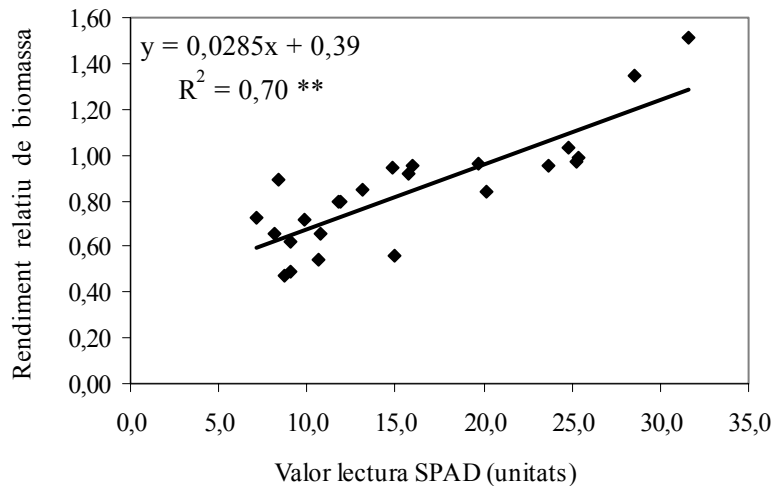


Figura 3.10. Relació entre el valor de lectura SPAD abans de Collita 2 (maduració del gra) i rendiment relatiu de biomassa a Collita 2 per a l'any 1997 (cv. Futura 77). Relació significativa per a $P < 0,01$.

En les condicions de l'assaig, és probable que l'estrès hídric hagi jugat un paper destacat en les baixes relacions obtingudes. Però també cal tenir present que en el cànem no s'ha estudiat la fulla o fulles més adients per mesurar el SPAD, la qual és més difícil d'estandaritzar que en blat (fulla bandera) o bé blat de moro (fulla on es troba l'espiga), degut al número variable de folíols, o sí és nus oposat o altern, o bé a la pèrdua de fulles. En conjunt, es fa palesa la necessitat d'estudiar acuradament si es possible millorar les relacions obtingudes determinant quina fulla és la més adequada per a realitzar la lectura SPAD en cada estadi.

D'altra banda, un element que pot afectar és la dosi de sembra. Si la regressió entre SPAD a inici de floració femenina i el rendiment relatiu de biomassa a Collita 1 es fa tenint en compte la dosi de sembra, observem que l'ajust per a 60 kg llavor ha^{-1} és clarament superior ($R^2=0,6$) al obtingut per a 30 i 120 kg llavor ha^{-1} (0,35 i 0,41, respectivament) (Figura 3.11). A densitats de cultiu altes o baixes la variabilitat morfològica augmenta (van der Werf *et al.*, 1995a), suggerint que pot afectar l'homogeneïtat del valor de lectura SPAD.

Evidentment, avaluar l'estatus N a Collita (1 o 2) no permet prendre mesures correctores. Però, el major ajust obtingut entre SPAD abans de collita 2 i RRB a Collita 2 (Figura 3.10) suggereix ser un test adequat per a valorar l'estatus N i predir el rendiment de biomassa. En blat de moro (ensitjat o gra) Piekielek *et al.* (1995) i Fox *et al.* (2001) conclouen que un test al final del cicle és útil, ja que l'ajust és superior al d'estadis precoços i permet valorar si el subministrament de N ha estat correcte o no. És a dir, si les recomanacions d'adob N fetes a partir de la lectura SPAD en estadis anteriors han estat acurades, el que ajudaria a quantificar de forma més precisa les recomanacions d'adob N per als següents anys.

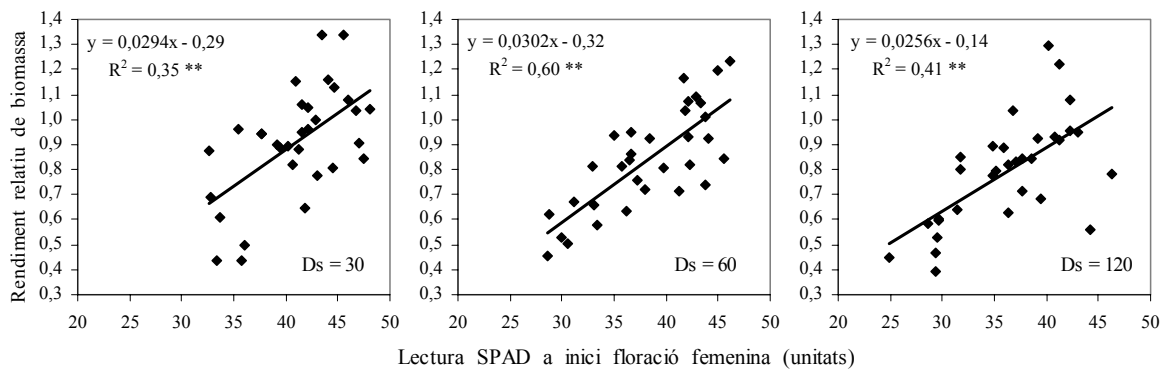


Figura 3.11. Efecte de la dosi de sembra (Ds; kg llavor ha⁻¹) sobre la relació entre el valor de lectura SPAD a inici de floració femenina i rendiment relatiu de biomassa a Collita 1 (fi floració masculina) per als anys 1996 i 1997 (cv Futura 77). ** Significatiu per $P < 0,01$.

En conjunt, els valors obtinguts per la relació SPAD a inici de floració femenina i el RRB a Collita 1 són moderats, comparats amb els obtinguts per a altres cultius, però es situen en un rang que seria suficient per donar una indicació als agricultors de la deficiència de N i la pèrdua de rendiment que donaria (Piekielek *et al.*, 1995). En canvi, en les condicions de l'assaig, l'ús del mesurador de clorofil·la abans de Collita 1 no seria útil per a avaluar l'estatus N del cultiu, degut a la feble relació SPAD a Collita 1 i RRB a Collita 1.

Avaluació de la suficiència nitrogenada en cànem

La suficiència nitrogenada s'ha avaluat mitjançant l'anàlisi gràfic modificat de Cate-Nelson (Cate i Nelson, 1965) per a la lectura SPAD realitzada a inici de floració femenina, estadi en el que la relació amb el rendiment de biomassa a Collita 1 presentava un ajust acceptable i encara seria possible corregir una deficiència en N, cas de detectar-se al realitzar el test en aquest estadi.

Com a nivell crític horitzontal (rendiment relatiu a Collita 1) s'ha pres 0,95 (Sainz i Echeverria, 1998). És el valor que correspon a la mitjana de la dosi de N òptima econòmicament calculada amb el procediment SAS-NLIN. El nivell vertical crític que permet maximitzar el número de punts en el quadrant inferior esquerra i superior dret, objectiu de l'anàlisi gràfic de Cate-Nelson, és un SPAD relatiu de 0,99. Amb aquests nivells crítics, un 18,7% dels 96 punts de dades són "outlier", dels quals un 8,3% en el quadrant inferior dret i un 10,4% en el quadrant superior esquerra (Figura 3.12). La majoria d'"outliers" corresponen a l'any 1996 (14 punts, per 5 de l'any 1997), any en què la relació entre SPAD i rendiment relatiu de biomassa era més baixa (Taula 3.12). A nivell d'agricultor l'ajust podria millorar, ja que a l'utilitzar la mateixa dosi de sembra les plantes serien més homogènies.

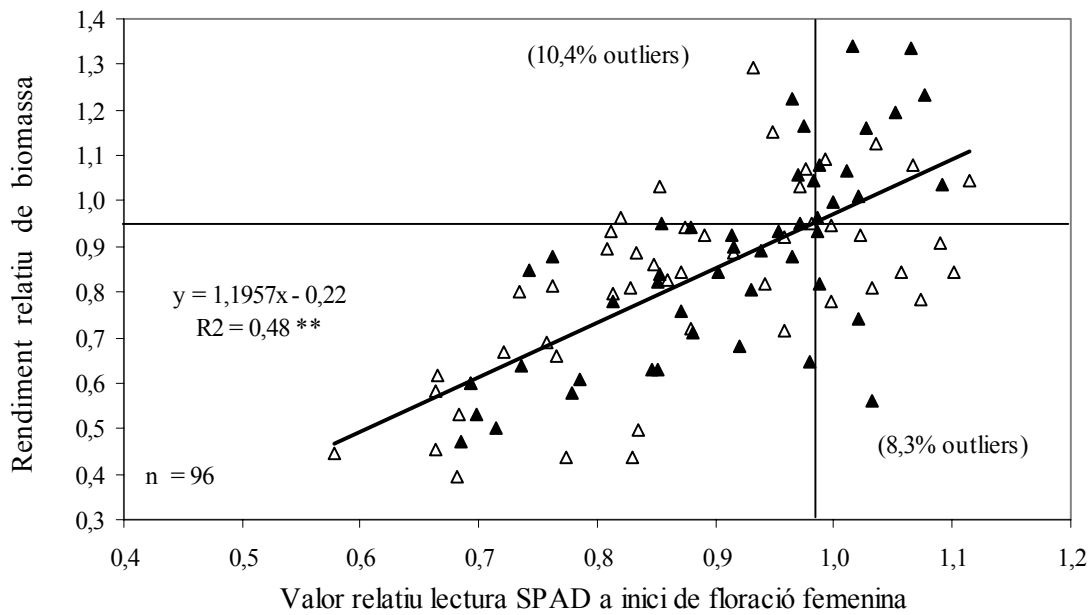


Figura 3.12. Gràfic modificat de Cate-Nelson relacionant l'SPAD relatiu a inici de floració femenina i el rendiment relatiu de biomassa a Collita 1 (inici flor femenina) (cv Futura 77). Símbol buit i ple indiquen anys 1996 i 1997, respectivament (la relació és per als dos anys en conjunt). ** Significatiu per $P < 0,01$.

Si es consideren altres nivells crítics de rendiment relatiu a Collita 1 o bé d'SPAD relatiu a inici de floració femenina, el número d'outliers augmenta i majoritàriament es situen el quadrant inferior dret (dades no presentades). Perquè el test sigui acceptable per als agricultors, s'ha de minimitzar el número de punts situats en el quadrant inferior dret i, preferiblement, han de ser inferiors al número de punts situats en el quadrant superior esquerra (Piekielek *et al.*, 1995). Aquests són punts per als que el test ha subestimat l'estatus N i el rendiment, és a dir tenen un rendiment superior al predit. En canvi, per als punts situats en el quadrant inferior dret l'estatus N i el rendiment s'ha sobreestimat: la lectura SPAD indica un nivell suficient de N, quan el rendiment assolit indica una deficiència.

El nivell crític d'SPAD relatiu obtingut (suficiència N per a lectures SPAD superiors a 0,99 en relació a la d'una banda de referència ben fertilitzada) és proper al 0,97-0,98 que reporten Sainz i Echeverria (1998) per al blat de moro a la Pampa Argentina. En canvi, és superior al 0,91 que reporten Fox *et al.* (2001), o bé al 0,95 que reporten Blackmer i Schepers (1995), Waskom *et al.* (1996), i Francis i Piekielek (1999) per al blat de moro. Aquest resultat pot derivar d'un comportament diferencial del cànem a l'àrea on s'ha situat l'assaig, o bé pot deure's a haver utilitzat una dosi de nitrogen de referència (200 kg N ha^{-1}) no suficientment alta, tal com suggeríem més amunt a l'observar que no assolíem una lectura SPAD constant.

L'anàlisi gràfic Cate-Nelson s'ha fet utilitzant l'SPAD relatiu perquè en l'anàlisi conjunt per als dos anys hauria de permetre esmorteir l'efecte de factors específics del lloc i any sobre el contingut de clorofil·la (Schepers *et al.*, 1992; Blackmer i Schepers, 1995). No obstant, si l'anàlisi es fa prenent la lectura SPAD en comptes de l'SPAD relatiu, la relació amb el rendiment de biomassa presenta un ajust similar (dades no presentades). A més, molts agricultors no estan disposats a establir bandes de referència sobrefertilitzades, de manera que també pot ser útil conèixer el valor de lectura SPAD crític que marca la suficiència en N.

El valor de lectura SPAD a inici de floració femenina de referència (valor necessari per assolir el 0,95 del RRB) serien 42 unitats SPAD per a Collita 1 (42,5 i 41,8 per a l'any 1996 i 1997, respectivament) i 43,7 per a Collita 2 (Taula 3.12). El valor crític per a la mesura presa abans de Collita 2 i el rendiment de biomassa a Collita 2 seria 20 unitats SPAD. Aquests valors són inferiors a les 52 unitats SPAD reportades per al blat de moro per Piekielek *et al.* (1995) i Fox *et al.* (2001), però es situen en el rang de 42-48 unitats que Peltonen *et al.* (1995) i Spaner *et al.* (2005) reporten com a òptimes per al blat.

3.1.6. Índex d'àrea foliar (LAI) i radiació fotosintètica activa (PAR) interceptada

Índex d'àrea foliar (LAI)

La mitjana de LAI va ser 3,1 i 0,7 m² m⁻² a Collita 1 (fi flor masculina) i a Collita 2 (maduració gra), respectivament. L'any no va influir significativament el LAI (Taula 3.13), si bé el LAI màxim es va obtenir l'any 1997 a collita 1 (3,9 m² m⁻²).

Els valors obtinguts són clarament inferiors als de van der Werf *et al.* (1994a, 1995a i 1995b) a Holanda, amb un LAI de 4 a 6 m² m⁻² a floració i entre 1,5 i 3,0 m² m⁻² a maduració del gra (corresponents a collites 1 i 2, respectivament) o bé als de Lisson i Mendham (1998) a Austràlia en secà (377 mm de pluja durant el cicle de cultiu del cànem) (4 m² m⁻² a floració). El major estrès hídric en les condicions del present assaig hauria donat lloc a una major pèrdua de fulles, a més de la reducció de la mida de la fulla que provoca l'estrès hídric en el cànem, ja que el número de nusos no es veu afectat (Lisson i Mendham, 1998).

El LAI va incrementar de forma lineal significativa amb la **dosi de nitrogen** per al conjunt dels anys a ambdues collites. No obstant, a Collita 2 **Any x dosi de nitrogen** és significatiu, pel major pendent que presenta la resposta a la dosi de nitrogen l'any 1995, mentre que a l'any 1997 el LAI fins i tot disminueix lleugerament amb la dosi de nitrogen. Probablement es relaciona amb el major estrès hídric a Collita 2 l'any 1997 (Taula 3.2), fet que dona lloc a una major pèrdua de fulles a mida que augmenta la dosi de nitrogen (Figura 3.5).

La **dosi de sembra** va afectar significativament el LAI només a Collita 1, on augmenta segons una tendència lineal significativa per als dos anys en conjunt. No obstant, **any x dosi de sembra** és significatiu a Collita 1, pel diferent pendent que presenta la resposta a la dosi de sembra l'any 1995 (el LAI no varia significativament) i l'any 1997, on el LAI augmenta de forma lineal significativa amb la dosi de sembra.

En general, la resposta del LAI a la dosi de nitrogen és més marcada que la de la dosi de sembra, comportament que està d'acord amb els que obtenen van der Werf *et al.* (1995a i 1995b).

Taula 3.13. Índex d'àrea foliar (LAI) i radiació fotosintètica activa (PAR) interceptada per la coberta vegetal en funció de la dosi de nitrogen (kg N ha⁻¹) i la dosi de sembra (kg llavor ha⁻¹) (cv. Futura 77).

Tractaments i estadística	Collita 1 (fi flor masculina)†					Collita 2 (maduració gra)†			
	LAI		PAR interceptat			LAI		PAR interceptat	
	1995	1997	1995	1996	1997	1995	1997	1995	1997
	— m ² m ⁻² —		— % —			— m ² m ⁻² —		— % —	
Nitrogen (N)									
0	3,07	1,63	90,4	74,2	75,1	0,61	0,69	68,2	37,1
50	3,19	2,74	91,2	91,7	87,7	0,83	0,42	71,1	48,3
100	3,32	3,09	93,0	93,9	94,7	1,02	0,30	69,9	58,6
200	3,47	3,97	91,6	97,1	96,0	1,38	0,35	71,4	66,8
Significació	NS	*	NS	**	**	**	NS	NS	**
Lineal	NS	**	NS	**	**	**	NS	NS	**
Quadràtic	NS	NS	NS	**	*	NS	NS	NS	NS
Dosi sembra (DS)									
30	3,33	2,14	91,9	87,0	88,3	1,05	0,40	62,4	43,3
60	3,20	3,05	90,5	88,8	87,8	1,09	0,42	69,5	53,5
120	3,25	3,38	92,4	91,8	89,0	0,74	0,49	78,6	61,4
Significació	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	**	**
Lineal	NS	**	NS	*	NS	NS	NS	**	**
Quadràtic	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N x DS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ANOVA per al conjunt dels anys									
Any (A)	NS		NS			NS		NS	
Error a	-		-			-		-	
Nitrogen (N)	**		**			*		**	
Lineal	**		**			**		**	
Quadràtic	NS		**			NS		NS	
A x N	NS		**			**		**	
Error b	-		-			-		-	
D. sembra (DS)	*		NS			NS		**	
Lineal	*		NS			NS		**	
Quadràtic	NS		NS			NS		NS	
A x DS	*		NS			NS		NS	
N x DS	NS		NS			NS		NS	
A x N x DS	NS		NS			NS		NS	
Error c	-		-			-		-	

† Per a les dates de collita, veure Taula 3.3. **, * Significatiu per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS, no significatiu.

Proporció de radiació fotosintètica activa interceptada (PAR)

La mitjana de PAR interceptat va ser 90% i 61% a Collita 1 i a Collita 2, respectivament. L'any no va influir significativament (Taula 3.13), si bé l'any 1995 va presentar valors més elevats que l'any 1997, especialment a Collita 2 (70% i 53%, respectivament).

El PAR interceptat va augmentar amb la **dosi de nitrogen**, segons una tendència lineal i quadràtica significativa a Collita 1, i lineal a Collita 2. **Any x dosi de nitrogen** va ser significatiu a ambdues collites perquè el pendent de la resposta al nitrogen va ser inferior a l'any 1995, probablement degut a un major contingut de N-NO₃⁻ en el sòl. Malauradament, no disposem del contingut de N-NO₃⁻ en el sòl previ a la sembra, o bé de lectura SPAD per a l'any 1995 que ens permeti corroborar el major contingut de clorofil·la en fulla.

Els resultats obtinguts estan d'acord amb els de van der Werf (1995b), els quals també troben un augment del PAR interceptat amb la dosi de nitrogen. En el present estudi, l'increment de PAR interceptat es deuria més a l'augment del valor de lectura SPAD que a l'increment del LAI (Taula 3.11 i Taula 3.13, respectivament).

A Collita 1 el PAR interceptat no va variar significativament amb la **dosi de sembra**, mentre que a Collita 2 va augmentar segons una tendència lineal significativa. Aquests resultats estan d'acord amb els d'Amaducci *et al.* (2002a) i de van der Werf (1997) a floració (no diferències degudes a la densitat de cultiu) i amb els de van der Werf (1997) al final del cicle (increment del PAR interceptat amb la densitat de cultiu).

Segons van der Werf (1997) el retard en la data de floració a mida que augmenta la densitat de cultiu (Amaducci *et al.*, 2002a) explicaria, aparentment, l'increment de la llum interceptada pel cobert vegetal al final del cicle a densitats de cultiu altes. En el present treball no s'ha controlat la dinàmica de floració, però l'evolució del número de nusos, que tendeixen a disminuir a dosis de sembra alta (Figura 3.14) i el lleu augment de les plantes sense iniciar la floració a Collita 1 (Taula 3.16) apunten en aquesta direcció.

En general, els valors de PAR interceptat obtinguts són inferiors al de Meijer *et al.* (1995) i van der Werf *et al.* (1995a i 1995b) a Holanda, especialment al final del cicle. Aquests autors, en condicions de cultiu no estressat, obtenen una intercepció de la llum gairebé completa (per a un LAI de 4) més enllà del final de floració, que es manté al voltant del 90% al final del cicle. No obstant, al nord d'Itàlia Amaducci *et al.* (2002a) reporten un màxim d'intercepció de la llum del 95%, valor que en el present estudi només s'obté a Collita 1 per a la dosi de nitrogen més elevada (200 kg N ha⁻¹) (Taula 3.13).

La menor intercepció de la llum en les condicions assajades es podria deure a un LAI inferior, que difícilment passa de 3 a Collita 1 (Taula 3.13), però probablement també a una menor eficiència en la intercepció de PAR pel cobert vegetal: per un LAI de 2 Meijer *et al.* (1995) reporten una intercepció de PAR del 90%, quan en les condicions de l'assaig a Collita 1 és del 84% (dades no presentades).

No obstant, els valors de PAR a Collita 1 són alts, el que suggereix un bon funcionament del cultiu. A Collita 2 l'any 1995 manté valors de LAI i PAR relativament elevats, possibles per l'elevada pluviometria durant l'agost d'aquest any (Taula 3.2), permetent una bona activitat fins el final del cicle i ajuden a explicar l'increment de biomassa entre collites d'aquest any (Taula 3.6). En canvi, a l'any 1997, més sec, el LAI i el PAR són més reduïts a Collita 2.

En conjunt, a més del LAI, altres factors deuen intervenir en la menor intercepció de PAR al final del cicle en les condicions de l'assaig, donada la baixa correlació entre LAI, SPAD o bé LAI x SPAD amb el PAR interceptat (Taula 3.14), tot i que malauradament només es disposa de dades parcials per a aquests paràmetres (veure apartat 2.3.2). Caldria quantificar com evolucionen al llarg del cicle la caiguda de fulles i la mida i la forma de fulla (flàccides o tancades), aspectes transcendents donat el caràcter planòfil del cobert vegetal del cànem (van der Werf, 1996), i com afecten el PAR interceptat. Especialment, caldria determinar l'efecte de l'estrès hídric i/o tèrmic sobre aquests paràmetres.

Taula 3.14. Correlació entre l'índex d'àrea foliar (LAI), el valor de lectura SPAD i LAI x SPAD amb la proporció de radiació fotosintètica activa (PAR) interceptada a collita (cv. Futura 77).

Collita †	Any	LAI		SPAD		LAI x SPAD ‡	
		R^2	Significació	R^2	Significació	R^2	Significació
Collita 1	1995	0,07	NS	-	-	-	-
	1996	-	-	0,19	**	-	-
	1997	0,23	**	0,47	**	0,29	**
Collita 2	1995	0,01	NS	-	-	-	-
	1997	0,06	NS	0,06	NS	0,01	NS

† Dates de collita a Taula 3.3. Estadis: fi flor mascle a Collita 1 (2302-2304); gra madur a Collita 2 (2306-2307) (Mediavilla *et al.*, 1998a)

‡ Indica el potencial d'intercepció del PAR (Serrano, com. personal).

** , * Significatiu per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS, no significatiu.

3.1.7. Morfologia de la planta, fenologia i expressió sexual

L'evolució de l'alçada durant el cicle de cultiu es presenta a la Taula 3.15. la longitud dels 10 primers entrenusos a la Figura 3.13, el número de nusos a la Figura 3.14 i la taxa d'aparició de nusos alterns a la Figura 3.15. El diàmetre de la tija a collita es presenta a la Figura 3.16. Finalment, l'expressió sexual de la planta es presenta a la Taula 3.16, i la morfologia segons el sexe a la Figura 3.17 i a la Taula 3.17.

Evolució de l'alçada del cultiu i alçada de la planta a collita

El rendiment de tija es correlaciona positivament amb l'alçada (Meijer i Keizer, 1994). L'alçada mitjana de la planta va ser 190 cm a Collita 1 (fi flor masculina) i 193 cm a Collita 2 (gra madur).

L'any va afectar significativament l'alçada de la planta a collita, essent superior per a l'any 1995, amb 210, 169 i 190 cm de mitjana a Collita 1 per a l'any 1995, 1996 i 1997, respectivament. A Collita 2, respecte Collita 1, l'alçada es manté a l'any 1995 (210 cm), mentre que baixa a l'any 1997 (176 cm), anàlogament amb el que succeïa amb la biomassa (Taula 3.6). Les òptimes condicions climàtiques de l'any 1995 van permetre al cultiu mantenir-se fisiològicament actiu, mentre que a l'any 1997 és probable que la pèrdua de plantes mascles (més altes; Figura 3.17) donés lloc a què la mitjana de l'alçada disminuís.

Aquestes dades són inferiors als 250-300 cm de Gauca *et al.* (1990) a Romania, van der Werf *et al.* (1995a i 1995b) a Holanda, Mediavilla *et al.* (1998b) a Suïssa, i Amaducci *et al.* (2002a) a Itàlia, i Lloveras *et al.* (2006) a Lleida en regadiu.

Després de naixença, l'any 1996 va tenir una alçada de cultiu superior als altres anys, però a partir de 450 °Cdia (20 dies de naixença) el creixement es va alentir i al final del cicle l'alçada va acabar sent inferior a la dels altres anys (Taula 3.15 i Figura 3.13). Aquest comportament es deuria a la major densitat de cultiu de l'any 1996 (Taula 3.5). En l'últim control abans de collita, l'alçada va ser superior a la de collita perquè correspon a l'alçada del cultiu (mitjana 3 punts), és a dir bàsicament mascles (més alts, Figura 3.17). En canvi, a collita es tracte de l'alçada de la planta (mitjana 10 plantes) (veure apartat 2.3.2).

D'altra banda, l'evolució de l'alçada del cultiu (Taula 3.15) permet deduir que el creixement a >1300 °Cdia (15 a 20 de juliol a tots els anys) va ser limitat. Aquest comportament difereix d'Amaducci *et al.* (2002a) a Itàlia i Struik *et al.* (2000) a Holanda per Futura 77 (augmenta fins als 2000 °Cdia), suggerint que la fase vegetativa en el present estudi va ser més curta, ja que el cànem para de créixer a partir de floració (Meijer i Keizer, 1994).

Taula 3.15. Evolució de l'alçada del cultiu i anàlisi de la variància per al número de nusos totals (cv. Futura 77). Graus - dia (GD) en °Cdia (base 1°C).

Font de variació	Data GD	1995								1996						1997							
		3-6	11-6	17-6	25-6	2-7	20-7	7-8†	14-9‡	6-6	15-6	29-6	6-7	21-7	5-8†	23-5	31-5	14-6	22-6	5-7	19-7	4-8†	13-9‡
		421	547	632	778	907	1290	1726	2488	429	600	849	987	1280	1610	346	486	741	896	1100	1368	1734	2535
Nitrogen (N) (kg N ha ⁻¹)		Alçada (cm)																					
0		33	61	94	152	184	240	201	203	34	68	109	124	141	127	11	23	72	95	118	146	147	136
50		32	62	95	160	193	243	213	211	46	90	141	159	186	165	11	22	85	112	144	189	186	168
100		32	61	93	156	194	244	210	216	44	91	147	172	206	186	10	21	81	113	156	217	204	189
200		32	58	94	157	191	244	215	212	38	87	147	172	221	198	9	20	75	108	158	229	223	212
Significació		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	**	**	**	**	NS	NS	NS	*	**	**	**	**
Lineal		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	**	**	**	NS	NS	NS	NS	**	**	**	**
Quadràtic		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	**	**	**	**	NS	NS	NS	*	*	**	NS	NS
Dosi sembra (DS) (kg ha ⁻¹)																							
30		26	52	86	155	196	251	225	220	38	89	149	173	209	186	9	21	81	112	155	211	205	194
60		32	63	96	159	192	244	214	212	41	84	134	156	188	165	10	22	78	106	143	195	196	177
120		38	67	99	155	183	233	191	199	42	78	124	141	168	155	11	22	75	102	134	180	169	158
Significació		**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	NS	*	**	**	**	**	**
Lineal		**	**	**	NS	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	NS	**	**	**	**	**	**
Quadràtic		NS	*	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	**	*	NS	NS	NS	*	*	NS	NS	NS
N x DS		NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
		Anàlisi de la variància per al número de nusos totals																					
Nitrogen (N)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	NS
Lineal		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	NS
Quadràtic		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Dosi sembra (DS)		*	NS	NS	*	NS	NS	*	NS	**	**	*	NS	**	**	NS	**	NS	NS	*	**	**	**
Lineal		*	NS	NS	*	NS	NS	*	*	**	**	**	NS	**	**	NS	**	NS	NS	*	**	**	**
Quadràtic		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
N x DS		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS

† Collita 1 (fi flor masculina); ‡ Collita 2 (maduració gra) (a collita és l'alçada de la planta, veure apartat 2.3.2); **, * Indica significació per a P < 0,01 i 0,05, respectivament. NS, no significatiu.

A 40 dies de naixença l'alçada mitjana era 134 cm, que correspon a una taxa de creixement de 3,2 mm dia⁻¹. Hendrischke *et al.* (1998) a Alemanya troben un creixement similar (3,3 mm dia⁻¹). El màxim creixement diari es va donar a l'any 1995 amb 7,8 mm dia⁻¹ (550 mm setmana⁻¹), entre 17 i 25 de juny, mentre que els anys 1996 i 1997 va ser d'uns 4,5 mm dia⁻¹.

Aquests creixements tant importants es donen relativament aviat, entre 20 i 35 dies de naixença, i expliquen perquè el cànem no requereix herbicides (Miquel, 1976; FNPC, 1995; Gorchs i Lloveras, 2003). En el present assaig, sense aplicació d'herbicida, el cultiu va estar pràcticament exempt de males herbes tots els anys, fins i tot a la dosi de sembra més baixa.

L'efecte de l'**adobat nitrogenat** sobre l'alçada va dependre de l'any. A l'any 1995 l'alçada no va variar significativament amb la dosi de nitrogen, probablement degut a un major nivell de nitrogen nítric residual en el sòl a inici de cicle (no controlat). A l'any 1996 l'alçada va augmentar amb el N a tots els controls, de forma lineal significativa en els dos primers, i quadràtica en els següents. A l'any 1997 va variar significativament a partir del tercer control (741 °Cdia), bàsicament segons una tendència lineal. L'alçada mitjana a Collita 1 (fi flor mascle) va ser 158, 188, 200 i 212 cm, per 0, 50, 100 i 200 kg N ha⁻¹ respectivament (valors similars als de Collita 2). Gauca *et al.*, (1990), van der Werf *et al.* (1995b), Venturi i Amaducci (1997) i Mediavilla *et al.* (1998b) descriuen un comportament similar.

La **densitat de cultiu** va afectar l'alçada en dos sentits, de forma consistent a tots els anys. Després de naixença l'alçada de cultiu va augmentar significativament amb la dosi de sembra, quan al final del cicle l'alçada va disminuir amb la dosi de sembra, bàsicament segons una tendència lineal significativa (quadràtica a l'any 1996 després 2n control). El punt on la tendència reverteix (l'alçada passa a disminuir amb la dosi sembra) es pot deduir a la Taula 3.15: a uns 700 °Cdia a l'any 1995 (155 cm per 30 i 120 kg llavor ha⁻¹, significativament inferior als 159 cm de 60 kg llavor⁻¹); a uns 450 i 500 °Cdia a l'any 1996 i 1997, respectivament. A Collita 1, la mitjana d'alçada per als tres anys d'assaig va ser 205, 192 i 172 cm, per 30, 60 i 120 kg N ha⁻¹ respectivament (valors similars a Collita 2).

L'explicació fisiològica de la major alçada en la primera fase del cicle, a l'augmentar la densitat de cultiu, és que la competència per la llum és més intensa. A densitats de cultius altes les plantes s'ombregen abans (Amaducci *et al.*, 2002a) i l'elongació dels entrenusos de la tija es veu afavorida per la reduïda relació roig – infraroig (Ballaré *et al.*, 1997).

En general, el comportament de l'alçada respecte la dosi de sembra està d'acord amb el que reporten Gauca *et al.* (1990), van der Werf *et al.* (1995a), Amaducci *et al.* (2002a), entre altres. Werf *et al.* (1995a) indiquen que el que limita l'alçada de la planta és la màxima esveltesa possible: la planta no pot superar una alçada límit per sobre de la qual no tindria suficient estabilitat mecànica, perquè el diàmetre de la tija disminueix a densitats altes.

El que no coincideix és el punt on es dona el canvi de tendència. A l'any 1995 es dona més tard que a Itàlia (600 °Cdia; Amaducci *et al.*, 2002a), i a l'any 1996 i 1997 es dona abans. Probablement es relaciona amb el creixement inicial: a l'any 1995 la diferència d'alçada entre dosis de sembra a 5-7 nusos (15 cm) és superior als 8 mm de mitjana d'Amaducci *et al.* (2002a), mentre que a l'any 1996 és inferior (<4 cm) i el canvi de tendència es dona abans.

Longitud entrenus

La longitud dels entrenusos tendeix a augmentar a l'evolucionar el cicle (Figura 3.13). No obstant, la longitud màxima per als 10-11 primers entrenusos es va donar a l'any 1995 en el segon control, amb 19 cm i 5 nusos de mitjana. Això difereix d'Amaducci *et al.* (2002a), tant pel que fa al valor (fins a 25-30 cm a 3 nusos) com per la tendència, ja que troben que la longitud dels entrenusos disminueix de forma constant a partir dels 4-5 nusos. En el present treball es té un comportament més erràtic, especialment a partir de la formació dels nusos alterns, si bé els entrenusos alterns tendeixen a ser més curts (dades no presentades).

La longitud dels entrenusos no es va veure afectada per la **dosi de N** a l'any 1995 i en els tres primers controls de l'any 1997. En canvi, a l'any 1996 i a prop d'onze nusos a l'any 1997, la longitud dels entrenusos va augmentar significativament amb la dosi de nitrogen. Els primers 10 entrenusos representen, de mitjana per als tres anys d'assaig, el 75, 73, 70 i 65 % de l'alçada de la planta a Collita 1 per a 0, 50, 100 i 200 kg N ha⁻¹, respectivament.

L'efecte de la **dosi de sembra** és més consistent que el del nitrogen. Fins els 4-5 primers nusos la longitud dels entrenusos augmenta significativament amb la dosi de sembra, mentre que després passa a disminuir significativament. Els 10 primers entrenusos són el 68, 70, i 74% de l'alçada de la planta a Collita 1, mentre que els 4 primers representa el 27, 31, i 34% del l'alçada a 9 nusos, per a 30, 60, i 120 kg llavor ha⁻¹ respectivament.

No hi ha estudis sòlids que relacionin la longitud dels entrenusos de la tija amb la longitud de la fibra, però Amaducci *et al.* (2002a), a partir del treball de Meijer i Keizer (1994) sobre la longitud de la fibra del cilindre central, suggereixen que la longitud de la fibra de la fibra cortical tendeix a incrementar a l'augmentar la longitud dels entrenusos. D'altra banda, la proporció de l'alçada dels primers nusos respecte l'alçada final és transcendent perquè l'últim terç de la tija gairebé no compte per a la producció de fibra (Mediavilla *et al.* 2001), ja que té una proporció de fibra cortical més baixa (van der Werf *et al.* 1994b).

Per tant, dosis de sembra altes serien doblement favorables: la contribució dels primers entrenusos a l'alçada de la tija és més important, donant lloc a un augment de la proporció de fibra cortical a la tija, alhora que la fibra tindria més qualitat, al ser més llarga.

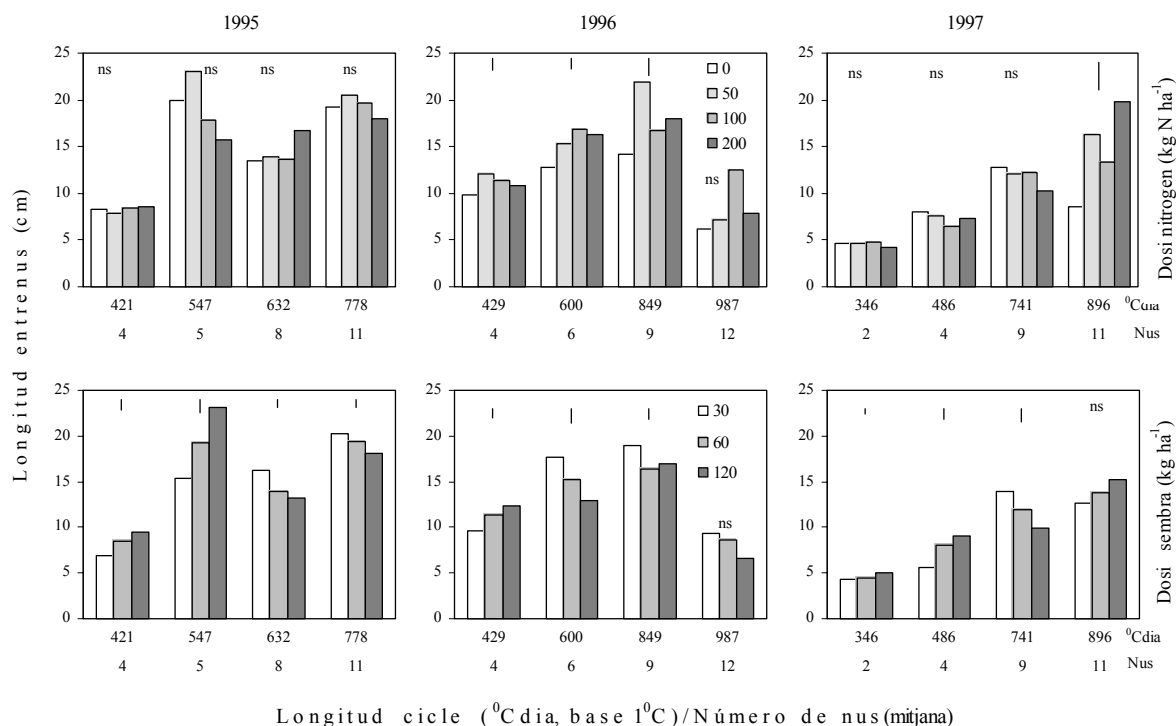


Figura 3.13. Evolució de la longitud dels 11-12 primers entrenusos en funció de la dosi de nitrogen (kg N ha^{-1}) i la dosi de sembra (kg ha^{-1}) per a tres anys d'assaig. Les barres verticals indiquen LSD ($P < 0,05$) entre nivells per cada moment de control, NS si és no significatiu.

Número de nusos oposats i totals

Nusos oposats

El número de nus en què es dona el canvi de filotaxis d'oposada a alterna va ser el número 11, de mitjana per als tres anys d'assaig. A l'any 1996 el canvi de filotaxis es va donar abans, en el número 10 de mitjana. Aquests resultats són lleugerament superiors als d'Amaducci *et al.* (2002a) a Itàlia, on el canvi de filotaxis es dona en el nus 9-10 segons l'any. El canvi de filotaxis és important en cànem perquè habitualment acompanya la transició cap a la floració (van der Werf *et al.*, 1994a).

El número final de nusos oposats no es va veure afectat significativament ni per l'any, ni per la dosi de nitrogen ni per la dosi de sembra, tal com es desprèn de l'anàlisi de la variància (no presentat per any). No obstant, en certs moments de l'evolució del número de nusos oposats, la dosi de nitrogen i la dosi de sembra van afectar significativament.

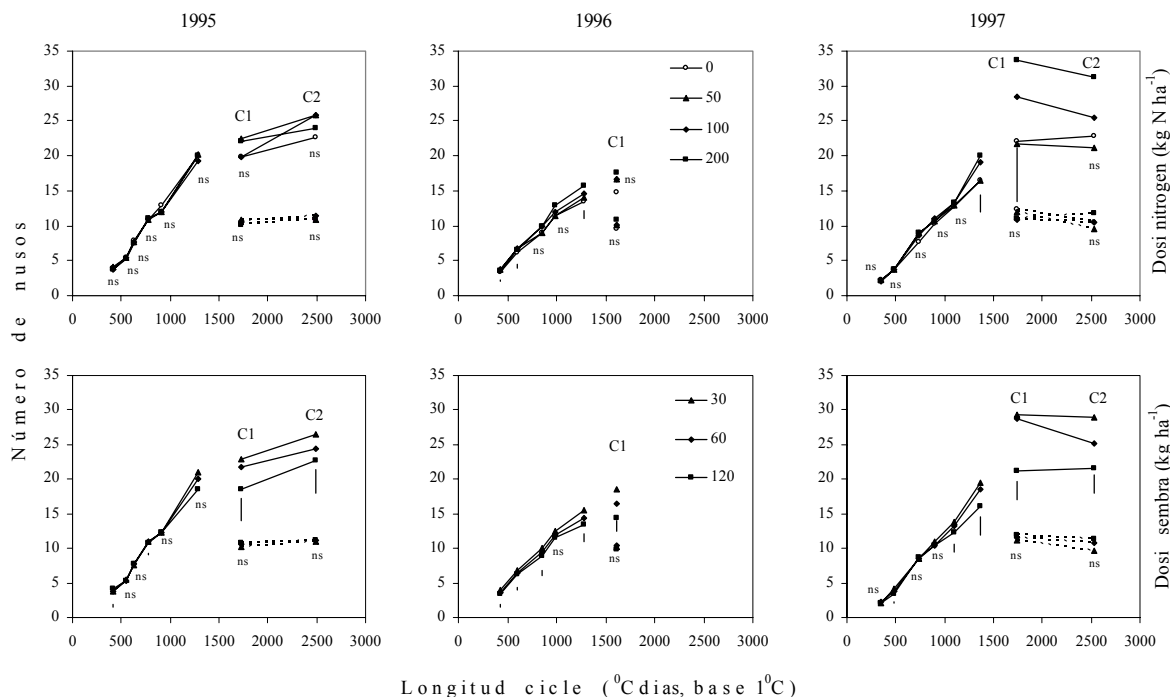


Figura 3.14. Evolució del número de nusos totals durant el cicle de cultiu (—) i número de nusos oposats a collita (---) en funció de la dosi de nitrogen (kg N ha^{-1}) i la dosi de sembra (kg ha^{-1}) per als tres anys d'assaig (cv. Futura 77). C1 = Collita 1 (fi flor masculina). C2 = Collita 2 (maduració gra). Barres verticals indiquen LSD ($P < 0,05$) entre nivells per cada data de control, NS si és no significatiu.

El número de nusos oposats va tendir a incrementar amb la **dosi de N**, bàsicament amb els primers 50 kg N ha^{-1} , resposta que va ser clara l'any 1996 en els dos primers controls; els nusos oposats van augmentar amb la dosi de N segons una tendència quadràtica significativa (Taula 3.15 i Figura 3.14). Aquests resultats difereixen de van der Wef *et al.* (1995b) per a culti-vars dioiques (menys nusos oposats a més N), potser perquè aquests autors utilitzen més de 80 kg N ha^{-1} , donada la resposta de tipus quadràtic dels nusos oposats al N.

L'efecte de la **dosi de sembra** no va ser constant. Inicialment el número de nusos oposats va tendir a disminuir a l'augmentar la dosi de sembra, de forma significativa en els següents controls: 4rt a l'any 1995, tres primers de l'any 1996 i el segon de l'any 1997. En canvi, a l'any 1995 en 1r control els nusos oposats van augmentar significativament amb la dosi de sembra. A collita també van tendir a augmentar tots els anys (no significativament). Amaducci *et al.* (2002a) reporten resultats propers als obtinguts per cv. Futura 77; disminució inicial dels nusos oposats, mentre que el número final no es veu afectat. Van der Werf *et al.* (1995a) per a cv dioiques troben menys nusos oposats en cultius densos.

Nusos totals

En aquest apartat es comenten el nusos totals a partir del canvi de filotaxis. Abans del canvi, el número de nusos totals coincideix amb els oposats, ja comentats. Després, són els oposats més els alterns. Donat que el número final de nusos oposats no variava significativament en cap cas, les diferències detectades es deuen exclusivament al número de nusos alterns.

A Collita 1 (inici floració femenina), la mitjana per als tres anys d'assaig va ser 20 nusos totals. A l'any 1996 es van diferenciar significativament menys nusos totals i alterns, per tant, que en els altres anys. A Collita 1 hi va haver 21, 16 i 26 nusos totals de mitjana per als anys 1995, 1996 i 1997, dels quals 10, 6 i 15 eren alterns, respectivament. El menor número de nusos de l'any 1996 seria conseqüència, en part, de la major densitat de cultiu d'aquest any (Taula 3.5) (van der Werf *et al.*, 1995a). Més endavant veurem que la densitat afecta negativament el número de nusos totals.

A Collita 2 (maduració del gra), la mitjana de nusos totals va ser 25 a ambdós anys, és a dir 11 oposats i 14 alterns. L'any 1995, els nusos totals van augmentar fins el final del cicle, mentre que l'any 1997 a partir de Collita 1 no van augmentar. A l'any 1995 la biomassa també augmentava (Taula 3.6) indicant, en conjunt, que el cultiu va mantenir-se més actiu fins el final del cicle que l'any 1997, probablement per la major precipitació entre collites de l'any 1995, que va permetre mantenir un LAI a Collita 2 superior (Taula 3.13).

El número de nusos totals va tendir a augmentar amb la **dosi de nitrogen**, si bé de forma significativa només ho va fer l'any 1996 en el control del 21 de juliol (tendència quadràtica), i l'any 1997 en els del 19 de juliol i a Collita 1 (4 d'agost) (tendència lineal). Van der Werf *et al.* (1995b) troben que la dosi de nitrogen no afecta el nusos alterns, si bé a mig agost van der Werf *et al.* (1995b) només tenen 3 nusos alterns, quan en el present estudi n'hi ha 10.

El número de nusos total, a partir dels 10-11 nusos parells, va tendir a disminuir amb **la dosi de sembra**, de forma consistent tots els anys, però més marcadament cap el final del cicle, presentant una tendència lineal significativa tant a Collita 1 com a Collita 2 a tots els anys. L'any 1997 és quan la disminució dels nusos totals amb la dosi de sembra va ser significativa abans, a partir de 1100 °Cdia (13 nusos). A Collita 1, la mitjana per als tres anys d'assaig va ser 24, 22 i 18 nusos totals per a 30, 60 i 120 kg llavor ha⁻¹, respectivament. Aquests resultats estan d'acord amb els de van der Werf *et al.* (1995a) i els d'Amaducci *et al.* (2002a). Però Amaducci *et al.* (2002a) troben un número de nusos totals superior al que s'ha obtingut en el present treball, per a una integral tèrmica similar (25 a 40 nusos a 2150 °Cdia, primer d'agost). La diferència de nusos totals entre densitats de cultiu també és més àmplia.

Taxa d'emissió de nusos

La taxa d'aparició de nusos va ser $0,0146 \text{ nusos } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$, de mitjana per als tres anys d'assaig i per al conjunt de nusos. És a dir, 1 nus cada 4,7 dies de mitjana. La taxa d'emissió de nusos varia al llarg del cicle. No té una tendència definida, però els valors màxims es donen a partir del 9è nus. Els valors extrems van ser $0,0175 \text{ nusos } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ l'any 1995 (17 a 25 juny) i $0,0130 \text{ nusos } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ l'any 1996 (6 de juny). Aquests resultats difereixen dels d'Amaducci *et al.* (2002a), respecte al valor màxim ($0,02 \text{ nusos } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ fins el 6è nus) i la tendència (la taxa d'emissió de nusos disminueix després del 6è nus). Van der Werf *et al.* (1995d) troben valors similars als obtinguts en el present estudi ($0,0149 \text{ nusos } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ per 100 kg N ha^{-1}), però necessiten més dies per nus (6,6 dies per nus oposat) perquè tenen temperatures diàries inferiors.

La **dosi de N** i la **dosi de sembra** van afectar la taxa d'emissió de nusos. La dosi de nitrogen va afectar a partir de la formació de nusos alterns, amb $0,0139$, $0,0142$, $0,0148$, $0,0158 \text{ nusos alterns } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ per a 0 , 50 , 100 i 200 kg N ha^{-1} , respectivament (Figura 3.15). Per als nusos oposats va ser $0,0145 \text{ } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ de mitjana (dades no presentades).

La dosi de sembra va afectar abans que el nitrogen, bàsicament a partir dels 7-8 nusos oposats. La taxa mitjana d'emissió per als nusos alterns va ser $0,0157$, $0,0150$ i $0,0134 \text{ nusos } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$, quan per als nusos oposats va ser $0,0149$, $0,0145$ i $0,0142 \text{ nusos } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ (dades no presentades), per a 30 , 60 i $120 \text{ kg llavor ha}^{-1}$ respectivament.

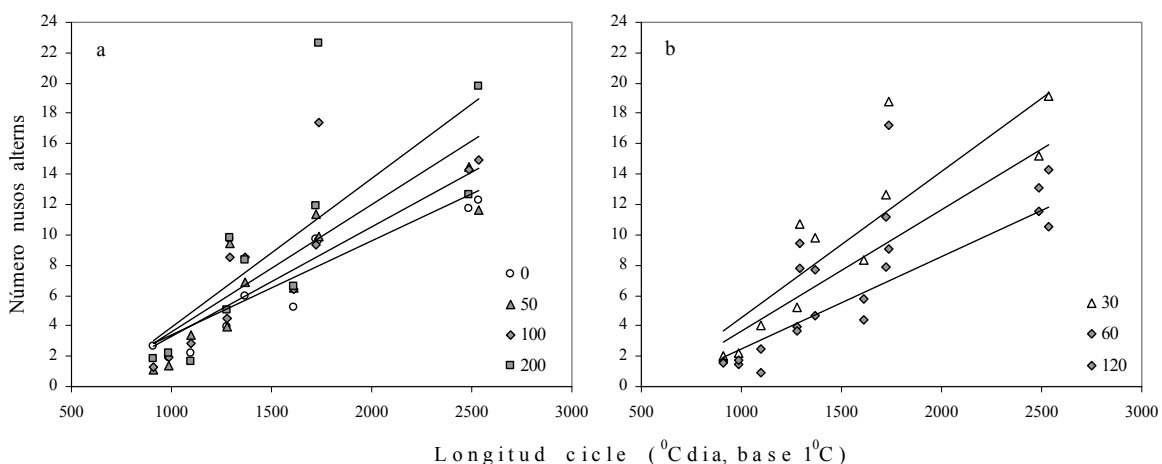


Figura 3.15. Taxa mitjana d'aparició dels nusos alterns segons l'adobat nitrogenat (a) (kg N ha^{-1}) i la dosi de sembra (b) (kg ha^{-1}), calculat per als tres anys d'assaig. El pendent de les línies ajustades a les dades es reporta en el text.

Diàmetre de la tija a collita

La mitjana del diàmetre a la base de la tija a Collita 1 i Collita 2 va ser 7,2 i 7,4 mm respectivament, i el diàmetre a l'inici d'inflorescència va ser 2,6 i 2,5 mm, respectivament (Figura 3.16). El diàmetre de la tija a la base i a inici d'inflorescència responen de forma similar a l'adobat N i a la dosi de sembra. Per tant, només es comenten els resultats del primer. Cap de les **interaccions** entre any, nitrogen i dosi sembra van ser significatives.

L'any va influir significativament el diàmetre de la base de la tija. A Collita 1, va ser inferior l'any 1996 (8,1, 6,1 i 7,3 mm l'any 1995, 1996 i 1997, respectivament), mentre que a Collita 2 va ser inferior l'any 1997 (8,1 i 6,6 mm l'any 1995 i 1997). De fet, els resultats de l'any 1996 van estar molt condicionats per la major densitat de cultiu d'aquest any (Taula 3.5), donant lloc a que tant l'alçada com el diàmetre de la tija i el número de nusos fossin inferiors al dels altres anys. Els valors d'aquest assaig són similars als d'Amaducci *et al.* (2002a) al nord d'Itàlia i Mediavilla *et al.* (1998b) a Suïssa, per a densitats de cultiu similars.

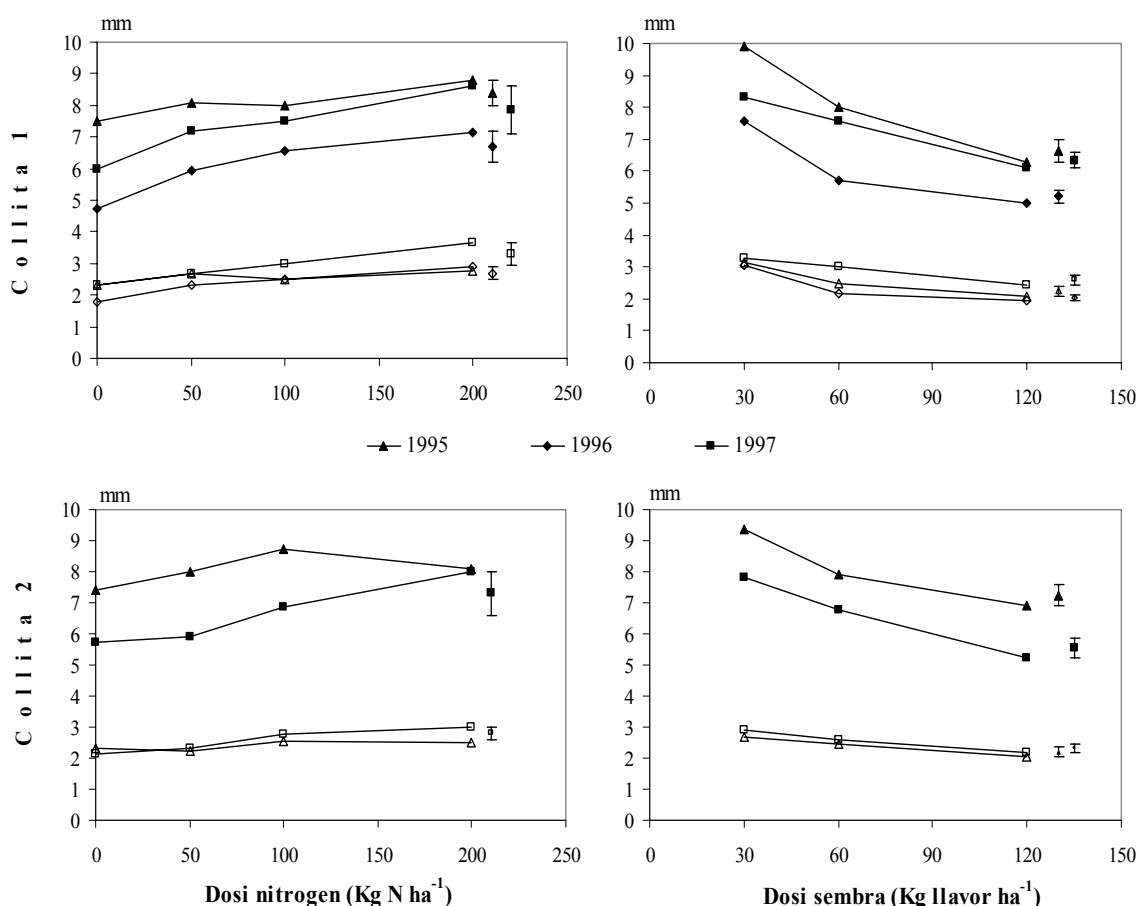


Figura 3.16. Diàmetre de la tija (mm) a la base (punt fosc) i a inici de la inflorescència (punt clar) a Collita 1 (fi flor masculina) i a Collita 2 (maduració del gra), en funció de la dosi de nitrogen (kg N ha^{-1}) i la dosi de sembra (kg ha^{-1}) (cv. Futura 77). Cada punt és la mitjana de 60 plantes per al N, i de 80 per a la dosi de sembra. | = LSD ($P < 0,05$) entre nivells per a cada paràmetre i any.

El diàmetre a la base de la tija va augmentar amb la **dosi de N**, segons una tendència lineal significativa a ambdues collites. Únicament l'any 1995 a Collita 2 l'augment del diàmetre no va ser significatiu. Aquests resultats estan d'acord amb els que reporten autors com van der Werf *et al.* (1995b), Venturi i Amaducci, (1997), i Mediavilla *et al.* (1998b).

L'augment del diàmetre de la tija amb el nitrogen comporta una conseqüència no desitjada, la disminució de la relació fibra cortical/tija (Ranalli, 1999) i l'augment de la fibra secundària (van der Werf *et al.*, 1994b). Es tracte d'una acció indirecte del N (van der Werf *et al.*, 1995b). En un cultiu sotmès a autoaclerida les plantes s'eliminen selectivament, suprimint-se les més dèbils, amb menor diàmetre i relació fibra cortical/tija més favorable, i la mitjana del diàmetre de les plantes que queden augmenta (Rivoira i Marras, 1976). En el present estudi, la dosi de nitrogen incrementava l'autoaclerida (Figura 3.3).

El diàmetre a la base de la tija va disminuir amb la **dosi de sembra**, segons una tendència lineal significativa a ambdues collites a tots els anys, i quadràtica a Collita 1 els anys 1995 i 1996. A aquests anys la densitat de cultiu a naixença, i l'autoaclerida posterior, va ser més elevada a l'augmentar la dosi de sembra. Aquests resultats estan d'acord amb els de van der Werf *et al.*, 1995a, Struik *et al.*, 2000, Lisson i Mendham, 2000, i Amaducci *et al.*, 2002a).

Expressió sexual

La mitjana de la proporció de plantes mascle va ser 16% a Collita 1 (fi floració masculina), amb valors que van del 9% de l'any 1995 al 22% de l'any 1996 (Taula 3.16). A Collita 2 (maduració del gra) la proporció de mascles va ser lleugerament inferior (12% de mitjana). Els diferents tipus d'inflorescències es poden observar a la Figura 3.21.

La mitjana de plantes femella, monoica i sense flor per a l'any 1995 a Collita 1 va ser 28, 58 i 5% respectivament (Taula 3.16). En el cas de les femelles, aquest valor coincideix amb el de l'any 1998 (Figura 3.28), mentre que el de plantes monoiques és superior al 37% de l'any 1998. L'any 1995 va ser l'únic any en què es va observar un número apreciable de plantes que a collita no havien iniciat la floració (dades no presentades per als altres anys).

Any, dosi de nitrogen i dosi de sembra no van afectar significativament l'expressió sexual en cap cas. És possible que la mostra resultés massa limitada (5 plantes per parcel·la), ja que la variabilitat és alta (Taula 3.16). Únicament la proporció de plantes femella i monoica presenten una tendència mínimament clara, si bé no és estadísticament significativa: les femelles augmenten amb la dosi de sembra i, viceversa, les monoiques disminueixen. Aquesta tendència està d'acord amb els resultats de l'any 1998 (apartat 3.2.3), però en aquest cas hi havia significació estadística (Figura 3.28). Kwon-Byung *et al.* (1996) en culti-vars dioiques també reporten que la proporció de femelles augmenta amb la dosi de sembra.

A la pràctica, produir llavor comercial de culti-vars monoiques sense plantes mascle i femella veritables és tècnicament impossible, sempre hi ha una deriva cap a la dioècia (Bocsa, 1999). Fins i tot, les culti-vars que són poblacions ‘híbrides’ (plantes monoica i femella) (Bocsa, 1999) contenen mascles, quan teòricament no n’hi haurien d’haver, tal com reporten van der Werf *et al.* (1994a) per Fedrina 74 a Holanda i Höppner i Menge-Hartmann (1995) per Felina 34 a Alemanya (5 i 8% de mascles, respectivament). Els resultats obtinguts es situen entre el 15-30% de plantes mascle que Meijer (1995) dona com habitual en llavor comercial de culti-vars monoiques.

D’una banda, no està clara la forma en què habitat i genètica intervenen en l’expressió sexual de les formes monoiques i intersexuals (se’n distingeixen fins a 12 tipus, segons proporció de flors mascle i femella) (Bocsa, 1999). D’acord amb Freeman *et al.* (1980), en espècies dioiques, l’estrès afavoreix la presència de plantes mascle (necessiten menys energia). L’estrès no explica la major presència de mascles de l’any 1996, doncs va ser més humit i suau que l’any 1995 i 1997, però sí que explicaria l’alta proporció de mascles de l’any 1998 (35%; veure més endavant, apartat 3.2.3), any que va ser molt sec i càlid (Taula 3.2).

Una altra qüestió és distingir l’efecte que l’ambient i les pràctiques culturals han tingut en l’expressió sexual, aspectes poc estudiats per a culti-vars monoiques. En culti-vars dioiques, dosis de N elevades augmenten la proporció de plantes no florides (van der Werf *et al.*, 1995b) i de plantes femella (van der Werf i Berg, 1995). En culti-vars monoiques es podria esperar que la relació plantes femella més monoica augmentessin respecte a plantes mascle. Aquest seria el cas de l’any 1995, on la menor proporció de plantes mascle podria deure’s a un contingut de N nítric en el sòl més elevat que en els altres anys (Taula 3.20). També explicaria la major presència de plantes sense iniciar la floració (Taula 3.16).

Taula 3.16. Expressió sexual (%) segons la dosi de nitrogen i la dosi de sembra aplicada al cànem (cv. Futura 77) (desviació típica entre parèntesis)

Tractaments	C o l l i t a 1 (fi floració masculina)					C o l l i t a 2 §		
	1995				1996	1997	1995	1997
	No flor †	Femella	Monoica	Mascle	Mascle ‡	Mascle ‡	Mascle	Mascle
Nitrogen (kg N ha ⁻¹)								
0	0,0	38 (20)	53 (18)	8 (10)	15 (21)	20 (14)	10 (14)	17 (11)
50	5 (9)	25 (28)	60 (28)	10 (14)	22 (20)	13 (13)	4 (9)	15 (8)
100	5 (9)	18 (13)	65 (15)	12 (13)	23 (17)	18 (23)	5 (9)	17 (14)
200	10 (16)	32 (26)	52 (25)	7 (10)	27 (26)	20 (22)	16 (15)	12 (13)
Dosi sembra (kg ha ⁻¹)								
30	5 (12)	16 (18)	68 (23)	11 (12)	16 (22)	19 (19)	11 (15)	16 (21)
60	4 (10)	30 (23)	59 (21)	8 (10)	29 (20)	25 (21)	9 (13)	18 (18)
120	6 (9)	38 (24)	46 (17)	9 (13)	20 (19)	10 (13)	6 (10)	12 (11)
Mida mostra (n)	12	68	137	22	52	43	21	36

† Plantes sense haver iniciat la floració. ‡ L’any 1996 i 1997 es determinen les plantes mascle i conjunt de femelles més monoiques (100 menys % mascles). Estadística: any significatiu per a plantes mascle a ambdues collites ($P < 0,05$); altres paràmetres no significatiu.

§ Maduració del gra. Per a les dates de collita veure Taula 3.3.

L'augment de la proporció de plantes femella amb la **dosi de sembra**, refermaria el suggeriment fet per van der Werf i Berg (1995), segons els quals l'estrès ambiental generalment redueix la taxa de creixement, les plantes són més homogènies i es retarda l'inici de la supressió de plantes per competència (autoaclerida), afavorint una major presència de femelles: s'evita l'eliminació selectiva de femelles pel fet de ser més baixes. A l'any 1995 a Collita 1, per 30 kg llavor ha⁻¹ les plantes femella van ser uns 30 cm més baixes que les mascle, mentre que per 120 kg llavor ha⁻¹ les plantes femella van ser lleugerament més altes (Taula 3.17). La homogeneïtat també tendeix a augmentar amb la dosi de sembra (desviació típica baixa).

Característiques morfològiques segons l'expressió sexual de la planta

Les característiques morfològiques també varien significativament amb l'expressió sexual de la planta (Figura 3.17), a més a més de variar amb les pràctiques culturals, com s'ha vist abans. En general, les plantes mascle són més altes. De forma significativa ho van ser a l'any 1995 respecte a les plantes no florides (61 cm), i als anys 1996 i 1997 respecte a les plantes femella més monoica (30 i 40 cm, respectivament). És normal que les plantes mascle siguin més altes, és el que passa en culti-vars dioiques (Font i Quer, 1961; van der Werf et Berg, 1995; Bocsa i Karus, 1998; Clarke, 1999).

L'expressió sexual de la planta no sembla modificar l'efecte de les pràctiques culturals sobre l'alçada (Taula 3.17). No obstant, a l'augmentar **la dosi de sembra** la diferència d'alçada entre plantes segons l'expressió sexual es va reduir tots els anys. Per exemple, la diferència d'alçada entre mascle i femella més monoica va ser 38, 34, i 26 cm a l'any 1996, i 38, 46, i 19 cm a l'any 1997, per a 30, 60 i 120 kg llavor ha⁻¹ respectivament. En canvi, no es va observar una tendència definida per la dosi de N, efecte que sí veurem per a l'any 1998 (Figura 3.28).

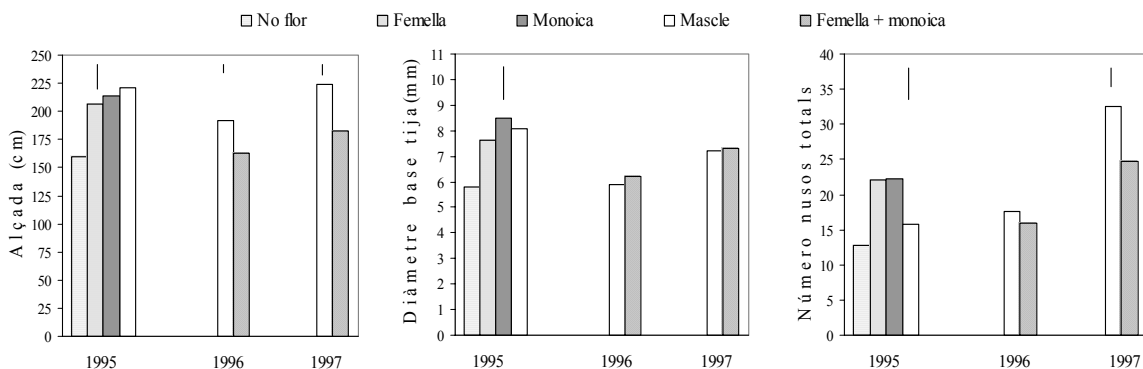


Figura 3.17. Alçada, diàmetre de la tija a la base i número de nusos totals a Collita 1 (fi flor masculina) en funció de l'expressió sexual (cv. Futura 77). Barres verticals indiquen LSD ($P < 0,05$) entre formes sexuals per a cada any (mida de la mostra a Taula 3.16).

El diàmetre a la base de la tija va variar significativament amb l'expressió sexual l'any 1995, en què les plantes no florides (5,8 mm) van tenir un diàmetre inferior a les plantes femella (7,6 mm), mascle (8,1) i monoica (8,5 mm). Els anys 1996 i 1997 les plantes mascle van tendir a tenir un diàmetre menor a la mitjana de femelles més monoiques, però no de forma significativa. Les pràctiques culturals no van modificar l'efecte que de l'expressió sexual en el diàmetre de la tija (dades no presentades). En culti-vars dioiques, les plantes femella solen tenir una tija més gruixuda que les mascle (Bosa i Karus, 1998), paper que en el present estudi fan les plantes monoiques.

En conjunt, aquest resultat permeten suggerir que l'efecte positiu de la dosi de sembra sobre la proporció de femelles a collita es deuria a la dinàmica amb la que el cultiu s'autoaclareix: a dosis de sembra altes no es suprimien tantes plantes femella perquè l'alçada i diàmetre de la tija és més proper al de les plantes monoica, el que evita la supressió selectiva de femelles.

Finalment, el número de nusos alterns i totals a Collita 1 va variar significativament amb l'expressió sexual de la planta els anys 1995 i 1997. L'any 1995 les plantes no florides (12,7) van tenir significativament menys nusos que les mascle (15,8), i aquestes menys que les femella (22,0) i que les monoica (22,3). És a dir, l'alçada no depèn només del número de nusos sinó de la longitud dels entrenusos: les mascle són les més altes, tenint pocs nusos, mentre que les femelles tendeixen a ser més baixes, amb gairebé el major número de nusos.

Que les femelles tinguin una alçada i diàmetre més proper al de les plantes no florides, suggeriria que les no florides són majoritàriament femelles (aspecte no controlat). És el que descriuen en culti-vars dioiques van der Werf i Berg (1995). En situacions d'autoaclarida les plantes eliminades són les més dèbils i baixes, per tant es pot inferir que els factors que incrementen l'autoaclarida donen lloc a una menor presència de femelles.

Taula 3.17. Alçada en funció de l'expressió sexual de la planta i segons la dosi de nitrogen i la dosi de sembra, a Collita 1 (fi flor masculina) per a tres anys (cv. Futura 77) (desviació típica entre parèntesis).

Tractaments	1995				1996		1997	
	No flor †	Femella	Monoica	Mascle	Fm + Mn ‡	Mascle	Fm + Mn‡	Mascle
Nitrogen (kg N ha ⁻¹)								
0	-	196 (34)	200 (44)	229 (53)	123 (30)	153 (24)	139 (29)	178 (26)
50	148 (16)	208 (49)	213 (52)	258 (40)	158 (27)	190 (26)	182 (30)	210 (33)
100	163 (25)	200 (45)	221 (33)	189 (28)	180 (30)	205 (23)	196 (31)	241 (35)
200	164 (36)	221 (33)	222 (37)	213 (45)	195 (35)	205 (31)	213 (42)	263 (31)
Dosi sembra (kg N ha ⁻¹)								
30	144 (16)	222 (43)	226 (45)	252 (45)	180 (40)	218 (28)	198 (40)	236 (42)
60	182 (45)	210 (38)	219 (37)	208 (31)	155 (40)	189 (24)	184 (44)	230 (44)
120	160 (18)	197 (38)	189 (36)	193 (40)	150 (37)	176 (34)	167 (39)	186 (36)
Mida mostra (n)	12	68	137	22	188	52	197	43

† Plantes sense haver iniciat la floració. ‡ L'any 1996 i 1997 es determinen les plantes mascle i conjunt de femelles més monoiques (Fm + Mn). Estadística: nitrogen, dosi sembra i sexe significatiu ($P < 0,05$) a tots els casos, excepte nitrogen a l'any 1995

3.1.8. Producció i qualitat de la fibra

La tija de cànem es separa en dues parts, la fibra cortical i el cilindre central o canemuixa (Ranalli, 1999), alhora que determinar els components no fibrosos de la fibra cortical permet avaluar el rendiment en pasta per a paper que tindrà la fibra cortical, i discriminar la qualitat de diverses mostres (Meijer i van der Werf, 1994).

La proporció de fibra cortical a la tija i la proporció de components no fibrosos de la fibra cortical a la tija es presenten a la Taula 3.18. Per a aquests paràmetres, la interacció entre els factors de variació estudiats (any, N i dosi de sembra) no van ser significatives en cap cas.

El rendiment de fibra cortical, i de fibra de la fibra cortical, es presenten a la Figura 3.19. L'anàlisi de la variància per a aquests paràmetres es presenta a la Taula 3.19.

Proporció de fibra cortical a la tija

La mitjana de la proporció de fibra cortical a la tija per al conjunt dels anys va ser 34%, tant a Collita 1 (fi flor masculina) com a Collita 2 (maduració gra) (Taula 3.18). Es tracta d'un valor similar al de Mediavilla *et al.* (1999) per la mateixa cv Futura 77 (35%), i es situa en la banda alta dels que reporta Meijer (1994) per a una àmplia col·lecció de varietats. No obstant, és inferior al 35-39% de la culti-var dioica Kompolty (Bocsa i Karus, 1998; Lisson i Mendham, 2000), especialment seleccionada per un alt contingut en fibra (Meijer, 1995).

L'any va influir significativament la proporció de fibra cortical a la tija, amb valors inferiors per a l'any 1997 a ambdues collites. A Collita 1 proporció de fibra cortical a la tija va ser 35,3%, 34,5%, i 31,9% per als anys 1995, 1996 i 1997, respectivament. A Collita 2 va ser 36,0% i 32,0% per als anys 1995 i 1997 respectivament. D'acord amb van der Werf *et al.* (1996), la menor proporció de fibra cortical a la tija de l'any 1997 s'explicaria per la menor densitat de cultiu a naixença d'aquest any (Taula 3.5).

D'altra banda, es destaca que a Collita 2 la proporció de fibra cortical no va disminuir, fins i tot va augmentar lleugerament, respecte a Collita 1, quan s'accepta que la proporció de fibra cortical disminueix a l'avançar el cicle (van der Werf *et al.*, 1994b; Mediavilla *et al.*, 2001; Iványi i Izsáki, 2004), com a resultat de l'increment de pes i del diàmetre de la tija (van der Werf *et al.*, 1996). Però Mediavilla *et al.* (2001) també diuen que la formació de la fibra cortical és un procés complex, fortament relacionat amb la pauta de creixement. A l'any 1995 i 1997 observàvem que la densitat de cultiu era lleugerament superior a Collita 2, suggerint que aquesta va ser la causa que la proporció de fibra cortical a Collita 2 no baixés.

Taula 3.18. Proporció de fibra cortical a la tija i proporció d'elements no fibrosos de la fibra cortical a la tija (No fibra), a collita, segons la dosi de nitrogen (kg N ha⁻¹) i la dosi de sembra (kg ha⁻¹) aplicada al cànem (cv Futura 77).

Tractaments i estadística	Collita 1 (fi flor masculina)†						Collita 2 (maduració gra)†			
	Fibra cortical			No fibra			Fibra cortical		No fibra	
	1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1997	1995	1997
	%									
Nitrogen (N)										
0	36,5	37,2	33,2	6,2	8,8	6,7	37,2	32,3	11,2	10,4
50	34,6	34,3	30,8	6,1	8,3	6,1	35,9	32,1	11,0	10,4
100	34,4	34,1	31,0	6,4	7,5	6,2	35,8	32,6	11,1	9,9
200	35,8	32,5	32,4	7,2	8,2	7,0	35,0	31,2	10,0	10,1
Significació	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Lineal	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Quadràtic	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Dosi sembra(DS)										
30	32,4	32,1	29,4	5,9	7,6	6,0	33,3	31,7	9,9	10,0
60	35,5	33,8	32,1	6,9	8,2	6,7	36,4	31,4	11,1	9,9
120	38,0	37,6	34,1	6,7	8,7	6,8	38,2	33,1	11,5	10,7
Significació	**	**	**	NS	NS	NS	NS	NS	*	*
Lineal	**	**	**	NS	NS	NS	*	*	*	*
Quadràtic	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N x DS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ANOVA per al conjunt dels anys										
Any (A)		*			*			*		NS
Error a		-			-			-		-
Nitrogen (N)		*			NS			NS		NS
Lineal		*			NS			*		*
Quadràtic		**			NS			NS		NS
A x N		NS			NS			NS		NS
Error b		-			-			-		-
D. sembra (DS)		**			*			*		**
Lineal		**			*			**		**
Quadràtic		NS			NS			NS		NS
A x DS		NS			NS			NS		NS
N x DS		NS			NS			NS		NS
A x N x DS		NS			NS			NS		NS
Error c		-			-			-		-

† Per a les dates de collita, veure Taula 3.3. **, * Significatiu per a P <0,01 i 0,05, respectivament. NS, no significatiu.

La proporció de fibra cortical a la tija va tendir a disminuir amb la **dosi de N** tots els anys, si bé de forma significativa només ho va fer a Collita 1 per al conjunt dels anys, segons una tendència lineal i quadràtica significativa, i a l'any 1996 (tendència lineal). La proporció de fibra cortical va disminuir especialment amb els primers 50 kg N ha⁻¹, amb 35,6%, 33,2%, 33,2%, i 33,5% de mitjana a Collita 1 per a 0, 50, 100 i 200 kg N ha⁻¹. Aquests resultats estan d'acord amb els de van de Werf *et al.* (1995b) i Venturi i Amaducci (1997).

No obstant, es tractaria d'un efecte indirecte del nitrogen, degut a l'efecte selectiu que té sobre l'autoclarida, ja que s'eliminen les plantes més esveltes (van der Werf i Berg, 1995), de manera que les que queden tenen un diàmetre superior i, per tant, una proporció de fibra cortical inferior (van der Werf *et al.*, 1996).

La **dosi de sembra** va afectar la proporció de fibra cortical a la tija, la qual va augmentar seguint una tendència lineal significativa a ambdues collites. La mitjana a Collita 1 per als tres anys en conjunt va ser 31,3%, 33,8% i 36,6% per a 30, 60 i 120 kg llavor ha⁻¹.

L'efecte de la dosi de sembra sobre la proporció de fibra cortical és més marcat que el de la dosi de N. A Collita 1 la proporció de fibra cortical va augmentar un 5,3% entre 30 i 120 kg llavor ha⁻¹, mentre que va disminuir un 2,1% entre 0 i 200 kg N ha⁻¹. Aquests resultats estan d'acord amb els de van der Werf *et al.* (1995a i 1995b) i Struik *et al.* (2000), per als que el N afecta negativament i la dosi de sembra positivament la proporció de fibra cortical.

No obstant, els resultats obtinguts difereixen parcialment, ja que la resposta de la proporció de fibra cortical a la tija respecte la dosi de sembra és lineal, mentre que per als autors esmentats anteriorment és quadràtica. És a dir, el valor màxim de fibra cortical es va donar sempre amb la densitat de cultiu màxima, fins i tot per a unes 400 plantes m⁻² a naixença els anys 1995 i 1996 (Taula 3.5). En canvi, van der Werf *et al.* (1995a) troben que per a 270 plantes m⁻² a naixença la proporció de fibra cortical ja decreix, mentre que Lisson i Mendham (2000) a Austràlia en regadiu no troben que la dosi de sembra afecti la proporció de fibra cortical.

La menor autoaclarida en les condicions de l'assaig (Figura 3.3) respecte a la d'aquests autors seria responsable de la diferent resposta obtinguda, ja que la proporció de fibra cortical pot seguir millorant a dosis de sembra altes perquè arriben més plantes primes a collita. Això reforça el suggeriment que a l'àrea de l'assaig, per a la producció de fibra, podrien ser favorables densitats de cultiu superiors a les 100-125 plantes m⁻² considerades adequades per a altres àrees més humides d'Europa (van der Werf *et al.*, 1995a; Struik *et al.*, 2000; Amaducci *et al.*, 2002a) o d'Austràlia (Lisson i Mendham, 2000).

Proporció de components no fibrosos de la fibra cortical a la tija

La mitjana per al conjunt dels anys de la proporció de components no fibrosos de la fibra cortical a la tija va ser 7,1% a Collita 1 (fi flor masculina; tres anys) i 10,5% a Collita 2 (maduració del gra; 2 anys). Aquest valor està dins el rang 7-10% que troben Meijer i van der Werf (1994) en culti-vars dioiques.

El valor més alt a Collita 2 de la proporció de components no fibrosos de la fibra cortical a la tija difereix de van der Werf *et al.* (1994a i 1994b), per als quals es manté estable al final del cicle, o bé disminueix (Keller *et al.*, 2001), perquè: la cel·lulosa augmenta de forma continua amb el cicle de la planta a la fibra cortical; els continguts en àcid urònic i pentoses, components del ciment que uneix les fibres, baixen amb l'edat de planta; el contingut en lignina augmenta fins a final de floració i després decreix.

L'any va afectar la proporció de components no fibrosos de la fibra cortical a la tija a Collita 1, essent més alt per a l'any 1996 (8,2%) que per als anys 1995 i 1997 (5,2%), resultat que probablement es va deure a la major densitat de cultiu de l'any 1996 (Taula 3.5).

En conjunt, treient els components no fibrosos de la fibra cortical, la mitjana de la proporció de fibra de la fibra cortical a la tija va ser 26,8% i 23,5% a Collita 1 i Collita 2, respectivament. En general, són valors alts, a Collita 1 són similars als valors més alts (25-28%) que reporten Gauca *et al.* (1990), Meijer i Werf (1994) i Iványi i Izsáki (2004), mentre que a Collita 2 també es situen en la banda alta del 19-24% que Cromak (1998), Mediavilla *et al.* (1999) i Sankari (2000) reporten per la mateixa cv Futura 77 del present estudi.

La **dosi de nitrogen** no va afectar la proporció de components no fibrosos de la fibra cortical a la tija a collita. Aquest resultat està d'acord amb els de van der Werf *et al.* (1995b).

La **dosi de sembra** va afectar la proporció de components no fibrosos de la fibra cortical a la tija, la qual va augmentar segons una tendència lineal significativa per al conjunt dels anys a ambdues collites, i per a cada any individualment a Collita 2, però no a Collita 1. No obstant, va ser un increment moderat: 6,5%, 7,3%, i 7,4. % a Collita 1, i 10,0%, 10,5%, 11,1% a Collita 2, de mitjana per a 30, 60 i 120 kg ha⁻¹. Aquests resultats estan d'acord amb els de van der Werf *et al.* (1995a).

La proporció de components no fibrosos de la fibra cortical és l'únic paràmetre de qualitat que es veu afectat negativament per la dosi de sembra, ja que la proporció de tija a la biomassa (Figura 3.4) i de fibra cortical a la tija (Taula 3.18) es van veure afectats positivament.

Proporció de canemuixa residual a la fibra cortical (taxa de càrrega)

La separació mecànica de la tija en fibra cortical i canemuixa (o cilindre central) no aconsegueix obtenir una fibra cortical completament neta. Després de decorticar les tiges, la canemuixa residual a la fibra cortical es va treure manualment per poder calcular la proporció de fibra cortical a la tija, neta d'impureses (tal com s'ha detallat a l'apartat 2.3.2). La proporció de canemuixa residual a la fibra cortical també s'anomena taxa de càrrega (Brunet, 2000). L'índex de decorticat és l'invers de la taxa de càrrega, com més elevat és, més fàcilment s'extreu la fibra cortical (Mediavilla *et al.*, 1999).

La canemuixa residual a la fibra cortical va ser 7,8% a Collita 1 i 12,2% a Collita 2, de mitjana per al conjunt dels anys. Es tracta de valors similars als obtinguts amb l'equip utilitzat per van der Werf (un trencador de lli) (van der Werf, com. pers.), però són superiors al 4% de Hobson *et al.* (2001) amb un decorticator de lli a escala de laboratori. En canvi, la proporció de canemuixa residual a la fibra cortical obtinguda és inferior a la que s'obté en el procés industrial (15-30%) (Maeyer i Huisman, 1994; Ströml, 1997; Béherec, 2000; Gorchs i Lloveras, 2003). Per tant, l'aparell utilitzat, construït específicament per al decorticat de la tija, mostra un funcionament raonablement bo.

La major proporció de canemuixa residual a la fibra cortical a Collita 2 indica una major dificultat en separar la fibra cortical de la canemuixa al final del cicle (Figura 3.18). Aquest comportament contradia els resultats de Keller *et al.* (2001) amb *cv* Kompolti, per als que el decorticat de la tija és més fàcil a maduració del gra que a floració, si bé posteriorment, a senescència tornaria a resultar més difícil. La culti-var podria haver condicionat els resultats obtinguts, doncs Mediavilla *et al.* (1999) troben que Futura 77, la culti-var utilitzada en el present assaig, resulta més difícil de decorticar que Kompolti.

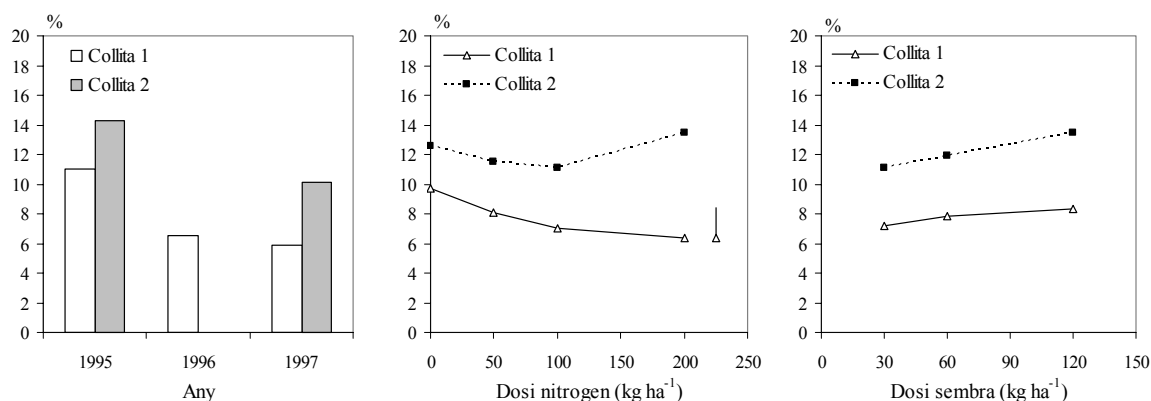


Figura 3.18. Proporción de canemuixa residual a la fibra cortical després del decorticat a collita, en funció de l'any, la dosi de nitrogen i la dosi de sembra (*cv.* Futura 77). Barres verticals indiquen LSD ($P < 0,05$). Estadística: nitrogen significatiu a Collita 1, resta de factors i interaccions no són significatius.

L'any no va afectar significativament la proporció de canemuixa residual a la fibra cortical (Figura 3.18), tot i que va ser més elevada a l'any 1995 que als anys 1996 i 1997, amb 11,0%, 6,5%, i 5,9% a Collita 1, respectivament. A Collita 2, va ser 14,3% i 10,1% per als anys 1995 i 1997, respectivament.

L'any 1995, a més de presentar valors més elevats, la resposta al nitrogen i a la dosi de sembra també difereix dels altres anys (veure més endavant). No obstant, les interaccions entre **any**, **nitrogen** i **dosi de sembra** no són significatives en cap cas (anàlisi no presentat).

La separació mecànica de la fibra cortical del cilindre central va millorar a l'augmentar l'**adob nitrogenat** (de forma significativa a collita 1) i va tendir a ser més difícil a l'augmentar la **dosi de sembra** (no significativament), tal com es desprèn de la proporció de canemuixa residual a la fibra cortical (Figura 3.18).

Aquests resultats estan d'acord amb Maeyer i Huisman (1994). És a dir, la separació de la fibra cortical resulta més fàcil a l'augmentar el diàmetre de la tija, el qual incrementava amb la dosi de N i disminuïa amb la dosi de sembra (Figura 3.16), inversament al que succeeix amb la canemuixa residual a la fibra cortical (Figura 3.18). Aquesta relació es pot veure interferida per la proporció de la tija corresponent a la inflorescència, on la proporció d'elements no fibrosos és superior a la resta de la tija i la separació mecànica resulta més difícil (Keller *et al.*, 2001). Aquest seria el cas de l'any 1995, en què les condicions climàtiques van afavorir el desenvolupament de la inflorescència, i presentava un comportament que s'aparta dels altres anys (la canemuixa residual tendeix a augmentar amb dosi de N; dades no presentades).

Taula 3.19. Anàlisi de la variància per al conjunt dels anys del rendiment de fibra cortical, de fibra de la fibra cortical i de la canemuixa a collita (cv. Futura 77).

Font de variació	Collita 1 (fi floració masculina) (anys 1995, 1996 i 1997)			Collita 2 (maduració del gra) (anys 1995 i 1997)		
	Fibra cortical	Fibra (de la FC)†	Canemuixa	Fibra cortical	Fibra (de la FC)	Canemuixa
	kg MS ha ⁻¹					
Any (A)	NS	NS	NS	*	*	NS
Error a	-	-	-	-	-	-
Nitrogen (N)	**	**	**	**	**	**
Lineal	**	**	**	**	**	**
Quadràtic	**	**	**	*	*	**
A x N	**	**	**	*	*	*
Error b	-	-	-	-	-	-
D. sembra (Ds)	*	*	**	NS	NS	**
Lineal	*	*	**	NS	NS	**
Quadràtic	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A x Ds	*	*	**	NS	NS	NS
N x Ds	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A x N x Ds	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Error c	-	-	-	-	-	-

† FC = Fibra cortical. **, * Indica significació per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS, no significatiu.

Rendiment de fibra cortical i de fibra (de la fibra cortical)

El rendiment de fibra cortical representa una part molt important del cultiu i interessa per a les utilitzacions en què aquesta és la matèria primera (p. ex. tèxtil, compòsits, aïllants, etc.). En canvi, a la indústria paperera li interessa més conèixer el rendiment de fibra (fibra cortical — components no fibrosos), ja que indica el rendiment en pasta per a paper que es tindrà. Aquests paràmetres es presenten a la Figura 3.19 i l'anàlisi de la variància a la Taula 3.19.

La mitjana del rendiment de fibra cortical va ser 2516 i 2316 kg ha⁻¹ a Collita 1 i Collita 2 respectivament. Es tracta de rendiments inferiors als: 3500-5800 kg ha⁻¹ de van der Werf *et al.* (1995a) a Holanda i Mediavilla *et al.* (2001) a Suïssa; 4500 kg ha⁻¹ de Lisson i Mendham a Austràlia; 5500-7600 kg ha⁻¹ de Di Bari *et al.* (2004) en regadiu al sud d'Itàlia. En canvi, són comparables als 1700-2900 kg ha⁻¹ de Lloveras *et al.* (2006) en el regadiu de Lleida.

El rendiment de fibra va ser 1993 kg ha⁻¹ a Collita 1 i 1603 kg ha⁻¹ a Collita 2, de mitjana per al conjunt dels anys. Lògicament, són rendiments inferiors als: 2800 kg ha⁻¹ de Gauca *et al.* (1990) a Romania; 2600-4000 kg ha⁻¹ de van der Werf *et al.* (1995a) a Holanda; 5000-6600 kg ha⁻¹ de Iványi i Izsáki (2004) a Hongria. En canvi, són superiors als de Ciobanu *et al.* (1980) a Romania (1500 kg ha⁻¹) i Sankari (2000) a Finlàndia (900 kg ha⁻¹).

L'any 1995 va presentar rendiments de fibra cortical i de fibra superiors als de l'any 1996 i 1997 (significativament només a Collita 2), el qual sorgeix del major rendiment de biomassa i de tija de l'any 1995 (Taula 3.6), però també hi va contribuir la major proporció de fibra cortical (Taula 3.18), degut a l'alta densitat de cultiu a naixença d'aquest any (Taula 3.5).

La **dosi de nitrogen** va afectar significativament el rendiment de fibra cortical i de fibra, els quals augmenten seguint una tendència lineal i quadràtica significativa a ambdues collites, degut a l'efecte positiu del N en el rendiment de biomassa, ja que la proporció de tija a la biomassa i de fibra cortical a la tija disminueix amb la dosi de N.

A Collita 1, el rendiment de fibra cortical i de fibra van augmentar significativament amb la **dosi de sembra**, segons una tendència lineal significativa. La interacció **Any x dosi sembra** va ser significativa perquè les respostes a la dosi de sembra es creuen: a l'any 1995 i 1996 augmenten, quan a l'any 1997 disminueix. L'any 1997 presentava una densitat de cultiu a naixença inferior (Taula 3.5), de manera que la proporció de tija a la biomassa i de fibra cortical a la tija (Taula 3.18) amb la dosi de sembra va millorar menys que en els altres anys, i no va poder revertir el menor rendiment de biomassa a dosis de sembra altes (Taula 3.6).

A Collita 2 la resposta a la dosi de sembra va ser similar a la de Collita 1, però les diferències no van ser significatives.

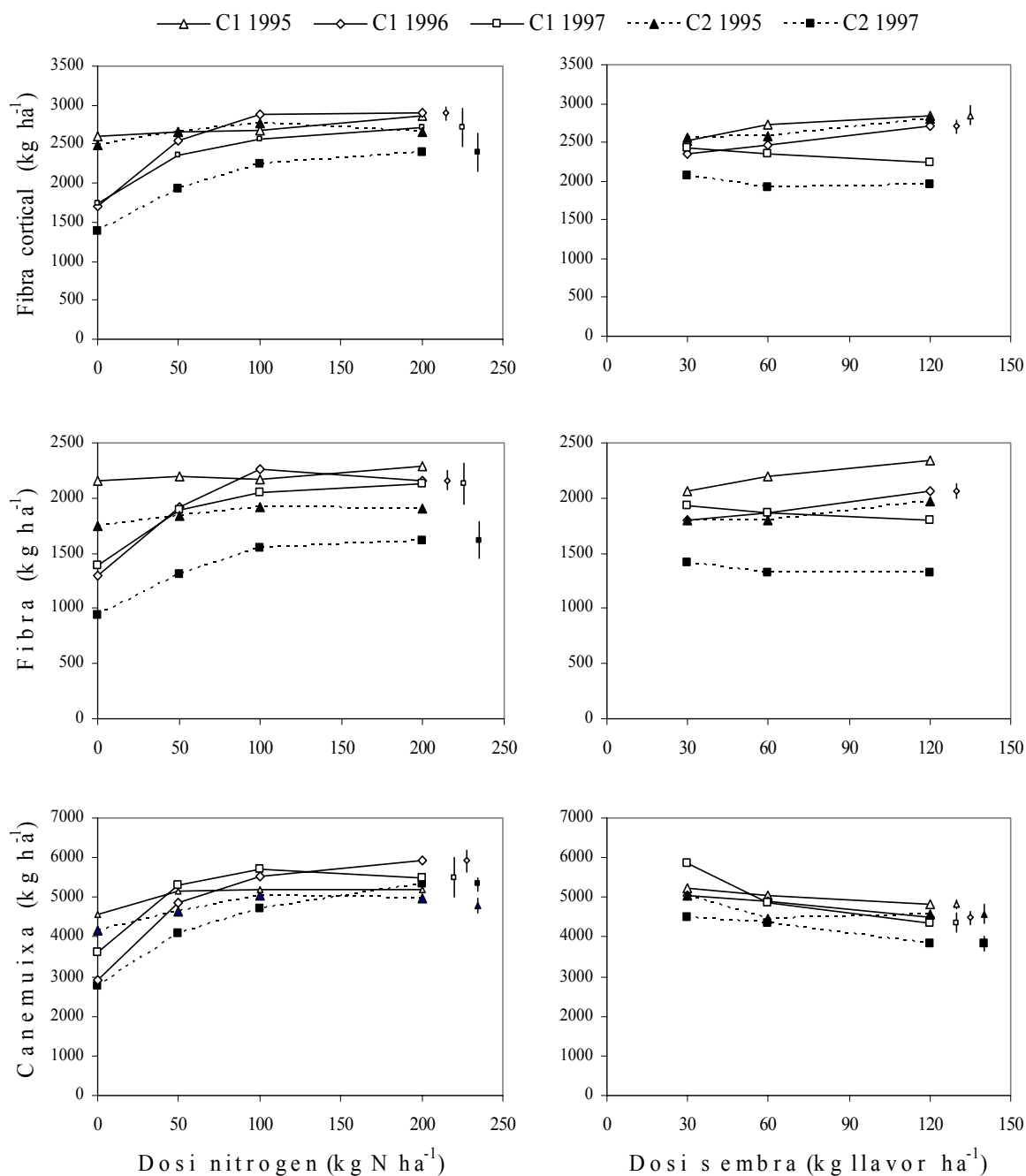


Figura 3.19. Rendiment de fibra cortical, de fibra (de la fibra cortical) i de canemuixa a collita en funció de l'any, la dosi de nitrogen i la dosi de sembra (cv. Futura 77). C1 = Collita 1 (fi flor masculina). C2 = Collita 2 (maduració del gra). Barres verticals indiquen LSD ($P < 0,05$) entre nivells per a cada any.

Els resultats obtinguts corroboren que la dosi de sembra a la que s'obté el màxim rendiment de biomassa és clarament inferior a la que dona un major rendiment i qualitat de fibra (van der Werf *et al.*, 1995a; Amaducci *et al.*, 2002a). Però, l'efecte de la dosi de sembra en les condicions de l'assaig ha estat superior al trobat per a altres àrees de la UE, perquè la menor autoclarida va permetre que l'increment de la proporció de tija i fibra cortical amb la

densitat de cultiu fos clarament superior. De manera que la millora d'aquests factors va compensar amb escreix la disminució del rendiment de biomassa amb la dosi de sembra. No obstant, l'increment del rendiment de fibra cortical amb la dosi de sembra va ser moderat, 160 i 68 kg ha⁻¹ a collita 1 i 2, respectivament, al passar de 30 a 120 kg llavor ha⁻¹.

Però, a Espanya, la indústria transformadora no remunera la qualitat (Gorchs i Lloveras, 2003), de manera que a nivell d'agricultor 30 kg llavor ha⁻¹ serien també suficients per a la producció de fibra. Dosis superiors es justificarien si el preu de la palla es fixés en funció de la qualitat de la tija. De fet, la utilització actual de la fibra a Espanya (paper) no ho permet, ja que el pendent de l'increment del rendiment de fibra cortical amb la dosi de sembra (2 a 4 segons l'any; dada no presentada) és inferior a la relació preu llavor/preu fibra cortical (7).

Els resultats obtinguts permeten qüestionar l'obligació d'haver de sembrar 40 kg ha⁻¹ com a mínim per a accedir a l'ajut de la UE a certs cultius herbacis (DARP, 2003). És negatiu per a la producció de gra (Figura 3.6) i no és econòmicament interessant per a la producció de fibra, i augmenten les despeses en llavor.

Rendiment de canemuixa

La mitjana per al conjunt dels anys de la proporció de canemuixa a la tija va ser del 66 % a ambdues collites. És la part complementària a la fibra cortical a la tija (34%; Taula 3.18)(tija = fibra cortical + canemuixa), tal com s'ha descrit a l'apartat 2.3.2. A nivell industrial el rendiment en canemuixa és inferior (51%; Brunet, 2000) perquè durant l'embalat, transport i processat es generen pèrdues, que poden ser importants quan es cull el gra.

Malgrat que la fibra cortical segueix sent més valuosa, cal remarcar que la canemuixa avui s'utilitza en nombroses aplicacions, tal com reflexa el preu creixent (Taula 1.1). Per tant, la fibra cortical ja no és l'únic objectiu de producció, sinó que cal valorar què convé més, en funció del preu de cada part, i té sentit interessar-se pel rendiment de canemuixa.

La mitjana del rendiment de canemuixa va ser 4957 i 4464 kg ha⁻¹ a Collita 1 i 2, respectivament. L'**any** no va afectar significativament ni a Collita 1, ni a Collita 2.

El rendiment de canemuixa va augmentar significativament amb la **dosi de nitrogen** (tendència lineal i quadràtica) i va disminuir amb la **dosi de sembra** (tendència lineal) (Taula 3.19). El rendiment de canemuixa disminueix amb la dosi de sembra perquè tant el rendiment de tija (Taula 3.6) com la proporció de canemuixa a la tija (invers a fibra cortical; Taula 3.18) disminueixen amb la dosi de sembra, i viceversa per a la dosi de N.

3.1.9. Nitrogen nítric en el sòl després de collita 2 (gra madur) del cànem

El contingut de N-NO_3^- en el sòl després de Collita 2 (maduració gra) del cànem es presenta a la Taula 3.20. El cultiu precedent del cànem va ser el blat a tots els anys (veure apartat 2.3.1). La mitjana a 0-90 cm va ser $43 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$, dels quals 21 kg ha^{-1} a l'horitzó 0-30 cm, 14 kg ha^{-1} a l'horitzó 30-60 cm i 8 kg ha^{-1} a l'horitzó 60-90 cm.

El nitrogen nítric residual a 0-90 cm d'aquest assaig va ser lleugerament superior als $37 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ després de Collita 2 del cànem de l'Assaig 2 (Capítol II, Taula 4.7), i està d'acord amb els 40 kg ha^{-1} que van der Werf *et al.* (2004) valoren com a residual en el sòl. Però va ser lleugerament més alt al de Hendrischke *et al.* (1998) a Alemanya a collita a mig agost (floració masculina), que per a 80 kg N ha^{-1} reporten valors inferiors a $20 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ a 0-90 cm, si bé posteriorment augmenta ($20\text{-}40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$), en gran part per la mineralització de les fulles caigudes al sòl (3-5% de N; Iványi, 2005; Starcevic 1979).

En el present estudi el N-NO_3^- es va avaluar a mig setembre (maduració del gra), moment en què la planta potser és menys eficaç en l'absorció del N, per estar al final del cicle vegetatiu i quan moltes plantes ja han mort (Figura 3.3). A més a més, la major pèrdua relativa de fulles en les condicions de l'assaig (1000 kg entre Collita 1 i 2; Figura 3.5), degut a l'estrès hídric i/o tèrmic que es van donar, podrien haver contribuït a un nivell de N-NO_3^- més alt.

L'**any** va afectar significativament el contingut N-NO_3^- en el sòl. L'any 1995 va presentar valors significativament superiors als de l'any 1996, i aquest als de l'any 1997. El contingut en N-NO_3^- a 0-90 cm va ser 56, 44 i 28 kg ha^{-1} per als anys 1995, 1996 i 1997, respectivament. Les diferències de N-NO_3^- entre anys són relativament més amples per als horitzons profunds que per a 0-30 cm, perquè a l'any 1995 el N-NO_3^- en fondària es va mantenir alt. A l'any 1995 la disminució de N-NO_3^- a l'horitzó 30-60 cm (13%), respecte al N-NO_3^- a l'horitzó 0-30 cm, va ser inferior a l'any 1996 (44%) i a l'any 1997 (55%).

El contingut de N-NO_3^- en el sòl després de collita va augmentar amb la **dosi de nitrogen**, segons una tendència lineal significativa a tots els horitzons controlats, i quadràtica per als horitzons 0-30 cm, 30-60 cm i 0-90 cm per al conjunt dels anys. La mitjana a 0-90 cm va ser 27, 29, 37, i $78 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ per a 0, 50, 100 i 200 kg N ha^{-1} , respectivament.

L'augment del N-NO_3^- amb la dosi de nitrogen difereix amb l'any (**Any x nitrogen** és significatiu, excepte per a 0-30 cm). L'any 1995 (sec) el N-NO_3^- en el sòl ja augmentava amb els primers 50 kg N ha^{-1} , i de forma clara per a dosis superiors, per als horitzons 30-60 cm, 60-90, i també per 0-90 cm. En canvi, els altres anys el N-NO_3^- només augmentava marcadament per a 200 kg N ha^{-1} , mentre que les dosis de 50 i 100 kg N ha^{-1} fins i tot presenten valors similars (any 1997, mig) o inferiors (any 1996, humit), als de 0 kg N ha^{-1} .

Taula 3.20. Contingut en N nítric en el sòl després de collita del cànem (†) per a tres anys d'assaig en funció de la dosi de nitrogen (kg N ha⁻¹) i la dosi de sembra (kg ha⁻¹) aplicada al cànem (cv Futura 77).

Tractaments i estadística	Fondària sòl											
	0—30 cm			30—60 cm			60—90 cm			0—90 cm		
	1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1996	1997
	Kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹											
Nitrogen (N)												
0	18	20	13	5	8	2	4	8	2	27	37	17
50	20	19	12	8	8	2	8	7	3	36	34	17
100	25	20	16	16	7	3	17	10	3	52	36	23
200	33	30	26	55	26	22	24	11	8	110	67	56
Significació	*	**	**	**	**	**	**	**	NS	**	**	**
Lineal	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**
Quadràtic	NS	*	NS	NS	**	**	NS	NS	NS	NS	**	**
Dosi sembra (DS)												
30	22	23	18	25	14	6	11	9	3	55	46	26
60	25	23	18	24	11	6	18	8	5	64	41	29
120	25	21	14	14	13	11	11	10	4	49	43	29
Significació	NS	NS	NS	*	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS
Lineal	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Quadràtic	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS
N x DS	NS	NS	NS	**	*	NS	**	NS	NS	**	NS	NS
ANOVA per al conjunt dels anys												
	0—30 cm			30—60 cm			60—90 cm			0—90 cm		
Any (A)	*			**			**			**		
Error a	-			-			-			-		
Nitrogen (N)	**			**			**			**		
Lineal	**			**			**			**		
Quadràtic	*			**			NS			**		
A x N	NS			**			**			**		
Error b	-			-			-			-		
D. sembra (DS)	NS			NS			*			NS		
Lineal	NS			NS			NS			NS		
Quadràtic	NS			NS			**			NS		
A x DS	NS			**			**			NS		
N x DS	*			NS			*			NS		
A x N x DS	NS			**			**			**		
Error c	-			-			-			-		

† Collita 2 (gra madur) per als anys 1995 i 1997, i Collita 1 (fi flor mascle) per a l'any 1996. Dades de collita a Taula 3.3.

**, * Significatiu per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS, no significatiu.

La **dosi de sembra** va afectar de forma puntual el contingut en N-NO₃⁻ en el sòl després de la collita del cànem. Amb significació estadística, va afectar a 30-60 cm i a 60-90 cm per l'any 1995, i a 60-90 cm per al conjunt dels anys. La mitjana de N-NO₃⁻ per als tres anys tendeix a ser inferior per a 120 kg llavor ha⁻¹ a tots els horitzons, similarmet al que succeïa amb el rendiment de biomassa (Taula 3.6), el qual disminuïa amb la dosi de sembra. No obstant, l'efecte de la dosi de sembra sobre els contingut en N-NO₃⁻ en el sòl és poc consistent en els diferents anys, a més d'haver-hi diverses interaccions significatives. La dosi sembra **interacciona** amb el nitrogen per a l'horitzó 0-30 cm, amb l'any per als horitzons 30-60 cm i 60-90 cm, i amb el nitrogen i l'any per als dos últims i per 0-90 cm.

A la Figura 3.20 es pot observar que el contingut de N-NO_3^- en el sòl augmenta bàsicament per a 200 kg N ha^{-1} , apartant-se dels valors que presenten les altres dosis de nitrogen, especialment a l'horitzó 30-60 cm, i a l'horitzó 60-90 cm l'any 1995 en particular. Per aquest horitzons, l'any 1995 el N-NO_3^- residual és més elevat per a la dosi de sembra $60 \text{ kg llavor ha}^{-1}$ que per a 30 i $120 \text{ kg llavor ha}^{-1}$. En canvi, l'any 1997 el N-NO_3^- tendeix a augmentar amb la dosi de sembra, de manera que les respostes d'aquest anys es creuen.

Els valors més alts de N-NO_3^- de l'any 1995, i la menor resposta del rendiment de biomassa a l'adobat per a aquest any (Taula 3.6), suggereixen que el N residual en el sòl abans de la sembra era molt elevat (dada no controlada). En blat, López Bellido *et al.* (2001c) i Abad *et al.* (2004) indiquen que a l'àrea Mediterrània, en períodes secs, el nitrogen nítric residual a collita d'un cultiu pot mantenir-se en el sòl, com a mínim fins a la sembra del cultiu següent, i afectar la recomanació d'adob. En condicions Mediterrànies la dosi de nitrogen adequada pot ser molt variable, podent ser propera a 0 kg N ha^{-1} quan el nivell de N-NO_3^- en el sòl és elevat, de manera que és aconsellable determinar el nitrogen en el sòl abans d'aplicar adob N (Abad *et al.*, 2004). En el present estudi, l'any 1994 i la primera part del 1995 van ser molt secs (Taula 3.2) i es possible que el nitrogen nítric s'acumulés en el sòl.

En conjunt, el N-NO_3^- en el sòl, la resposta de la biomassa a l'adob N (Taula 3.6) i les dosis de N òptimes calculades amb el model quadràtic i exponencial (Taula 3.9) indiquen que aplicar 200 kg N ha^{-1} va ser excessiu, ja que va comportar un increment del N-NO_3^- en profunditat que es pot acabar perdent per lixiviació a tots els anys. L'any 1995, fins i tot 100 kg N ha^{-1} serien excessius, doncs el N-NO_3^- residual en fondària després de Collita 2 del cànem incrementava de forma evident, probablement degut a l'alt nivell inicial de N en el sòl.

D'altra banda, remarcar que la subfertilització no és una eina útil per a limitar el risc de lixiviació de nitrats. Aquesta pràctica afecta el rendiment de biomassa, i de fibra (Figura 3.19), però no és útil per reduir N-NO_3^- residual després de Collita 2 de cànem (Figura 3.20). Aquests resultats estan d'acord amb els que reporta Dilz (1988) en àrees humides per a diversos cultius (cereal, bleda-rave, patates i farratges). Massé (1999) en blat també indica que no adobar amb nitrogen dona lloc a nivells de N-NO_3^- residuals superiors als que donen dosis de nitrogen properes a la dosi de nitrogen òptima.

El nivell de N-NO_3^- residual en el sòl després de Collita 2 suggereix que la dosi de N a aplicar dependrà de l'any, en funció del N en el sòl a inici del cultiu. En general, dosis entre 50 i 100 kg N ha^{-1} , o lleugerament superiors segons l'any, serien les adequades, tot i que caldria assajar dosis de N amb intervals menors als utilitzats per a poder precisar l'efecte i el interès de dosis superiors als 100 kg N ha^{-1} .

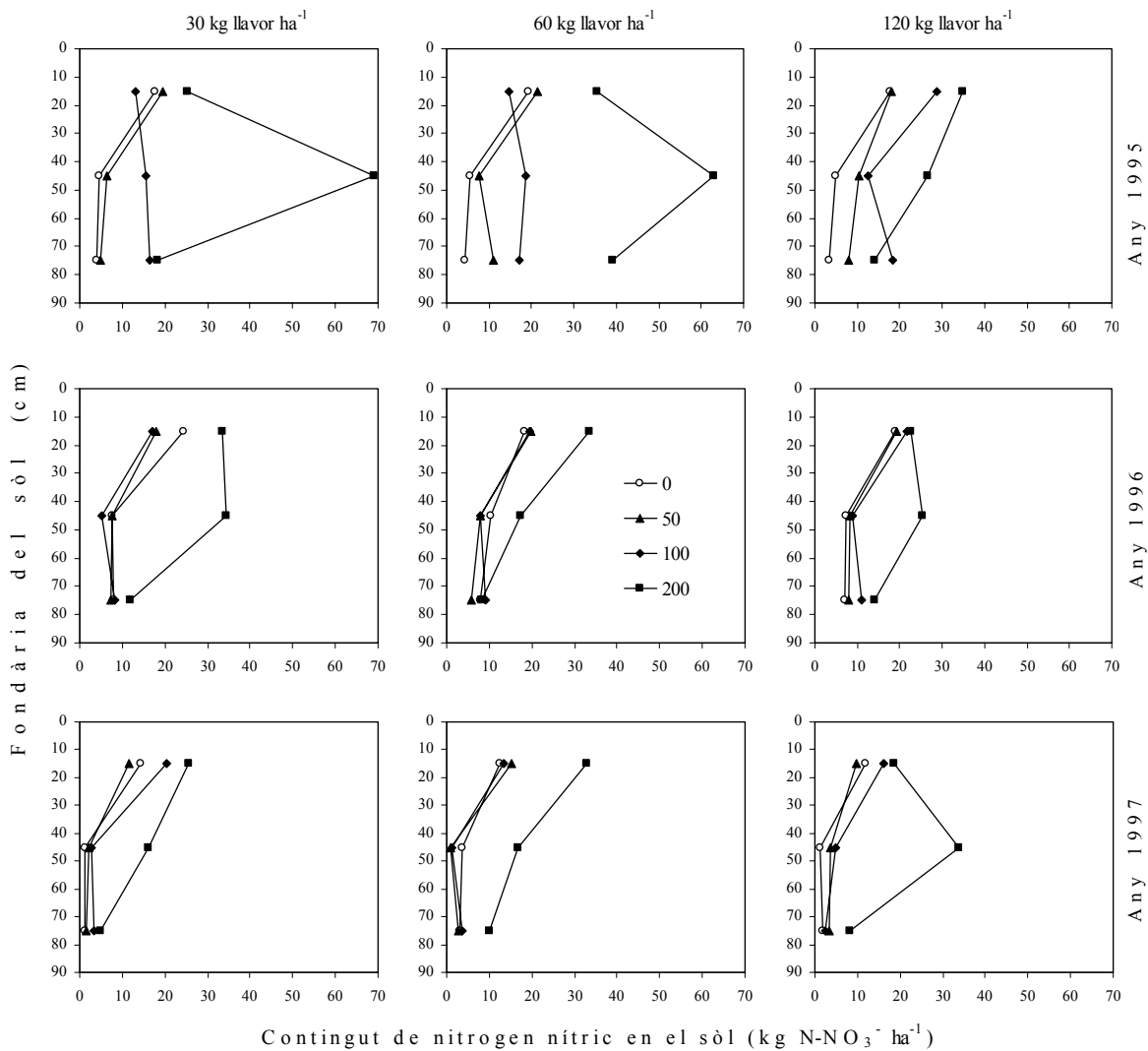


Figura 3.20. Contingut de N-NO_3^- residual en el sòl després de Collita 2† del cànem (maduració del gra) per a cada dosi de sembra, en funció de la dosi de nitrogen (kg N ha^{-1}) (cv Futura 77). † Per a l'any 1996 va ser després de Collita 1 (fi flor mascle), perquè la pedra va destruir el cultiu.

En conjunt, el N-NO_3^- residual en el sòl a 0-90 cm després de collita per a dosis inferiors a 100 kg N ha^{-1} va ser relativament baix ($<37 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$), inferior als 54 kg ha^{-1} trobats després de collita del blat rere cànem del Capítol II (Taula 4.20) i als $40\text{-}50 \text{ kg ha}^{-1}$ de mitjana que López Bellido *et al.* (2001a) troben després de la collita del gira-sol en àrees seques del sud d'Espanya, cultiu que destaquen per ser respectuós amb el medi ambient, ja que deixa un residu de nitrogen nítric en el sòl baix. En tot cas, coincidint amb Hendrichske *et al.* (1998) el baix nivell de nitrogen nítric en el sòl després de collita s'ha de valorar positivament des del punt de vista del medi ambient.



Figura 3.21. Inflorescència de planta mascle (dalt esquerra), femella (dalt dreta), i monoica (baix esquerra) el 22 de juny de 1997, i de planta monoica (baix dreta) el 4 d'agost de 1996.



Figura 3.22. Vista de l'Assaig 1, Tècniques de conreu en cànem, el 31 de maig 1996.



Figura 3.23. Vista de l'Assaig 1, Tècniques de conreu en cànem, el 14 de juny de 1998.

3.2. Producció de les culti-vars espanyoles de cànem

3.2.1. Densitat de cultiu a collita

La densitat de cultiu total no va disminuir entre collites (137 plantes m^{-2} a Collita 1, i 142 plantes m^{-2} a Collita 2 (Taula 3.21). Aquesta densitat de cultiu va ser superior a les dels 1995 i 1997 i inferiors a les de l'any 1996 per a *cv.* Futura 77 (Taula 3.5).

La densitat de cultiu a collita va disminuir amb la **dosi de nitrogen** i va augmentar amb la **dosi de sembra**, segons una tendència lineal significativa a ambdues collites.

La interacció **nitrogen x dosi de sembra** va ser significativa per a la densitat de cultiu a ambdues collites, perquè per a 30 kg de llavor ha^{-1} no disminueix de forma significativa amb la dosi de nitrogen, mentre que a dosis de sembra superiors ho fa marcadament (Figura 3.24). Es tracta d'un comportament similar al de *cv.* Futura 77 per als anys 1995 a 1997 (Figura 3.3), si bé aquí (any 1998) s'observa de forma més nítida, i està d'acord amb Grabowska i Koziara (2005).

La **culti-var** no va afectar de forma significativa la densitat de cultiu a Collita 1, però sí a Collita 2 (Futura 77 > Delta Llosa), diferència que no sembla atribuïble a una causa clara.

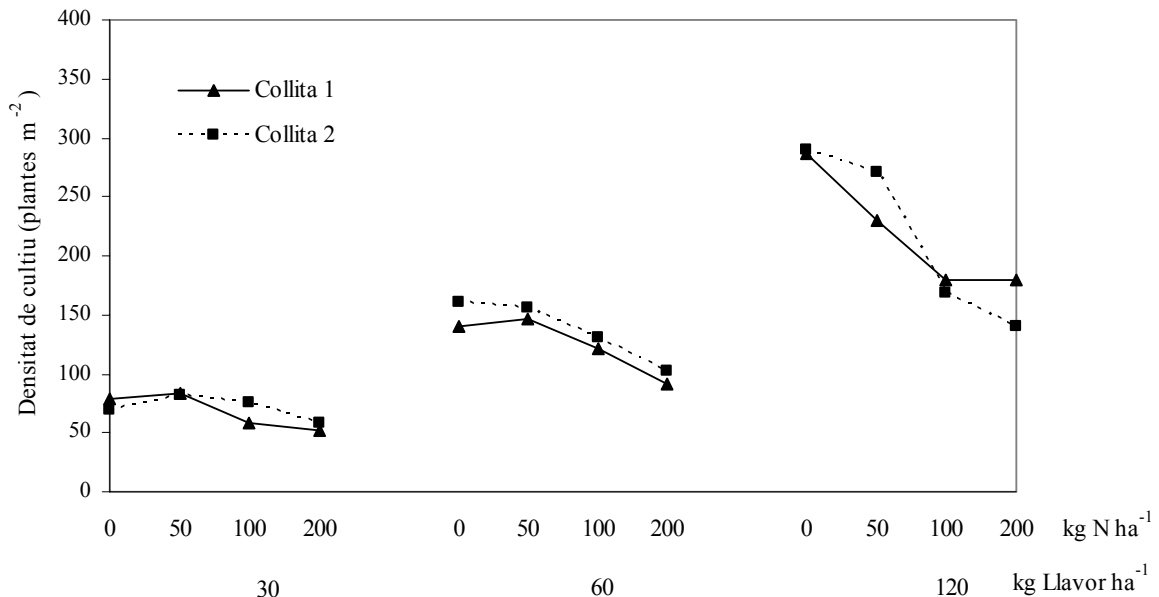


Figura 3.24. Densitat de cultiu a collita, segons la dosi de N i la dosi de sembra aplicada al cànem per a l'any 1998. Cada punt és la mitjana de tres culti-vars (Futura 77, Delta-Llosa i Delta 405). C 1 = Collita 1 (fi flor mascle); C 2 = Collita 2 (gra madur). Dates collita a Taula 3.3, anàlisi variància a Taula 3.21.

Després de naixença, en la primera fase de desenvolupament, s'accepta que el rendiment de biomassa augmenta amb la dosi de sembra (van der Werf *et al.*, 1995a; Amaducci *et al.*, 2002a i 2002b), la qual cosa suggereix que a l'any 1998 el major desenvolupament inicial a dosis de sembra altes va marcar el rendiment final a collita.

No obstant, l'increment de rendiment de biomassa amb la dosi de sembra no justifica l'ús de dosis de sembra elevades, perquè l'increment del cost de la llavor (relació preu llavor/preu palla =20) és superior al del pendent de la resposta a la dosi de sembra (3-7; dades no presentades). Per tant, 30 kg llavor ha⁻¹ serien suficients per a la producció de fibra.

La **culti-var** no va influir significativament el rendiment de biomassa, resultat que està d'acord amb Lloveras *et al.* (2006) a la Vall de l'Ebre en regadiu.

Proporció de tija a la biomassa

La mitjana de la proporció de la tija a la biomassa per a l'any 1998 va ser 78% a Collita 1 i 80% a Collita 2 (Figura 3.25).

La proporció de tija a la biomassa va variar significativament a ambdues collites amb la **dosi de nitrogen** (tendència lineal i quadràtica), la **dosi de sembra** (tendència lineal a Collita 1 i lineal i quadràtica a Collita 2) i la **culti-var**. Però, la resposta a aquests factors és complexa, donat que totes les interaccions possibles entre aquests factors van ser significatives.

La proporció de tija va tendir a augmentar inicialment amb la dosi de N, amb valors màxims per a 50 kg N ha⁻¹, i posteriorment va disminuir, amb valors mínims per a 200 kg N ha⁻¹ a ambdues collites. També va augmentar amb la dosi de sembra, clarament a Collita 1. A Collita 2 la proporció de tija a la biomassa va augmentar amb la dosi de sembra per a dosis de N de fins a 50 kg N ha⁻¹. En canvi, per a dosis de N més elevades, la proporció de tija a la biomassa fins i tot va tendir a disminuir a l'augmentar la dosi de sembra, perquè la biomassa es va distribuir més cap al gra (Figura 3.26).

A Collita 2, *cv.* Futura 77 va presentar una mitjana de proporció de tija significativament superior, probablement degut a la major densitat de cultiu d'aquesta culti-var (Taula 3.21).

Aquests resultats completen els de van der Werf *et al.* (1995b), respecte a que la proporció de tija baixa a dosi de N elevades (kg N ha⁻¹), en el sentit que dosis de N moderades són favorables. En canvi, l'efecte positiu de la dosi de sembra sobre la proporció de tija a la biomassa va ser superior al de van der Werf *et al.* (1995a), perquè es va mantenir (tendència lineal a Collita 1) per a densitats de cultiu superiors a la d'aquests autors (tendència quadràtica), probablement per la menor autoaclerida en les condicions de l'assaig.

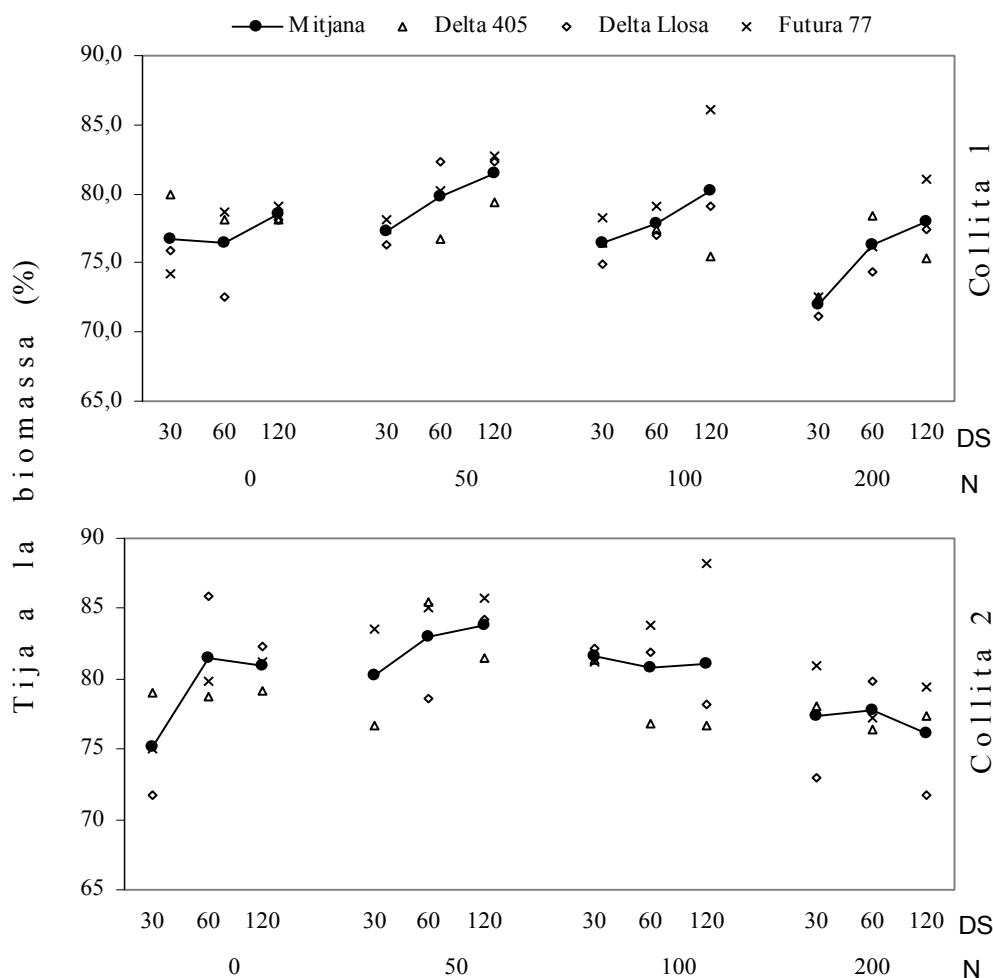


Figura 3.25. Proporció de tija a la biomassa a collita del cànem, en funció de la dosi de nitrogen (N; kg N ha⁻¹), la dosi de sembra (DS; kg llavor ha⁻¹) i la culti-var per a l'any 1998. (Collita 1 a fi flor masculina: Collita 2 a gra madur). Anàlisi variància a Taula 3.21.

Rendiment de gra

La mitjana del rendiment de gra l'any 1998 va ser 428 kg ha⁻¹ (MS), el qual és clarament inferior al de la cv. Futura 77 per als anys 1995 i 1997 (1352 kg ha⁻¹), però no és inferior als 300-700 kg ha⁻¹ de Tabara (1984 i 1985) a Romania o bé Vogl *et al.* (2004) a Àustria.

El rendiment de gra va variar significativament amb la **dosi de nitrogen** (va incrementar de forma lineal) i amb la **culti-var**, amb rendiments de gra superior per a les culti-vars Espanyoles Delta 405 i Delta Llosa, respecte a la cv. Francesa Futura 77. En canvi, la **dosi de sembra** no va influir significativament (Taula 3.21), si bé la interacció **N x dosi sembra x culti-var** va ser significativa.

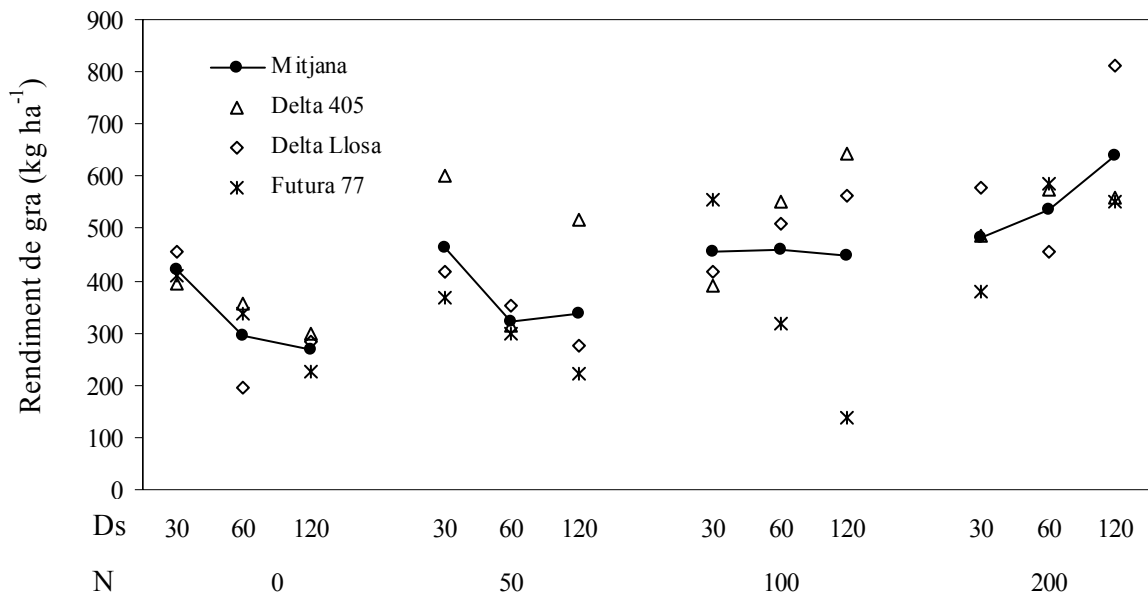


Figura 3.26. Rendiment de gra (matèria seca) a Collita 2 (gra madur), segons l'adob N (N; kg N ha⁻¹), la dosi de sembra (Ds; kg llavor ha⁻¹) i la culti-var per a l'any 1998 (anàlisi variància a Taula 3.21).

El nitrogen va interactuar principalment amb la dosi de sembra. Per a totes les culti-vars, el rendiment de gra per a 0 i 50 kg N ha⁻¹ va tendir a disminuir a l'augmentar la dosi de sembra, mentre que per a 200 kg N ha⁻¹ el rendiment de gra va augmentar amb la dosi de sembra. Però, les culti-vars espanyoles (Delta 405 i Delta Llosa) canvien de tendència abans que Futura 77, a 100 kg N ha⁻¹ (Figura 3.26).

Aquests resultats difereixen dels de la cv. Futura 77 per als anys 1995 i 1997 (Figura 3.6) pel que fa a la dosi de N (la resposta al N era quadràtica, quan aquí és lineal), especialment per a la dosi de sembra, ja que el rendiment de gra sol disminuir per a dosis de sembra superiors als 20-25 kg ha⁻¹ (Tabara, 1985; Gauca *et al.*, 1986; Mediavilla *et al.*, 1998b). És possible que l'estrès hídric limités la ramificació (base de la producció de gra a dosis de sembra baixes) (Bocsa i Karus, 1998), alhora que un major número de plantes van contribuir a la collita, a dosis de sembra elevades, al parar-se el mecanisme d'autoaclerida. Que Futura 77 produís menys gra que les culti-vars Espanyoles podria ser qüestió de cicle, al ser lleugerament més precoç no s'hauria recuperat amb les pluges d'agost, o bé pel fet de tenir una densitat de cultiu superior.

En conjunt, 30 kg llavor ha⁻¹ són suficients per a la producció de gra, ja que per al rang de dosis de N òptimes econòmicament (Taula 3.22) el rendiment de gra no augmenta amb la dosi de sembra.

Càlcul de la dosi de nitrogen òptima

El model quadràtic i exponencial (corba de Mitscherlich) expliquen significativament la variabilitat del rendiment en una proporció superior a 0,49 per al de tija i a 0,21 per al de gra, segons el coeficient de determinació R^2 (Taula 3.22), que és gairebé idèntic per als dos models. La culti-var no va afectar l'ajust obtingut (dades no presentades).

Els dos models coincideixen en calcular dosis de N òptimes econòmicament dins l'interval de dosis assajades i en donar valors superiors per al rendiment de tija a Collita 2, respecte al de tija a Collita 1. Però, per al rendiment de tija el model quadràtic calcula dosis de N i prediu rendiments òptims econòmicament superiors a les del model exponencial. En canvi, per al rendiment de gra ambdós models calculen dosis de N i rendiments òptims econòmicament similars.

A grans trets, aquests resultats estan d'acord amb els obtinguts per als anys 1995 a 1997 (cv. Futura 77), pel que fa a que: l'estadístic R^2 no seria útil per elegir el model més adequat; per al rendiment de tija, el model exponencial suggereix ser més adequat per a les condicions de l'assaig; ambdós models identifiquen dosis de N i rendiments òptims econòmicament inferiors als dels anys 1995 a 1997 (apartat 3.1.2), que es corresponen amb els menors rendiments de tija i de gra de l'any 1998.

Taula 3.22. Paràmetres estimats per a la relació entre rendiment de tija o gra i dosi de N segons el model de regressió i dosi de N (X) òptima (Opt) i màxima (Max) (kg N ha⁻¹) necessàries per a obtenir el rendiment (Y) (kg MS ha⁻¹) òptim i màxim, respectivament, i test de normalitat de residus per a l'any 1998.

Model	Relació dosi de N – Rendiment tija/gra †			X-Nitrogen		Y-Rendiment		Test normalitat‡	
	Equació	Pr > F	R ²	Opt	Max	Opt	Max	Pr<W	Pr>D
Tija a Collita 1 (fi flor masculina)									
Quadràtic	$Y = 3344 + 34,88 * X - 0,1319 * X^2$	0,0001	0,49	105	132	5558	5650	0,3979	>0,15
Exponencial	$Y = 5196 * (1 - e^{-0,0500(X+19,6)})$	0,0001	0,51	53	119	5055	5190	0,5137	>0,15
Tija a Collita 2 (gra madur)									
Quadràtic	$Y = 3148 + 36,71 * X - 0,1292 * X^2$	0,0001	0,50	114	142	5661	5755	0,8149	>0,15
Exponencial	$Y = 5446 * (1 - e^{-0,0268(X+31,5)})$	0,0001	0,49	82	226	5184	5440	0,6500	>0,15
Gra a Collita 2 (gra madur) §									
Quadràtic	$Y = 324,6 + 1,26 * X - 0,00056 * X^2$	0,0001	0,21	87	1134	430	1040	0,0002§	>0,15
Exponencial	$Y = 1717 * (1 - e^{-0,00091(X+231,8)})$	0,0001	0,21	84	7404	427	1715	0,0002§	>0,15

† Paràmetres en negreta significatius en el model (cursiva no significatiu). Pr>F; Probabilitat associada a la significació del model de regressió. R²; Coeficient de determinació.

‡ Test de normalitat Shapiro-Wilk (W) i Kolmogorov-Smirnov (D)

§ Inclou una dada que és un 'outlier'. Traient aquesta dada, les dosis de N òptimes i màximes són 61 i 417, i 55 i 2219, amb un rendiment òptim i màxim de 401 i 608, i 393 i 798 kg ha⁻¹, per als model quadràtic i exponencial, respectivament, mentre que els residus passen a presentar una distribució normal (Pr<W = 0,97 per a ambdós models).

Proporció de fibra cortical a la tija

L'any 1998 la mitjana de la proporció de fibra cortical a la tija va ser 35,7% a Collita 1, i 35,5% a Collita 2. La proporció de fibra cortical a la tija va disminuir amb la **dosi de nitrogen**, segons una tendència lineal significativa a Collita 2 (Taula 3.23).

La proporció de fibra cortical a la tija va augmentar significativament amb la **dosi de sembra** a ambdues collites, segons una tendència lineal. Aquests resultats estan d'acord amb els de van der Werf *et al.* (1995a), tot i que difereixen parcialment perquè l'increment de la proporció de fibra cortical a la tija no s'atenua a dosis de sembra altes, anàlogament al que s'observava per a *cv. Futura 77* per als anys 1995 a 1997 (apartat 3.1.8), comportament que probablement es deu a la menor autoclarida en les condicions de l'assaig.

La **culti-var** va afectar significativament la proporció de fibra cortical a la tija a Collita 2, essent superior per a *cv. Futura 77*, probablement degut a la major densitat de cultiu de Futura 77 a Collita 2 (Taula 3.21), més que a diferències entre culti-vars.

Proporció de components no fibrosos de la fibra cortical a la tija

La mitjana de la proporció de components no fibrosos de la fibra cortical a la tija va ser 9,7% i 7,1% a Collita 1 i 2 respectivament. Aquest comportament està d'acord amb els de Keller *et al.* (2001), però estan en contradicció amb els *cv Futura 77* per als anys 1995 a 1997 (7,1% i 10,5% a Collita 1 i Collita 2, respectivament).

La **dosi de N** i la **culti-var** no van afectar significativament la proporció de components no fibrosos de la fibra cortical a la tija en cap cas. Aquests resultats estan d'acord amb els de van der Werf *et al.* (1995b) pel que fa al nitrogen.

La proporció d'elements no fibrosos de la fibra cortical a la tija va augmentar amb la **dosi de sembra**, segons una tendència lineal significativa a Collita 1. Aquest resultat està d'acord amb els de van der Werf *et al.* (1995a) i els de *cv Futura 77* per als anys 1995 a 1997 (Taula 3.18), essent l'únic paràmetre de qualitat, dels mesurats, que s'ha vist afectat negativament per la dosi de sembra.

Taula 3.23. Proporció de fibra cortical a la tija, proporció d'elements no fibrosos de la fibra cortical a la tija (No fibra) i rendiment de fibra cortical a collita, segons la dosi de nitrogen, la dosi de sembra i la culti-var de cànem per a l'any 1998.

Tractaments i estadística	Collita 1 (fi flor masculina) [†]			Collita 2 (gra madur) [†]		
	F. cortical %	No fibra	F. cortical kg ha ⁻¹	F. cortical %	No fibra	F. cortical kg ha ⁻¹
Nitrogen						
0	35,8	10,0	1164	36,8	7,1	1152
50	36,7	9,6	1843	36,8	7,4	1755
100	35,7	9,1	1903	34,5	7,1	1886
200	34,8	10,0	1768	34,1	6,9	1822
Dosis sembra						
30	34,1	8,6	1512	32,9	6,5	1403
60	35,6	9,6	1649	36,3	7,7	1736
120	37,5	10,9	1847	37,4	7,1	1822
Culti-var						
Delta 405	36,0	9,7	1642	34,5	7,0	1620
Delta-Llosa	35,2	9,7	1621	35,2	6,9	1627
Futura 77	36,1	9,8	1745	36,9	7,5	1714
	<u>Anàlisi de la variància</u>					
Nitrogen (N)	NS	NS	**	**	NS	**
Lineal	NS	NS	**	**	NS	**
Quadràtic	NS	NS	**	NS	NS	**
Error a	-	-	-	-	-	-
Dosi sembra (DS)	**	**	**	**	NS	**
Lineal	**	**	**	**	NS	**
Quadràtic	NS	NS	NS	**	NS	**
Culti-var (CV)	NS	NS	NS	**	NS	NS
N x DS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N x CV	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV x DS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N x CV x DS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Error b	-	-	-	-	-	-

[†] Per a les dates de collita, veure Taula 3.3.

**, * Significatiu per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS, no significatiu.

Rendiment de fibra cortical, de fibra (de la fibra cortical) i de canemuixa

La mitjana del rendiment de fibra cortical 1669 i 1654 kg ha⁻¹ a Collita 1 i a Collita 2, respectivament. Són valors inferiors als de cv Futura 77 per als anys 1995 a 1997, que provenen del menor rendiment de biomassa i de tija de l'any 1998.

El rendiment de fibra cortical va augmentar amb la **dosi de nitrogen**, segons una tendència lineal i quadràtica significativa a ambdues collites i rendiment màxim per a 100 kg N. Es tracta d'una resposta similar a la de cv Futura 77 per als anys 1996 i 1997, si bé aquí s'observa més nítidament que 200 kg N ha⁻¹ són excessius (Taula 3.23).

El rendiment de fibra cortical va augmentar amb la **dosi de sembra**, segons una tendència lineal significativa a ambdues collites. L'increment del rendiment de fibra cortical amb la dosi de sembra de l'any 1998 va ser superior a l'observat per a cv Futura 77 per als anys 1995 a 1997. El rendiment de biomassa a l'any 1998 ja augmentava amb la dosi de sembra (Taula 3.21), però també hi va contribuir el major increment de la proporció de tija a la biomassa i de fibra cortical a la tija amb la dosi de sembra, pel fet de mantenir densitats de cultius superiors.

Els resultats de l'any 1998 suggereixen que utilitzar dosis de sembra superiors als 30 kg ha⁻¹ considerats òptims per a la producció de gra i fibra podria ser convenient com a estratègia per a fer front al risc climàtic que comporta un cultiu d'estiu en secà. El major creixement inicial en cultius densos pot acabar sent transcendent per a la producció final fibra, en certs anys.

La **culti-var** no va afectar significativament el rendiment de fibra cortical ni a collita 1 ni a collita 2. De fet, les tres culti-var presenten valors molt propers.

En conjunt, les culti-vars espanyoles Delta 405 i Delta-Llosa podrien ser adients per a la producció de gra i de fibra, donat que van presentar un rendiment de gra superior al de la francesa Futura 77. La manca de diferències per a la resta de paràmetres controlats en el present estudi suggereix que podrien haver-se originat a partir d'un material vegetal pertanyent a grups geogràfics molt propers, malgrat que l'origen i la història de millora de les culti-vars espanyoles no s'ha establert (Meijer, 1995).

3.2.3. Morfologia i expressió sexual de la planta

Alçada de la planta i diàmetre de la tija a la base

La mitjana de l'alçada de la planta va ser 140 i 142 cm a Collita 1 i Collita 2, respectivament. Es tracta de valors clarament inferiors 250-300 cm que reporten van der Werf *et al.* (1995a) a Holanda o bé Lloveras *et al.* (2006) en regadiu a la Vall de l'Ebre. La mitjana del diàmetre a la base de la tija va ser 5,4 i 5,1 mm a Collita 1 i 2, respectivament.

L'alçada i el diàmetre a la base de la tija van incrementar amb la **dosi de N** i van disminuir amb la **dosi de sembra**, segons una tendència lineal i quadràtica significativa per a ambdós factors i ambdues collites (Figura 3.27). La **culti-var** no va afectar significativament l'alçada i el diàmetre de la tija. Aquests resultats estan d'acord amb els de *cv. Futura 77* per als anys 1995 a 1997 i, en general, amb els de van der Werf *et al.* (1995a i 1995b) i Amaducci *et al.* (2002b) pel que fa a l'efecte de la dosi de N i la dosi de sembra.

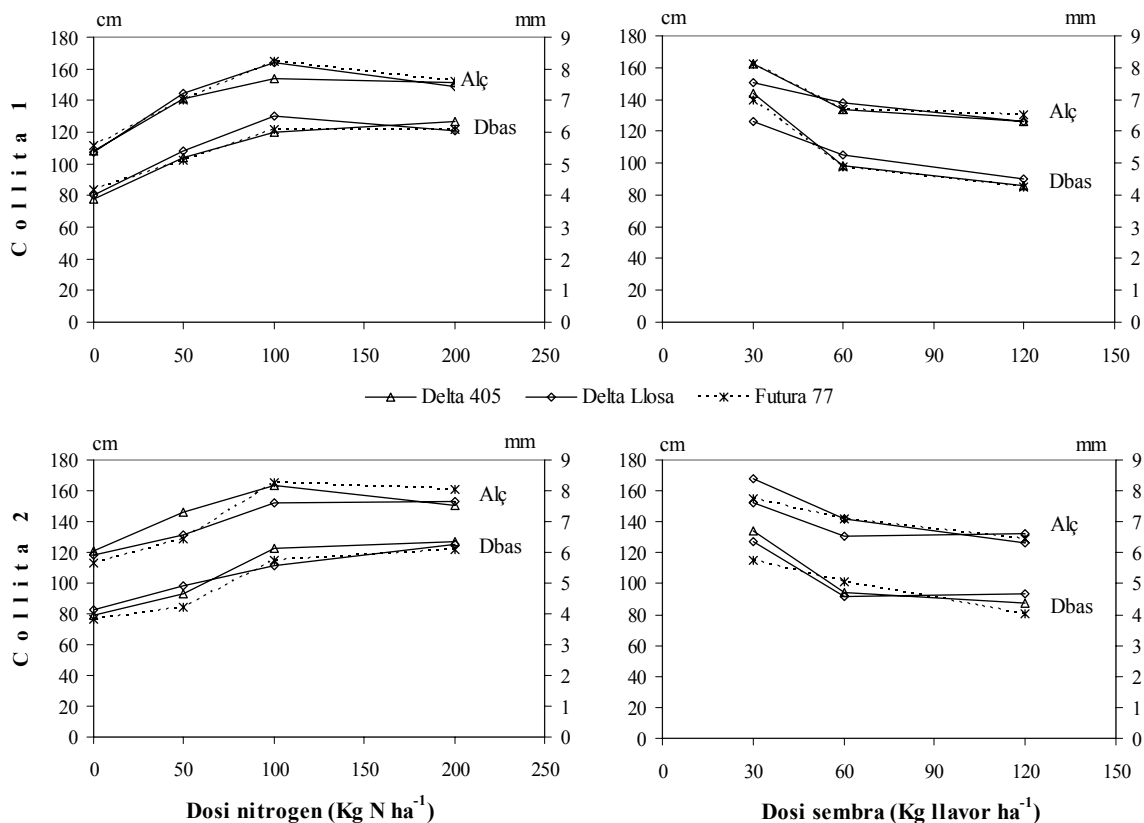


Figura 3.27. Alçada (cm) i diàmetre de la tija a la base (mm) a collita, segons la dosi de nitrogen, la dosi de sembra i la culti-var per a l'any 1998. Cada punt és mitjana de 30 observacions per al nitrogen i de 40 per a la dosi de sembra. Alç = alçada; Dbas = diàmetre base. Anàlisi de la variància: N i dosi sembra significatiu per a $P < 0,05$ (tendència lineal i quadràtica significativa). Culti-var no significatiu. Culti-var x dosi sembra significatiu per al diàmetre a la base de la tija a Collita 2 (gra madur).

Expressió sexual

La mitjana de la proporció de plantes mascle i femella a Collita 1 va ser 35% i 28%, respectivament. La proporció de plantes mascle d'aquest any va ser elevat, probablement afavorit pel estrès hídric (i tèrmic) de l'any 1998, si és vàlid el comportament descrit per a les culti-vars dioiques (Freeman *et al.*, 1980).

Dosi de nitrogen i dosi de sembra van afectar la proporció de plantes femella i monoica. El de plantes femella va disminuir de forma lineal i quadràtica significativa amb l'adob N i va augmentar amb la dosi de sembra (tendència lineal significativa). Inversament per a les plantes monoiques, augmenten amb la dosi de N i disminueixen amb la dosi de sembra.

L'efecte de les pràctiques culturals en la deriva de les culti-vars monoiques cap a la dioècia no ha estat descrit. D'acord amb van der Werf i Berg (1995) per a culti-vars dioiques, els resultats de l'any 1998 permeten suggerir que la resposta de la proporció de femelles a la dosi de N i a la dosi de sembra va lligada a la supressió selectiva de plantes femella (més baixes) en el procés d'autoaclariada: les femelles augmenten en condicions d'estrès ambiental (dosis baixes de N, dosis de sembra altes) perquè es redueix la diferència d'alçada amb les plantes monoiques i mascles i s'evita la supressió selectiva de femelles (Figura 3.28).

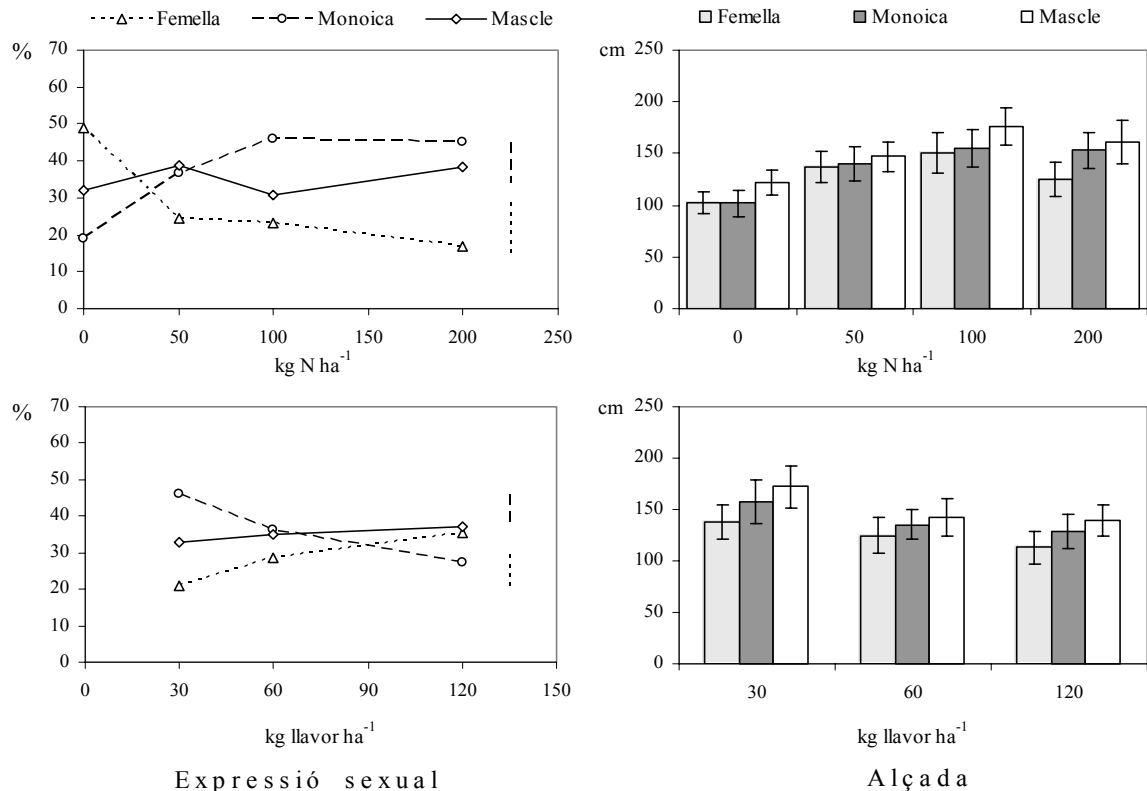


Figura 3.28. Expressió sexual i alçada segons la dosi de nitrogen i la dosi de sembra a Collita 1 (fi flor mascle) de l'any 1998. Per a expressió sexual, | = LSD per a P<0,05 entre nivell de cada paràmetre. Per a l'alçada, ⊥ = desviació típica. Mida mostra (n): 101 femelles; 129 monoiques; 124 mascles.

4. CONCLUSIONS

1. La **densitat de plantes** del cultiu va disminuir entre naixença i collita. La pèrdua de plantes es va incrementar amb la dosi de sembra i de N, si bé l'autoaclarida va ser inferior a la que se sol donar a Europa central. La pèrdua de plantes és un tret transcendent, que va marcar la resposta de la producció als factors assajats. La densitat de cultiu a naixença, i l'autoaclarida posterior, van variar força amb l'any, fet que pot afectar la qualitat de la fibra.

2.1. L'**adobat nitrogenat** va afectar positivament el creixement i el rendiment de biomassa, tija i gra del cànem, bàsicament segons una tendència quadràtica, però també va influir de forma no desitjada, ja que a dosis de N altes van disminuir: a) la proporció de tija a la biomassa, perquè la biomassa es va localitzar més a les fulles o al gra; b) i la proporció de fibra cortical a la tija, perquè a l'augmentar l'autoaclarida les plantes que van sobreviure van ser progressivament més gruixudes, amb una relació fibra cortical/canemuixa inferior.

2.2. La resposta del rendiment de tija a l'adobat nitrogenat va correspondre als models quadràtic i exponencial (Mitscherlich). El model exponencial va calcular dosis de N òptimes econòmicament inferiors i va suggerir ser més adequat. La dosi de N econòmicament òptima va variar amb l'any (30-150 kg N ha⁻¹). El cànem cultivat per a gra i fibra necessitaria dosis de N superiors a les del cànem cultivat només per a fibra (uns 30 kg ha⁻¹ de mitjana).

2.3. Per poder ajustar altres models i precisar la dosi N econòmicament òptima en cada cas, probablement s'haurien d'haver assajat més nivells de N i intervals entre nivells inferiors als utilitzats, tal com suggereixen els valors obtinguts per a les dosis de N òptima i màxima.

3.1. La **dosi de sembra** va afectar negativament el rendiment de biomassa, tija i gra, excepte per a l'any 1998, condicionat probablement pel sever estrès hídric i tèrmic d'aquest any. La proporció de components no fibrosos de la fibra cortical va créixer amb la dosi de sembra.

3.2. La dosi de sembra va afectar positivament la qualitat de la tija, ja que la proporció de tija a la biomassa i de fibra cortical a la tija van créixer de forma lineal amb la dosi de sembra. L'increment és superior al descrit en altres àrees centreeuropees (tendència quadràtica), possiblement gràcies a la menor autoaclarida en les condicions de l'assaig, i va ser prou important perquè el rendiment de fibra cortical passés a augmentar amb la dosi de sembra.

3.4. Una dosi de 30 kg llavor ha⁻¹ o 70 plantes m⁻² a collita van ser suficients per a la producció de fibra i gra. Fins i tot caldria avaluar si dosis de sembra inferiors serien convenients. A l'àrea de l'assaig es dona la paradoxa que dosis de sembra força superiors a les d'Europa central són possibles i apropiades per a la producció de fibra, però no són interessants econòmicament, perquè el preu de la palla és fix, no depèn de la qualitat de la tija.

3.5. L'obligació d'haver de sembrar 40 kg ha^{-1} com a mínim per accedir a l'ajut de la UE a certs cultius herbacis és qüestionable. No hi ha arguments econòmics que ho justifiquin i és perjudicial per al cànem cultivat per a gra (redueix rendiment i augmenta les despeses).

4. El **cultiu per a fibra i gra** va mostrar ser més interessant que el cultiu només per a fibra, ja que el rendiment de productes amb valor econòmic del cànem collit a maduració del gra (tija i gra) va ser superior al del cànem collit a finals de floració masculina (tija). El rendiment de gra va ser elevat, respecte a l'obtingut en altres àrees, suggerint que l'àrea de l'assaig és una zona indicada per a la producció de gra.

5. Les **culti-vars** espanyoles Delta 405 i Delta-Llosa van presentar un rendiment de gra superior al de la cv. francesa Futura 77, mentre que no es van diferenciar per a la resta de paràmetres, encara que són necessaris més estudis per confirmar aquest comportament. Malgrat tractar-se de culti-vars monoiques, la presència de plantes mascle i femella va ser important. L'adob N i la dosi de sembra van afectar la proporció de plantes segons el sexe.

6. El **mesurador de clorofil·la** pot ser una eina adequada per valorar la suficiència nitrogenada en el cànem. 42 unitats SPAD a inici de floració femenina seria el nivell crític que garantiria un rendiment relatiu del 0,95 en el 82% dels casos. Normalitzar la lectura no va millorar l'ajust obtingut, si bé calen més estudis per validar i completar aquests resultats.

7.1. El contingut de **N nítric residual en el sòl a 0-90 cm** després de collir el cànem del tractament 200 kg N ha^{-1} va ser significativament superior al dels altres nivells de N a tots els anys, indicant que aquest adobat va ser excessiu. El contingut de N nítric a 0-90 cm després de collita per a dosis de N moderades va ser baix ($17\text{-}36 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$), similar al de 0 kg N ha^{-1} , suggerint que el cànem pot ser un cultiu respectuós amb el medi ambient.

7.2. La contribució del nitrogen nítric residual del cultiu precedent podria haver estat important en certs anys, suggerint que seria convenient avaluar-ne el contingut abans de la sembra per estimar la dosi de N a aplicar al cànem.

8. La **durada de la fase** naixença–sortida de les primeres flors va ser inferior a la que tenen altres països com Holanda o nord d'Itàlia, per a la mateixa cv francesa Futura 77, mentre que la fase aparició primeres flors–maduració del gra va ser molt superior, la qual cosa representa:

- a) una limitació per a la producció de fibra, suggerint que les culti-vars assajades no estan prou adaptades a les condicions Mediterrànies. Les cv. espanyoles van mostrar tenir un cicle similar al de Futura 77.
- b) un avantatge per a la producció de gra, que va ser alta en relació a la d'altres àrees, fet que suggereix que es tracta d'una àrea indicada per a la producció de gra.

4. Capítol II

Efecte de la rotació cànem—blat

1. INTRODUCCIÓ

Els efectes positius de les rotacions de cultius sobre el monocultiu estan ben documentats (Pierce i Rice, 1988; Bullock, 1992). Actualment, la necessitat de disminuir l'impacte de l'agricultura en el medi ambient ha revitalitzat l'interès en les rotacions de cultius, com a via per reduir l'ús d'agroquímics i promoure una agricultura rendible i eficient, sostenible en definitiva (Karlen *et al.*, 1994). Però, els efectes de les rotacions són específics per a cada zona (Bullock, 1992) i cal quantificar localment els efectes de les diferents seqüències per poder dissenyar les rotacions de cultius més adequades (Francis i Clegg, 1990).

A Espanya, en blat (*Triticum aestivum* L.), López Bellido *et al.* (1996 i 2000), a la Campinya Cordovesa, i Hernanz *et al.* (2000), a Navarra en climes semiàrids, mostren que la rotació és beneficiosa davant el monocultiu. Però, les referències sobre rotacions són escasses a Espanya, particularment per al blat en zones més temperades, com són els secans frescals del Prepirineu o altres àrees més humides del nord de la península.

A Espanya, el cànem (*Cannabis sativa* L.) es va passar a produir per a l'obtenció de pasta per a paper a l'any 1972. Des d'aleshores es cultiva en els secans frescals del Prepirineu que van de Girona al nord de Lleida, on ha mostrat una bona adaptació a les condicions i sistemes de cultiu d'aquesta àrea. Els agricultors van trobar en el cànem el cultiu idoni per evitar el monocultiu de blat (Gorchs i Lloveras, 2003). Actualment, l'ajut de la UE al seu cultiu s'ha reduït al mateix nivell que el dels cereals (CE, 2000), però durant els anys noranta havia estat, de llarg, el principal ingrés (774,74 € ha⁻¹; CE, 1997), la qual cosa va portar als agricultors a extensificar la producció, reduint l'ús d'adobs entre altres despeses.

L'opinió general dels cultivadors de cànem i dels tècnics d'arreu, és que el cànem és un cultiu millorant (Aguiló, 1927) i bon precedent per al blat (Vincent, 1980; FNPC, 1995; van der Werf, 2002; Gorchs i Lloveras, 2003). Es diu que millora l'estructura del sòl, no necessita fitosanitaris, suprimeix les males herbes (Bocsa i Karus, 1998) i alguns patògens importants del sòl (Kok *et al.*, 1994; Singh i Singh, 2002) i és més benigne per al medi ambient que altres grans cultius (van der Werf, 2004). L'increment del rendiment de blat rere cànem seria d'uns 500 kg ha⁻¹ (Miquel, 1976) o del 10-20% (Roulac, 1997), essent tant bon precedent per al blat com la patata o la remolatxa (Mathieu, 1982). Però, la majoria de referències disponibles no precisen l'origen de les dades d'aquests increments.

D'altra banda, el cànem s'acostuma a conrear en rotació amb cereals, blat principalment, però es pot cultivar en monocultiu durant anys, sense pèrdua aparent de rendiment (Berger, 1969), si bé és més lògic cultivar-lo en rotació per treure profit del gran valor que té com a precedent dels cereals (Bocsa i Karus, 1998). No obstant, no es troben treballs sòlids que estudiïn la rotació cànem—blat i valorin acuradament l'efecte rotació del cànem com a precedent del blat o bé l'efecte del blat com a precedent del cànem, i menys a Espanya.

L'objectiu principal que es va plantejar en aquest capítol és estudiar la rotació cànem—blat en els secans frescals del nord-est d'Espanya (àrea Mediterrània temperada). En particular, es pretén quantificar:

1. L'increment de rendiment del blat rere cànem respecte al blat monocultiu (efecte rotació del cànem en el blat).
2. La repercussió de no adobar el cànem sobre el següent cultiu de blat.
3. El comportament del cànem en rotació en comparació amb el monocultiu.

2. MATERIALS I MÈTODES

2.1. Sòl i clima

L'Assaig 2 es van portar a terme a Merlès en condicions de secà, en el Prepirineu del nord de Barcelona (525 m d'altitud; 42° 0' N, 1° 58' E), durant cinc anys consecutius (1994-95 a 1998-99), a la mateixa àrea d'una parcel·la d'un cultivador habitual de cànem. El sòl, classificat com a Typic Eutrudept (Soil Survey Staff, 2003), presentava una textura franc—arenosa amb un contingut de matèria orgànica de 17 g kg⁻¹ a l'horitzó 0-30 cm. Les principals característiques físiques i químiques del sòl es presenten a la Taula 4.1.

Taula 4.1. Anàlisi de sòl inicial a tres fondàries per a l'Assaig 2 (†) a Merlès (Barcelona), abril 1995.

	Fondària (cm)		
	0-30	30-60	60-90
PH	8,2	8,3	8,3
Matèria orgànica, g kg ⁻¹	17	10	9
P‡ assimilable, mg kg ⁻¹	17	7	6
K§ assimilable, mg kg ⁻¹	211	116	101
CaCO ₃ , g kg ⁻¹	112	126	184
Textura U.S.D.A	Franc arenós	Franc arenós	Franc

† A l'any 1997 l'Assaig 1 és va portar a terme en la mateixa parcel·la que l'Assaig 2 (veure Capítol I, apartat 2.1.).

‡ Mètode Olsen.

§ Mètode de l'acetat amònic

Les característiques climàtiques de Merlès s'han presentat en el Capítol I (Figura 3.1, i Taula 3.2), aquí se'n presenta un resum (Taula 4.2). La campanya 1995-96 va ser molt humida, mentre que les campanyes 1997-98 i 1998-99 van ser especialment seques. Cal destacar el període sec, de finals de gener a mig abril, dels anys 1997, 1998 i 1999 amb precipitació total de 2, 10, i 8 mm, respectivament. D'altra banda, a finals de maig dels anys 1997 i 1999 es van donar temperatures superiors als 31 °C que van afectar el creixement del blat.

Taula 4.2. Precipitació i temperatura mitjana anual i per campanya agrícola durant els cinc anys de durada de l'Assaig 2, i mitjana de llarg termini a Merlès (Barcelona: 525 m altitud, 42° N, 1° 99' E).

Campanya	Campanya †					Mitjana 40 anys ‡
	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	
	Precipitació (mm)					
Any (octubre a setembre)	567	968	729	470	554	708
Blat (octubre a juny)	269	703	548	353	359	493
Cànem Collita 1/Collita 2 §	147/346	323/398	203/279	74/157	-	233/307
	Temperatura mitjana (°C)					
Any (octubre a setembre)	13,2	12,4	12,7	12,6	11,8	10,8
Campanya blat (octubre a juny)	10,6	10,3	10,2	9,8	8,7	8,0
Cànem Collita 1/Collita 2 §	18,7/19,3	17,6/18,4	18,2/19,1	18,6/19,4	-	16,9/17,7

† Les dades detallades per desenes i mes es presenten a la Figura 3.1 i a la Taula 3.2 del Capítol I, respectivament.

‡ Observatori de Prats de Lluçanès (P-114, anys 1941-1980), situat a 5 km de Merlès i a 185 m per sobre el nivell de la Vall de Merlès.

§ Precipitació total i temperatura mitjana de sembra a collita del cànem (ambdós mesos inclosos): maig - juliol per a Collita 1 (fi flor masculina); maig - agost per a Collita 2 (gra madur).

2.2. Tractaments i disseny experimental

El disseny experimental va ser en blocs a l'atzar amb 4 repeticions i parcel·la elemental de 10 x 5 m (50 m²), més 2 m de vorera a cada extrem (14 m en total). El factor de variació va ser la rotació, amb diferents nivells segons l'any d'assaig. L'esquema general de la rotació investigada es presenta a la Figura 4.1.

En aquest assaig de rotacions s'han estudiat dos tipus de tractaments: 1) Efecte de l'adobat i de la rotació en el cànem i 2) Efecte de la rotació en el blat. L'assaig es va situar al mig d'un camp de blat en el que l'agricultor havia seguit una rotació bianual blat—cànem, si bé l'últim cultiu que va precedir el blat, abans de iniciar l'assaig, va ser el gira-sol (Figura 4.1). L'assaig mesurava 80 per 32 m (2560 m²) i es va situar al mateix lloc tots els anys.

Tractaments en cànem

Respecte el cànem, els tractaments són: 1.- cànem adobat rere blat (CAD); 2.- cànem sense adob rere blat (CAZ); 3.- cànem adobat en monocultiu (CAM). En el cànem adobat es van aportar 100, 35 i 130 kg ha⁻¹ de N, P i K, respectivament. Les comparacions que permeten establir aquests tractaments i el número d'anys de dades disponibles són, respectivament:

- Cànem rotació adob (CAD) vs cànem rotació zero adob (CAZ); anys 1995, 1996 i 1997
- Cànem rotació adobat (CAD) vs cànem monocultiu adobat (CAM); any 1996 i 1997

Tractaments en blat

Els tractaments estudiats en relació al blat són: 1.- blat monocultiu (BM); 2.- primer any de blat rere cànem adobat (BCAD); 3.- primer any de blat rere cànem zero adob (BCAZ); 4.- segon any blat rere cànem adobat (2BCAD); 5.- segon any blat rere cànem zero adob (2BCAZ); 6.- tercer any blat rere cànem adobat (3BCAD); 7.- tercer any blat rere cànem zero adob (3BCAZ). En aquest cas, les comparacions que es poden establir són:

- Blat monocultiu (BM) davant primer any de blat rere cànem adobat (BCAD) o cànem zero adob (BCAZ); anys 1996, 1997 i 1998.
- Blat monocultiu (BM) davant segon any de blat rere cànem adobat (2BCAD) o cànem zero adob (2BCAZ); anys 1997, 1998 i 1999.
- Blat monocultiu (BM) davant tercer any de blat rere cànem adobat (3BCAD) o cànem zero adob (3BCAZ); anys 1998 i 1999.

Any	Blat monocultiu		Rotació cànem — blat						Cànem monocultiu
1992-93		Gira-sol	Gira-sol	Gira-sol	Gira-sol	Gira-sol	Gira-sol	Gira-sol	Gira-sol
1993-94		Blat	Blat	Blat	Blat	Blat	Blat	Blat	Blat
1994-95	Any previ blat	Blat †	Cànem zero ‡	Cànem Adobat §	Blat †	Blat †	Blat †	Blat †	Cànem ø
1995-96	Anys dades blat	Blat ±	Blat 1-	Blat 1+	Cànem zero ‡	Cànem adobat §	Blat ø	Blat ø	Cànem*
1996-97		Blat ±	Blat 2-	Blat 2+	Blat 1-	Blat 1+	Cànem zero ‡	Cànem adobat §	Cànem*
1997-98		Blat ±	Blat 3-	Blat 3+	Blat 2-	Blat 2+	Blat 1-	Blat 1+	Blat ø
1998-99		Blat ±	Blat ø	Blat ø	Blat 3-	Blat 3+	Blat 2-	Blat 2+	Blat ø

Figura 4.1. Esquema general de la rotació cànem—blat estudiada a l'Assaig 2. † Parcel·les de blat controlades l'any previ al primer any de dades de blat de l'Assaig 2 (resultats a Taula 4.9). ‡ Cànem sense adobar rere blat (CAZ). § Cànem adobat rere blat (CAD) (100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹, respectivament). * Cànem adobat monocultiu (CAM) (100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹, respectivament). ± Blat monocultiu (BM). 1- i 1+ Primer any de blat rere cànem sense adobar (BCAZ) i adobat (BCAD), respectivament. 2- i 2+ Segon any de blat rere cànem sense adobar (2BCAZ) i adobat (2BCAD), respectivament. 3- i 3+ Tercer any de blat rere cànem sense adobar (3BCAZ) i adobat (3BCAD), respectivament. ø Dades corresponents a tractament no presentades en aquest estudi.

2.3. Tecnologia de cultiu i determinacions

2.3.1. Cànem

La tecnologia de cultiu emprada (treball del sòl, sembra, operacions de cultiu i collita) va ser idèntica a la descrita per al cànem del Capítol I (veure apartat 2.3.1 del Capítol I), si bé cal precisar els següent punts:

- Es va utilitzar la cv. Futura 77 a una dosi de sembra de 60 kg ha⁻¹ (350 llavors m⁻²)
- L'adobat dels tractaments cànem adobat rotació (CAD) i cànem adobat en monocultiu (CAM) va ser 100, 35 i 130 kg ha⁻¹ de N, P i K respectivament, incorporats abans de la sembra. En el cànem no adobat en rotació (CAZ) no es va incorporar cap adob.

Els paràmetres controlats durant el cicle de cultiu, a les collites i en el sòl (N-NO₃⁻) són idèntics als que s'han descrit per al cànem del Capítol I (veure apartat 2.3.2), excepte la qualitat de la tija, que en aquest cas no es van determinar.

Taula 4.3. Detalls experimentals per al blat † de l'Assaig 2 (Capítol II) i de l'Assaig 3 (Capítol III).

Concepte	Campanya				
	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99
Data sembra	1-11	29-10	3-11	25-10	26-10
Data naixença	-	15-11	23-11	11-11	14-11
Separació línies	15 cm per Assaig 2; 18,6 cm per Assaig 3				
Densitat de sembra	420 llavors m ⁻²				
Adob:					
- P	35 kg P ha ⁻¹ de fons				
- K	110 kg K ha ⁻¹ de fons				
- N	120 kg N ha ⁻¹ ; 30 i 90 kg N ha ⁻¹ , estadi 21-23 i 30 (Zadocks <i>et al.</i> , 1974), respectivament				
1a Cobertora	1-2	3-2	28-1	7-2	2-2
2a Cobertora	1-4	10-4	25-3	31-3	9-4
Àrea parcel·la elemental	10 x 5,0 m ² (50 m ²) per Assaig 2				
Àrea recol·lectada ‡	3 submostres de: 1 x 0,9 m ² (2,7 m ²) per Assaig 2; 1 x 1,1 m ² (3,3 m ²) per Assaig 3				
Controls en el blat ¥					
Data Collita:	12-7	4 -7	30 -6	27-6	2 - 7
CNSBT &	-	4-5	2-5	12-5	-
N-NO ₃ ⁻ residual en sòl					
- Filloleig	-	28-1	25-1	1-2	-
- Collita	-	6-7	1-7	28-6	-
Altres paràmetres sòl ±	-	11 i 12-7	1 i 2-7	5 i 8-7	-

† Per als detalls experimentals del cànem veure Capítol I, Taula 3.3.

‡ A l'Assaig 2, els controls es va realitzar en els 10 x 1,2 m² centrals, dels 10 x 5 m² que fa la parcel·la elemental.

¥ A l'any 1994-1995 no es va realitzar cap control específic en el blat.

& CNSBT = Concentració de NO₃⁻ en el suc de la base de la tija.

± Altres paràmetres del sòl: densitat aparent; resistència a la penetració; estabilitat dels agregats; i matèria orgànica

2.3.2. Tecnologia de cultiu en el blat

Treball del sòl

El llit de sembra es va preparar seguint les pràctiques habituals de l'agricultor. És a dir, una passada de cisell, de grada de discs i una o bé dues passades de cultivador amb curró a les parcel·les de blat rere cànem i a les parcel·les de blat rere blat, respectivament (Figura 4.1).

Adob

Previ a la sembra es van incorporar 35 kg P ha⁻¹ i 110 kg K ha⁻¹. L'adobat nitrogenat es va aportar en superfície, 120 kg N ha⁻¹ en total [nitrat amònic (NH₄NO₃), 33,5%], de la següent forma; 30 kg N ha⁻¹ a ple filloleig i 90 kg N ha⁻¹ a finals del filloleig (estadis 21-23 i a prop d'estadi 30, respectivament; Zadocks *et al.*, 1974).

Sembra i collita

Durant quatre anys (1995/96 a 1998/99), el blat es va sembrar entre el 25 d'octubre i el 3 de novembre i es va collir entre el 27 de juny i el 4 de juliol (Taula 4.3). Es va elegir la cv. Soissons (culti-var no alternativa) per tractar-se d'una de les culti-vars més ben adaptada als secans frescals (López i Serra, 1995) i ser la més utilitzada a la zona (Soler, comunicació personal). Es considera un blat de força i bastant equilibrat (W de l'alveògraf de Chopin superior a 200 x 10⁻⁴ J i 0,8 de P/L) i, de fet, ha esdevingut la varietat més cultivada a Espanya (17% sobre llavor certificada; AETC, 2002). La densitat de sembra va ser 420 llavors m⁻² i la separació entre línies 15 cm.

A collita del blat, després de realitzar totes les determinacions en la planta i en el sòl que es detallen a continuació, el cultiu de blat romanent es va recollir amb una recol·lectora de cereals, la palla es va embalar i es va retirar.

Protecció del cultiu

La protecció del cultiu va consistir en l'aplicació d'herbicides per a controlar les males herbes. No es va aplicar cap altre fitosanitari, tal com és habitual a la zona.

Les males herbes de fulla ampla en blat es van controlar aplicant 2,5 l ha⁻¹ d'una barreja de 7,5% Ioxinil (4-hidroxi-3,5-diiodobenzonitril), 7,5% Bromoxinil (3,5-dibromo-4-hidroxibenzonitril) i 37,5% MCPP (2-(4-clor-2-metilfenoxi)propionic). El Tralkoxidim ($\{2-[(1\text{-etoxi-imino)propil]-3\text{-hidroxi-5(2,4,6-trimetilenil)cicloex-2-enone}\}$) a 375 g m.a. ha⁻¹ es va emprar per a controlar la cogula (*Avena sterilis* L. subsp. *Ludoviciana* i *A. s.* subsp. *Sterilis*).

2.3.3. Determinacions en el blat

Mesures en la planta

Seguiment del cicle i concentració de nitrats en el suc de la base de la tija (CNSBT)

Durant el cultiu es va seguir la fenologia amb el Codi decimal de Zadocks *et al.* (1974) i l'estat sanitari general. La concentració en nitrats del suc de la base de la tija (CNSBT) es va determinar a finals de canoneig (estadi 39; Zadocks *et al.*, 1974), segons el mètode proposat per Justes (1993). Es va extreure el suc de la base de la tija del fillol principal de 50 plantes i es va diluir (1:10). La concentració de N-NO_3^- es va mesurar per colorimetria amb tiretes Merckoquant (Merck, Darmstadt, Alemanya) i el reflectòmetre Nitrachek 10020 (Eijkelkamp, Giesbeek, Holanda).

Alçada i components del rendiment

Just abans de la collita es va mesurar l'alçada a la base de l'espiga (tres punts per parcel·la) i els components del rendiment. La densitat d'espigues es va determinar comptant les espigues en 2 línies de 1 m lineal, en tres punts per parcel·la. El número de grans per espiga (Numigral GTEP, Villeneuve la Garenne, França) i el pes de 1000 grans es va determinar prenent trenta espigues per parcel·la, les quals es van desgranar amb una desgranadora d'espigues (Wintersteiger, LD 180 ST4, Ried, Àustria).

Rendiment i índex de collita

El rendiment es va determinar prenent 3 submostres de $0,9 \text{ m}^2$ (6 línies d'1 m, separades 0,15 m) per parcel·la elemental. Les submostres, preses de la part central de la parcel·la (separades uns 2,5 m entre si), es van dallar amb una motoserra equipada amb barra de tall de vorades i tot el material vegetal es va posar en un sac. En el laboratori es va pesar cada submostra, es va desgranar (Saatmeister; Bad Godesberg, Alemanya) i es va pesar el gra. La humitat de la palla es va determinar posant una mostra a l'estufa a 105°C durant 24 h. Posteriorment es va calcular el rendiment en matèria seca total, gra i palla, ajustat al 14% d'humitat, i l'índex de collita (IC, relació pes sec del gra i pes sec biomassa aèria).

Qualitat del gra

La humitat i el pes específic (GAC-2 de Dickey-John, Auburn, IL, EUA) del gra es van determinar en 300 g de gra net. El contingut en proteïna bruta del gra es va determinar per espectroscòpia de reflectància en l'infraroig proper, utilitzant l'aparell Technicon Infra Analyzer 400 (Bran and Lubbe, Hamburg, Alemanya), i es presenta en base a matèria seca.

Mesures en el Sòl

Els paràmetres del sòl es van determinar per als tractaments blat monocultiu (BM), blat rere cànem adobat (BCAD) i blat rere cànem no adobat (BCAZ) durant tres anys (1996, 1997 i 1998). Tots els paràmetres es van determinar després de collir el blat. El contingut de N-NO_3^- també es va mesurar a filloleig del blat, a finals de gener principis de febrer, abans de l'aplicació de nitrogen de superfície (dates a la Taula 4.3).

Matèria orgànica i nitrogen nítric

El contingut de matèria orgànica (MO) i de nitrogen nítric (N-NO_3^-) en el sòl es va determinar a tres fondàries 0-30 cm, 30-60 cm i 60-90 cm. Les mostres es varen prendre amb una barrina cilíndrica Eijkelkamp (Giesbeek, Holanda) en dos punts per cada parcel·la. La MO es va determinar després de la collita del blat (mètode volumètric electroquímic), al Laboratori Agroalimentari de la Generalitat de Catalunya a Cabrils.

El N-NO_3^- es va determinar a filloleig (estadi 21-22; Zadocks *et al.*, 1974), i a collita del blat. Es va fer una extracció amb aigua 1:1, es va filtrar i el N-NO_3^- es va mesurar per colorimetria amb tires Merckoquant (Merck, Darmstadt, Alemanya). La lectura, repetida en dues tires, es va fer amb el reflectòmetre Nitrachek 10020 (Eijkelkamp, Giesbeek, Holanda) i es va convertir a $\text{kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ prenent una densitat aparent de $1,43 \text{ Mg m}^{-3}$, que és la densitat aparent mitjana de tres anys (1996 a 1998) d'assaig. El contingut d'humitat es va determinar en 5 g de sòl en estufa a 105°C durant 24 hores.

Estabilitat del agregats

L'estabilitat dels agregats es va mesurar a collita del blat segons el mètode de Henin (1972), prenent una mostra de sòl no alterada per parcel·la, d'uns $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$. La mostra de sòl es va cobrir amb plàstic per a evitar la pèrdua d'humitat fins a portar-la al laboratori, on es va desfer manualment, es va tamisar, es van separar 50 g per a determinar la humitat del sòl (24 h a estufa a 105°C) i es varen prendre tres mostres de 5g ($< 2 \text{ mm}$) que es van posar en 3 vasos de precipitat: en el primer vas es van afegir 5 ml de benzè; en el segon vas es van afegir 5 ml d'alcohol; el tercer vas es va omplir amb aigua destil·lada fins a 200 ml.

Passats 5' els dos primers vasos es van omplir amb aigua destil·lada fins a 200 ml i es varen deixar en repòs. Al cap de 30' es va transvasar el contingut a erlenmeyers de 750 ml i es van omplir d'aigua fins a 300 ml. Es van voltejar 20 vegades i es van abocar en un sedàs de 0,2 mm, es van submergir en aigua i es van moure en forma de helicoide 20 vegades. Es va determinar la proporció d'agregats romanents ($>0,2 \text{ mm}$) en sòl sec (24 h, 105°C).

Finalment, es va calcular la proporció d'agregats estables: a l'aigua (AGAIG); pretractats amb alcohol (AGALC); pretractats amb benzè (AGB); mitjana dels valors anteriors (MAG), és a dir, mitjana de AGAIG, AGALC i AGB; diferència entre agregats estables pretractats amb benzè i agregats estables a l'aigua (AGB-AGAIG); i diferència entre agregats estables pretractats amb alcohol i agregats estables a l'aigua (AGALC-AGAIG).

Densitat aparent

La densitat aparent (DAP) es va determinar a collita del blat amb el mètode “bossa de plàstic” (Porta *et al.*, 1994). En tres punts per parcel·la es va fer un forat d'uns 20 x 20 x 20 cm³, aproximadament. Es va extreure la terra, es va pesar i es va prendre una mostra per a determinar-ne la humitat (estufa, 24 h a 1050C). Seguidament es va posar una bossa de plàstic i es va omplir amb un volum conegut d'aigua. La porositat s'ha calculat prenent una densitat real de 2,6 Mg m⁻³.

Resistència a la penetració

La resistència a la penetració (RP) es va mesurar a collita del blat amb un penetròmetre de mà Eijkelkamp (Giesbeek, Holanda). Les lectures de RP es van realitzar en 10 punts per parcel·la, entre línies de sembra, cada 10 cm fins a 50 cm de fondària. Es van utilitzar els cons d'1, 2 i 3,33 cm², segons la resistència que presentava el sòl.

2.3.4. Producció del blat durant l'any previ (1994-1995) al primer any de dades de blat de l'Assaig 2

L'any previ (1994-1995) a la sembra del primer blat rere cànem (1995-1996) es va controlar la producció del blat de les parcel·les no ocupades per cànem (Figura 4.1), per determinar l'homogeneïtat de l'àrea ocupada per l'assaig. El blat (*cv.* Soissons), corresponent a un segon any de blat rere gira-sol, es va cultivar i collir seguint les mateixes pràctiques culturals descrites més amunt (veure apartat 2.3.2). A collita del blat es van determinar els paràmetres de producció exposats abans, i de forma idèntica a la descrita més amunt (apartat 2.3.3).

2.4. Anàlisi estadística

Els resultats es varen sotmetre a anàlisi de la variància amb el procediment General Linear Model de SAS (versió 8.0) (SAS Institute, 1989). Les diferències significatives entre tractaments es van determinar mitjançant el test de separació de mitjanes LSD per a $P < 0,05$. En els casos que s'ha considerat adient, la regressió entre variables s'ha fet amb el procediment PROC REG.



Figura 4.2. Vista de l'Assaig 2, Rotació cànem—blat, amb l'estació agroclimàtica en primer terme (26 juny 1997)



Figura 4.3. Vista de l'Assaig 2, Rotació cànem—blat, el 15 de juny de 1996. Parcel·la cànem més fosca en primer terme correspon a cànem adobat (100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹, respectivament), i la més clara a cànem no adobat.

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

3.1. Efecte en el cànem

L'esquema general de la rotació es pot observar a la Figura 4.1. En relació al cànem, es presenten els resultats de tres tractaments: cànem zero adob rere blat; cànem adobat rere blat; cànem adobat monocultiu. Aquests tractaments permeten les següents comparacions: 1. adob vs zero adob (amb blat com a cultiu precedent); 2. rotació vs monocultiu (ambdós amb adob). Al cànem adobat es van aportar 100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹ de fons.

3.1.1. Producció del cànem

Densitat de cultiu

Adob vs zero adob

La densitat de cultiu a naixença, a Collita 1 i a Collita 2, va ser 178, 144 i 102 plantes m⁻², respectivament, de mitjana per al conjunt dels anys i de tractaments (cànem rotació zero adob i amb adob).

L'any va influir significativament la densitat de cultiu a naixença i a Collita 1 (Taula 4.4), amb densitats de cultiu superiors per a l'any 1996: 175, 223 i 137 plantes m⁻² a naixença, i 102, 204 i 125 plantes m⁻² a Collita 1, per als anys 1995, 1996 i 1997 respectivament; i 100 i 104 plantes m⁻² a Collita 2, per als anys 1995 i 1997, respectivament.

El tractament (adob o no adob) i any x tractament no van afectar significativament la densitat de cultiu ni a naixença ni a collita, si bé a collita el cànem zero adob tendeix a mantenir una densitat de cultiu superior a la del cànem adobat.

Taula 4.4. Densitat de cultiu a naixença i a collita del cànem (cv. Futura 77).

Tractaments i estadística †	Naixença			Collita 1 (fi flor masculina) ‡			Collita 2 (gra madur)	
	1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1997
Cànem rere blat amb adob vs cànem rere blat zero adob §								
Zero adob	178	238	150	110	178	131	110	111
Adob	173	208	119	95	231	119	89	98
Significació	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cànem rere blat vs cànem monocultiu (amb adob)								
Monocultiu	-	241	118	-	227	106	-	101
Rotació	-	208	119	-	231	119	-	98
Significació	-	NS	NS	-	NS	NS	-	NS

† Anova per al conjunt dels anys: any significatiu ($P < 0,05$) a naixença i a Collita 1. Tractament i interacció tractament x any no significatiu.

‡ Per les dates de collita, veure Taula 3.3. § Adob = 100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹. NS, no significatiu per a $P < 0,05$.

A partir de naixença la densitat de cultiu va disminuir (com hem vist al Capítol I; Tècniques de conreu en cànem), presentant una mortalitat de plantes a Collita 1 i 2 de 21% i 46%, respectivament, essent superior per a l'any 1995 (44, 15 i 5% a Collita 1 per als anys 1995, 1996 i 1997, respectivament).

En general, la densitat de cultiu a naixença i la de collita és lleugerament superior a la del Capítol I, per a la mateixa dosi de N i sembra (Taula 3.5). En tot cas, la densitat a collita és superior a les 70 plantes m⁻² que al Capítol I s'han identificat com a suficients per a obtenir un rendiment de biomassa elevat. I és superior a les 100-125 plantes m⁻² que van der Werf *et al.* (1995b) a Holanda i Lisson i Mendham (2001) a Austràlia donen com a suficients.

Rotació vs monocultiu

La rotació (cànem rere blat vs cànem rere cànem, ambdós amb adob) no va influir significativament la densitat de cultiu a naixença ni a collita (Taula 4.4).

Rendiment de biomassa i de tija

Adob vs zero adob

La mitjana per al conjunt dels anys del rendiment de biomassa va ser 7940 i 7972 kg MS ha⁻¹ a Collita 1 i Collita 2, mentre que el de tija va ser 5573 i 5295 kg MS ha⁻¹ a Collita 1 i a Collita 2, respectivament. L'**any** no va influir significativament en el rendiment de biomassa ni de tija a ambdues collites (Taula 4.5).

Taula 4.5. Rendiment de biomassa i de tija (kg MS ha⁻¹) a collita per al cànem rere blat (cv. Futura 77), en funció de l'adobat aplicat al cànem.

Tractaments ‡ i estadística	Collita 1 (fi flor masculina)†						Collita 2 (gra madur)†			
	Biomassa			Tija			Biomassa		Tija	
	1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1997	1995	1997
Zero adob	7655	5311	5340	5440	3213	3848	8886	4737	5754	3163
Adob	8260	10983	10090	6265	8061	7809	9393	8871	5902	6386
Significació	NS	**	**	NS	**	*	NS	**	NS	**
Anova per al conjunt dels anys										
Any	NS			NS			NS		NS	
Error a	-			-			-		-	
Adob	**			**			**		NS	
Any x adob	**			*			**		NS	
Error b	-			-			-		-	

† Per les dates de collita, veure Taula 3.3. ‡ Adob = 100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹, respectivament.

**, * Significatiu per a P < 0,01 i 0,05, respectivament. NS, no significatiu.

L'adob va afectar significativament el rendiment de biomassa i de tija els anys 1996 i 1997 a ambdues collites, i per al conjunt dels anys a Collita 1, si bé el cànem rotació adobat va presentar valors superiors a cànem rotació zero adob en tots els casos. **Any x adob** va ser significatiu a ambdues collites pel rendiment de biomassa, i a collita 1 pel rendiment de tija, pel menor pendent que presenta la resposta a l'adob l'any 1995, probablement degut a un major nivell de N en el sòl abans de la sembra (dada no controlada).

En general, es tracta d'un comportament similar a l'observat al Capítol I (Tècniques de conreu en cànem) pel que fa a la resposta a l'aplicació d'adob, i als rendiments a ambdues collites en els diferents anys, si bé aquí es van obtenir rendiments entre 1000 i 2000 kg MS ha⁻¹ inferiors. El rendiment de biomassa i de tija d'aquest assaig és clarament inferior als 12000-18000 i 10000-15000 kg MS ha⁻¹ de biomassa i de tija, respectivament que reporten van der Werf *et al.* (1995b) a Holanda i Amaducci *et al.* (2002a) al nord d'Itàlia, zones amb pluviometria clarament més ben distribuïda i temperatures més suaus.

Rotació vs monocultiu

La **rotació** no va afectar significativament el rendiment de biomassa ni de tija (Taula 4.6) ni, de fet, a la resta de paràmetres controlats en el present treball (dades no presentades), si bé cànem adobat monocultiu va tendir a presentar valors lleugerament superiors a cànem adobat rotació. Aquests resultats estan d'acord amb Berger (1969), FNPC (1995), i Bocsa i Karus (1998), que diuen que el cànem s'adapta bé al monocultiu, tot i que cultivar cànem en monocultiu no té sentit, perquè es perd el valor que té com a precedent d'altres cultius o del blat (Figura 4.7). A més, els problemes sanitaris podrien augmentar (Dempsey, 1975).

D'altra banda, Bocsa i Karus (1998) indiquen que el segon i tercer any de cànem rere cànem necessitaria més fertilitzant. Els resultats obtinguts contradiuen aquesta afirmació, per al nivell d'adob utilitzat (100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹), ja que el cànem monocultiu tendeix a tenir un rendiment superior a cànem rotació a tots els anys (Taula 4.6).

Taula 4.6. Rendiment de biomassa i tija (kg MS ha⁻¹) a collita del cànem, segon la rotació (cv. Futura 77).

Tractaments i estadística †	Collita 1 (fi flor masculina) ‡				Collita 2 (gra madur) ‡	
	Biomassa		Tija		Biomassa	Tija
	1996	1997	1996	1997	1997	1997
Cànem monocultiu	11236	10268	8318	7916	9135	6699
Cànem rere blat	10983	10090	8061	7809	8871	6386
Significació	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Anova per al conjunt dels anys						
Any	NS		NS		-	-
Error a	-		-		-	-
Rotació	NS		NS		-	-
Any x rotació	NS		NS		-	-
Error b	-		-		-	-

† El cànem es va adob 100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹, respectivament. ‡ Per a les dates de collita, veure Taula 3.3.

**, * Significatiu per a P <0,01 i 0,05, respectivament. NS, no significatiu.

Rendiment de gra

Adob vs zero adob

La mitjana del rendiment de gra per als dos anys d'assaig dels tractaments zero adob i adob va ser 1044 kg MS ha⁻¹. L'any no va afectar significativament el rendiment de gra, tot i que la mitjana de l'any 1995 (1248 kg ha⁻¹) és superior a la de l'any 1997 (938 kg ha⁻¹). Aquests resultats són inferiors als 1352 del Capítol I (tècniques de conreu en cànem). No obstant, és un rendiment elevat respecte als 700 -1000 kg ha⁻¹ reportats en altres àrees d'Europa (Gauca *et al.*, 1986; FNPC, 1995; i Béhérec, 2000), tal com es posava en evidència en la discussió del Capítol I.

L'**adob** va afectar significativament el rendiment de gra per als dos anys en conjunt, però no a cada any considerat individualment (Figura 4.4). La mitjana del rendiment de gra per als dos anys de cànem zero adob i cànem adob va ser de 833 i 1254 kg ha⁻¹, respectivament. L'efecte de l'adob sobre el rendiment de gra està d'acord amb el reportat en el Capítol I, si bé les diferències eren significatives a tots els anys.

Rotació vs monocultiu

La **rotació** no va afectar significativament el rendiment de gra, si bé el cànem en monocultiu té un rendiment de gra lleugerament més elevat que el cànem rere blat, comportament que és similar al que succeïa per al rendiment de biomassa i de tija, i de forma majoritària per a altres paràmetres que no s'han presentat. De manera que, d'acord amb els resultats obtinguts, es pot concloure que el cànem mostra una excel·lent adaptació al monocultiu.

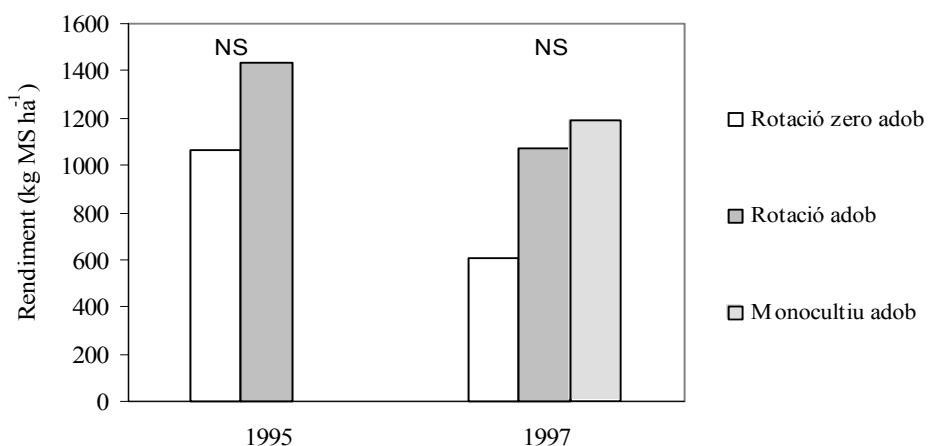


Figura 4.4. Rendiment de gra a Collita 2 del cànem (adob = 100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹). Anova per al conjunt dels anys: adob significatiu; any, tractament x any i rotació no significatiu. NS = no significatiu ($P < 0,05$).

Evolució de l'alçada

Adob vs zero adob

L'alçada es correlaciona amb el rendiment de tija (Meijer i Keizer, 1994), de manera que pot tenir interès conèixer-ne l'evolució. L'alçada mitjana per al conjunt dels anys i de tractament a Collita 1 i a Collita 2 va ser 156 i 168 cm, respectivament. Són valors inferiors als 190 cm del Capítol I (Tècniques de conreu en cànem), que permeten entendre la menor autoaclariada i el menor rendiment de tija aquí (Taula 4.5).

Cada any té un ritme de creixement diferenciat. L'any 1996 va presentar una alçada de cultiu superior després de naixença (fins a 600 °Cdia), però posteriorment el creixement es va alentir i l'any 1995 va presentar una alçada superior a ambdues collites (Figura 4.5). La major densitat de cultiu de l'any 1996 (Taula 4.4) explica aquest comportament (Amaducci *et al.*, 2002), el qual concorda amb el trobat al Capítol I (Assaig 1: Taula 3.15).

L'**adob** va afectar significativament l'alçada: a partir del tercer control l'any 1995, excepte a Collita 1; a tots els control l'any 1996 (amb diferències molt clares); i a l'any 1997 només a Collita 2. No obstant, a tots els controls durant els tres anys d'assaig el cànem adobat té una alçada superior a cànem zero adob, si bé són més evidents per a l'any 1996 (Figura 4.5).

Rotació vs monocultiu

La **rotació** no va afectar significativament l'alçada, si bé el cànem adobat monocultiu va tendir a presentar una alçada superior a la de cànem adobat rere blat, similarmet al que succeïa amb el rendiment de biomassa i tija (Taula 4.6) i gra (Figura 4.4).

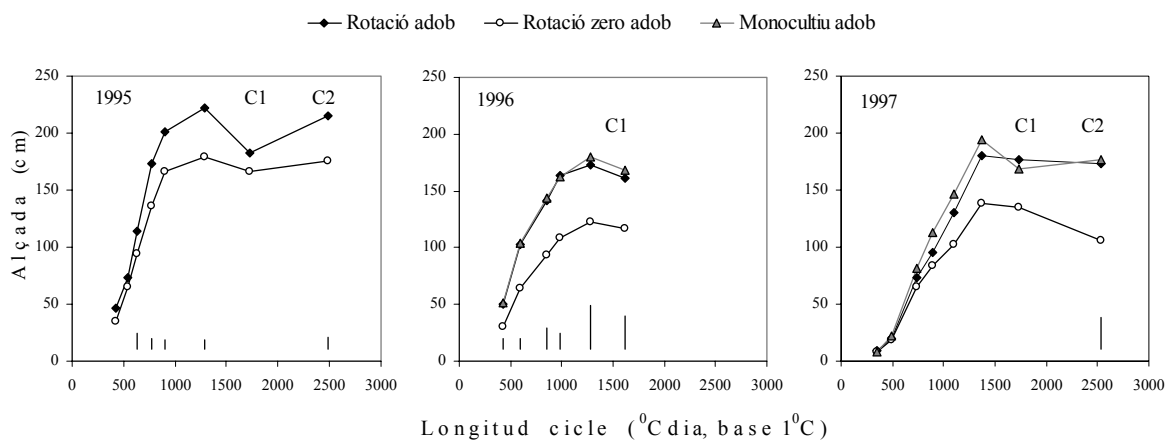


Figura 4.5. Evolució de l'alçada del cànem segons l'adob (100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹) i la rotació per a tres anys (cv. Futura 77). C1 = Collita 1 (fi flor mascle). C2 = Collita 2 (gra madur). Barres verticals indiquen LSD per a adob vs zero adob ($P < 0,05$). Monocultiu i rotació adob no significatiu en cap cas.

3.1.2. Nitrogen nítric en el sòl després de Collita 2 (gra madur) del cànem

Adob vs zero adob

La mitjana per als tres anys d'assaig del contingut de N-NO_3^- en el sòl a 0-90 cm després de collir el cànem va ser $37 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$, dels quals 23 kg ha^{-1} a l'horitzó 0-30 cm, 8 kg ha^{-1} a l'horitzó 30-60 cm i 6 kg ha^{-1} a l'horitzó 60-90 cm (Taula 4.7). El contingut de N-NO_3^- a 0-90 cm és proper als 43 kg ha^{-1} del Capítol I (Tècniques de conreu en cànem) i és inferior als $51 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ que López Bellido i López Bellido (2001c) reporten per al gira-sol després de collita, cultiu que consideren respectuós amb el medi ambient, pel fet de tenir arrels profundes i ser capaç d'extreure el N lixiviat a horitzons profunds.

L'any va afectar significativament el contingut de N-NO_3^- en el sòl després de collita del cànem, amb valors superiors per a l'any 1996 respecte als dels anys 1995 i 1997 a tots els horitzons controlats. A 0-90 cm la mitjana del contingut en N-NO_3^- va ser de 26, 52, i 32 kg ha^{-1} per als anys 1995, 1996 i 1997, respectivament. Aquest resultat difereixen dels del Capítol I, on el nivell de N-NO_3^- després de la collita era significativament més elevat per a l'any 1995 (Taula 3.20). La causa no és clara. Es possible que el nitrogen subministrat pel sòl a l'any 1995 fos inferior al del Capítol I. O bé que es perdés més N per lixiviació del que s'observava per al Capítol I, factible perquè el sòl aquí és més sorrenc (Taula 4.1)

L'adob va influir significativament el contingut de N-NO_3^- en el sòl després de collita del cànem a l'horitzó 30-60 cm i 0-90 cm, amb 6 i $10 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$, i 33 i $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ de mitjana per als tres anys en conjunt per a cànem zero adob i cànem adob, respectivament. Per a cada any individualment, l'adob només va afectar significativament el nivell de N-NO_3^- en el sòl l'any 1996 a l'horitzó 30-60 cm (Taula 4.7), si bé cànem zero adob va presentar valors inferiors als de cànem adob a tots els anys i horitzons, excepte a 60-90 cm.

Taula 4.7. Contingut en nitrogen nítric en el sòl després de collita† del cànem, en funció de l'adobat per al cànem rere blat i per a tres anys d'assaig, (cv. Futura 77).

Tractaments i estadística	Fondària del sòl											
	0 – 30 cm			30 – 60 cm			60 – 90 cm			0 – 90 cm		
	1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1996	1997
	K _g N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹											
Zero adob	14	27	22	3	10	6	6	10	2	22	48	29
Adob ‡	17	34	24	7	13	9	5	10	1	29	56	35
Significació	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	ANOVA per al conjunt dels anys											
Any		**			*			**				**
Error a		-			-			-				-
Adob		NS			**			NS				*
Any x adob		NS			NS			NS				NS
Error b		-			-			-				-

† Collita 2 (gra madur) per als anys 1995 i 1997, i Collita 1 (fi flor mascle) per a l'any 1996. Dates de collita a Taula 3.3.

‡ Adob = 100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹.

** , * Significatiu per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS, no significatiu.

L'increment del contingut en N-NO_3^- que ocasiona l'adob és 7 kg ha^{-1} de mitjana per als tres anys a 0-90 cm (4 i $3 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ a 0-30 cm i a 30-60 cm, respectivament). Es tracta d'un increment moderat, similars als $10 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ del Capítol 1 (Taula 20), més encara si es té en compte que l'intercultiu amb el posterior blat és molt curt, de manera que el risc de perdre's per lixiviació és reduït. En blat, per a nivells d'adob N similars als del present assaig (0 i 100 kg N ha^{-1}), López Bellido i López Bellido (2001c) troben un increment de N-NO_3^- residual després de collita superior ($15 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$).

No adobar el cànem no va permetre, aparentment, reduir el N-NO_3^- residual en el sòl després de collita. Aquests resultats estan d'acord amb els observats al Capítol I (tècniques de conreu en cànem) i amb Massé (1999) en blat, que diu que el N-NO_3^- residual en el sòl després de collita és inferior si s'aporten dosis de N moderades al blat, respecte a no adobar-lo. En conjunt, el N nítric residual en el sòl després de collita del cànem és baix, si no s'utilitzen dosis de N excessives, suggerint que el cànem és un cultiu respectuós amb el medi ambient.

Rotació vs monocultiu

La **rotació** no va influir significativament el contingut en N-NO_3^- en el sòl després de collita del cànem (Taula 4.8). La mitjana per als dos anys a 0-90 cm va ser 42 i $46 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ per al cànem adobat en monocultiu i per al cànem adobat rere blat, respectivament.

Es tracta del mateix comportament que s'ha observat per a tots els paràmetres presentats en aquest estudi, per als qual no s'ha trobat cap diferència substancial entre cànem monocultiu i cànem rere blat. Aquests resultats estan d'acord amb Berger (1969), FNPC (1995) i (Bocsa i Karus (1998) que diuen que el cànem és excepcionalment tolerant al monocultiu.

Taula 4.8. Contingut en nitrogen nítric en el sòl després de collita† del cànem, segons la rotació per al cànem adobat ‡ i per a dos anys d'assaig (cv. Futura 77).

Tractaments i estadística	Fondària del sòl											
	0 – 30 cm			30 – 60 cm			60 – 90 cm			0 – 90 cm		
	1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1996	1997
	Kg $\text{N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$											
Monocultiu	-	29	20	-	17	9	-	10	1	-	55	29
Rotació	-	34	24	-	13	8	-	10	1	-	56	35
Significació	-	NS	NS	-	NS	NS	-	NS	NS	-	NS	NS
Anàlisi de la variància per al conjunt dels anys												
Any		NS			NS			**			*	
Error a		-			-			-			-	
Adob		NS			NS			NS			NS	
Any x		NS			NS			NS			NS	
Error b		-			-			-			-	

† Collita 2 (gra madur) per als anys 1995 i 1997, i Collita 1 (fi flor mascle) per a l'any 1996. Dates de collita a Taula 3.3.

‡ Adob = $100\text{-}35\text{-}130 \text{ kg N-P-K ha}^{-1}$.

**, * Significatiu per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS, no significatiu.

3.2. Efecte en el blat

3.2.1. Producció del blat l'any previ (1994-1995) al primer any de dades del blat (1995-1996) de la rotació cànem—blat

A la Taula 4.9 es presenten els resultats de producció corresponents al blat (segon any de blat rere gira-sol) de les parcel·les no ocupades pel cànem l'any previ (1994-1995) a la sembra del primer blat rere cànem (1995-1996) (veure Figura 4.1 per esquema de la rotació i els tractaments assajats).

El rendiment de gra es va situar a la banda baixa del que s'ha de considerar normal a la zona (4500-5500 kg ha⁻¹) (Gorchs, 1994; López i Serra, 1996), però és superior a l'obtingut durant els tres anys d'assaig (1996-97 a 1998-99) del segon any de blat rere cànem (Taula 4.11).

La campanya 1994-1995 va ser molt seca (269 mm d'octubre a juny), però les pluges van ser molt oportunes i les temperatures de final de cicle suaus (Taula 3.2), fet que va possibilitar que el pes de 1000 grans i el pes específic es situessin per sobre dels valors obtinguts per al segon any de blat rere cànem de l'Assaig 2.

Es va avaluar la homogeneïtat inicial de la parcel·la d'assaig, mostrant que el bloc 2 dona rendiments de gra, palla i biomassa aèria superior als altres blocs, però no es donen diferències per cap altre paràmetre. El coeficient de variació per als diferents paràmetres controlats es va situar entre el 0,9% per al pes específic i el 15% per a la producció de gra.

Taula 4.9. Producció del blat (segon any de blat rere gira-sol) a l'any previ (1994-1995) al primer any de blat de l'Assaig 2 (Capítol II).

Paràmetre	Mitjana †
Gra (kg ha ⁻¹)	4079
Palla (kg ha ⁻¹)	4830
Biomassa aèria(kg ha ⁻¹)	7661
Índex de collita (%)	46
Espigues m ⁻²	449
Grans espiga ⁻¹	33,3
1000 Grans m ⁻²	14,9
Pes 1000 grans (g)	47,7
Pes específic	82,8

† Mitjana de 5 parcel·les per 4 repeticions.

3.2.2. Producció del blat

Efecte de l'any en el rendiment de gra, palla i biomassa del blat

L'anàlisi de la variància i les dades de producció de gra, palla i biomassa es presenten a Taula 4.10 i Taula 4.11, respectivament. **L'any** agrícola va influir significativament en el rendiment de gra del primer any de blat rere cànem (BCAD i BCAZ vs BM), i en tots els altres paràmetres de la planta a excepció del contingut en proteïna (Taula 4.10).

El segon any de blat rere cànem (2BCAD i 2BCAZ vs BM) va mostrar un comportament similar (pes gra i proteïna no afectats per l'any) mentre que en el tercer any de blat rere cànem (3BCAD i 3BCAZ vs BM) no es van observar diferències significatives degudes a l'any en el rendiment de gra, palla i biomassa ni en alguns altres paràmetres (grans m⁻², pes 1000 grans i pes específic). La mitjana del rendiment de gra del primer, segon i tercer any de blat rere cànem, per al conjunt del anys, va ser de 3833 kg ha⁻¹, 2832 kg ha⁻¹ i 3203 kg ha⁻¹, respectivament (Taula 4.11). Es tracta de rendiments inferiors als normals de la zona (4500-5500 kg ha⁻¹; Gorchs, 1994) (López i Serra, 1996, 1997 i 1998), tret de l'any 1996, que amb un clima més suau (Taula 4.2), va tenir una producció normal per a l'àrea de Merlès.

Taula 4.10. Anàlisi de la variància per al rendiment del blat (gra, palla i biomassa total), components del rendiment i característiques de gra i de la planta segons la rotació.

Font de variació	Gra	Palla	Bio-massa	Índex Collita	Espigues m ⁻²	Grans Espiga ⁻¹	Grans m ⁻²	Pes 1000 grans	Pes específic	Proteïna bruta	Alçada
Primer any de blat rere cànem versus blat monocultiu (BCAD, BCAZ i BM; anys 1996, 1997 i 1998)†											
Any (A)	**	**	**	**	**	**	**	*	*	NS	**
Error a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotació (R)	**	**	**	**	**	NS	*	**	*	**	**
A x R	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**
Error b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Segon any de blat rere cànem versus blat monocultiu (2BCAD, 2BCAZ i BM; anys 1997, 1998 i 1999)†											
Any (A)	**	**	**	**	**	**	**	NS	**	NS	**
Error a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotació (R)	NS	**	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
A x R	**	**	**	*	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS
Error b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tercer any de blat rere cànem versus blat monocultiu (3BCAD, 3BCAZ i BM; anys 1998 i 1999)†											
Any (A)	NS	NS	NS	*	*	**	NS	NS	NS	-	*
Error a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotació (R)	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	**	-	NS
A x R	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	**	-	**
Error b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

† BM, BCAZ i BCAD per a blat monocultiu, primer any de blat rere cànem sense adobar i primer any de blat rere cànem adobat 100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹, respectivament. 2 i 3 indica segon i tercer any de blat rere cànem.

** , * Indica significació a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS, no significatiu.

La mitjana dels rendiments en gra d'aquesta experiència han estat: superiors als obtinguts per López Bellido *et al.* (2001a i 2001b) en un àrea Mediterrània més seca i càlida del sud d'Espanya; similars als obtinguts en zones semiàrides per Schlegel *et al.* (2002) a Kansas (EUA) i per Escribano *et al.* (1998) al centre d'Espanya; inferiors als obtinguts en àrees centreuropees (Wibberley, 1996), on tenen un cicle més llarg, precipitacions ben distribuïdes i temperatures més suaus alhora d'omplir el gra, en comparació a les àrees de secà frescal.

L'oportunitat de les pluges, i les temperatures al final del cicle, van marcar el rendiment de gra del blat: mentre que la precipitació durant el cultiu del blat del 1997 (10/96 a 6/97) va ser 195 mm superior a la del 1998 (Taula 4.2), la mitjana del rendiment de gra del primer i del segon any de blat rere cànem del 1997 va ser 1323 i 1731 kg ha⁻¹ inferior, respectivament. A ambdues campanyes la precipitació es va concentrar en els mesos d'hivern (60% d'octubre a febrer), però el 1997 hi va haver un període sec més llarg (1 febrer a 19 abril sense pluja) i les temperatures màximes del maig van ser més altes (Figura 3.1). Les dades de producció del blat l'any previ (1995, Taula 4.9) al primer any de blat (1996) del present assaig donen suport a aquesta explicació: la mitjana del rendiment de gra de l'any 1995 (4079 kg ha⁻¹) va ser més alta que les mitjanes dels anys 1997 a 1999 (Taula 4.11), quan la precipitació del 1995 (10/94 a 6/95) havia estat entre 84 i 279 mm inferior (Taula 4.2).

La interacció **any x rotació** no va ser significativa per al rendiment de gra, palla i biomassa del primer i del tercer any de blat rere cànem, mentre que ho va ser per al segon any de blat rere cànem. També ho va ser per a: el contingut de proteïna bruta i l'alçada en el primer any de blat rere cànem; pes específic en el segon any de blat rere cànem; i grans espiga⁻¹, pes específic i alçada en el tercer any de blat rere cànem.

Efecte de la rotació en el rendiment de gra, palla i biomassa del blat

La rotació va influir significativament el rendiment de gra, palla i biomassa a cada any i per als tres anys en conjunt. El rendiment del primer any de blat rere cànem (BCAD i BCAZ) va ser superior al del blat monocultiu (BM; Taula 4.11). Per a la mitjana de gra i de biomassa (any 1996 a 1998), el blat rere cànem adobat va ser superior al blat rere cànem sense adobar (BCAD > BCAZ). Però per a cada any individualment, ambdós tractaments només difereixen l'any 1996 per a la biomassa, si bé BCAD sempre va presentar valors superiors.

El segon any de blat rere cànem (2BCAD i 2BCAZ) va presentar valors significativament superiors de gra, palla i biomassa als del blat monocultiu (BM) per als anys 1997 i 1998. Per als tres anys en conjunt, els rendiments de palla i de biomassa de 2BCAD i 2BCAZ també van superar significativament al de BM (no per al gra). El 1999 va ser l'únic any on BM va superar a 2BCAD i 2BCAZ, però les diferències no van ser significatives. El tercer any de blat rere cànem (3BCAD i 3BCAZ) ja no es va diferenciar de BM en cap cas.

Taula 4.11. Rendiment de gra, palla (14% d'humitat) i biomassa aèria (matèria seca) del blat en funció de la rotació durant quatre anys.

Rotació†	Gra					Palla					Biomassa				
	1996	1997	1998	1999	Mitj.	1996	1997	1998	1999	Mitj.	1996	1997	1998	1999	Mitj.
	kg ha ⁻¹					kg ha ⁻¹					kg ha ⁻¹				
Primer any de blat rere cànem versus blat monocultiu															
BM	3744	1683	3337	-	2921	6065	1728	4535	-	4109	8436	2933	6770	-	6046
BCAZ	5209	3072	4211	-	4164	7322	2958	5446	-	5242	10777	5185	8305	-	8089
BCAD	5544	3262	4437	-	4414	8044	3159	5446	-	5549	11685	5522	8499	-	8569
Mitjana	4832	2672	3995	-	3833	7143	2615	5142	-	4967	10299	4547	7858	-	7568
Signif.	**	**	**	-	**	**	**	**	-	**	**	**	**	-	-
LSD _{Rot.}	426	391	387	-	226	646	391	630	-	319	866	663	807	-	440
LSD _{Any}	-	-	-	-	530	-	-	-	-	378	-	-	-	-	599
Segon any de blat rere cànem versus blat monocultiu															
BM	-	1683	3337	3164	2728	-	1728	4535	4686	3650	-	2933	6770	6752	5485
2BCAZ	-	1873	3910	2992	2925	-	1812	5566	4667	4015	-	3169	8149	6587	5968
2BCAD	-	2148	3651	2726	2842	-	2037	5429	4465	3977	-	3599	7809	6185	5864
Mitjana	-	1901	3632	2961	2832	-	1859	5177	4606	3881	-	3234	7576	6508	5773
Signif.	-	**	**	NS	NS	-	*	**	NS	**	-	*	**	NS	*
LSD _{Rot.}	-	275	353	-	-	-	268	481	-	218	-	449	655	-	325
LSD _{Any}	-	-	-	-	631	-	-	-	-	1240	-	-	-	-	1552
Tercer any de blat rere cànem versus blat monocultiu															
BM	-	-	3337	3164	3251	-	-	4535	4686	4611	-	-	6770	6752	6761
3BCAZ	-	-	3000	3263	3132	-	-	4070	5016	4543	-	-	6080	7120	6600
3BCAD	-	-	3284	3170	3227	-	-	4567	4887	4727	-	-	6751	6930	6840
Mitjana	-	-	3207	3199	3203	-	-	4391	4863	4627	-	-	6534	6934	6734
Signif.	-	-	NS	NS	NS	-	-	NS	NS	NS-	-	-	NS	NS	NS
LSD _{Rot.}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LSD _{Any}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

† BM, BC AZ i BCAD per al blat monocultiu, primer any de blat rere cànem sense adobar i primer any de blat rere cànem adobat (100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹), respectivament. 2 i 3 indica segon i tercer any de blat rere cànem.

LSD_{Rot.} i LSD_{Any}; Mínima diferència significativa per a $P < 0,05$ per a la rotació i per a l'any, respectivament.

**, * Indica significació a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS, no significatiu.

El disseny experimental no permet la comparació conjunta entre blat monocultiu (BM) i les diverses rotacions, perquè les dades del primer (BCAD i BC AZ), segon (2BCAD i 2BCAZ) i tercer (3BCAD i 3BCAZ) any de blat rere cànem corresponen a diferents anys experimentals (Taula 4.11). Ara bé, blat monocultiu, i primer i segon any de blat rere cànem es poden analitzar conjuntament per als anys 1997 i 1998, mentre que blat monocultiu, segon i tercer any de blat rere cànem es poden analitzar conjuntament per al 1998 i 1999 (Figura 4.6).

Blat monocultiu versus primer i segon any de blat rere cànem (anys 1997 i 1998)

El rendiment de gra i de biomassa va variar significativament amb l'any (1998 > 1997; $P < 0,001$) i la rotació ($P < 0,001$). El primer any de blat rere cànem va presentar valors superiors als del segon any de blat rere cànem, i aquests van ser superiors als del blat monocultiu (BM; Figura 4.6). Per als dos anys en conjunt (1997 i 1998) no es van observar diferències significatives degudes a l'adobat aplicat al cànem (BCAD=BCAZ; 2BCAD=2BCAZ). La interacció any x rotació va ser significativa ($P < 0,01$), degut a que les diferències entre tractaments de l'any 1997 van variar lleument l'any 1998, si bé la tendència general descrita abans es va mantenir.

Blat monocultiu versus segon i tercer any de blat rere cànem (anys 1998 i 1999)

La rotació va afectar significativament la producció de biomassa, la qual va ser superior per al segon any de blat rere cànem sense adobar (2BCAZ) davant el tercer any de blat rere cànem (3BCAD i 3BCAZ) i el blat monocultiu (BM). L'any no va influir significativament ni en la producció de gra ni en la de biomassa, mentre que la interacció any x rotació va ser significativa ($P < 0,001$) per a ambdós paràmetres. En conjunt, aquestes dades suggereixen que l'efecte del cànem com a precedent del blat s'esmoreix entre el segon i el tercer any de blat rere cànem.

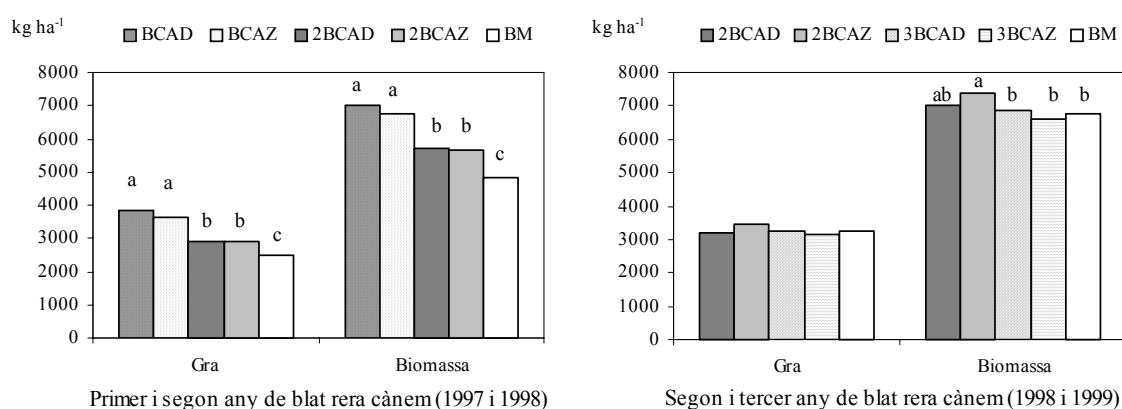


Figura 4.6. Mitjana del rendiment en gra (14% humitat) i biomassa aèria (matèria seca) del blat segons la rotació durant 2 anys. BM, blat monocultiu; BCAZ, primer any de blat rere cànem sense adobar; BCAD, primer any de blat rere cànem adobat (100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹); 2 i 3 per a segon i tercer any de blat rere cànem. Per a cada paràmetre, mitjanes seguides per la mateixa lletra no són significativament diferents per a $P < 0,05$ segons el test LSD.

Efecte rotació

L'efecte rotació per al rendiment de gra (diferència entre rendiment del blat rotació i blat monocultiu; blat rotació – BM), es presenta a la Taula 4.12 i a les Figura 4.7 i Figura 4.8.

El major efecte rotació per al conjunt dels anys el va mostrar el primer any de blat rere cànem, amb un increment de producció mig de 1368 kg ha⁻¹ respecte al blat monocultiu, que en percentatge representa un increment de producció del 47%. L'efecte rotació va anar dels 874 kg ha⁻¹ (26%) del primer any de blat rere cànem sense adob (BCAZ–BM) per a l'any 1998 als 1800 kg ha⁻¹ (48%) del primer any de blat rere cànem adobat (BCAD–BM) per a l'any 1996. En percentatge el major efecte rotació el va donar el BCAD l'any 1997 (94%). L'efecte rotació del primer any de blat rere cànem adobat va ser lleugerament superior al del primer any de blat rere cànem sense adobar (8% d'increment de rendiment de gra de mitjana entre BCAD-BM i BCAZ-BM), però en cap cas amb significació estadística.

Taula 4.12. Efecte rotació del cànem en el rendiment de gra del blat respecte al del blat monocultiu (Blat rotació–BM).

Rotació †	1996	1997	1998	1999	Mitjana
kg ha ⁻¹					
Primer any de blat rere cànem					
BCAD	1800	1580	1100	-	1493
BCAZ	1466	1389	874	-	1243
Mitjana	1633	1484	987	-	1368
Significació	NS	NS	NS	-	NS
Segon any de blat rere cànem					
2BCAD	-	466	314	-438	114
2BCAZ	-	190	572	-172	197
Mitjana	-	328	443	-305	156
Significació ‡	-	NS	NS	NS	NS
Tercer any de blat rere cànem					
3BCAD	-	-	-54	6	-24
3BCAZ	-	-	-337	99	-119
Mitjana	-	-	-195	52	-72
Significació	-	-	NS	NS	NS

† BCAD i BCAZ per al primer any blat rere cànem adobat (100-35-85 kg N-P-K ha⁻¹) i cànem sense adobar, respectivament. 2 i 3 indiquen 2n i 3r any de blat rere cànem.

‡ L'any només va ser significatiu ($P < 0,05$) per al segon blat rere cànem (97=98>99). Any x rotació no va ser significativa en cap cas. NS indica no significatiu per a la rotació.

El segon any de blat rere cànem va mostrar un efecte rotació més moderat (6% de mitjana per a 2BCA-BM i 2BCAZ-BM), més elevat els anys 1997 i 1998 i negatiu el 1999. En canvi per al tercer any de blat rere cànem l'efecte rotació va ser lleugerament negatiu (-2% de mitjana per a 3BCAD-BM i 3BCAZ-BM), si bé no de forma significativa.

L'efecte rotació obtingut confirma les informacions aportades per agricultors i tècnics, que el cànem és un excel·lent precedent per al blat (Saint-Eller, 1978; Vincent, 1980; Gorchs, 1994; Gorchs *et al.*, 2000). Aquestes dades superen àmpliament el 10-20% d'increment de rendiment que indiquen (Bocsa i Karus, 1998) per al blat rere cànem, o bé els 500 kg/ha apuntats per Miquel (1976). La comparació directa entre primer, segon i tercer any de blat rere cànem no és possible, perquè les dades corresponen a diferents anys experimentals, però les dades suggereixen que l'efecte rotació s'esvaeix entre el segon i el tercer any de blat rere cànem. Aquest comportament coincideix amb el que descriu Schlegel *et al.* (1999), però no amb el que apunten Arshad *et al.* (1998) i Schlegel (2002) per a altres precedents del blat, que ja no troben diferències entre un segon any de blat i el monocultiu.

L'increment de rendiment de gra del blat rere cànem respecte el blat monocultiu va ser superior a l'obtingut per altres autors per a altres precedents del blat: Dalal *et al.* (1998; 40%) a Austràlia i López Bellido *et al.* (2001a; 43%) i Lezuan *et al.* (1997; 25%) a Espanya per a blat rere lleguminoses; Arshad *et al.* (1998; 15%) i Unger (2001; 29%) en blat a Amèrica del Nord i Doucet (2000; 9%) a França per a diversos precedents; Wibberley (1996) a Anglaterra (35% per al blat rere colza i 25% per al blat rere fava).

Efectes rotació similars o bé superiors es troben en rotacions de més de dos anys: Schlegel *et al.* (2002) a EUA obté 1380 kg ha⁻¹ (49%) d'increment de rendiment per al blat en rotació de 4 anys; Young *et al.* (1994) a EUA troba un efecte rotació superior (2050 kg ha⁻¹; 47%) per al blat rere pèsol en una rotació de 3 anys. Però en general no es troben referències d'efectes rotació de precedents no lleguminoses superiors als trobats per al cànem en el present treball.

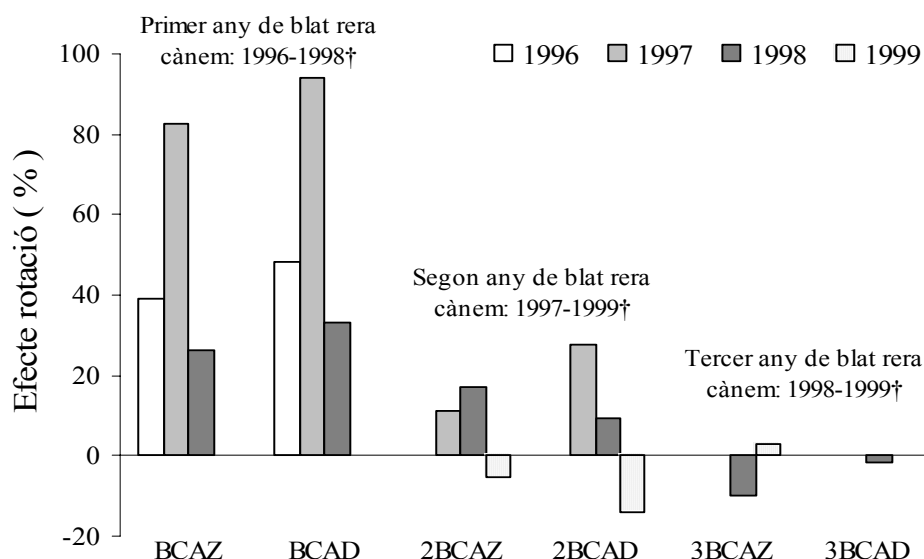


Figura 4.7. Efecte rotació en percentatge d'increment del rendiment de gra del blat rere cànem respecte al rendiment del blat monocultiu (blat rotació–BM). BCAD i BCAZ indiquen blat rere cànem adobat (100-35-85 kg N-P-K ha⁻¹) i cànem sense adobar, respectivament. 2 i 3 indiquen 2n i 3r any de blat rere cànem. * Significatiu entre anys per a $P < 0,05$ i cada tractament. † No significació entre blat rere cànem adobat i sense adobar, per a cada any de blat rere cànem (1r, 2n i 3r any de blat rere cànem).

Primer any de blat rere cànem versus segon any de blat rere cànem (anys 1997 i 1998)

La mitjana de l'efecte rotació, és a dir l'increment de producció de gra entre la mitjana del blat rere cànem adobat i sense adobar respecte el blat monocultiu (mitjana blat rotació – BM) no va variar significativament amb la rotació. La mitjana de l'efecte rotació del primer any de blat rere cànem va ser superior al del segon any de blat rere cànem (Figura 4.8). L'any i la interacció any x rotació no van ser significatius.

Segon any de blat rere cànem versus tercer any de blat rere cànem (anys 1998 i 1999)

La mitjana de l'efecte rotació no va variar significativament amb la rotació ni amb l'any, mentre que la interacció any x rotació sí que ho va fer ($P > 0,01$). Per a la mitjana dels dos anys, i per a l'any 1999, l'increment de producció de gra del segon any de blat rere cànem adobat i sense adobar respecte el blat monocultiu va ser positiu, mentre que el del tercer any va ser negatiu. I viceversa per a l'any 1998 (negatiu per al segon any de blat rere cànem i positiu per al tercer any de blat rere cànem).

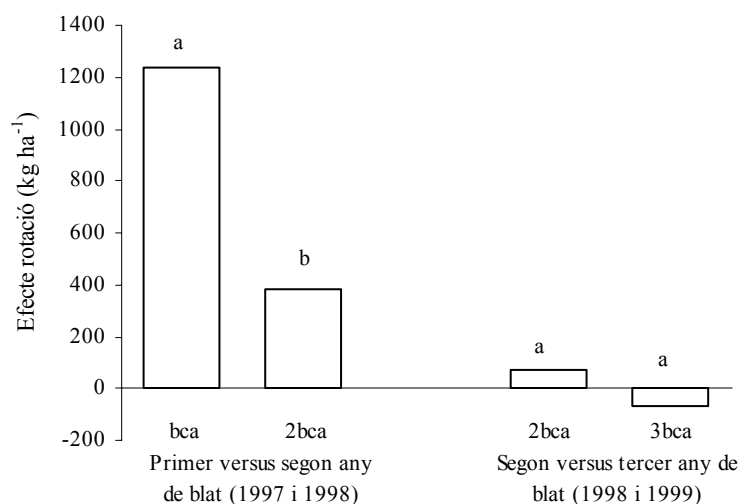


Figura 4.8. Mitjana de l'efecte rotació del cànem en el rendiment de gra de blat respecte al del blat monocultiu (mitjana blat rere cànem adobat i sense adob — BM) durant dos anys. BCA indica blat rere cànem. 2 i 3 indiquen 2n i 3r any de blat rere cànem. Mitjanes seguides per la mateixa lletra, per a cada comparació, no són significativament diferents per a $P < 0,05$ segons el test LSD

Índex de collita

L'any va influir significativament l'índex de collita en tots els casos. Els valors més alts es van obtenir l'any 1997, mentre que els més baixos els va presentar l'any 1999

La rotació va afectar significativament l'índex de collita (Taula 4.13) només en el primer any de blat rere cànem, essent significativament més elevat per al blat rere cànem adobat (46 %) i per al blat rere cànem sense adobar (45 %) que per al blat monocultiu (43 %). Aquestes dades coincideixen amb les obtingudes per López Bellido *et al.* (2000), els quals van obtenir índexs de collita clarament més baixos per al blat monocultiu. És a dir, el menor rendiment de gra del blat monocultiu respecte el blat en rotació es va deure a una menor producció de biomassa aèria total, però també a una menor eficiència en la transformació d'aquesta en gra. En el segon any de blat rere cànem només es van trobar diferències degudes a la rotació l'any 1999, on el blat monocultiu va presentar un índex de collita superior al del segon any de blat rere cànem (adobat o sense adob).

Alçada del cultiu

L'alçada del cultiu va variar amb l'any en tots els casos. En el primer any de blat rere cànem, el 1997 va ser l'any on el cultiu va assolir significativament una menor alçada (59,1 cm), el 1996 el que més (79,6 cm) i el 1998 es va situar entre ambdós (71,3 cm). En el segon any de blat rere cànem, el 1997 també va ser l'any amb menor alçada (53,9 cm), seguit del 1999 (60,9 cm) i el 1998 (72,5 cm).

La rotació només va influir en el primer any de blat rere cànem (BCAD > BCAZ > BM). En conjunt, el comportament de l'alçada va ser gairebé idèntic al descrit per al rendiment de gra, amb algunes excepcions. Per exemple, el primer any de blat rere cànem no va presentar diferències d'alçada entre rotacions l'any 1998, mentre que de rendiments sí (Taula 4.11 i Taula 4.13), similar al que va succeir el 1997 i 1998 amb el segon any de blat rere cànem.

Taula 4.13. Índex de collita i alçada del cultiu segons la rotació durant 4 anys.

Rotació†	Índex de collita					Alçada				
	1996	1997	1998	1999	Mitj.	1996	1997	1998	1999	Mitj.
	%					cm				
Primer any de blat rere cànem versus blat monocultiu										
BM	38,1	49,0	42,9	-	43,4	76,3	53,0	71,2	-	64,1
BCAZ	41,6	51,0	43,7	-	45,4	81,3	61,0	70,3	-	67,9
BCAD	40,8	50,9	45,1	-	45,6	81,3	63,3	72,2	-	69,7
Mitjana	40,2	50,3	43,9	-	44,8	79,6	59,1	71,3	-	67,3
Signif.	**	NS	NS	-	**	**	**	NS	-	**
LSD _{Rot.}	1,7	-	-	-	1,2	0,5	2,3	-	-	1,4
LSD _{Any}	-	-	-	-	3,4	-	-	-	-	3,2
Segon any de blat rere cànem versus blat monocultiu										
BM	-	49,0	42,9	40,3	44,1	-	53,0	71,2	60,8	61,7
2BCAZ	-	50,8	41,7	38,6	43,7	-	53,2	73,6	59,7	62,2
2BCAD	-	51,2	40,5	37,9	43,2	-	55,4	71,8	62,1	63,1
Mitjana	-	50,4	41,7	39,0	43,7	-	53,9	72,5	60,9	62,3
Signif.	-	NS	NS	*	NS	-	NS	NS	NS	NS
LSD _{Rot.}	-	-	-	1,9	-	-	-	-	-	-
LSD _{Any}	-	-	-	-	2,6	-	-	-	-	-
Tercer any de blat rere cànem versus blat monocultiu										
BM	-	-	42,9	40,3	41,6	-	-	71,2	60,8	66,0
3BCAZ	-	-	43,0	39,3	41,1	-	-	67,2	61,4	64,3
3BCAD	-	-	42,1	39,4	40,7	-	-	67,6	62,1	64,8
Mitjana	-	-	42,6	39,6	41,1	-	-	68,7	61,4	65,1
Signif.	-	-	NS	NS	NS	-	-	**	NS	NS
LSD _{Rot.}	-	-	-	-	-	-	-	2,5	-	-
LSD _{Any}	-	-	-	-	2,7	-	-	-	-	5,6

† BM, BCAZ i BCAD per al blat monocultiu, primer any de blat rere cànem sense adobar i blat rere cànem adobat (100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹), respectivament. 2 i 3 indica segon i tercer any de blat rere cànem.

LSD_{Rot.} i LSD_{Any}; Mínima diferència significativa per a $P < 0,05$ entre rotacions i anys, respectivament.

** , * Indica significació per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS, no significatiu

Components del rendiment

L'any va influir significativament el número d'espigues m^{-2} i de grans espiga⁻¹ en tots els casos (Taula 4.14). Ambdós paràmetres van ser inferiors l'any 1997, tant per al primer com per al segon any de blat rere cànem. El número d'espigues m^{-2} per al segon i tercer any de blat rere cànem va ser superior l'any 1999, mentre que el número de grans per espiga ho va ser l'any 1998. En conjunt, el número de grans m^{-2} del primer i segon any de blat rere cànem va ser clarament inferior l'any 1997, mentre que en el segon i tercer any de blat l'any 1998 i 1999 no es van diferenciar (Taula 4.14). El pes 1000 grans només va presentar diferències significatives en el primer any de blat rere cànem, l'any 1996 va ser superior al del l'any 1998. En general el pes del gra va ser inferior a l'habitual del Cultivar Soissons a la Zona (Serra, com. pers.), amb l'excepció de l'any 1996 que s'hi va apropar.

Resumint l'efecte conjunt dels components del rendiment per als diferents anys, el rendiment de gra més baix del 1997 es va deure, bàsicament, a la baixa densitat d'espigues i de grans espiga⁻¹ assolits aquest any i, en part, al pes del gra. En canvi, els rendiments inferiors als normals de la zona dels anys 1998 i 1999 es va deure bàsicament al baix pes del gra d'aquests anys (Taula 4.14), ja que el número de grans m^{-2} és suficient per permetre rendiments de gra adequats (veure dades 1995, Taula 4.9). En el primer cas, la baixa densitat d'espigues i de grans espiga⁻¹ del 1997 s'explica pel període sec (78 dies sense pluja) entre mig filloleig i finals de canoneig (1 febrer a 19 abril; estadis 21-34 de Zadocks *et al.*, 1974) que va dificultar la formació de fillols i de l'espiga: es van obtenir valors clarament inferiors d'espigues m^{-2} , de grans per espiga (i de grans m^{-2} , conseqüentment), mentre que el pes de 1000 grans del 1997 és similar al dels altres anys (Taula 4.14). En el segon cas, el baix pes del gra dels anys 1997, 1998 i 1999 va ser provocat bàsicament per períodes de temperatures superiors als 30 °C de finals de maig (Figura 3.1) coincidint amb la fase d'ompliment del gra, més que per la manca d'aigua (Taula 3.2).

La rotació va afectar significativament el número d'espigues m^{-2} , la densitat de gra (grans m^{-2}) i el pes de 1000 grans del primer any de blat rere cànem, els quals van ser sempre inferiors per al blat monocultiu (BM) davant el blat rere cànem (BCAD i BCAZ; Taula 4.14). En conjunt, el blat rere cànem adobat (BCAD) no es va diferenciar del blat rere cànem sense adobar (BCAZ) per als tres components del rendiment esmentats, si bé BCAD acostuma a presenta valors lleugerament superiors. López Bellido *et al.* (2000) troben valors inferiors de grans espiga⁻¹ i del pes de 1000 grans per al blat en monocultiu davant el blat en rotació, però no per al número d'espigues m^{-2} . En canvi Schlegel (2002) troben valors inferiors del número d'espigues m^{-2} i del número de grans espiga⁻¹ per al blat en monocultiu, però no per al pes de 1000 grans.

Taula 4.14. Components del rendiment del blat segons la rotació durant 4 anys.

Rotació†	Espigues					Grans					Pes 1000 Grans										
	1996	1997	1998	1999	Mitj.	1996	1997	1998	1999	Mitj.	1996	1997	1998	1999	Mitj.						
	Espigues m ²					Grans espiga ¹					1000 Grans m ²					g					
Primer any de blat rere cànem																					
BM	440	271	445	-	385	36,9	20,4	33,7	-	33,0	16,5	5,6	15,0	-	14,0	33,5	28,8	30,3	-	31,9	
BCAZ	524	346	464	-	445	38,4	24,1	38,2	-	35,6	20,1	8,3	17,7	-	17,3	36,8	33,4	30,5	-	34,8	
BCAD	508	418	490	-	472	38,0	24,7	36,9	-	35,1	19,4	10,4	18,1	-	17,3	36,0	34,6	30,9	-	34,7	
Mitjana	491	345	466	-	434	37,7	23,0	36,3	-	34,5	18,7	8,1	16,9	-	16,2	35,4	32,3	30,6	-	33,8	
Signif.	*	**	NS	-	**	NS	NS	NS	-	NS	NS	*	NS	-	*	**	NS	NS	-	**	
LSD _{Rot.}	63	52	-	-	34	-	-	-	-	-	-	3,5	-	-	2,4	2,2	-	-	-	-	1,7
LSD _{Any}	-	-	-	-	32	-	-	-	-	1,6	-	-	-	-	1,2	-	-	-	-	-	3,2
Segon any de blat rere cànem																					
BM	-	271	445	548	421	-	20,4	33,7	31,8	28,6	-	5,6	15,0	17,3	12,6	-	28,8	30,3	28,2	29,1	
2BCAZ	-	280	459	554	431	-	20,8	33,7	28,3	27,6	-	6,0	15,3	15,8	12,3	-	29,2	30,3	27,7	29,1	
2BCAD	-	295	442	574	437	-	23,2	38,5	30,4	30,7	-	7,0	17,1	17,4	13,8	-	30,0	30,1	27,5	29,2	
Mitjana	-	282	449	558	430	-	21,5	35,3	30,2	29,0	-	6,2	15,8	16,8	12,9	-	29,3	30,2	27,8	29,1	
Signif.	-	NS	NS	NS	NS	-	NS	NS	NS	*	-	NS	NS	NS	NS	-	NS	NS	NS	NS	
LSD _{Rot.}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
LSD _{Any}	-	-	-	-	73	-	-	-	-	4,8	-	-	-	-	2,6	-	-	-	-	-	
Tercer any de blat rere cànem																					
BM	-	-	445	548	496	-	-	33,7	31,8	32,7	-	-	15,0	17,3	16,1	-	-	30,3	28,2	29,3	
3BCAZ	-	-	367	511	439	-	-	40,0	30,2	35,1	-	-	14,6	15,4	15,0	-	-	29,3	27,0	28,2	
3BCAD	-	-	400	593	496	-	-	37,9	31,8	34,9	-	-	15,2	18,8	17,0	-	-	29,2	26,3	27,8	
Mitjana	-	-	404	551	477	-	-	37,2	31,3	34,2	-	-	14,9	17,2	16,1	-	-	29,7	27,2	28,4	
Signif.	-	-	*	NS	*	-	-	*	NS	NS	-	-	NS	NS	NS	-	-	NS	NS	NS	
LSD _{Rot.}	-	-	63	-	50	-	-	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
LSD _{Any}	-	-	-	-	120	-	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

† BM, BCAZ i BCAD per al blat monocultiu, primer any de blat rere cànem sense adobar i primer any de blat rere cànem adobat (100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹), respectivament. 2 i 3 indica segon i tercer any de blat rere cànem.

LSD_{Rot.} i LSD_{Any}; Mínima diferència significativa per a P<0,05 entre rotacions i anys, respectivament.

** i *; significació per a P<0,01 i 0,05, respectivament. NS = no significatiu

El precedent no va influir el número de grans espiga⁻¹ del primer any de blat rere cànem (Taula 4.14). En canvi, en el segon any de blat rere cànem va ser l'únic component del rendiment que va presentar diferències significatives per als 3 anys en conjunt (no a cap any individualment), essent superior per al 2n any de blat rere cànem adobat davant el cànem sense adobar (2BCAD=BM > 2BCAZ; BM=2BCAZ). En el 3r any de blat rere cànem ja no es van observar diferències significatives per a cap dels components del rendiment, si bé la interacció any x rotació va ser significativa (Taula 4.10) per a grans espiga⁻¹, degut al diferent comportament del 3r any de blat rere cànem sense adobar (3BCAZ) l'any 1998 i 1999 (Taula 4.14). Mentre que el 2n any de blat rere cànem sense adobar (2BCAZ) i el 3r any de blat rere cànem adobat (3BCAD i 3BCAZ) ja no van mostrar aquesta tendència. Aquest comportament indicaria que el menor rendiment del blat rere blat davant el blat rere cànem es produeix entre el 2n i 3r any de blat, similar al que descriu Schlegel *et al.* (1999).

Qualitat del gra

Pes específic

L'any va afectar significativament el pes específic del primer i segon any de blat rere cànem, però no del tercer any de blat rere cànem (Taula 4.10). En el primer any de blat rere cànem, el 1996 va ser superior al del 1998, mentre que en el segon any de blat el 1998 va ser on es va obtenir el pes específic més elevat (Taula 4.15). En conjunt, el 1996 va ser l'únic any que es varen obtenir valors alts per la varietat Soissons (AETC, 2002), essent un indicador de les difícils condicions de final de cicle dels anys 1997, 1998 i 1999.

La rotació va afectar significativament el pes específic a l'any 1997 i per als tres anys en conjunt, per al primer any de blat rere cànem, essent inferior per al blat monocultiu davant el blat en rotació (BCAD, BCAZ). En canvi, l'any 1996 i 1998 la rotació no va afectar significativament. López Bellido *et al.* (2001b) tampoc troben diferències entre blat en rotació i blat monocultiu, però sí que troben correlació significativa entre pes específic i rendiment, relació que també vàrem observar en el nostre cas ($R^2=0,43$ per a $P<0,001$; dada no presentada). La **interacció any x rotació** va ser positiva en el 2n i 3r blat rere cànem (Taula 4.10). En el 2n any de blat rere cànem, no es van trobar diferències significatives per al 1997 i per als 3 anys en conjunt, però el pes específic del segon any de blat rere cànem adobat de l'any 1998 i 1999 va ser significativament inferior al del 2n any de blat rere cànem sense adobar (1999 també ho va ser al blat monocultiu). En el 3r any de blat rere cànem, el pes específic del blat monocultiu va ser significativament superior al del 3r any de blat rere cànem adobat i sense adobat per al 1998 i per als tres anys en conjunt.

Proteïna

El contingut en proteïna bruta no va variar significativament amb l'any (Taula 4.10). Tampoc es va observar una relació negativa entre contingut en proteïna i rendiment ja que la mitjana del contingut en proteïna del gra va ser superior per al 1996 (13,1%; Taula 4.15), any en què es va obtenir el màxim rendiment (Taula 4.11), i inferior per al 1997 (12,4%), que va ser l'any on el rendiment en gra va ser significativament més baix. Aquest comportament no coincideix amb el que descriuen Rao *et al.* (1993), referent a que el contingut en proteïna del gra incrementa amb la sequera i amb temperatures altes. No sempre es donen aquestes relacions: en el primer cas, Johnson i Mattern (1987) observen que el contingut en proteïna del gra augmenta amb la sequera només quan el rendiment de gra es veu reduït per l'estrès en aigua; en el segon cas, López Bellido (2001b) indica que temperatures excessivament altes durant la fase d'ompliment del gra (superiors a 27 °C el maig) poden limitar el contingut en proteïna en climes Mediterranis, fenomen que és rar en climes temperats de centreuropa. Aquesta explicació pot ser l'adequada per al nostre cas: el 1996 va ser l'any més plujós i amb la mitjana de les temperatures màximes del maig més baixa (Taula 3.2), aspectes negatius per al contingut en proteïna, en principi; però, la presència d'altres temperatures durant el mes de maig a la resta d'anys, especialment el 1997 i el 1999 (Figura 3.1), poden haver dificultat l'acumulació de proteïna en el gra.

La rotació va influir significativament el contingut en proteïna del primer any de blat rere cànem a l'any 1996, i els tres anys en conjunt. A ambdós casos va ser superior per al blat monocultiu (BM) davant el blat rere cànem (BCAD i BCAZ), també ho va ser per al 1997 i 1998, sense presentar diferències significatives, però va fer que la interacció any x rotació ho fos. L'alt contingut en proteïna bruta del blat en monocultiu pot atribuir-se: a) al menor rendiment en gra; i b) al major contingut en N-NO₃⁻ en el sòl (Taula 4.20) que presentaven les parcel·les de blat monocultiu respecte les de blat en rotació. Fet que seria conseqüència del nitrogen aportat anualment amb l'adobat (la relació N aportat/rendiment va ser més alta en el blat monocultiu) i que el cànem és molt eficient utilitzant el N residual del sòl, similar al que passa amb el gira-sol (López Bellido *et al.* 2001b). Es tracta d'un comportament habitual, a diferència del que succeeix amb el blat rere lleguminoses, on el blat en rotació acostuma a presentar continguts en proteïna més elevats (5-10%) que en monocultiu (Dalal *et al.*, 1998; López Bellido *et al.*, 2001b; Young *et al.*, 1994). No es van observar diferències significatives entre blat rere cànem adobat i blat rere cànem sense adobar. El segon any de blat rere cànem adobat ja no es va diferenciar del blat monocultiu (Taula 4.15).

La interacció **any x rotació** va ser significativa per al primer any de blat rere cànem (Taula 4.10) perquè a l'any 1997 blat rere cànem sense adobar (BCAZ) i blat rere cànem adobat (BCAD) van presentar el mateix contingut de proteïna, mentre que per als altres anys va ser lleugerament superior per a BCAD (Taula 4.15).

Taula 4.15. Pes específic i contingut de proteïna bruta del gra en funció de la rotació durant quatre anys.

Rotació†	Pes específic				Proteïna					
	1996	1997	1998	1999	Mitj.	1996	1997	1998	1999	Mitj.
	kg hl ⁻¹					% MS				
Primer any de blat rere cànem										
BM	81,3	78,8	80,4	-	80,6	14,0	12,6	13,2	-	13,6
BCAZ	83,3	81,1	80,2	-	81,6	12,5	12,3	12,6	-	12,5
BCAD	82,7	81,4	80,2	-	81,4	12,7	12,3	13,0	-	12,7
Mitjana	82,4	80,4	80,3	-	81,2	13,1	12,4	12,9	-	12,9
Signif.	NS	*	NS	-	*	**	NS	NS	-	**
LSD _{Rot.}	-	1,6	-	-	1,2	0,4	-	-	-	0,3
LSD _{Any}	-	-	-	-	2,1	-	-	-	-	-
Segon any de blat rere cànem										
BM	-	78,8	80,4	79,5	79,8	-	12,6	13,2	-	12,9
2BCAZ	-	78,4	80,9	79,0	79,7	-	12,9	13,0	-	13,0
2BCAD	-	79,6	79,6	77,8	78,9	-	13,2	13,3	-	13,3
Mitjana	-	78,9	80,3	78,7	79,5	-	12,9	13,2	-	13,0
Signif.	-	NS	*	*	NS	-	NS	NS	-	NS
LSD _{Rot.}	-	-	0,9	1,7	-	-	-	-	-	-
LSD _{Any}	-	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-
Tercer any de blat rere cànem										
BM	-	-	80,4	79,5	80,0	-	-	13,2	-	-
3BCAZ	-	-	78,5	79,6	79,0	-	-	13,7	-	-
3BCAD	-	-	79,2	78,9	79,1	-	-	13,6	-	-
Mitjana	-	-	79,4	79,4	79,4	-	-	13,5	-	-
Signif.	-	-	**	NS	**	-	-	NS	-	-
LSD _{Rot.}	-	-	1,1	-	0,7	-	-	-	-	-
LSD _{Any}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

† BM, BCAZ i BCAD per a blat monocultiu, primer any de blat rere cànem sense adobar i primer any de blat rere cànem adobat (100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹), respectivament. 2 i 3 indica segon i tercer any de blat rere cànem.

LSD_{Rot.} i LSD_{Any}: Mínima diferència significativa per a $P < 0,05$ entre rotacions i anys, respectivament.

**, * Indica significació per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS, no significatiu

Els continguts en proteïna obtinguts (12,9 % de mitjana del primer any de blat rere cànem; Taula 4.15) s'han de considerar elevats, propis de cultivars de qualitat mig-alta. Són superiors als obtinguts per Dalal *et al.* (1998) a Austràlia (10%) i López Bellido *et al.* (2001b) al sud d'Espanya (12,1%) i s'acosten als obtinguts per Borghi *et al.* (1997) al sud d'Itàlia (13,5%), però amb un rendiment de gra clarament superior al d'ambdues zones: 3833 kg ha⁻¹ davant 2935 i 2600 kg ha⁻¹ al sud d'Espanya i d'Itàlia, respectivament. Nombroses referències relacionen el contingut en proteïna positivament amb la qualitat del blat per a forneria (Gate, 1995; Borghi *et al.* 1997; López Bellido *et al.*, 2001b), de manera que es pot concloure que es tracta d'una zona Mediterrània temperada amb bon nivell productiu i adequada per la producció de blats de qualitat. És, en definitiva, una bona zona de producció de blat.

Contingut en nitrats en el suc de la base de la tija

La concentració de nitrats (NO_3^-) en el suc de la base de la tija (CNSBT), mesurat a finals de canoneig (estadi 39; Zadocks *et al.*, 1974), a principis de maig, va variar significativament amb l'any (Taula 4.10). La CNSBT va ser més elevada el 1997 (446 mg kg^{-1}), any amb menors rendiments de gra i biomassa (Taula 4.11), que el 1996 i 1998 (273 i 251 mg kg^{-1} , respectivament).

La rotació no va afectar significativament la CNSBT. La mitjana de la CNSBT per als tres anys (1996 a 1998) va ser 294, 357 i 339 mg kg^{-1} per al blat monocultiu, primer any de blat rere cànem sense adobar i primer any de blat rere cànem adobat, respectivament (Figura 4.9). Es tracta de valors que es situen lleugerament per sota del nivell considerat crític per a la varietat de blat Soissons a França (Laurent *et al.*, 1996).

La variació dels valors de CNSBT entre rotacions difereix de la que presenten per al contingut en N-NO_3^- en el sòl a filloleig, el qual va ser significativament més elevat per al blat monocultiu que per a les rotacions (veure més endavant, Taula 4.20). En canvi, el blat rere cànem (adobat o no) va presentar una CNSBT a finals de canoneig més elevada que el blat monocultiu (no de forma significativa). Aquest comportament suggereix que en aquest estadi el blat monocultiu manifesta una menor capacitat d'absorció del nitrogen que el blat en rotació, i podria ser indicatiu d'un funcionament fisiològic més reduït, podent ser una de les causes del menor rendiment de gra del blat monocultiu.

En el nostre cas la relació entre CNSBT, mesurada a final de canoneig, i rendiment de gra va ser molt feble ($R^2 = 0,09$), inferior a la relació que va presentar el N-NO_3^- a filloleig i el rendiment de gra ($R^2 = 0,23$; dades no presentades). Aquests resultat estan en contradicció amb els d'Echevarria *et al.* (1992), els quals troben que la CNSBT és un bon indicador de la disponibilitat de N per al blat. Es possible que els períodes secs a inicis de maig de l'any 1997 i 1998 hagin distorsionat l'absorció del nitrogen i els valors de CNSBT a finals de canoneig.

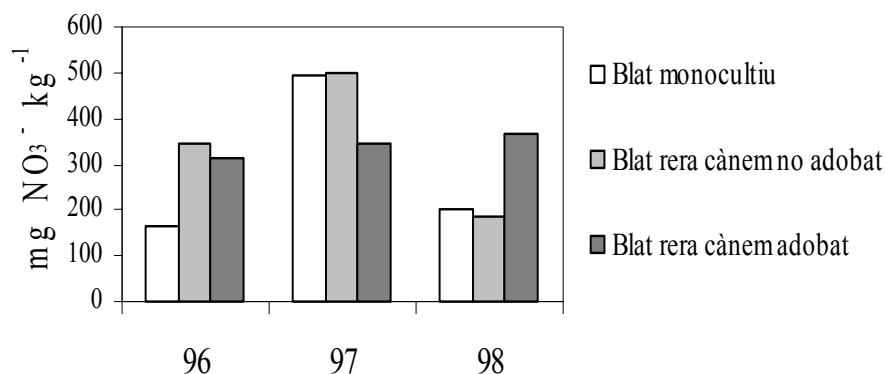


Figura 4.9. Concentració de nitrats en el suc de la base de la tija del blat (CNSBT) a finals de canoneig (estadi 39; Zadocks *et al.*, 1974) per als anys 1996 a 1998. Diferències no significatives ($P > 0,05$).

3.2.3. Paràmetres del sòl

Matèria orgànica

Les dades corresponents al contingut de matèria orgànica en el sòl després de la collita del blat es presenten a la Taula 4.16. La **interacció any x rotació** no va ser significativa per a cap nivell ni per a cap any.

El contingut de matèria orgànica (MO) del sòl a 0-30 cm va variar significativament amb l'any (Taula 4.16). La mitjana del 1996 ($17,5 \text{ g kg}^{-1}$) es va acostar al valor obtingut a l'anàlisi de sòl inicial ($17,0 \text{ g kg}^{-1}$), realitzat a l'àrea de l'Assaig 2 l'any 1995 (Taula 4.1), però a partir d'aquí s'observa una disminució progressiva de la MO durant els tres anys d'assaig per al primer any de blat rere cànem (les dades del segon i tercer any de blat no es presenten). En els horitzons de 30-60 cm i 60-90 cm també va disminuir, però no de forma significativa. La disminució relativa del nivell de MO del sòl al final de l'estudi l'any 1998, respecte al nivell inicial l'any 1995, ha estat 18, 17 i 14% de mitjana per als horitzons 0-30, 30-60 i 60-90 cm, respectivament. No obstant, tot i la disminució de MO amb l'any, no es va observar una disminució de l'efecte rotació del cànem com a precedent del blat, el qual ha seguit manifestant-se de forma clara (Taula 4.12).

La **rotació** no va influir significativament en el contingut de MO del sòl per a cap any ni per als tres anys en conjunt a cap fondària. La mitjana de MO a 0-30 cm per als tres anys va ser 16,2, 15,9 i $15,5 \text{ g kg}^{-1}$ per a blat monocultiu, primer any de blat rere cànem no adobat i primer any de blat rere cànem adobat, respectivament. Aquests resultats estan d'acord amb els de López Bellido *et al.* (1997) i Hernanz *et al.* (2001) en assaig de llarga duració, els quals tampoc observen diferències de MO a 0-30 cm i 0-40 cm, respectivament, entre blat monocultiu i blat en rotació amb lleguminoses. Alguns autors (Havlin *et al.* 1990; Potter *et al.*, 1997) indiquen que per a sistemes de treball del sòl en què no hi ha inversió dels horitzons (cisell en el present estudi) l'efecte de les pràctiques culturals en la MO del sòl es limita a horitzons més superficials.

La disminució de MO amb l'any es va manifestar de forma consistent a totes les rotacions, si bé el primer any de blat rere cànem adobat i blat monocultiu van mostrar comportaments diferents: la disminució de la MO a 0-30 cm va ser més ràpida per al primer any de blat rere cànem adobat, mentre que a 60-90 cm ho ser per al blat monocultiu. Aquest comportament reflectiria una diferent producció de biomassa radicular entre cultius, suggerint un major creixement de l'arrel del cànem en profunditat.

Taula 4.16. Contingut de matèria orgànica en el sòl a diferents fondàries després de la collita del blat segons la rotació.

Rotació ‡	Fondària sòl									
	0-30 cm				30-60 cm†			60-90 cm†		
	1996 §	1997	1998	Mitjana	1996 §	1998	Mitjana	1996 §	1998	Mitjana
	g kg ⁻¹									
BM	17,5	17,0	14,0	16,2	9,0	8,0	8,5	7,5	6,8	7,1
BCAZ	17,5	15,5	14,8	15,9	9,6	9,3	9,5	8,0	7,8	8,3
BCAD	17,5	16,0	13,0	15,6	9,0	7,5	8,3	8,6	8,6	8,4
Mitjana	17,5	16,2	13,9	15,8	9,3	8,3	9,0	8,1	7,7	8,0
Significació	NS	NS	NS	-	NS	NS	-	NS	NS	-
ANOVA										
Any (A)				** (0,8) ¥			NS			NS
Error a				-			-			-
Rotació (R)				NS			NS			NS
A x R				NS			NS			NS
Error b				-			-			-

† El 1997 no es va determinar la matèria orgànica per als nivells 30-60 cm i 60-90 cm.

‡ BM, BC AZ i BCAD per al blat monocultiu, primer any de blat rere cànem sense adobar i blat rere cànem adobat (100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹), respectivament.

§ El contingut inicial de matèria orgànica a l'any 1995 (Taula 4.1) era 17, 10 i 9 g kg⁻¹ per a 0-30 cm, 30-60 cm i 60-90 cm, respectivament

¥ LSD entre anys per a $P < 0,05$.

** significatiu per a $P < 0,01$; NS = no significatiu.

L'evolució del contingut de MO en el sòl es relaciona, entre altres aspectes, amb la quantitat de residus generats pels cultius (Havlin *et al.* 1990; Potter *et al.*, 1997; Unger, 2001). En el present estudi el volum de residus no es va controlar, però forçosament havia de ser baix, perquè a ambdós cultius es va retirar tota la vegetació. No obstant, la quantitat de residus que el cànem deixa en el sòl poden ser força elevats: 2500 kg ha⁻¹ de fulla seca i 1350 kg ha⁻¹ d'arrels, segons Aguiló (1927) per al cànem en regadiu; 3000 kg ha⁻¹ de biomassa segons Meijer *et al.* (1995) a Holanda, perquè a l'iniciar la floració el cànem perd fulles molt ràpidament i a densitats de cultiu mig-altes moren gran quantitat de plantes que cauen al sòl. El blat també deixa alguns residus en el sol perquè no tota la palla produïda es recull (60-70% habitualment) (Thevenet, 1987). En tot cas, la disminució de MO observada en un període de temps tant curt (4 anys) és remarcable, i superior a l'observada per diversos autors. Unger (2001) a EUA observa una disminució del carboni orgànic a 0-15 cm de fondària del 7% en 5 anys per al sorgo monocultiu davant el blat monocultiu, que l'augmenta un 5% (el sorgo genera menys residus). Angers (1992) a Canadà troba una disminució del 5% en 5 anys per al blat de moro farratger en monocultiu. A Austràlia, Grace *et al.* (1995) observen una pèrdua anual de l'1% de carboni orgànic a 0-22,5 cm del sòl per al blat monocultiu davant la pastura permanent.

Les dades disponibles no permeten apuntar una conclusió sòlida, però cal precisar dos aspectes: a) el contingut de MO del sòl ha disminuït al passar de la rotació bianual blat/cultiu alternatiu practicada per l'agricultor a l'inici de l'assaig (1995) a monocultiu de blat al final, trencat només per un any de cànem en els tractaments de blat rere cànem —és a dir, al final

de l'assaig (1998) el blat monocultiu és el 5è any de blat i en les parcel·les del primer any de blat rere cànem (BCAD, BC AZ) el blat ha estat present 2, 3 i 4 anys per als anys 1996, 1997 i 1998, respectivament (Figura 4.1)—; b) el cànem té un sistema radicular molt potent i important (Clarke, 1998), més que el del blat. Per tant, la disminució del contingut de MO del sòl, més important a 0-30 cm, podria ser conseqüència de l'alta freqüència del blat, que no restitueix suficients residus al sòl, comparat amb la rotació practicada per l'agricultor, que incloïa cànem i alguns cultius en què no es retiren les palles (gira-sol i colza). En canvi, el potent sistema radicular del cànem respecte el del blat podria explicar la menor disminució de MO en l'horitzó més profund (60-90 cm) del primer any de blat rere cànem adobat. El comportament intermedi del primer any de blat rere cànem sense adobar (Taula 4.16) es podria deure al menor desenvolupament de la planta, i del sistema radicular, d'aquest tractament. No obstant, caldrien més estudis per a confirmar aquesta especulació.

Agregats estables en el sòl

L'any no va afectar significativament ($P < 0,05$) l'estabilitat dels agregats de $>0,2$ mm de l'horitzó 0-20 cm, per a cap paràmetre determinat (Taula 4.18): estabilitat a l'aigua (AGAIG); mitjana dels agregats estables a l'aigua i pretractats amb alcohol o benzè (MAG); diferència entre agregats estables pretractats amb benzè i agregats estables a l'aigua (AGB-AGAIG); diferència entre agregats estables pretractats amb alcohol i agregats estables a l'aigua (AGALC-AGAIG). No obstant, per a $P < 0,053$, 0,1 i 0,088 es presenten diferències degudes a l'any per a AGAIG, MAG i AGALC-AGAIG, respectivament. Els dos primers, estables a l'aigua i mitjana d'agregats estables, van augmentar amb l'any, mentre que la diferència d'agregats estables pretractats amb alcohol i a l'aigua van disminuir (Taula 4.17).

La interacció **any x rotació** només va ser significativa per a l'estabilitat dels agregats a l'aigua (Taula 4.18), perquè s'entrecreuen les respostes per als diferents anys.

La rotació va influir significativament la mitjana d'agregats estables (MAG) i la diferència entre agregats estables al benzè i a l'aigua (AGB-AGAIG) només per a l'any 1996. En canvi, els agregats estables a l'aigua (AGAIG) i la diferència d'agregats estables a l'alcohol i a l'aigua (AGALC - AGAIG) van variar significativament amb la rotació els anys 1996, 1997 i els tres anys en conjunt. En el primer cas, el 1996, la mitjana d'agregats estables (MAG) del primer any de blat rere cànem sense adobar (352 g kg^{-1}) va ser superior a la del blat monocultiu (322 g kg^{-1}) i a la del primer any de blat rere cànem adobat (315 g kg^{-1}). En el segon cas, també per al 1996, la diferència entre agregats estables al benzè i a l'aigua (AGB-AGAIG) va ser superior per al primer any de blat rere cànem adobat ($+18 \text{ g kg}^{-1}$) que per al blat monocultiu (-29 g kg^{-1}), mentre que el primer any de blat rere cànem sense adobar (-11 g kg^{-1}) no es va diferenciar d'ambdós.

D'altra banda, el primer any de blat rere cànem adobat va presentar una estabilitat menor a la del blat monocultiu per als agregats estables a l'aigua (AGAIG) el 1996, 1997 i per als tres anys en conjunt. El primer any de blat rere cànem sense adobar va mostrar un comportament intermedi: el 1996, i per als tres anys, no es va diferenciar del blat monocultiu, mentre que per al 1997 no es va diferenciar del primer any de blat rere cànem adobat.

Per últim, la diferència entre agregats estables a l'alcohol i a l'aigua (AGALC-AGAIG) és el paràmetre que va mostrar l'efecte de la rotació de forma més consistent, essent inferior per al blat monocultiu a tots els anys (sense significació el 1998), mentre que el blat rere cànem adobat i el blat rere cànem sense adobat no es van diferenciar en cap cas.

Taula 4.17. Estabilitat dels agregats de >0,2 mm a 0-20 cm de fondària després de collir el blat.

Rotació	1996	1997	1998	Mitjana	1996	1997	1998	Mitjana
	Agregats estables a l'aigua				MAG†			
	g kg ⁻¹				g kg ⁻¹			
Blat monocultiu	317	365	357	346	322	354	369	342
Blat rere cànem no adobat	324	334	381	347	352	349	389	356
Blat rere cànem adobat ±	278	343	362	317	315	350	373	338
Mitjana	306	347	367	332	330	351	377	346
Significació	**	*	NS	*	**	NS	NS	NS
LSD _{0,05}	22	21	-	15	21	-	-	-
	AGB-AGAIG‡				AGALC-AGAIG §			
	g kg ⁻¹				g kg ⁻¹			
Blat monocultiu	-29	-23	16	-20	41	-10	21	16
Blat rere cànem no adobat	-11	9	-20	-4	95	37	44	63
Blat rere cànem adobat ±	18	-6	-3	5	96	34	38	61
Mitjana	-7	-7	-2	-6	78	20	35	47
Significació	*	NS	NS	NS	**	*	NS	**
LSD _{0,05}	34	-	-	-	37	38	-	25

± Adob = 100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹.

† MAG: Mitjana d'agregats estables a l'aigua i pretractats amb alcohol o benzè

‡ AGB-AGAIG: Diferència entre agregats estables pretractats amb benzè i agregats estables a l'aigua

§ AGALC-AGAIG: Diferència entre agregats estables pretractats amb alcohol i agregats estables a l'aigua

**, * Significació per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS = no significatiu

L'efecte de la rotació sobre l'estabilitat dels agregats va ser inconsistent, similar al que observen Hernanz *et al.* (2002) en una zona semiàrida del centre d'Espanya, els quals també obtenen una proporció d'agregats d'1-2 mm estables a l'aigua a 0-30 cm més alta per al cereal monocultiu (78,6%) que per a la rotació blat-veça (76,3%). Però, els resultats que obtenen depenen del pretractament que fan a les mostres de sòl i no poden explicar a què es deuen les diferències observades, doncs el carboni orgànic en el sòl i els residus generats pels cultius no variaven amb la rotació. En el present estudi tampoc s'ha observat una relació entre el contingut de MO (disminuïa significativament amb l'any; Taula 4.16) i l'estabilitat dels agregats (MAG i AGAIG van augmentar amb l'any, significativament per a $P < 0,1$; Taula 4.17). Arshad *et al.* (1998) no troben diferències d'estabilitat dels agregats de < 2 mm a l'aigua degudes a la rotació respecte al blat monocultiu. Power (1990) destaca que l'efecte rotació en la producció segueix mostrant-se tot i que certes rotacions poden disminuir l'estabilitat dels agregats davant el monocultiu (moresc-soja davant el moresc monocultiu).

Cal observar que en aquest estudi només s'ha determinat l'estabilitat dels agregats de 2-0,2 mm segons el mètode descrit per Henin (1972). Es possible que en agregats de diàmetre superior es presentin diferències, tal com troben altres autors per als agregats de >2 mm (Arshad *et al.*, 1998; Hernanz *et al.*, 2002). Angers (1992) observa que l'alfals incrementa la proporció d'agregats estables a l'aigua de > 2mm a 0-15 cm, a compte de disminuir els agregats entre 0,25-1 mm, els quals servirien com a blocs de construcció.

Taula 4.18. Anàlisi de la variància per als agregats estables de >0,2 mm, la densitat aparent i la humitat volumètrica del sòl a 0-20 cm i per a la resistència a la penetració fins a 50 cm de fondària, per al primer any de blat rere cànem (blat monocultiu, blat-cànem adobat i blat-cànem no adobat), a collita del blat.

Font de variació	Agregats estables †				Densitat aparent	Humitat volumètrica	Resistència a la penetració				
	MAG†	AGAIG†	AGB - AGAIG	AGALC - AGAIG			0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Any (A)	NS	NS	NS	NS	**	**	**	**	**	**	**
Error a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotació (R)	NS	*	NS	**	NS	NS	**	NS	NS	**	**
A x R	NS	*	NS	NS	NS	NS	**	**	**	**	**
Error b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

† AGAIG, AGB i AGALC: agregats estables a l'aigua, pretractats amb benzè i alcohol, respectivament; MAG: mitjana agregats estables a l'aigua i pretractats amb benzè o alcohol.

‡ Any significatiu per a $P < 0,01$.

**, * Indica significació per a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS = no significatiu

La estabilitat dels agregats s'utilitza com a índex de l'estructura del sòl de forma avantatjosa respecte la distribució de la mida dels agregats perquè es correlaciona millor amb els fenòmens que succeeixen en el camp (Kemper i Rosenau, 1986). L'estabilitat de l'estructura del sòl pot estar influenciada per la rotació (Karlen *et al.*, 1994) a través de la diferent capacitat de cada cultiu d'extreure aigua i de dipositar fotosintetitzats a diferents fondàries (Glinski i Liep, 1990). Però demostrar una relació directe entre estructura del sòl i rendiment d'un cultiu és molt difícil (Karlen *et al.* 1994).

La diferència AGB-AGAIG va ser negativa, lleugerament més per al blat monocultiu que per al primer any de blat rere cànem, quan el contingut de matèria orgànica a 0-30 cm va presentar un comportament invers (més alt per al blat monocultiu). En canvi, la diferència AGALC-AGAIG va ser positiva i significativament superior per al primer any de blat rere cànem (BCAD i BC AZ) respecte al blat monocultiu. És a dir, el cànem hauria incrementat l'estabilitat dels agregats, potenciant la contribució de les forces de cohesió a l'estabilitat dels agregats de l'horitzó 0-20 cm.

Densitat aparent

La densitat aparent del sòl (0-20 cm) després de la collita del blat va variar significativament amb l'any. La mitjana del 1997 va ser inferior a la del 1998 i 1996, les quals no es van diferenciar significativament (Taula 4.19). Teòricament, la densitat aparent decreix amb el contingut de MO (Bullock, 1992), però aquesta relació no és clara en el present estudi: la MO del sòl a 0-30 cm va decreïxer amb l'any, mentre que la densitat aparent a 0-20 cm no va augmentar significativament del 1996 al 1998 (Taula 4.16 i Taula 4.19, respectivament). La humitat volumètrica del sòl a collita del blat va seguir un comportament invers al de la densitat aparent: el 1997 la humitat del sòl va ser superior a la del 1998, i aquesta a la del 1996 (Taula 4.19). Es conegut que la densitat aparent incrementa inicialment amb la humitat del sòl i que a partir d'un nivell crític ($0,22 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, aproximadament) disminueix (Davidson, 1965). Precisament, la humitat mitjana del sòl a l'any 1998 ($0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) es va situar prop del punt d'inflexió i la densitat aparent mitjana ($1,5 \text{ Mg m}^{-3}$) va ser lleugerament superior a la de l'any 1996 ($1,46 \text{ Mg m}^{-3}$), quan la humitat del sòl per a l'any 1996 va ser inferior.

La **rotació** no va afectar significativament la densitat aparent de l'horitzó 0-20 cm després de collir el blat ($1,43 \text{ Mg m}^{-3}$ per totes les rotacions de mitjana; Taula 4.19). És a dir, l'efecte rotació que dona el cànem com a precedent del blat no s'explica per una millora de la densitat aparent, la qual cosa coincideix amb el que descriuen altres autors per a rotacions curtes. Unger (2001) no observa diferències entre blat monocultiu i blat en rotació ($1,39$ i $1,42 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivament), els quals tenen una densitat aparent inferior a la del sorgo en monocultiu ($1,58 \text{ Mg m}^{-3}$), que ho atribueix a la menor generació de residus del sorgo. Hernanz *et al.* (2002) troben valors lleugerament inferiors a 0-10 cm per a la rotació blat-veça davant cereal monocultiu, però no significatius. Katsvairo *et al.* (2002) tampoc troben diferències de densitat aparent a l'horitzó 0-15 cm entre moresc monocultiu i la rotació soja-moresc, tot i que el moresc en rotació rendeix un 25% més de gra que en monocultiu.

Taula 4.19. Densitat aparent i humitat volumètrica del sòl a 0-20 cm després de collir el blat.

Rotació	Densitat aparent				Humitat volumètrica sòl			
	1996	1997	1998	Mitjana	1996	1997	1998	Mitjana
	Mg m ⁻³				m ³ m ⁻³			
Blat monocultiu	1,48	1,32	1,48	1,427	0,163	0,422	0,218	0,267
Blat - cànem no adobat	1,47	1,33	1,50	1,431	0,183	0,483	0,205	0,290
Blat - cànem adobat †	1,45	1,34	1,51	1,434	0,175	0,499	0,212	0,295
Mitjana ‡	1,46	1,33	1,50	1,431	0,174	0,468	0,212	0,284
Significació	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS = no significatiu

† Adob = 100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹.‡ LSD_{0,05} entre anys: 0,05 i 0,323 per a densitat aparent i humitat volumètrica sol, respectivament.

Resistència a la penetració

La resistència a la penetració (RP) després de collita del blat va variar significativament amb l'any a totes les fondàries (Figura 4.10): de 10 a 50 cm va ser clarament superior el 1998, mentre que a 0-10 cm ho va ser el 1996. No es disposa de les dades d'humitat del sòl pels diferents nivells als que es va mesurar la RP, però sí per als nivells en els que es va mesurar el nitrogen nítric (0-30, 30-60 i 60-90 cm) o bé la densitat aparent (0-20 cm; Taula 4.19). El 1998 el sòl a 0-30 i 30-60 cm estava significativament més sec que el 1996 i més que el 1997, especialment (Figura 4.10). En canvi, a 0-20 cm, el 1996 estava significativament més sec que el 1998 (0,174, 0,468 i 0,212 m³ m⁻³ per al 1996, 1997 i 1998, respectivament), degut a una pluja (5 mm) 2 dies abans de determinar la RP el 1998, la qual només va l'horitzó més superficial. Donada la relació existent entre la RP i la humitat del sòl (Taylor and Gardner, 1962), la diferent humitat del sòl en fondària el 1996 i 1998 explicaria els majors valors de RP observats el 1996 a 0-10 cm i el 1998 de 10 a 50 cm.

La **rotació** va afectar significativament la RP el 1996, el 1998 i els tres anys en conjunt. La interacció **any x rotació** va ser significativa per totes les fondàries (Taula 4.18), degut al diferent comportament del blat monocultiu l'any 1996 i el 1998 (Figura 4.10). La RP del blat monocultiu el 1996 per als nivells 0 a 30 cm va ser superior a la del primer any de blat rere cànem (BCAD i BCAZ); en canvi, el 1998 la RP del primer any de blat rere cànem (BCAD i BCAZ) va ser superior a la del blat monocultiu per als nivells 30-40 i 40-50 cm. Considerant els tres anys en conjunt, la RP mitjana del blat monocultiu (1,1 Mpa) a 0-10 cm va ser superior a la del primer any de blat rere cànem adobat i sense adobar (0,9 Mpa per a ambdós), mentre que a 30-40 i 40-50 cm el primer any de blat rere cànem adobat i sense adobar va presentar valors superiors al blat monocultiu. El blat rere cànem adobat o sense adobar van presentar un comportament molt similar, no diferenciant-se significativament en cap cas.

Les diferències de RP observades entre rotacions difereixen de les dades de Hammel (1989), d'Arshad *et al.* (1998) i Katsvairo *et al.* (2002), els quals no observen diferències entre rotacions. En canvi, Glinski i Lipiec (1990) recullen que les arrels d'algunes plantes incrementen la RP del sòl, per exemple el blat de moro compacta més que el blat o bé el pèsol. El cànem, amb un sistema radicular més profund que el blat de moro, hauria mostrat un comportament similar a capes més profundes (30 a 50 cm). En canvi, en superfície, la menor RP a 0-10 cm per al primer any de blat rere cànem en relació al blat monocultiu està d'acord amb l'increment de l'estabilitat dels agregats (Taula 4.17) que ocasionava el cànem. Aquests resultats suggereixen que el cànem millora l'estructura del sòl, la qual cosa està d'acord amb l'opinió d'agricultors i tècnics (Bocsa i Karus, 1998).

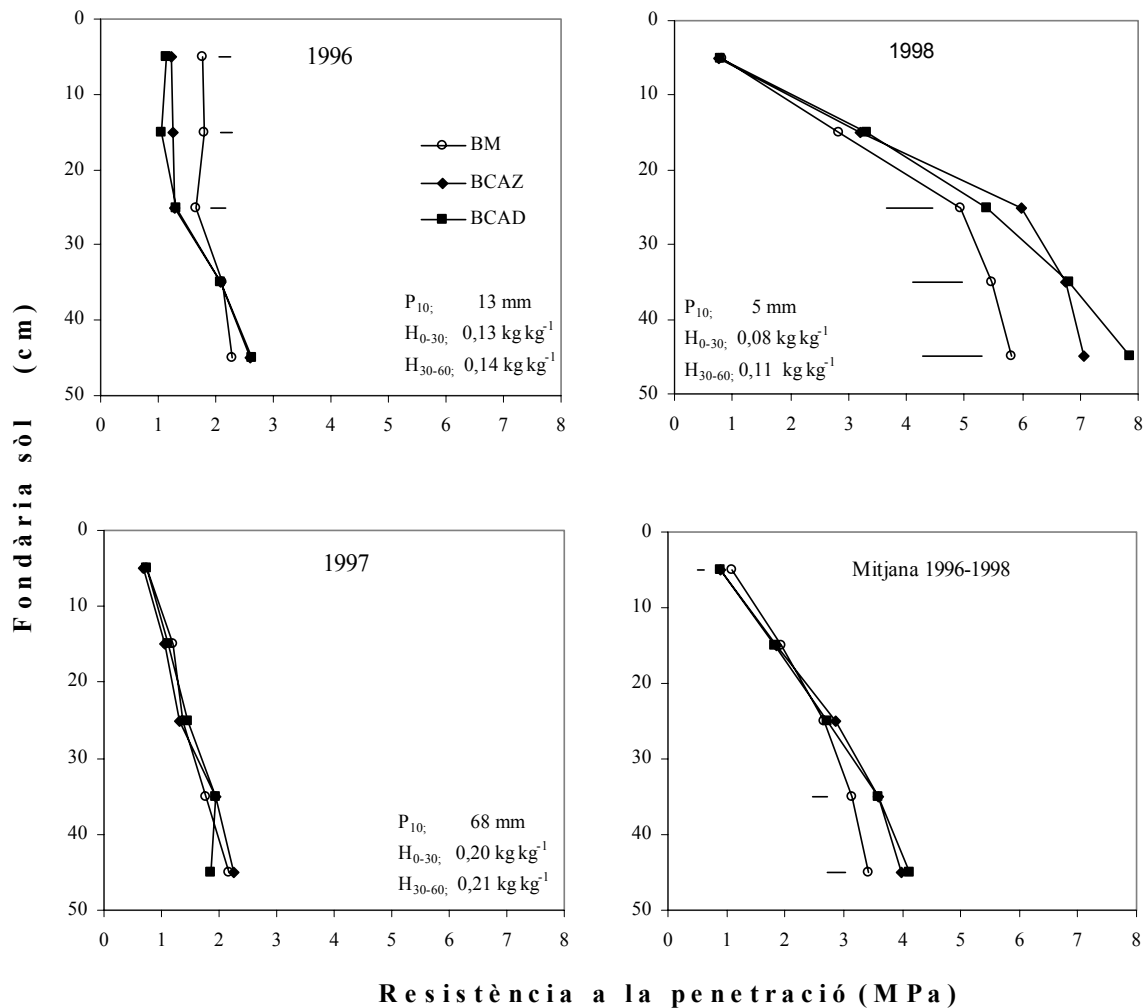


Figura 4.10. Resistència del sòl a la penetració del con per al blat monocultiu (BM), primer any de blat rere cànem adobat (BCAD) i primer any de blat rere cànem sense adobar (BCAZ) després de collir el blat. Adob = 100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹. Les barres horitzontals indiquen LSD per a $P < 0,05$, si les diferències són significatives; P₁₀: precipitació recollida els 10 dies previs a la presa de dades; H₀₋₃₀ i H₃₀₋₆₀; humitat gravimètrica sòl sec (kg kg⁻¹) a 0-30 i 30-60 cm, respectivament.

La resistència a la penetració està influenciada per la humitat del sòl, la densitat aparent i l'estructura, entre altres factors (Taylor and Gardner, 1962), paràmetres que també es relacionen amb la matèria orgànica (Bullock, 1992). En el present estudi no es van observar diferències degudes a la rotació en la matèria orgànica (0-30, 30-60 i 60-90 cm), la densitat aparent (0-20 cm) i la humitat del sòl per als horitzons dels que es disposen dades (0-20, 0-30 i 30-60 cm). En canvi, l'estabilitat dels agregats (0-20 cm) a l'aigua, i especialment la diferència AGALC-AGAIG, si que es va veure afectada per la rotació, de manera que les diferències de RP entre rotacions a l'horitzó més superficial suggereix una diferent estructuració del sòl. No obstant, per poder-ho afirmar més categòricament caldria haver determinat tots els paràmetres per a les mateixes fondàries en què s'ha determinat la RP.

Interessa destacar la influència que la humitat del sòl ha mostrat sobre la RP en el present treball. A més a més d'afectar la mitjana de la RP obtinguda els diferents anys a diferents fondàries, ha condicionat clarament la detecció de diferències de RP entre rotacions: amb el sòl més humit (any 1997, 68 mm de precipitació els 10 dies previs a la determinació de la RP) no es va detectar diferències entre rotacions, mentre que amb el sòl més sec (a 0-20 cm el 1996; a més de 20 cm el 1998) les diferències es van posar més de manifest (Figura 4.10). És a dir, podria ser convenient determinar la RP a humitats del sòl moderades, perquè permetria posar de manifest el comportament del sòl en moments crítics i, per tant, les condicions en què l'estructura pot afectar més.

Nitrogen nítric en el sòl

Les dades de N-NO₃⁻ en el sòl a filloleig i després de la collita del blat es presenten a la Taula 4.20 i a la Figura 4.11. El contingut de N-NO₃⁻ a 0-90 cm a filloleig i després de la collita del blat va ser 39 i 54 kg N ha⁻¹, respectivament. El perfil de distribució en el sòl és clarament diferent: A filloleig el N-NO₃⁻ va disminuir de forma moderada en fondària, amb 16 kg ha⁻¹ a l'horitzó 0-30 cm, 10 kg ha⁻¹ a 30-60 cm i 14 kg ha⁻¹ a 60-90 cm, valors que són propers als de l'horitzó superficial; en canvi, després de la collita del blat la disminució del contingut de N-NO₃⁻ en profunditat va ser molt marcada, amb 40 kg ha⁻¹ a l'horitzó 0-30 cm i continguts molt inferiors a l'horitzó 30-60 (8 kg ha⁻¹) i 60-90 cm (6 kg ha⁻¹).

Taula 4.20. Mitjana de tres anys (1996 a 1998) del contingut en N-NO₃⁻ en el sòl a filloleig i després de collir el blat, segons la rotació.

Rotació / Fondària (cm)	Filloleig †				Després collita blat			
	0-30	30-60	60-90	0-90	0-30	30-60	60-90	0-90
	kg ha ⁻¹				kg ha ⁻¹			
Blat monocultiu	14	15	23	50	39	12	11	62
Blat-cànem no adobat	14	7	7	27	42	8	4	54
Blat-cànem adobat ‡	18	9	13	40	39	4	5	48
Mitjana	16	10	14	39	40	8	6	54
ANOVA (per a cada fondària)								
Any (A)	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	**
Error a	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotació (R) §	NS	NS	* (12)	* (18)	NS	** (4)	NS	NS
A x R	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Error b	-	-	-	-	-	-	-	-

† Estadi 21-22 (Zadocks *et al.*, 1974). ‡ Adob = 100-35-130 kg N-P-K ha⁻¹, respectivament.

**, * Indiquen significació a $P < 0,01$ i $0,05$, respectivament. NS = no significatiu. § Entre parèntesi LSD per a $P < 0,05$.

L'any va influir significativament el contingut de N-NO₃⁻ després de la collita de l'horitzó 0-30 i 0-90 cm. L'any 1998 va presentar valors superiors als del 1996 i 1997: 32, 36 i 52 kg N ha⁻¹ a 0-30 cm, i 34, 48 i 62 kg N ha⁻¹ a 0-90 cm, per als anys 1996, 1997 i 1998, respectivament. La interacció any x rotació no va ser significativa per a cap cas.

El N-NO_3^- va variar significativament amb la **rotació**, únicament, a 60-90 i a 0-90 cm a filloleig i a 30-60 cm després de la collita del blat (Taula 4.20), tot i que tant a filloleig com a collita es va observar una tendència força consistent per als horitzons 30-60, 60-90, i 0-90 cm en conjunt: el blat monocultiu va presentar valors més elevats que la rotació. A l'horitzó 0-30 cm les diferències de N-NO_3^- entre rotacions no van ser significatives en cap cas (Figura 4.11). Entre rotacions, a filloleig el N-NO_3^- tendeix a ser més elevat per al blat rere cànem adobat, mentre que a collita tendeix a ser-ho per al blat rere cànem sense adobar (no significativament).

Els nostres resultats estan d'acord amb els de López Bellido *et al.* (2001c), que també troben nivells de N-NO_3^- superiors per al blat monocultiu en relació al blat en rotació amb lleguminoses o gira-sol, tant a presembra com a collita. L'efecte perjudicial del monocultiu en el rendiment de gra pot comportar una menor absorció de N i explicaria, en part, l'acumulació de N-NO_3^- en el sòl.

A filloleig, el contingut de N-NO_3^- en el sòl a 0-90 cm està en línia amb les dades que donen López Bellido *et al.* (1997 i 2001c) per a zones Mediterrànies àrides, i Dalal *et al.* (1998) per a zones humides d' Austràlia. No obstant, a 0-30 cm es situa en la banda baixa dels valors que obtenen aquests autors, mentre que a 60-90 es situa en la banda alta. En condicions Mediterrànies, relativament humides com les del present estudi, la precipitació és molt variable i en anys secs el N-NO_3^- acumulat en el sòl pot ser elevat, mentre que en presència de precipitacions elevades pot lixiviar-se en gran mesura, d'acord amb el que suggereixen Lloveras *et al.* (2001a) en blat en regadiu a la Vall de l'Ebre.

Precisament, el nivell clarament més elevat de N-NO_3^- a 60-90 cm a filloleig per al blat monocultiu (Taula 4.20), suggereix una pèrdua de N-NO_3^- per lixiviació, possible perquè durant els tres anys d'assaig (1996 a 1998) es van donar precipitacions superiors als 150 mm durant els dos mesos previs a la determinació del N-NO_3^- a filloleig (Taula 3.2). Els valors inferiors de N-NO_3^- observats per al blat en rotació en els horitzons més profunds a filloleig es deurién al menor nivell de N-NO_3^- després de la collita del cànem (Taula 4.7) i, d'altra banda, a què l'intercultiu és més curt, de manera que la mineralització també ha de ser inferior.

En conjunt mostra que la rotació té un nivell de N-NO_3^- en fondària inferior al monocultiu, reduint el risc de pèrdua de N-NO_3^- per lixiviació i suggereix que el cànem és un bon complement per al blat en quant a l'ús de N, remarcant el seu paper respectuós amb el medi ambient.

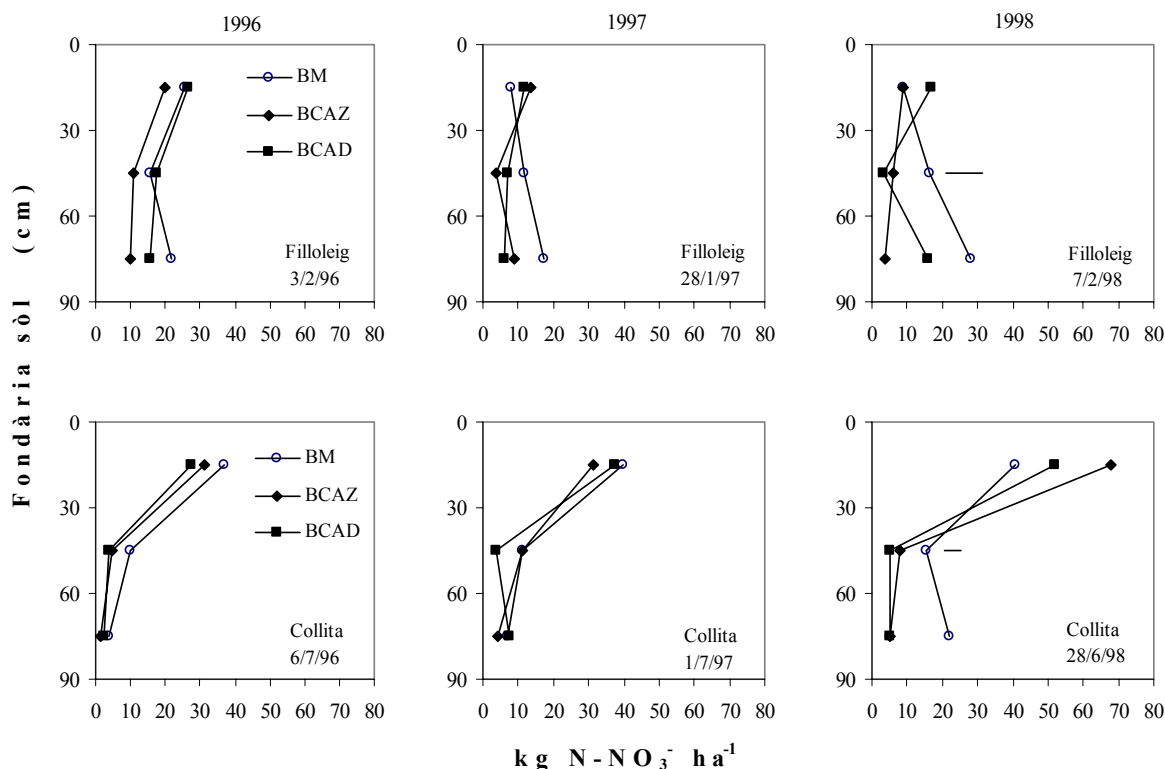


Figura 4.11. Contingut de nitrogen nítric en el sòl a filloleig i després de la collita del blat, segons la rotació. (BM = blat monocultiu; BCAZ = blat rere cànem sense adobar; BCAD = blat rere cànem adobat). Les barres horitzontals indiquen LSD per a $P < 0,05$, si les diferències són significatives.

A collita, el contingut de $N-NO_3^-$ en el sòl a 0-90 cm també està en línia amb les dades que donen López Bellido *et al.* (1997 i 2001c), però és superior als 15 kg N ha^{-1} de Dilz (1988) en zones humides. Inversament al que succeeix a filloleig, el $N-NO_3^-$ després de la collita és especialment elevat a l'horitzó 0-30 cm, superior als 15 kg ha^{-1} de Hammel (1995), mentre que a 30-60 cm i a 60-90 cm està en línia amb els 10 i 7 kg ha^{-1} de Hammel (1995), respectivament. Observar també que el contingut de $N-NO_3^-$ a 0-30 cm, i conseqüentment a 0-90 cm, és clarament més elevat després de la collita que a filloleig.

Es poden apuntar tres causes com a responsables dels alts continguts de $N-NO_3^-$ a l'horitzó 0-30 cm després de la collita del blat: 1) Els rendiments de gra han estat inferiors als usuals a la zona, degut al període sec dels anys 1997 i 1998, entre altres particularitats climàtiques (Taula 3.2); 2) l'adobat N (120 kg N ha^{-1}) ha estat excessiu, no només en els anys secs, també a l'any 1996, humit i amb rendiment adequat per a la zona. El nitrogen es va aportar en superfície, després de determinar el $N-NO_3^-$ en el sòl a filloleig (finals de gener), de manera que contribueix de forma directa a incrementar el nivells de $N-NO_3^-$ a 0-30 cm, especialment els anys secs; i 3) la major taxa de mineralització a primavera – estiu degut a les elevades temperatures també podria haver contribuït a incrementar el $N-NO_3^-$ en el sòl, segons suggereix la disminució del contingut de MO en el sòl (Taula 4.16). En anys secs López Bellido *et al.* (2001c.) obtenen fins a 90 Kg ha^{-1} de nitrogen mineralitzat.

Aquest resultat suggereixen que sòl estudiat està probablement sobrefertilitzat i les necessitats d'adob N s'haurien de determinar en funció de la rotació i tenint en compte el N mineral residual en el sòl. D'altra banda, es pot apuntar que aportar tot l'adob N en superfície pot no haver, probablement, estat la forma més adequada d'adobar el blat. El període sec entre gener i finals d'abril dels anys 1997 a 1999 (Taula 3.2) pot haver dificultat l'absorció del N del blat i haver contribuït a incrementar el nitrogen nítric després de collita del blat. No obstant, s'ha de tenir present que en condicions Mediterrànies, amb pluviometria molt variable durant el creixement del blat, recomanar la fertilització nitrogenada adequada no és una tasca fàcil (Abad *et al.*, 2004).

En conjunt, es remarca que no adobar el cànem precedent no va significar reduir el N-NO_3^- residual en el sòl després de collir el cànem ($6,5 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ a 0-90 cm menys per a 0 vs 100 kg N ha^{-1} ; Taula 4.7), ni a filloleig del blat següent ($12,9 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ a 0-90 cm menys per a 0 vs 100 kg N ha^{-1} aplicat al cànem precedent) ni després de la collita del blat ($6,5 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ a 0-90 cm de més per a 0 vs 100 kg N ha^{-1} aplicat al cànem precedent) (Taula 4.11).

Aquests resultats suggereixen que el menor rendiment del blat rere cànem sense adob, respecte al blat rere cànem amb adob ($100\text{-}35\text{-}130 \text{ kg N-P-K ha}^{-1}$), no aniria lligat a la menor quantitat de nitrogen nítric que deixa el cànem no adobat.

4. CONCLUSIONS

1. El rendiment de biomassa i de gra del blat rere cànem va ser superior al del blat monocultiu a tots els anys. L'increment de rendiment de gra (efecte rotació) va ser de 1368 kg ha⁻¹ (47%) de mitjana. En canvi, el contingut de proteïna del gra va ser superior per al blat monocultiu, a causa de disposar de més nitrogen nítric en el sòl.
2. L'efecte rotació del cànem es va estendre al segon any de blat rere cànem, de forma més limitada (156 kg ha⁻¹; 6%) i menys consistent, i es va esvaïr per al tercer any de blat rere cànem, que ja no es va diferenciar de blat monocultiu.
3. L'efecte rotació del cànem en el blat va decreïxer quan el cànem no es va adobar, comportament que no es va relacionar amb una menor quantitat de nitrogen nítric residual en el sòl després de collir el cànem.
4. La diferència d'agregats estables de >0,2 mm a l'alcohol i a l'aigua de l'horitzó 0-20 cm va ser superior per al blat rere cànem que per al blat en monocultiu, suggerint que el cànem hauria millorat l'estabilitat dels agregats. L'efecte de la rotació en l'estructura del sòl també es va poder observar parcialment a través de la resistència a la penetració, inferior per al blat rere cànem a l'horitzó (0-10 cm), i inversament en fondària (20-50 cm).
5. El contingut de nitrogen en el sòl a 0-90 cm del blat rere cànem va ser inferior al del blat monocultiu, suggerint que el cànem és un bon complement per al blat quant a l'ús del N, ja que sembla absorbir el nitrogen residual en el sòl.
6. La present tesi no ha permès explicar completament com el cànem incrementa el rendiment del blat, tot i que el resultats obtinguts permeten especular que podria relacionar-se amb la quantitat de fulla que el cànem deixa en el sòl, i de la seva descomposició, si bé calen més estudis per confirmar-ho.
7. El cànem rere blat no es va diferenciar significativament del cànem en monocultiu per a cap dels paràmetres controlats en el present treball. Per tant, i a diferència del blat, el cànem ha mostrat adaptar-se bé al monocultiu.

5. Capítol III

**Resposta del blat a les tècniques de conreu aplicades al cànem
(nitrogen i dosi de sembra) en una rotació cànem–blat**

1. INTRODUCCIÓ

El cànem (*Cannabis sativa* L.) es cultiva actualment a Espanya per a la producció de pasta per a paper. Aquest cultiu, font de múltiples productes industrials renovables i de baix consum d'intrants i baix impacte ambiental (van der Werf, 2004), s'ha estès als secans frescals de Catalunya, gràcies a la bona adaptació a les condicions i sistemes de cultiu d'aquesta àrea (900 ha l'any 2002). Els agricultors estan interessats en el cànem perquè el consideren un bon precedent per al blat i perquè el marge brut ha estat generalment superior al d'altres cultius alternatius, com el gira-sol o la colza (Gorchs i Lloveras, 2003).

Actualment, l'ajut de la UE al cànem s'ha reduït al mateix nivell que el dels cereals (CE, 2000). Però, durant els anys noranta l'ajut al cànem va ser força més elevat (774,74 € ha⁻¹ any⁻¹ per a l'any 1997) (CE, 1997), esdevenint, de lluny, el principal ingrés que generava el cultiu (90% del total). Aquest fet va implicar un canvi en el maneig del cultiu. Els agricultors van extensificar la producció amb l'objectiu de reduir despeses, disminuint dràsticament l'ús d'adobs (Gorchs i Lloveras, 2003). Una pràctica similar a l'exposada s'utilitza en el gira-sol en rotació amb el blat en àrees Mediterrànies més càlides (Córdoba). Segons López Bellido *et al.* (2003a) la resposta al N aplicat directament al gira-sol és incerta, degut a què les precipitacions són molt variables, de manera que els agricultors apliquen una quantitat de N més gran al blat precedent, esperant que una part quedi disponible per al gira-sol.

López Bellido *et al.* (2003a) van concloure que, per a la rotació blat–gira-sol, sobrefertilitzar el blat no influenciava el rendiment de gra del gira-sol i que, per tant, no era una estratègia vàlida. No obstant, l'assaig de camp incloïa anys amb una pluviometria inusualment alta, i en anys normals o secs els resultats podrien haver estat diferents. En canvi, l'efecte rotació del gira-sol sobre el blat sí que s'incrementava amb la dosi de N aplicat al blat precedent del gira-sol, és a dir dos anys abans (López Bellido *et al.*, 2003a). A la mateixa àrea mediterrània, per a una rotació lleguminosa–blat, la fava (*Vicia faba* L.) (López Bellido *et al.*, 2003b) i el cigró (*Cicer arietinum* L.) (López Bellido *et al.*, 2004a) responen positivament a l'adob N aplicat al blat precedent.

No obstant, per a la rotació cànem–blat no es disposa d'estudis que valorin la resposta del blat en funció de la dosi de N o altres tècniques de cultiu aplicades al cànem precedent. Excepte els resultats presentats en el Capítol II, els quals mostraven que no adobar el cànem disminuïa el rendiment del següent cultiu de blat (Taula 4.11), disminució que aparentment no es devia a un menor contingut de N-NO₃⁻ residual en el sòl després de collir el cànem.

L'objectiu principal que es va plantejar en aquest capítol és estudiar l'efecte de les tècniques de cultiu (dosi de N i dosi de sembra) aplicades al cànem sobre la producció del següent cultiu de blat, per a la rotació cànem—blat dels secans frescals del nord-est d'Espanya (àrea Mediterrània temperada).

2. MATERIAL I MÈTODES

Descripció de l'assaig

L'Assaig 3 va consistir en controlar el blat sembrat la següent campanya agrícola a l'àrea ocupada per l'assaig presentat al Capítol I (Tècniques de conreu en cànem). Aquest experiment es va realitzar durant 3 campanyes: 1996-1997, 1997-1998 i 1998-1999.

La localització, el sòl i les característiques climàtiques són les presentades al Capítol I (apartat 2.1), alhora que els resultats també es van analitzar tal com s'ha descrit en el Capítol 1 (apartat 2.4.), de manera que tots aquests aspectes s'ometen en el present capítol.

El disseny experimental és l'aplicat al cànem precedent (Capítol I, apartat 2.2). És a dir, el de parcel·la subdividida (split plot) amb 4 repeticions i parcel·la elemental de 10 x 1,2 m². Els factors de variació per al cànem havien estat dosi de N (0, 50, 100, 200 kg N ha⁻¹; parcel·la principal) i la dosi de sembra (30, 60, 120 kg llavor ha⁻¹; subparcel·les). Es presenten els resultats del blat de les parcel·les on la cv. de cànem era Futura 77.

Tecnologia de cultiu i determinacions

Les dates de sembra i collita del blat (Taula 4.3), la culti-var (cv. Soissons), l'adobat (120-35-110 kg N-P-K ha⁻¹) i els herbicides aplicats al blat durant el cultiu són idèntics al què s'ha descrit per al blat del Capítol II (veure punt 2.3.2).

En canvi, no es va treballar el sòl, sinó que es va aplicar Glifosat [N-(fosfometil) glicocola], a finals d'agost i quinze dies abans de la sembra. La sembra del blat es va realitzar amb una sembradora de sembra directa (Jhon Deere 1560; 0,186 m entre línies de sembra). Així, es van poder identificar correctament les parcel·les experimentals (10 x 1,2 m-2) ocupades pel cànem l'any anterior.

A collita del blat es van determinar els mateixos paràmetres de producció, i de forma idèntica, a l'exposada per al blat de l'Assaig 2, presentat en el Capítol II (apartat 2.3.3).

3. Resultats i discussió

A la Taula 5.1 es presenten els resultats de producció del blat (anys 1997 a 1999), segons l'adob N i la dosi de sembra aplicada al cànem precedent, per a la rotació cànem—blat en els secans frescals del Prepirineu. Recordar que el blat es va adobar cada any amb 120-35-110 kg N-P-K ha⁻¹.

Rendiment de biomassa i gra

La mitjana per al conjunt dels anys del rendiment de gra (14% d'humitat) i de biomassa (matèria seca) del blat va ser 3779 i 6882 kg ha⁻¹. L'**any** va influir significativament el rendiment de gra, amb valors inferiors per a l'any 1997 (2683, 4565, i 4401 kg ha⁻¹, per a l'any 1997, 1998 i 1999 respectivament).

La **dosi de nitrogen** aplicada al cànem precedent va afectar significativament el rendiment de gra i de biomassa per als tres anys en conjunt i per als anys 1998 i 1999, segons una tendència lineal significativa en tots els casos, i quadràtica per al rendiment de biomassa per als tres anys en conjunt. L'increment de rendiment de gra del blat entre 0 i 200 kg N ha⁻¹ aplicats al cànem precedent va ser de 1116 kg ha⁻¹, de mitjana per als tres anys en conjunt.

La interacció **any x N** va ser significativa per al rendiment de gra i biomassa del blat, perquè a l'any 1998 la resposta a la dosi de N aplicada al cànem precedent va ser més elevada que a l'any 1997 (tipus no creuada). La resta d'interaccions possibles no van ser significatives.

La **dosi de sembra** aplicada al cànem precedent va influir el rendiment de gra i biomassa del blat a l'any 1997 i per als tres anys en conjunt ($P=0,053$ per al gra), segons una tendència quadràtica significativa. A l'any 1998 i 1999 la dosi de sembra no va afectar significativament, si bé el rendiment de gra i biomassa van tendir a augmentar amb la dosi de sembra aplicada al cànem precedent en tots els casos. L'increment de rendiment de gra entre 0 i 120 kg llavor ha⁻¹ va ser de 204 kg ha⁻¹, de mitjana per als tres anys en conjunt. És a dir, l'efecte de la dosi de sembra sobre la producció del blat va ser més limitat que el de la dosi de N.

Pes específic i alçada

El pes específic del blat va augmentar amb la **dosi de nitrogen** aplicada al cànem precedent, segons una tendència lineal significativa, i amb valors superiors per a l'**any** 1999. L'alçada també va augmentar amb la dosi de nitrogen aplicada al cànem precedent, segons una tendència lineal (any 1998) i quadràtica significativa (anys 1999 i dos anys en conjunt).

La dosi de sembra aplicada al cànem no va afectar el pes específic i l'alçada del blat.

Taula 5.1. Rendiment en gra (14% d'humitat) i biomassa aèria (matèria seca), pes específic del gra i alçada del blat, segons les tècniques de conreu (dosis d'adob N i dosi de sembra) aplicades al cultiu precedent (cànem, cv Futura 77).

Tractaments i estadística †	Gra			Biomassa			Pes específic			Alçada ‡	
	1997	1998	1999	1997	1998	1999	1997	1998	1999	1998	1999
	kg ha ⁻¹						kg hl ⁻¹			cm	
Nitrogen (N)											
0	2515	3764	3474	4129	7373	5993	76,2	74,5	81,4	64,9	62,1
50	2430	4113	4475	4105	8005	7783	76,5	75,0	81,6	64,4	65,3
100	2861	4889	4975	4869	9359	8662	77,2	75,0	82,9	66,6	67,3
200	2925	5494	4682	4988	10671	8195	77,9	76,4	82,9	72,1	68,6
Significació	NS	**	*	NS	**	*	NS	**	NS	**	**
Lineal	NS	**	*	NS	**	*	*	**	NS	*	**
Quadràtic	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**
Dosi sembra (DS)											
30	2617	4478	4300	4421	8685	7433	76,9	74,8	82,4	67,5	65,5
60	2626	4450	4470	4384	8612	7764	76,9	75,4	82,0	66,1	65,7
120	2804	4767	4436	4763	9259	7776	77,0	75,4	82,1	67,5	66,3
Significació	NS§	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Lineal	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Quadràtic	*	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N x DS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ANOVA per al conjunt d'anys											
Any (A)		**			**			*			NS
Error a		-			-			-			-
Nitrogen (N)		**			**			**			**
Lineal		**			**			NS			**
Quadràtic		NS			*			NS			**
A x N		*			*			NS			**
Error b		-			-			-			-
D. sembra (DS)		NS (P=0,053)			*			NS			NS
Lineal		NS			NS			NS			NS
Quadràtic		*			*			NS			NS
A x DS		NS			NS			NS			NS
N x DS		NS			NS			NS			NS
A x N x DS		NS			NS			NS			NS
Error c		-			-			-			-

† Tractaments aplicats al cànem precedent (nitrogen = kg N ha⁻¹; dosi sembra = kg llavor ha⁻¹)

‡ Dada no disponible per a l'any 1997.

§ P=0,06. **, * Indica significatiu per a P <0,01 i 0,05, respectivament. NS, no significatiu.

Discussió

Els rendiments obtinguts l'any 1997 són inferiors als normals de la zona, fet que es deuria al llarg període sec que va de febrer a finals d'abril, i a un final de cicle molt càlid (Figura 3.1). Els de l'any 1998 i 1999 són més correctes per a l'àrea de l'assaig (López i Serra, 1996).

Pel que fa a l'efecte de la dosi de N aplicada al cànem sobre la producció del següent cultiu de blat, els resultats obtinguts estan d'acord amb els del Capítol II, on el blat rere cànem adobat (100 kg N ha⁻¹) presentava un rendiment superior al del blat rere cànem no adobat (Taula 4.11).

En primer lloc, es pot considerar que l'increment de rendiment del blat (successor) es deu al major residu de N-NO_3^- en el sòl després de la collita del cànem precedent, en funció de la dosi de N que se l'hi havia aplicat. A la Figura 5.1 es presenta la mitjana de dos anys (1996 i 1997) del contingut del N-NO_3^- residual en el sòl a 0-60 cm després de collir el cànem (a l'any 1998 el N nítric no es va mesurar), i la mitjana de dos anys del rendiment de gra del següent blat (1996/97 i 1997/98). Es pot observar que el N-NO_3^- residual en el sòl a 0-60 cm després de la collita del cànem gairebé no augmenta per a dosis de N aplicades a sembra del cànem inferiors a 100 kg N ha^{-1} , i es dispara quan s'apliquen 200 kg N ha^{-1} . En canvi, el rendiment de gra del blat incrementa bàsicament fins a 100 kg N ha^{-1} aplicats al cànem.

Per tant, el N-NO_3^- residual en el sòl no suggereix ser el responsable de l'increment de producció del següent blat, en funció de la dosi de N aplicada a sembra del cànem precedent. López Bellido *et al.* (2003a), per a la rotació blat-gira-sol en anys amb precipitacions molt elevades per a Córdoba, conclouen que la sobrefertilització del blat no té cap efecte sobre el rendiment de gra del gira-sol següent (de sistema radicular més potent que el del blat). A la mateixa àrea, López Bellido *et al.* (2003a) en fava i López Bellido *et al.* (2004a) en cigró reporten que el rendiment de gra d'aquests cultius augmenta amb la dosi de nitrogen aplicada al blat precedent. Aquest autors, atribueixen la resposta, o no resposta, al N aplicat al blat precedent a l'augment del N residual després de collir el blat. Aquest N residual actua com una dosi de N de fons aplicada a sembra de la lleguminosa (López Bellido *et al.*, 2003a).

Tanmateix, el blat del present assaig s'ha adobat amb 120 kg N ha^{-1} , quantitat que en el Capítol II conclouem que havia estat excessiva per als nivells de rendiment obtinguts, de manera que és poc probable que la major producció del blat s'hagués degut al fet de disposar d'una quantitat de nitrogen residual en el sòl més elevada. Altrament, suggeriria que el nitrogen aplicat al cànem hauria modificat l'efecte rotació del cànem sobre el blat.

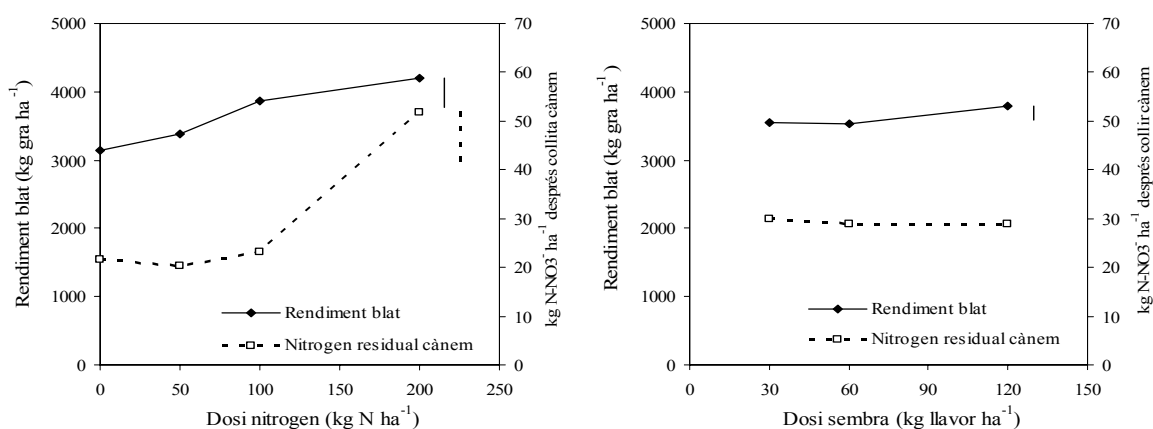


Figura 5.1. Mitjana de dos anys del contingut de N-NO_3^- en el sòl a 0-60 cm després de collir el cànem (anys 1996 i 1997) i rendiment de gra del següent cultiu de blat (anys 1996/97 i 1997/98), segons la dosi de N i la dosi de sembra aplicades al cànem precedent. Barres verticals indiquen LSD per a $P < 0,05$.

D'altra banda, el rendiment de gra tendeix a incrementar amb dosi de sembra emprada en el cànem precedent, si bé té un impacte molt més limitat que el de la dosi de N (Taula 5.1). Contràriament, el N-NO₃⁻ residual en el sòl després de la collita del cànem precedent tendia a ser inferior a l'augmentar la dosi de sembra (Figura 5.1). Això reforça el que s'apuntava abans: que l'increment de rendiment del blat no es deuria, aparentment, a una major quantitat de N-NO₃⁻ residual en el sòl després de collir el cànem.

Malauradament, en el present assaig no s'ha controlat el N-NO₃⁻ en el sòl a sembra del blat (s'havia controlat 1½ mes abans, després de collir el cànem; Taula 3.3) o bé durant el cultiu i no es possible asseverar que la resposta del blat no es relaciona amb el N residual. Així i tot, al Capítol II s'observava que la variació del N nítric a filloleig del blat era moderada, al aplicar 100 kg N ha⁻¹ al cànem precedent (12 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹), respecte al no adobat, suggerint que l'adob no explicava totalment la major producció del blat rere cànem adobat.

Es pot especular que la resposta del blat es relacionaria amb la quantitat de residus que el cànem deixa en superfície, segons la tècnica aplicada al cànem. Després de naixença, la producció de fulla del cànem augmenta amb la dosi de N (van der Werf *et al.*, 1995b) i la dosi de sembra (van der Werf *et al.*, 1995a; Amaducci *et al.*, 2002b). En el present treball, l'increment del rendiment de fulla del cànem amb la dosi de N era clar a collita a fi de floració masculina, però no amb la dosi de sembra (Figura 3.5), probablement perquè a collita ja s'havia perdut molta fulla.

El conjunt de dades suggereixen que l'increment del rendiment del següent blat podria anar lligat als factors que augmenten la quantitat de fulla produïda. En aquest supòsit, l'efecte nematicida d'alguns components de la fulla de cànem (Singh i Singh, 2002; Somvanshi i Gupta, 2003) podrien ser el factor responsable de l'increment de rendiment del següent cultiu de blat. O bé pel fet d'alliberar l'alt contingut de N de la fulla de cànem (5-6%) (Ivanyi, 2005), N que el blat podria absorbir més adequadament que el N mineral aportat amb l'adobat N al blat. O bé a possibles efectes al·lelopàtics d'algun component de la fulla.

Atenent a aquests resultats, alhora de decidir la dosi de nitrogen a aplicar al cànem cal tenir en compte l'efecte en el següent cultiu de blat. Les dades obtingudes suggereixen que aportar uns 100 kg N ha⁻¹ al cànem precedent (dosi que es situa en el rang de dosis calculades com a òptimes econòmicament) seria adient per al següent cultiu de blat.

No obstant, calen més estudis per determinar si la causa de l'increment del rendiment del blat es deu a una major presència de residus vegetals (o de fulles, en particular) al final del cultiu de cànem a l'augmentar la dosi de nitrogen i/o la dosi de sembra, o bé es deu a altres factors desconeguts. I si l'efecte de les tècniques culturals aplicades al cànem precedent sobre la producció de blat es poden assolir o modificar segons les tècniques aplicades al blat.

4. CONCLUSIONS

1. Adobar el cànem amb N va tenir un efecte positiu sobre la producció del blat que el segueix, ja que la dosi de N va incrementar el rendiment de gra i biomassa, pes específic del gra i alçada del blat. La dosi de N calculada com a òptima econòmicament per al cànem en el Capítol I (50-150 kg N ha⁻¹) va suggerir ser adequada també per al blat, per a les condicions de la rotació cànem–blat a l'àrea Mediterrània temperada del nord-est d'Espanya.
2. El rendiment de biomassa del blat es va incrementar amb la dosi de sembra aplicada al cànem precedent. L'increment va ser més moderat que l'ocasionat per la dosi de nitrogen.
3. La resposta del blat a les tècniques de conreu aplicades al cànem (dosi de N i dosi de sembra) no es va deure, aparentment, al nitrogen nítric residual en el sòl després de collir el cànem i encara són necessaris més estudis i establir el balanç del N per determinar-ne la causa i completar aquests resultats.

6. CONCLUSIONS GENERALS

Les conclusions de la present tesi, per a condicions de secà i clima Mediterrani temperat, es recullen en dos apartats, un referent al cànem i un altre respecte a la rotació cànem–blat.

Efecte de les tècniques de conreu en cànem

1. Dosi d'adob nitrogenat

1.1. La dosi de N va afectar positivament el creixement i el rendiment de biomassa, tija, gra i fibra cortical bàsicament segons una tendència quadràtica, però amb una intensitat diferent segons l'any. En canvi, la dosi de N va influir de forma negativa la proporció de tija a la biomassa i de fibra cortical a la tija.

1.2. La dosi de N econòmicament òptima va variar amb l'any (30-150 kg N ha⁻¹), suggerint que la contribució del N en sòl abans de la sembra del cànem, residual del blat precedent, podria haver estat important en certs anys.

1.3. El contingut de N nítric en el sòl a 0-90 cm després de collir el cànem per a dosis de N moderades o properes a la calculada com a òptima va ser baix (17-36 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ any⁻¹). Per a 200 kg N ha⁻¹ va ser clarament més alt a tots els anys (60-110 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹), indicant que aquest és un adobat excessiu per al cultiu en secà a l'àrea Mediterrània temperada.

1.4. Integrar la mesura del contingut de N nítric en el sòl abans de la sembra i el valor de lectura SPAD durant el cultiu (42 unitats a inici de floració femenina seria el nivell crític que definiria la suficiència en N) hauria de permetre ajustar l'adob N, maximitzant el rendiment del cànem, encara que calen més estudis per completar i validar els resultats obtinguts.

2. Densitat de cultiu

2.1. La densitat de plantes va disminuir entre naixença i collita. La disminució va ser més intensa a l'augmentar la dosi de sembra i la dosi de N, però de forma variable segons l'any, fet que pot originar una fibra de qualitat variable. No obstant, l'autoclarida va ser inferior a l'habitual a Europa central, tret que és transcendent, ja que va marcar la resposta de la producció del cànem a la dosi de sembra i de N.

2.2. La dosi de sembra va influir negativament al rendiment de biomassa i gra. En canvi, va millorar la qualitat de la tija, ja que la proporció de tija a la biomassa i de fibra cortical a la tija van augmentar. L'increment és superior al descrit per a altres àrees centreuropees, possible gràcies a la menor autoaclarida en les condicions de l'assaig que evita l'eliminació selectiva de les plantes més primes i de relació superfície/diàmetre més favorable.

2.3. Una dosi de 30 kg llavor ha⁻¹ o 70 plantes m⁻² a collita va ser suficient per a la producció de fibra i gra. Dosis inferiors podrien ser adequades per a la producció de gra, mentre que dosis de sembra superiors són possibles i apropiades per a la producció de fibra, però no interessen econòmicament, perquè el preu de la palla és fix i no depèn de la qualitat de la tija.

2.4. L'obligació d'haver de sembrar un mínim de 40 kg ha⁻¹ per accedir a l'ajut de la UE a certs cultius herbacis no sembla lògica. No hi ha arguments econòmics que ho justifiquin i és perjudicial per al cànem cultivat per a gra (redueix rendiment i augmenta les despeses).

3. *Moment de collita*

El cultiu per a fibra i gra va mostrar ser més interessant que el cultiu només per a fibra, ja que el rendiment dels productes amb valor econòmic a maduració del gra (tija i gra) va ser superior a l'obtingut a finals de floració masculina (tija). Però, el cànem cultivat per a fibra i gra necessitaria l'aportació d'una dosi de N uns 30 kg N ha⁻¹ superior, de mitjana, a la del cànem cultivat només per a fibra.

4. *Durada de les principals fases del cultiu i rendiments obtinguts*

La durada de la fase naixença–sortida primeres flors va ser inferior a la que tenen a altres indrets com Holanda o al nord d'Itàlia, i viceversa per a la fase primeres flors–gra madur, la qual cosa representa:

- a) una limitació per a la producció de fibra, que va ser inferior a la d'aquells països, suggerint que les culti-vars assajades no estan prou adaptades a l'àrea mediterrània.
- b) un avantatge per a la producció de gra, que va ser alta en relació a l'obtinguda en altres àrees, suggerint que es tracta d'una àrea adient per a la producció de gra.

Efecte de la rotació cànem—blat

5. Producció del blat i del cànem

5.1. El rendiment de gra del blat rere cànem va ser superior al del blat monocultiu. L'increment de rendiment (efecte rotació) va ser de 1368 kg ha⁻¹ (47%) de mitjana, efecte rotació que es va estendre al segon any de blat rere cànem (156 kg ha⁻¹; 6%) i es va esvaïr en el tercer any de blat rere cànem, el qual ja no es va diferenciar del blat monocultiu.

5.2. L'efecte rotació del cànem en el blat va decreïxer quan el cànem no es va adobar o s'hi van aplicar dosis de N baixes. La disminució de rendiment del blat rere cànem no es va relacionar amb una menor quantitat de N nítric residual en el sòl després de collir el cànem, en funció de la dosi de N que se li havia aplicat.

5.3. Contràriament al blat, el cànem va mostrar adaptar-se bé al monocultiu, ja que no va presentar cap diferència significativa ni en la producció de biomassa ni de cap paràmetre mesurat respecte al cànem rere blat.

6. Paràmetres del sòl en el blat

6.1. El contingut de nitrogen nítric en el sòl a 0-90 cm del blat rere cànem va ser inferior al del blat monocultiu, suggerint que el cànem és un bon complement per al blat en quant a l'ús del N residual del cultiu anterior.

6.2. El blat rere cànem va presentar una diferència d'agregats estables (>0,2 mm) a l'alcohol respecte als estables a l'aigua superior a la del blat monocultiu, la qual cosa indica que el cànem va incrementar l'estabilitat dels agregats de >0,2 mm. No obstant, es necessiten més estudis per confirmar aquest resultat i poder explicar completament com el cànem incrementa el rendiment del blat.

7. BIBLIOGRAFIA

- [AETC] Asociació Española de Técnicos Cerealistas. 2002. Encuesta de calidad de los trigos Españoles. Cosecha 2002. AETC, Barcelona (España).
- Abad, A., J. Lloveras, i A. Michelena. 2004. Nitrogen fertilization and foliar effects on durum wheat yield and quality and on residual soil nitrate in irrigated Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 87, 257-269.
- Abdulhamid, T. 1994. An analysis of energy balance for winter wheat grown under different conditions of crop sequence and chemical plant protection. P. 648-649. A M. Borin i M. Sattin (ed.) Proc. Third congress of the European Society for Agronomy, Padova (Italy), 18-22 September 1994.
- Abel, E. 1980. *Marihuana: The first 12000 years*. Plenum Press, New York (U.S.A.).
- Acosta, X. 1997. Cultivo do cáñamo en Galiza: primeiros datos. Trabajo Final de Carrera de Ingeniero Técnico Agrícola, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, Lugo (España) (febrero 1997).
- Aguiló, I. 1927. Cultivo y producción del cáñamo en España. p. 50-55. A Primer congreso nacional del cáñamo. Cámara Oficial Agrícola, Valencia, octubre-noviembre 1927.
- Aldrich, S. R. 1964. Are crop rotations out of date?, p. 7-13. A W. Heckendorn i J. Sutherland (ed.) proc. 19th Annual Hybrid Corn Industry Research Conference, American Seed Trade Association, Washington, D.C. (U.S.A.).
- Amaducci, S., M.T. Amaducci, R. Benati, i G. Venturi. 2000. Crop yield and quality parameters of 4 annual fibre crops (hemp, kenaf, maize and sorghum) in the North of Italy. *Industrial Crops and Products* 11, 179-186.
- Amaducci, S., M. Errani, i G. Venturi. 2002a. Plant population effects on fibre hemp morphology and production. *Journal of Industrial Hemp* 7, 33-60.
- Amaducci, S., M. Errani, i G. Venturi. 2002b. Response of hemp to plant population and nitrogen fertilization. *Italian Journal of Agronomy* 6,2, 103-111.
- Anònim. 2003. Un paso más para la instalación de Kafus en Albacete. *El Dia Digital, Economía y Empresas de Castilla-La Mancha*. URL <<http://www.eldia-digital.com/03/02/08/e-empresas10.html>> [Consultat 9/7/2003].
- Anònim. 2004. Dades meteorològiques mensuals de Perafita. Servei Meteorològic de Catalunya. URL <http://www.meteocat.com/marcs/marcos_observacio/marcs_dades.htm> [Consulta 14/7/2004].
- Arnon, I. 1992. Crop sequences and associations. p. 747-785. *Agriculture in drylands: Principles and Practice*. Elsevier Science, Amsterdam (The Netherland).
- Arshad, M.A., K.S. Gill, i R.C. Izaurralde. 1998. Wheat production, weed population and soil properties subsequent to 20 years of sod as affected by crop rotation and tillage. *Journal of Sustainable Agriculture* 12, 131-154.
- Atwell, B.J. 1993. Response of roots to mechanical impedance. *Environmental and Experimental Botany* 33, 27-40.
- Ballaré, C.L., A.L. Scopel, i R.A. Sanchez. 1997. Foraging for light: Photosensory ecology and agricultural implications. *Plant, Cell and Environment* 20, 820-825.
- Barraclough, P.B., i J. Kyte. 2001. Effect of water stress on chlorophyll meter readings in winter wheat p722-723. A J.W. Horst *et al.* (ed.) *Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agro-ecosystems Trough Basic and Applied Research*, Proceedings of XIV IPNC, Hannover, Germany 2001. Kluwer, Dordrecht (The Netherland).
- Bassam, N. el. 1998. *Miscanthus (Miscanthus spp.)*, p. 181-188. A Energy plant species, their use and impact on environment and development. James & James, London (U.K.).

- Bedetti, R. i N. Ciaralli. 1976. Variazione del contenuto della cellulosa durante i periodo vegetativo della canapa. *Cellulosa e Carta* 26, 27-30.
- Béherec, O. 2000. Particularités de la production de chanvre en France. *Comptes Rendus de l'Academie d'Agriculture de France* 86, 219-227.
- Belanger, G., J.R. Walsh, J.E. Richards, P.H. Milburn, i N. Ziadi. 2000. Comparison of three statistical models describing potato yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* 92, 902-908.
- Benson, G.O. 1985. Why the reduced yields when corn follows corn and possible management responses. p. 161-174. A D. Wilkinson (ed.) *Proc. Corn and Sorghum Research Conference*. American Seed Trade Association, Washington, D.C. (U.S.A.).
- Berger, J. 1969. Hemp. p. 216-22. A *The world's major fibre crops: Their cultivation and Manuring*. Centre d'Etude de L'Azote, Zurich (Switzerland).
- Blackmer, T.M., i J.S. Schepers 1995. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogne status and schedule fertigation for corn. *Journal of Production Agriculture* 8, 56-60.
- Bocsa, I., i M. Karus. 1998. The cultivation of hemp: botany, varieties, cultivation and harvesting. *Hemptech*, Sebastopol (U.S.A.).
- Bocsa, I. 1999. Genetic improvement: Conventional approaches. 153-184. A P. Ranalli (ed.) *Advances in hemp research*. The Haworth Press, Inc., New York (U.S.A.).
- Bonari, E., M. Mazzoncini, i A. Caliendo. 1994. Cropping and farming systems in Mediterranean areas. p. 636-634. A M. Borin i M. Sattin (ed.) *Proc. Third Congress of the European Society for Agronomy*, Padova (Italy), 18-22 September 1994.
- Bosia, A. 1976. Pasta per carta da canapulo: pasta meccanica e pasta meccano-chimica. *Cellulosa e Carta* 26, 32-36.
- Bowley, S. 1999. *A Hitchhiker's Guide to Statistics in Plant Biology*. Any Old Subject Books, Guelph, Ontario (Canada).
- Bradford, J.M. 1986. Penetrability. p. 463-478. A A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis, Agronomy 9, Part 1; Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Inc., Madison WI (U.S.A.)
- Brunet, J.P. 2000. Usage et transformation industriels du chanvre. *Comptes Rendus de l'Academie d'Agriculture de France* 86, 229-238.
- Bullard, M. 2002. Hemp for Europe, manufacturing and production systems. Final project report NF0307, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (UK). URL <<http://www.defra.gov.uk/farm/acu/research/reports/rdrep12.pdf>> [consulta 28/2/2002].
- Bullock, D.G. 1992. Crop rotation. *Critical Reviews in Plant Science* 11, 309-362.
- Callaway, J.C. i T.T. Laakkonen. 1996. Cultivation of *Cannabis* oil seed varieties in Finland. *Journal of the International Hemp Association* 3, 32-34.
- Callaway, J.C. 2002. Hemp as food at high latitudes. *Journal of Industrial Hemp* 7, 105-117.
- Callaway, J. 2004. Hemp seed production in Finland. *Journal of Industrial Hemp* 9, 97-103.
- Campbell, D.J., i J.K. Henshall. 1991. Bulk density. p. 329-366. A K.A. Smith i C.E. Mullins (ed.) *Soil analysis. Physical methods*. Marcel Dekker, New York (U.S.A.).
- Carter, M.R. 2002. Crop rotations and farming systems: Temperate zones. p. 247-249. A R. Lal (ed.) *Encyclopedia of soil science*. Marcel Dekker, Inc., New York (U.S.A.).
- Castaldini, M., A. Fabiani, F. Santomassimo, M. di Candilo, i N. Miclaus. 2001. Effects of hemp retting water on the composition of soil bacterial community and on wheat yield. *Italian Journal of Agronomy* 5, 1-2, 21-27.
- Cate, R., i L.A. Nelson. 1965. A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data. *Technical Bulletin 1, Internarional Soil Testing Series*, North Carolina State University, Agricultural Experriment Station, Raleigh.
- Cerrato, M.E., i A.M. Blakmer. 1990. Comparison of models describing corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* 82, 138-143.

- Chan, K.Y. 2002. Bulk density. p. 128-130. A R. Lal (ed.) Encyclopedia of soil science. Marcel Dekker, Inc., New York (U.S.A.).
- Ciobanu, G., M. Tomescu, P. Sim, i V. Pat. 1980. Influenta igrasamintelor chimice asupra productiei de tulpini si calitatii fibrei la cinepa [Influence of mineral fertilizers on the stalk production and fiber quality of hemp]. Productia Vegetala - Cereale si Plante Tehnice 2, 33-38.
- Clarke, R.C. 1999. Botany of genus Cannabis. P.1-19. A P. Ranalli (ed.) Advances in hemp research. The Haworth Press, Inc., New York (U.S.A.).
- Combés, A. 2000. Pois proteaginoeux: Un bilan énergétique favorable. Perspectives Agricoles 254, 22-25.
- Comisión Europea (CE). 2003. La UE reforma en profundidad su politica agraria para lograr una agricultura europea sostenible. Comisión Europea, Press Releases Rapid, IP/03/898. URL <http://europa.eu.int/rapid/start/cgi/guesten.ksh?p_action.gettxt=gt&doc=IP/03/898|0|RAPID&lg=ES&display=>> [Consulta 5/7/2003].
- Conrad, C. 1993. Hemp, lifeline to the future. Creative Xpressions Publishing, Los Angeles (U.S.A.).
- Consejo de la Unión Europea (CE). 1997. Reglamento (CE) Núm. 1415/1997 de 22 de julio de 1997. Diario Oficial de las Comunidades Europeas 22.7.1997, L196, 6-7.
- Consejo de la Unión Europea (CE). 2000. Reglamento (CE) Núm. 1672/2000 de 27 de junio del 2000. Diario Oficial de las Comunidades Europeas 29.7.2000, L193, 13-15.
- Consejo de la Unión Europea. 2002 (CE). Reglamento (CE) Núm. 327/2002 de 21 de febrero de 2002. Diario Oficial de las Comunidades Europeas 22.2.2002, L51, 14-22.
- Cook, R.J. i R.J. Veseth. 1991. Wheat health management before planting. p. 87-104. A Wheat health management. American Phytopathological Society Press, St Pauls, MN (U.S.A.).
- Cook, R.J. 1993. Alternative disease management strategies. International Crop Science I, 129-134.
- Cromack, H.T.H. 1998. The effect of cultivar and seed density on the production and fibre content of *Cannabis sativa* in Southern England. Industrial Crops and Products 7, 205-210.
- Dalal, R.C., W.M. Strong, E.J. Weston, J.E. Cooper, G.B. Wildemuth, K.J. Lehane, A.J. King i C.J. Holmes. 1998. Sustaining productivity of a vertisol at warra, Queensland, with fertilisers, no tillage, or legumes 5. Wheat yields, nitrogen benefits and water-use efficiency of chickpea-wheat rotation. Australian Journal of Experimental Agriculture 38, 489-501.
- DARP. 2003. Ordre ARP/26/2003 de 17 de gener de 2003 del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, DOGC núm. 3809 de 28/1/2003.
- Daughtry, C., i C. Walthall. 1998. Spectral discrimination of *Cannabis sativa* L. leaves and canopies. Remote Sensing of Environment 64, 192-201.
- Davidson, D.T. 1965. Pentrometer measurements. p. 472-484. A C.A. Black (ed.) Methods of soil analysis, Agronomy 9 Part 1. American Society of Agronomy, Inc., Madison Wisconsin (U.S.A.).
- De Groot, B., G.J. van Roekel, i J.E.G. van Dam. 1999. Alkaline pulping of fiber hemp. p. 213-242. A P. Ranalli (ed.) Advances in hemp research. The Haworth Press, Inc., New York (U.S.A.).
- Deferne, J.L., i D.W. Pate. 1996. Hemp seed oil: A source of valuable essential fatty acids. Journal of the International Hemp Association 3, 1, 4-7.
- Dempsey, J.M. 1975. Hemp. p. 46-89. A Fiber crops. University of Florida Press, Gainesville (U.S.A.).
- Di Bari, V., P. Campi, R. Colucci, i M. Mastroilli. 2004. Potential productivity of fibre hemp in southern Europe. Euphytica 140, 25-32.
- Di Candilo, M., P. Ranalli, M. Diozi, i P. Zonda. 2000. Canapa da fibra: modalità culturali a confronto. L'informatore Agrario 16, 75-79.
- Dilz, K. 1988. Efficiency of uptake and utilization of fertilizer nitrogen by plants. p. 1-26. A D.S. Jenkinson i K.A. Smith (ed.) Nitrogen efficiency in agricultural soils. Elsevier Applied Science, London (U.K.).
- Dipenaar, M., C. du Toit, i M. Botha-Greeff. 1996. Response of hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties to conditions in Northwest Province, South Africa. Journal of Industrial Hemp 3, 63-66.

- Dobrenov, V. i R. Milosevic. 1988. Promene fizickih osobina zemljista pri razlicitim sistemima gajenja secerne repe [Changes in the physical properties of soil on different system of sugarbeet cultivation]. *Zemljiste i Biljka*, 37,1, 1-9.
- Dorado, J., C. Lopez-Fando, J.P. Del Monte, i J.P. Del-Monte. 1998. Barley yield and weed development as affected by crop sequences and tillage systems in a semi-arid environment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 29, 1114-1131.
- Doucet, R. 2000. Retour fréquent du blé: Le point sur les pertes de rendement. A: Dossier blé sur blé: techniques et enjeux. *Perspectives Agricoles* 258, 38-40.
- Dreyer, J., J. Müssig, N. Koschke, W.D. Ibenthal, i H. Harig, 2002. Comparison of enzymatically separated hemp and nettle fibre to chemically separated and steam exploded hemp fibre. *Journal of Industrial Hemp* 7, 43-59.
- Eavis, R.M., i K.C. Walker. 1996. Implications of new crops and new crop types on rotational cropping systems. *Aspects of Applied Biology* 47, 19-26.
- Echeverría, H.E., C.A. Navarro, i F. H. Andrade. 1992. Nitrogen on wheat following different crops. *Journal of Agricultural Science* 118, 157-163.
- Esau, K. 1985. Anatomia vegetal. Ediciones Omega, Barcelona (Barcelona).
- Escribano, C., A. Sombrero i A. De Benito. 1998. Growth and yield comparison of two crop rotations under three tillage systems. p. 440-441. *A Proc. 3rd European Conference on Grain Legumes: Opportunities for high quality, healthy and added-value crops to meet European demands*, Valladolid (Spain), 14-19 novembre 1998.
- Esnault, C., i J. Le Texier. 1997. La Chanvrière de l'Aube. *Journal of the International Hemp Association* 4, 105-106.
- FAO. 2004. FAOSTAT Agricultura, producción, cultivos primarios. Bases de dades de l'Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación. URL <<http://faostat.fao.org/faostat/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&hasbulk=&version=ext&language=EN>>. [Consulta 3 novembre 2004].
- Flengmark, P. 2000. Trials with industrial hemp, Denmark 1998-1999, p. 603-606. *A Crop development for the cool and wet regions of Europe. Proc. COST 814 final conference*, Pordenone, Italy, 10-13 May 2000, EUR 19683.
- FNPC. 1995. La culture du chanvre. Battage sur champ. *Federation Nationale des Producteurs de Chanvre*, Le Mans, France.
- Font i Quer, P. 1961. Cáñamo (*Cannabis sativa* L.). p. 127-129. *Plantas medicinales: El Dioscórides renovado*. Labor, Barcelona (España).
- Fox, R.H., W.P. Piekielek, i K.E. Macneal. 2001. Comparison of late-season diagnostic tests for predicting nitrogen status of corn. *Agronomy Journal* 93, 590-597.
- Francis, C.A., i M.D. Clegg. 1990. Crop rotations in sustainable production systems. p. 107-120. *A C.A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R.H. Miller i G. House (ed.) Sustainable Agricultural Systems. Soil and water conservation society*, Ankeny, Iowa (U.S.A.).
- Francis, D., i W.P. Piekielek. 1999. Assessing crop nitrogen needs with chlorophyll meters. . SSMG-12. *Site-Specific Management Guidelines*, Potash & Phosphate Institute, Norcross, GA (U.S.A.).
- Freeman, D., K. Harper i E. Charnow. 1980. Sex change in plants: old and new observations and hypotheses. *Oecologia* 47, 222-232.
- Gabinet Tècnic. 2003. La proposta de revisió de la PAC a mig termini. *Catalunya Rural i Agrària* 98, 20-24.
- Gandrup, M., F.O. Garcia, P. Karina, i H. Echeverria. 2004. Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 33, 105-121.
- Gate, P. 1995. *Ecophysiologie du ble*. Lavoisier, Tec and Doc, Paris (France).
- Gauca, C., O. Segarceanu, V. Tabara, M. Roman, i V. Birlea. 1986. Influenta unor elemente de tehnologie asupra productiei soiului de cinapa monoica Secuieni I [Influence of some technological elements on the monoic hemp cultivar Secuieni I]. *Analele de Cercetari pentru Cereale si Plante tehnice Fundulea* 54, 341-349.

- Gauca, C., E. Trotus, M. Roman, R. Paraschivoiu, M. Sim, F. Ursachi, i F. Moisa. 1990. Elemente noi in tehnologia producerii de saminta. La cinipa monoica [New elements in the technology of seed production in monoic hemp]. Analele de Cercetari pentru Cereale si Plante Tehnice Fundulea 58, 135-145.
- Gilabert, E. 1981. Estudio de las posibilidades de fabricación de pastas para papel a partir del cáñamo integral (*Cannabis sativa*). Tesis Doctoral ETSEIT, Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa (España).
- Girouard, P., B. Medhi, i R. Samson. 2004. Évaluation de la culture du chanvre dans la région de l'Estrie. Rapport final 1998. Research Reports of Resource Efficient Agricultural Production (REAP-Canada). URL<<http://www.reap-canada.com/Reports/Hemp%20report.htm>> [Consulta 1/1/2004].
- Glinski, J., i J. Lipiec. 1990. Influence of roots systems on soil conditions. p. 173-178. A Soil physical Conditions and Plant Roots. CRC Press, Inc, Boca Raton, Florida (U.S.A.).
- Gorchs, G. 1994. Projecte de concentració de terres i millora de l'alternativa de cultius posant en reg per aspersió 21,28 ha de la finca ESCRIGUES situada en el terme municipal de Santa Maria de Merlès (Berguedà). Projecte Final de Carrera d'Enginyer Agrònom, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària, Universitat de Lleida (Espanya) (febrer 1994).
- Gorchs, G. i J. Lloveras. 1997. Hemp rotation effect on wheat (*Triticum aestivum* L.) and effect of some management practices (nitrogen fertilisation, seeding rate and harvest date) on fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) production. p. 100-106. A Alternative fibre crops. Proc. COST 814 meeting, Rothamsted (U.K.), 9-10 April 1997.
- Gorchs, G. i J. Lloveras. 1998a. Effect of cultural techniques on fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) production in humid areas of North-eastern of Spain. p. 10-15. A Adaptation of Miscanthus, Phalaris and hemp genotypes to different cool and wet regions of Europe. Proc. COST 814 meeting, Barcelona (Spain), 5-6 June 1998.
- Gorchs, G. i J. Lloveras. 1998b. Hemp production in Spain: present situation and future perspectives. p. 6-9. A Adaptation of Miscanthus, Phalaris and hemp genotypes to different cool and wet regions of Europe. Proc. COST 814 meeting, Barcelona (Spain), 5-6 June 1998.
- Gorchs, G. i J. Lloveras. 1999. Crop yield and fiber production of hemp cultivars from Spain, grown in the humid cool areas of southern Pyrenees (North East Spain). p. 70-78. A Alternative crops for sustainable agriculture. Proc. COST 814 Workshop, Turku (Finland), 13-15 June 1999, EUR 19227.
- Gorchs, G., J. Lloveras i J. Comas. 2000. Effect of hemp (*Cannabis sativa* L.) in a crop rotation hemp-wheat in the humid cool areas of North-eastern of Spain. p. 581-585. A Crop development for the cool and wet regions of Europe. Proc. COST 814 final conference, Pordenone (Italy), 10-13 May 2000, EUR 19683.
- Gorchs, G. i J. Lloveras. 2003. Current status of hemp production and transformation in Spain. Journal of Industrial Hemp 8, 45-64.
- Grabowska, L., i W. Koziara. 2005. The effect of nitrogen dose, sowing density and time of harvest on development and yields of hemp cultivar Bialobrzesk. Journal of Natural Fibers 2/4, 1-17.
- Grace, P.R., J.M. Oades, H. Keith i T.W. Hancock. 1995. Trends in wheat yields and soil organic carbon in the permanent rotation trial at the Waite Agricultural Research Institute, South Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture 35, 857-864.
- Guillen, J.M. 1927. Procedimientos modernos de enriado. p. 56-67. A Primer congreso nacional del cáñamo. Cámara Oficial Agrícola, Valencia (España), octubre-noviembre 1927.
- Hanson, J. 1980. An outline for U.K. hemp strategy. The Ecologist 10, 419-427.
- Hammel, J.E. 1989. Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in northern Idaho. Soil Science 53, 1515-1519.
- Hammel, J.E. 1995. Long-term tillage and crop rotation effects on winter wheat production in northern Idaho. Agronomy Journal 87, 16-22.
- Havlin, J.L., D.E. Kessel, L.D. Maddoux, M.M. Claasen, i J.H. Long. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. Soil Science 54, 448-452.
- Helmers, G.A., C.F. Yamoah i G.E. Varvel. 2001. Separating the impacts of crop diversification and rotations on risc. Agronomy Journal, 93, 1337-1340.

- Hendriscke, K., T. Lickfett, i H.B. von Butlar. 1998. Hemp: a ground water protecting crop? Yields and nitrogen dynamics in plant and soil. *Journal of the International Hemp Association* 5, 24-28.
- Henin, S.K., S. Gras i G. Monier. 1972. La estabilidad estructural. p. 125-158. A *El perfil cultural*. Mundi Prensa, Madrid (España).
- Hennink, S., E.P.M. de Meijer, i H.M.G. van der Werf. 1994. Fibre hemp in the Ukraine. p. 261-278. A E. Rosenthal (ed.) *Hemp Today*. Quick American Archives, San Francisco (U.S.A.).
- Herer, J. 1992. *Hemp & the marijuana conspiracy: The emperor wears no clothes*. HEMP Publishing, Van Nuys, California (U.S.A.).
- Hernanz, J.L., R. López, L. Navarrete, V. Sánchez Grión i A. Fransluebbbers. 2002. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil and Tillage Research* 66 129-141.
- Hobson, R.N., D.G. Hepworth, i D.M. Bruce. 2001. Quality of fibre separated from unretted hemp stems by decortication. *Journal of Agricultural Engineering Research* 78, 153-158.
- Höppner, F., i U. Menge-Hartmann. 1995. Cultivation experiments with two fibre hemp varieties. *Journal of the International Hemp Association* 2, 18-22.
- Horkay, E., i I. Bocsa. 1996. Objective basis for evaluation of differences in fiber quality between male, female, and monoecious hemp. *Journal of the International Hemp Association* 3, 67 -68.
- Ivanyi, I. 2005. Relationship between leaf nutrient concentrations and yield of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *Cereal Research Communications* 33, 97-100.
- Ivanyi, I., i Z. Izsáki. 2004. Effect of fertilisation and harvest time on yield quantity and quality of fibre hemp. A S.E. Jacobsen, C. Jensen i J. Porter (ed.) *Proc. VIII congress of the European Society for Agronomy*, Copenhagen (Denmark), 11-15 July 2004.
- Ivonyi, I., Z. Izsoki, i H.M.G. van der Werf. 1997. Influence of nitrogen supply and P and K levels of the soil on dry matter and nutrient accumulation of fiber hemp (*Cannabis sativa*, L.). *Journal of the International Hemp Association* 4, 84-89.
- Johnson, V.A., i P.J. Mattern. 1987. Wheat, rye and triticale. p. 133-182. A R.A. Olson i K.J. Frey (ed.) *Nutritional Quality of Cereal Grains; Genetic and Agronomy Improvement*, 28. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin (U.S.A.).
- Justes, E. 1993. Protocole de mesure de la teneur en nitrate du jus de la base des tiges du blé. Annexe, p. 11-12. A *Diagnostic de la nutrition azotée du blé, à partir de la teneur en nitrate de la base de la tige. Application au raisonnement de la fertilisation*. Thèse de docteur de l'INA-PG.
- Karlen, D. L., G. E. Varvel, D. G. Bullock i R. M. Cruse. 1994. Crop rotations for the 21st century. *Advances in Agronomy* 53, 1-45.
- Karlen, D.L., i A.N. Sharpley. 1994. Management strategies for sustainable soil fertility. p. 47-156. A J.L. Hatfield i D.L. Karlen (ed.) *Sustainable Agriculture Systems*. Lewis publishers, Boca Raton (U.S.A).
- Karus, M. i G. Leson. 1995. Textiles from hemp fibers - new ways for german hemp. *Journal of the International Hemp Association* 2,101 -102.
- Karus, M. i G. Leson. 1997. Opportunities for German hemp. Results of the "Hemp product line project". *Journal of the International Hemp Association* 4, 26-31.
- Karus, M. 2002. European hemp industry: cultivation, processing and product lines. *Journal of Industrial Hemp* 7, 95-99.
- Katsvairo, T.W. i W.J. Cox. 2000. Economics of cropping systems featuring different rotations, tillage and management. *Agronomy Journal* 92, 485-493.
- Keller, A., M. Leupin, V. Mediavilla, i E. Wintermantel. 2001. Influence of the growth stage of industrial hemp on chemical and physical properties of the fibres. *Industrial Crops and Products* 13, 35-48.
- Kemper, W., i R. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. p. 425-460. A A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis, Agronomy 9 Part 1; Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Inc, Madison Wisconsin (U.S.A.).
- Kok, C.J., G.C.M. Coenen i A. de Heij. 1994. The effect of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) on selectet soil-borne pathogens. *Journal of the International Hemp Association* 1, 6-9.

- Kundu, B.C. 1942. The anatomy of two Indian fibra plants, *Cannabis* and *Corchorus* with special reference to fibre distribution and devolepment. Indian . Journal of Indian Botanical Society 21, 93-129.
- Kwon-byung, S., H. Chung-Dong, H. Mun-Yun, i E. Chun-Jong. 1996. Fiber yield and sex ratio of hemp at different plant density. Korean Journal of Crop Science 41, 230-235.
- Laakonen, T.T. i J.C. Callaway. 1998. Update on FIN-314. Journal of the International Hemp Association 5, 34 -35.
- Laurent, F., E. Justes i P. Gate. 1996. La méthode Jubil© s'affine. Perspectives Agricoles 214, 63-74.
- Lezuan, J.A., A.P. Armesto, i A. Lafarga. 1997. La rotación de cultivos en los sistemas extensivos. Navarra Agraria, julio-agosto, 16-22.
- Liebman, M., i R.R. Jank.,1990. Sustainable weed management practices. p. 111-177. A C.A. Francis, C.B. Flora i L.D. King (ed.) Sustainable Agriculture in Temperate Zones. John Wiley and Sons, Inc. New York (U.S.A.).
- Lisson, S. i N. Mendham. 1998. Response of fiber hemp (*Cannabis sativa* L.) to varying irrigation regimes. Journal of the International Hemp Association 5, 9-15.
- Lisson, S. i N. Mendham. 2000. Cultivar, sowing date and plant density studies of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) in Tasmania. Australian Journal of Experimental Agriculture 40, 975-986.
- Lloveras, J., A. Lopez, J. Ferran, S. Espachs, i J. Solsona. 2001a. Bread-making wheat and soil nitrate as affected by nitrogen fertilization in irrigated mediterranean conditions. Agronomy Journal 93, 1183-1190.
- Lloveras, J., J. Ferran, J. Boixadera, i J. Bonet. 2001b. Potassium fertilization effects on alfalfa in a Mediterranean climate. Agronomy-Journal 93 139-143.
- Lloveras, J., F. Santiveri, i G. Gorchs. 2006. Hemp and flax biomass and fiber production in irrigated Mediterranean conditions. Journal of Industrial Hemp 11, 3-15
- López A. i J. Serra. 1995. Experimentació varietal en cereals d'hivern. Catalunya Rural i Agrària 15, 5-31.
- López A. i J. Serra. 1996. Experimentació de varietats de cereal d'hivern a Catalunya. Catalunya Rural i Agrària 27, 5-19.
- López A. i J. Serra. 1997. Experimentació de varietats de cereal d'hivern a Catalunya. Catalunya Rural i Agrària 38, 5-20, 29-33.
- López A. i J. Serra. 1998. Experimentació de varietats de cereal d'hivern a Catalunya. Catalunya Rural i Agrària 49, 5-20, 29-31.
- López Bellido, L., Fuentes, M., Castillo, J.E. López Garrido, i F.J. Fernández. 1996. Long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilizer effects on wheat yield under rainfed Mediterranean conditions. Agronomy Journal 88, 783-791.
- López Bellido, L., F.J. López Garrido, M. Fuentes, J.E. Castillo, i E.J. Fernández. 1997. Influence of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on soil organic matter and nitrogen under rain-fed Mediterranean conditions. Soil and Tillage Research 43, 277-293.
- López Bellido, L. 1998. Leguminosas y agricultura sostenible. p. 401-428. A R.M. Jimenez-Diaz i J. Lamo de Espinosa (ed) Agricultura Sostenible. Agrofuturo-Life-Mundi Prensa, Madrid (España).
- López Bellido, L., M. Fuentes, J.E. Castillo, i F.J. López Garrido. 1998. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality under rainfed Mediterranean conditions. Field Crops Research 57, 265-276.
- López Bellido, L., R.J. López Bellido, J.E. Castillo i F.J. López Bellido. 2000. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat under rainfed Mediterranean conditions. Agronomy Journal 92, 1054-1063.
- López Bellido, R.J., i L. López Bellido. 2001a. Effects of crop rotation and nitrogen fertilization on soil nitrate and wheat yield under rainfed Mediterranean conditions. Agronomie 21, 509-516.
- López Bellido, L., R.J. López Bellido, J.E. Castillo i F.J. López Bellido. 2001b. Effects of long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on bread-making quality of hard red spring wheat. Field Crops Research 72, 197-210.

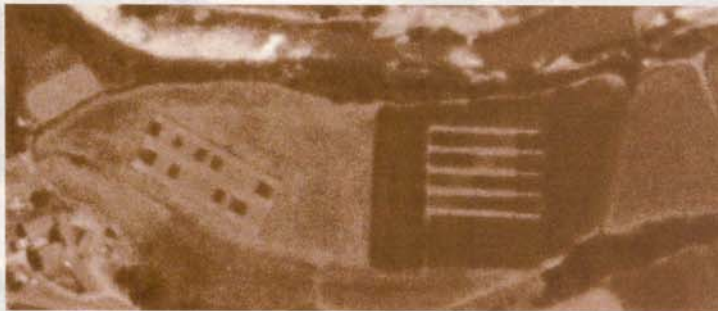
- López Bellido, R.J., i L. López Bellido. 2001c. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. *Field Crops Research* 71, 31-46.
- López Bellido, L. 2003. Otros cultivos productores de fibra. p. 437-489. *A Cultivos industriales*. Mundi Prensa, Madrid (España).
- López Bellido, R.J., L. López Bellido, J.E. Castillo, i F.J. López Bellido. 2003a. Nitrogen uptake by sunflower as affected by tillage and soil residual nitrogen in wheat-sunflower rotation under rainfed Mediterranean conditions. *Soil and Tillage research* 72, 43-51.
- López Bellido, R.J., L. López Bellido, F.J. López Bellido, i J.E. Castillo. 2003b. Faba bean (*Vicia faba* L.) response to tillage and soil residual nitrogen in a continuous rotation with wheat (*Triticum aestivum* L.) under rainfed Mediterranean conditions. *Agronomy Journal* 95, 1253-1261.
- López Bellido, L., R. J. López Bellido, J. E. Castillo, i F. J. López Bellido. 2004a. Chickpea response to tillage and soil residual nitrogen in a continuous rotation with wheat. I. Biomass and seed yield. *Field Crops Research* 88, 191-200.
- López Bellido, R.J., C. Shepherd, i P. Barraclough. 2004b. Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. *European Journal of Agronomy* 20. 313-320.
- López Fando, C., i M.T. Pardo. 2001. The impact of tillage systems and crop rotations on carbon sequestration in a Calcic Luvisol of central Spain. p. 135-139. *A Garcia Torres et al. Proc. I World Congress on Conservation Agriculture, Madrid (Spain), 1-5 octubre 2001* .
- Maeyer, A. de, i W. Huisman. 1994. New technology to harvest and store fibre hemp for paper pulp. *Journal of the International Hemp Association* 1, 38-40.
- Malavolta, E., N. Nogueira, R. Heinrichs, E. Higashi, V. Rodriguez, E. Guerra, S. Oliveira, i C. de Cabral. 2004. Evaluation of nutritional status of the cotton plant with respect to nitrogen. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 35, 1007-1019.
- MAPA. 1972. Anuario de Estadística Agraria. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Secretaria General Técnica. Madrid (España).
- MAPA. 2000. Anuario de Estadística Agraria. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Secretaria General Técnica. Madrid (España).
- Martínez, D.E., i J. Guiamet. 2004. Distortion of the SPAD 502 chlorophyll meter reading by changes in irradiance and leaf water status. *Agronomie* 24, 41-46.
- Massé, J. 1999. Gestion de l'azote: une approche qui ne peut être que dynamique. *Perspectives Agricoles* 244, 36-37.
- Mathieu, J.P. 1982. Le chanvre: Une vieille plante pleine d'avenir. *Bulletin Semences* 80, 67-73.
- McPartland, J.M. 1996a. A review of *Cannabis* diseases. *Journal of the International Hemp Association* 3, 19-23.
- McPartland, J.M. 1996b. *Cannabis* pest. *Journal of the International Hemp Association* 3, 49, 52-55.
- Mediavilla, V., M. Jonquera, I. Schmid-Slembrouck, i A. Soldati. 1998a. Decimal code for growth stages of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Journal of the International Hemp Association* 5, 65, 68-72.
- Mediavilla, V., P. Bassetti, M. Konermann, i I. Schmid-Slembrouck. 1998b. Optimierung der stickstoffdungung und saattiefe im hanfanbau [Optimization of nitrogen fertilizer application and seed density in hemp cultivation]. *Agrarforschung* 5, 5, 241-244.
- Mediavilla, V., P. Bassetti, i M. Leupin. 1999. Caractéristiques agronomiques de différentes variétés de chanvre. *Revue Suisse d'Agriculture* 31, 221-226.
- Mediavilla, V., M. Leupin, i A. Keller 2001. Influence of the growth stage of industrial hemp on the yield formation in relation to certain fibre quality traits. *Industrial Crops and Products* 13, 49-56.
- Meier, C., i V. Mediavilla. 1998. Factors influencing the yield and the quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) essential oil. *Journal of the International Hemp Association* 5, 16-20.
- Meijer, E.P.M. De. 1994. Variation of *Cannabis* with reference to stem quality for paper pulp production. *Industrial Crops and Products* 3, 201-211.
- Meijer, E.P.M. de, i H.G.M. van der Werf. 1994. Evaluation of current methods to estimate pulp yield of hemp. *Industrial Crops and Products* 2, 11-120.

- Meijer, E.P.M. de i L.C.P. Keizer, 1994. Variation of *Cannabis* for phenological development and stem elongation in relation to stem production. *Field Crops Research* 38, 37-46.
- Meijer, E.P.M. De. 1995. Fibre hemp cultivars: A survey of origin, ancestry, availability and brief agronomic characteristics. *Journal of the International Hemp Association* 2, 66 -73.
- Meijer, W.J.M. de, H.M.G. van der Werf, E.W.J.M. Mathijssen, i P.W.M. van der Brink. 1995. Constraints to dry matter production in fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *European Journal of Agronomy*, 4, 109-117.
- Meijer, E. de. 1999. *Cannabis* germplasm resources. p. 113-151. A P. Ranalli (ed.) *Advances in Hemp Research*. The Haworth Press, Inc., New York (U.S.A.)
- Mela Mela, P. 1962. Cáñamo. p. 363-380. A *Cultivos de regadio*, Tomo 1. Ediciones Agrocienza, Zaragoza (España).
- Ministerio de Agricultura Pesca i Alimentación. 1996. Orden de 23 de octubre de 1996. Boletín Oficial del Estado de 25.10.1996, 258: 32231-32238.
- Miquel y Costas & Miquel.1976. Cáñamo papelerero, Guía de cultivo. Miquel y Costas & Miquel, División de cultivos, Barcelona (España).
- Monteith, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 281, 277-294.
- Montford, S., E. Small.1999. A comparison of the biodiversity friendliness of crops with special reference to hemp (*Cannabis sativa* L.). *Journal of the International Hemp Association* 6, 53-63.
- Neeteson, J.J., i W.P. Wadman. 1987. Assesment of economically optimum application rates of fertilizer N on the basis of response curves. *Communications in Soil Science Plant Annals* 26, 2531-2557.
- Norwood, C. 1994. Profile water distribution and grain yield as affected by cropping system and tillage. *Agronomy Journal* 86, 558-563.
- Norwood, C. 2000. Dryland winter wheat as affected by previous crops. *Agronomy Journal* 92, 121-127.
- Oliveros, R., R. Ponz, M. Manzanares, J.L. Tenorio, i L. Ayerbe. 2000. El kenaf. Un cultivo agrícola para la producción de fibras anuales. *Agricultura* 820, 748-753.
- Orson, J.H. 1996. The sustainability of intensive arable systems: implications for rotational policy. *Aspects of Applied Biology* 47, 11-18.
- Pascual Villalobos, M.J. 1993. ¿Es el kenaf un cultivo alternativo al algodón?. *Agricola Vergel* 137, 296-300.
- Peltonen, J., A. Virtanen, i E. Haggren. 1995. Using a chlorophyll meter to optimize nitrogen fertilizer application for intensively-managed small-grain cereals. *Journal of Agronomy and Crop Science* 174, 309-318.
- Peng, S., R. García, R. Laza, i K. Cassman. 1993. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. *Agronomy Journal* 85, 987-990.
- Piekielek, W., R. Fox, J. Toth, i K. Macneal. 1995. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy Journal* 86, 403-408.
- Pierce, F.J., i C.W. Rice. 1988. Crop rotation and its impact on efficiency of water and nitrogen use. p. 21-42. A W.L. Hargrove (ed.) *Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen*. ASA, spec. publication 51. ASA, CSSA, and SSSA, Madison Wisconsin (U.S.A.).
- Porta, J., M. López-Acebedo i C. Roquero. 1994. Estructura del suelo y propiedades relacionadas. p. 245-273. A *Edafología para la agricultura i el medio ambiente*. Mundi Prensa, Madrid (España).
- Porter, P.M., J.G. Lauer, W.E. Lueschen, J.H. Ford, T.R. Horvestad, E.S. Oplinger i R.K. Krookston. 1997. Enviroment affects the corn a soybean rotation effect. *Agronomy Journal* 89, 441-448.
- Potter, K.N., O.R. Jones, H.A. Torbert, i P.W. Unger. 1997. Crop rotation and tillage effects on organic carbon sequestration in the semiarid southern great plains. *Soil Science* 162, 140-147.
- Power, J.F. 1990. Legumes and crop rotation. p. 178-204. A C.A. Francis, C.B. Flora i L.D. King (ed.) *Sustainable Agriculture in Temperate Zones*. John Wiley and Sons, Inc. New York (U.S.A.).
- Ranalli, P. 1999. Agronomical and physiological advances in hemp crops. p.61-84. A P. Ranalli (ed.) *Advances in hemp research*. The Haworth Press, Inc., New York (U.S.A.).

- Rao A.C.S., J.L. Smith, V.K. Jandhyala, R.I. Papendick i J.F. Parr. 1993. Cultivar and climatic effects on the protein content of soft white winter wheat. *Agronomy Journal* 85, 1023-1028.
- Riddlestone, S., i B. Franck. 1995. Hemp for textiles. p. 432-439. A Nova Institute (ed.) Proc. of the Symposium Bioresource hemp, Frankfurt (Germany), 2-5 March 1995.
- Riedell, W.E., T.E. Schumacher, S.A. Clay, M.M. Ellsbury, M. Pravecek, i P.D. Evenson. 1998. Corn and soil fertility responses to crop rotation with low, medium or high inputs. *Crop Science* 38, 427-433.
- Rios, A. de los. 1927. El cáñamo y el arancel. p. 39-45. A Primer congreso nacional del cáñamo. Cámara Oficial Agrícola, Valencia (España), octubre-noviembre 1927.
- Rivoira, G. i G.F. Marras. 1976. Consumi idrici ed esigenze in azoto della canapa da cellulosa. *Studi Ssassaresi Sez III*, 23, 310-326.
- Roulac, J. 1996. Industrial hemp: Practical products-paper to fabric to cosmetics. Hempstech, Sebastopol (U.S.A.).
- Ruchena, Marqués de. 1927. Exposición de la Cámara Oficial Agrícola de la provincia de Granada. La agricultura y el arancel, el cáñamo. p. 87-92. A Primer congreso nacional del cáñamo. Cámara Oficial Agrícola, Valencia (España), octubre-noviembre 1927.
- Rumyantseva, L.G. i N.K. Lemeshev. 1994. Current state of hemp breeding in C.I.S. *Journal of the International Hemp Association* 1, 49-50.
- Saint-Ellier, A. 1978. Le chanvre: Une bonne tête d'assolement. *France Agricole* 34, 1735, 22-23.
- Sainz, H., i H. Echeverría. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 103, 37-44.
- Sankari, H. 2000a. Comparison of bast fibre yield and mechanical fibre properties of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars. *Industrial Crops and Products* 11, 73-84.
- SAS Institute. 1989. SAS user's guide: Statistics. Version 6.03. SAS Institute, Carolina, NC (U.S.A.).
- Schepers, J., D. Francis, M. Vigil, i F. Below. 1992. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 23, 17-20.
- Schlegel, A.J., K.C. Dhuyvetter, C.R. Thompson, i J.L. Havlin. 1999. Agronomic and economic impacts of tillage and rotation on wheat and sorghum. *Journal of Production Agriculture* 12, 629-636.
- Schlegel, A.J., T.J. Dumler, i C.R. Thompson. 2002. Feasibility of four-year crop rotations in the Central High Plains. *Agronomy Journal* 94, 509-517.
- Singer, J.W. i S.J. Cox. 1998. Corn growth and yield under different crop rotation, tillage and management systems. *Crop Science* 38, 996-1003.
- Singh, S.P., i V. Singh. 2003. Evaluation of some plant extracts against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *Indian Journal of Nematology* 32, 226-227.
- Smit A.B., i P.C. Struik. 1995. PIeTeR: a field-specific production model for sugar beet growing. *Journal of Agronomy and Crop Science* 175, 335-348.
- Soil Survey Staff. 2003. Keys to Soil Taxonomy. USDA, NRCS, Washington DC (USA).
- Sombrero, A., A. De Benito, i C. Escribano. 1999. Efectos del laboreo de conservación sobre el desarrollo y producción de cereal. *Agricultura* 804, 542-546.
- Somvanshi, V.S., i M.C. Gupta. 2003. Effect of soil treatment with aromatic plants on population dynamics of *Tylenchorhynchus* and *Helicotylenchus* spp. and on maize growth. *International Journal of Nematology* 13, 195-200.
- Spaner, D., A.G. Todd, A. Navabi, D.B. McKenzie, i L.A. Goonewardene. 2005. Can leaf chlorophyll measures at different growth stages be used as an indicator of winter wheat and spring barley nitrogen requirements in eastern Canada?. *Journal of Agronomy and Crop Science* 191, 393-399.
- Spelman, C. 1994. Which raw materials will be used? p.27-57. A Non-food uses of agricultural raw materials. CAB international, London (U.K.).

- Starcevic, L. 1974. Uticaj rastucih kolicina azota, fosfora i kalijuma na prinos i kvalitet sabljike konoplje za vlakno [Effect of increasing quantities of nitrogen, phosphorus and potassium on the yield and quality of hemp stalk for fibre]. Letopis, Sveska 17-18, 87-103.
- Starcevic, L. 1978. Gustina sklopa kao cinilac formiranja prinosa i kvaliteta konplje za vlakno [Stand density as a factor of yield and quality of stem of hemp for fiber]. Zbornik Radova 40, 357-366.
- Ströml, K. 1997. Mobile hemp breaker - MHB 02. Journal of the International Hemp Association 4, 101.
- Struik, P.C., S. Amaducci, M.J. Bullard, N.C. Stutterheim, G. Venturi, i H.T.H. Cromack. 2000. Agronomy of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) in Europe. Industrial Crops and Products 11, 107-108.
- Stutterheim, N.C., S. Amaducci, G. Gorchs, H. Sankari i J. Dreyer. 1999. Quantified framework for Hemp (*Cannabis sativa* L.) production throughout Europe as tool to fine-tune crop component quantity and quality. P31. A Primary production & biotechnology. Proc. Fourth European Symposium on Industrial crops and Products, Bonn (Germany), 23-25 March 1999.
- Tabara, V. 1984. Influenta fertilizarii cu N.P.K. asupra productiei de saminta la cinepa [The influence of NPK fertilizers on seed production in hemp]. Lucrari Stiintifice, Institutul Agronomic Timisoara, Agronomie 19, 45-51.
- Tabara, V. 1985. Cercetari privind influenta epocii de semanat, distantei intre rinduri si desimii de semanat asupra productiei de saminta la cinepa in conditiile de la Timisoara in anii 1978-1980 [Research on the influence of sowing date, the distance between rows and sowing rate on the seed yields of hemp under the conditions of Timisoara, in the years 1978-1980]. Lucrari Stiintifice, Institutul Agronomic Timisoara, Agronomie 20, 70-76.
- Taberner, A. 1995. Control de males herbes en cereals d'hivern. Catalunya Rural i Agrària 15, 32-36.
- TAPPI. 1988. T-212 om-88. A: Tappi test methods 1988, Volume one. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, USA.
- Taylor, H.M., i H.B. Gardner. 1962. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. Soil Science 96, 153-156.
- Thevenet, G. 1987. Doit-on enfouir les pailles?. Perspectives Agricoles 117, 12-15.
- Thomas, D. 1988. La semis du chanvre. Bulletin Semences 106, 71-73.
- Tuson, J. 1999. Estudi econòmic del lli i del cànem tèxtils. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya, Oficina comarcal del Berguedà.
- Unger, P.W. 2001. Alternative and opportunity dryland crops and related soil conditions in the Southern Great Plains. Agronomy Journal 93, 216-226.
- Urbano, P., i R. Moro. 1992. Sistemas agricolas con rotaciones y alternativas de cultivo. Mundi Prensa, Madrid (España).
- van der Werf, H.M.G., H.J. Haasken, i M. Wijnhuizen. 1994a. The effect of daylength on yield and quality of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). European Journal of Agronomy 3, 117-123.
- van der Werf, H.M.G., J.E. Harsveld van der Veen, A.T.M. Bouma i M. ten Cate. 1994b. Quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) stems as a raw material for paper. Industrial Crops and products, 2, 219-227.
- van der Werf, H.M.G. 1994. Crop physiology of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). Doctoral thesis, Wageningen Agricultural University (The Netherlands).
- van der Werf, H.M.G., M. Wijnhuizen, i J.A.A. de Schutter. 1995a. Plant density and self-thinning affect yield and quality of fiber hemp (*Cannabis sativa* L.). Field Crops Research, 40, 153-164.
- van der Werf, H.M.G., W.C.A. Geel, L.J.C. Gils i A.J. Haverkort. 1995b. Nitrogen fertilization and row width affect self-thinning and yield of fiber hemp (*Cannabis sativa* L.). Field Crops Research, 42, 27-37.
- van der Werf, H.M.G., W.C.A. Geel, i M. Wijnhuizen. 1995c. Agronomic research on hemp (*Cannabis sativa* L.) in the Netherlands, 1987-1993. Journal of the International Hemp Association 2, 14-17.
- van der Werf, H.M.G., K. Brouwer, M. Wijnhuizen, i J.C.M. Withagen. 1995d. The effect of temperature on leaf appearance and canopy establishment in fibre hem (*Cannabis sativa* L.). Annals of Applied Biology 126, 551-561.
- van der Werf, H.M.G., i W. van der Berg. 1995. Nitrogen fertilization and sex expression affect size variability of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). Oecologia 103, 462-470.

- van der Werf, H.M.G., E.W.J.M. Mathijssen, i A.J.H.A. Verkort. 1996. The potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) for sustainable fibre production: a crop physiological appraisal. *Annals of Applied Biology* 129, 109-123.
- van der Werf, H.M.G. 1997. The effect of plant density on light interception in hemp (*Cannabis sativa* L.). *Journal of the International Hemp Association* 4, 8-13.
- van der Werf, H.M.G., W.J.M. Mathijssen, i A. J. Haverkort. 1999. Crop physiology of *Cannabis sativa* L.: A simulation study of potential yield of hemp in Northwest Europe. p. 85-108. A P. Ranalli (ed.) *Advances in hemp research*. The Haworth Press, Inc., New York (U.S.A.).
- van der Werf, H.M.G. 2002. Hemp production in France. *Journal of Industrial Hemp* 7, 105-109.
- van der Werf, H.G.M. 2004. Life cycle analysis of field production of fibre hemp, the effect of production practices on environmental impacts. *Euphytica* 140, 13-23.
- Veen, J.E.H. van der. 1995. The effect of age on quality of hemp bast fibres as raw material for pulp papermaking, p. 158-161. A Nova Institute (ed.) *Proc. of the Symposium Bioresource hemp*, Frankfurt (Germany), 2-5 March 1995.
- Venturi, G., i M.T. Amaducci. 1997. Effetti di dosi di azoto e densità di semina su produzione e caratteristiche tecnologiche di *Cannabis sativa* L. *Rivista di Agronomia* 3, 616-623.
- Vera, C., S. Malhi, J. Raney, i Z. Wang. 2004. The effect of N and P fertilization on growth, seed yield and quality of industrial hemp in the Parkland region of Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science* 84 939-947.
- Viaux, P. 1999. Rotation, assolement et taille des parcelles. p. 23-47. A Une 3e Voie en Grande Culture. Editions France Agricola, Paris (France).
- Viaux, P. 2000. Environnement: Economie et écologie. A: Dossier blé sur blé: techniques et enjeux. *Perspectives Agricoles* 258, 58-62.
- Villalobos, F.J., L. Mateos, F. Orgaz, i E. Fereres. 2002. Interceptación de la radiación y productividad de los cultivos. p. 147-155. A *Fitotécnica, bases y tecnologías de la producción agrícola*. Mundi-Prensa, Madrid (España).
- Villar-Mir, J., P. Villar-Mir, C. Stockle, F. Ferrer, i M. Aran. 2002. On-Farm Monitoring of Soil Nitrate-Nitrogen in Irrigated Cornfields in the Ebro Valley (Northeast Spain). *Agronomy Journal* 94, 373-380 .
- Vincent, M.H. 1980. Chanvre: Si vous avez un acheteur c'est un bon précédent à blé. *Entreprises Agricoles*, 121, 50-52.
- Vogl, C., G. Lissek-Wolf, i A. Surböck. 2004. Comparing hemp seed yields of an on-farm scientific field experiment to an on-farm agronomic evaluation under organic growing conditions in lower Austria. *Journal of Industrial Hemp* 9, 37-49.
- Watson, D., i R. Clarke. 1997. Genetic future of hemp. *Journal of the International Hemp Association* 4, 32-35.
- Weller, D.E. 1987. A reevaluation of the -3/2 power rule of plant self-thinning. *Ecological Monographs* 57, 23-43.
- Westboy, M. 1984. The self-thinning rule. *Advances in Ecological Research* 14, 167-225.
- Wibberley, J. 1996. A brief history of rotations, economic considerations and future directions. *Aspects of Applied Biology* 47, 1-10.
- Young, F.L., A.G. Ogg, R.I. Papendick, D.C. Thill, i J.R. Alldredge. 1994. Tillage and weed management affect winter wheat yield in an integrated pest management system. *Agronomy Journal* 86, 147-154.
- Young, R.A. 1997. Processing of agro-based resources into pulp and paper. p. 137-245. A R.M. Rowell, R. A. Young, i J.K. Rowell (ed.) *Paper and composites from agro-based resources*. CRC Press, Lewis Publishers, New York (U.S.A.).
- Zadocks, J.C., T.T. Chang, i C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereales. *Weed Research* 14, 415-421.



Universitat de Lleida

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària
Departament de Producció Vegetal i Ciència Forestal