ITEA (2002), Vol. 98V N.° 2, 119-126

LA SEMILLA DE BORRAJA COMO FUENTE DE ÁCIDO GAMMA-LINOLÉNICO. REVISIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y RECOLECCIÓN DE LA SEMILLA EN LA ESPECIE

C. Montaner Otín*, E. Floris Beamonte*, J.M. Álvarez Álvarez**

* Escuela Politécnica Superior, Ctra. Cuarte s/n, 22071 Huesca, España

** Servicio de Investigación Agroalimentaria, GA. Apartado 727, 50080 Zaragoza, España

RESUMEN

En España la borraja (*Borago officinalis* L.) se cultiva para aprovechar sus hojas como verdura; sin embargo, fuera de nuestras fronteras, la importancia del cultivo radica en la obtención de semilla dado su alto contenido en ácido gamma-linolénico (GLA), un precursor de las prostaglandinas. La especie presenta crecimiento indeterminado y su fruto es dehiscente. Estos aspectos entorpecen tanto el proceso de recolección como el rendimiento obtenido. En este trabajo se presenta una revisión de las distintas técnicas agronómicas desarrolladas hasta el momento para conseguir un mejor aprovechamiento del potencial productivo de la especie. Asimismo, se describen algunas alternativas basadas en técnicas biotecnológicas para la obtención de GLA.

Palabras clave: *Borago officinalis* L.; cosecha; semilla; GLA.

SUMMARY

BORAGE SEEDS AS A GAMMA-LINOLENIC ACID SOURCE. A REVIEW OF SEED PRODUCTION AND HARVESTING PROCESS

Although Spanish borage is grown as vegetable, in other countries, the production of seeds is the main goal of the crop because those seeds are a rich source of Gamma-linolenic acid (GLA), a precursor of prostaglandins. This species has an indeterminate growth and its seeds dehisce at maturity. These facts limit the harvesting process and seed yield decreases. A review of different methodologies assessed until now in order to obtain a better yield are presented. Also some alternatives to obtain GLA by means of biotechnology are described.

Key words: *Borago officinalis* L.; harvesting; seed; GLA.

El ácido gamma-linolénico

El ácido gamma-linolénico (GLA) es un ácido graso esencial del grupo ω-6, concretamente 18:3 (6c, 9c, 12c). En el organismo de personas sanas y otros mamíferos se sintetiza a partir del ácido linoleico ingerido en la dieta, mediante la acción de la enzima Δ-

6-desaturasa. Se trata de un ácido graso precursor de prostaglandinas, leucotrienos y sustancias relacionadas (HORROBIN, 1983). Los leucotrienos son mediadores en respuestas alérgicas e inflamatorias y las prostaglandinas (principalmente PE1) poseen un amplio abanico de efectos biológicos: controlan la presión arterial y el flujo de la sangre en el riñón, las contracciones del músculo liso, la secreción de ácidos gástricos o la regulación del ciclo reproductivo de la mujer (TORSELL, 1983; GANONG, 1988) entre otros.

Ciertos desórdenes metabólicos o alteraciones como puedan ser la diabetes, la obesidad, el envejecimiento, el estrés, el alcoholismo o el consumo de otras drogas, inhiben la actividad de la Δ-6-desaturasa provocando carencias de GLA. En este caso es necesario ingerirlo directamente (TORSELL, 1983). Por esta vía se aplica en tratamientos clínicos para la regulación del embarazo, síndrome premenstrual, úlceras, lesiones cardiacas, trombosis, eczema tópico, diabetes, hipertensión, etc. (WRIGHT y BURTON, 1982; HORROBIN, 1984; JAMAL y col., 1986; HARVEY, 1997; ANDREASSI y col., 1997).

No obstante una acumulación de GLA en el organismo, ya sea por una ingesta excesiva, ya sea por diversas alteraciones metabólicas, puede provocar un exceso de ácido araquidónico, metabolito promotor de procesos inflamatorios, trombosis o inmunosupresión (PHINNEY, 1994).

Las fuentes de ácido gamma-linolénico

En la actualidad se conocen alrededor de 10 familias de plantas superiores que contienen GLA en el aceite que de ellas se puede extraer. Entre éstas: *Onagraceae, Saxifragaceae Ranunculaceae, Liliaceae, Aceraceae, Scrophulariaceae, Cannabaceae,* y *Boraginaceae* (WOLF y col., 1983; JANICK y col., 1989). La primera especie que se estudió y sobre la que se ha ejercido un gran esfuerzo para conseguir su domesticación y seleccionar aquellos genotipos más productivos desde el punto de vista oleícola es *Oenothera biennis* L. Con el aceite de esta *Onagraceae* se han realizado la mayoría de los estudios científicos encaminados a evaluar las cualidades y los efectos de la administración de GLA en los mamíferos (HORROBIN, 1990; HUANG y MILLS, 1996).

A nivel comercial también se obtiene GLA de *Ribes nigrum* L., *Ribes rubrum* L. (*Saxifragaceae*) (TRAITLER y col., 1984) y *Borago officinalis* L. (*Boraginaceae*) (WHIPKEY y col., 1988). Recientemente se ha constatado el relativamente alto contenido en GLA del aceite de semilla de cáñamo (*Cannabis sativa*) (DEFERNE y PATE, 1996; CALLAWAY y col., 1996).

Además de las fuentes mencionadas, se han hecho diversos intentos para producir GLA por otras vías. RATLEDGE (1987) evaluó el contenido en dicha sustancia en el hongo *Mucor javanicus* aunque sin éxito comercial. La genética molecular también ha participado en la búsqueda de fuentes alternativas de GLA. REDDY y THOMAS (1996) fueron los primeros en demostrar que el gen para la Δ-6-desaturasa de la cianobacteria *Synechocystis* podía ser transferido a una planta de tabaco acumulando esta última GLA en las hojas. Sin embargo el nivel de expresión del gen era muy bajo. Un mejor nivel de expresión se ha conseguido transfiriendo el gen de la Δ-6-desaturasa de borraja al tabaco (SAYANOVA y col., 1997). En las hojas de esas plantas transgénicas se ha detectado un 13,2% de GLA con respecto a los lípidos totales. El éxito del anterior trabajo abre una puerta a la transformación de cultivos tradicionalmente oleícolas como

puedan ser la colza o el girasol, encaminada a incrementar en su aceite el contenido en GLA (PALOMBO y col., 2000).

Asimismo se han hecho intentos de producir GLA en condiciones *in vitro* a partir de embriones en desarrollo escindidos de la flor o generando embriones somáticos. En ambos casos se ha tenido éxito pero la rentabilidad económica está todavía por determinar (JANICK y col., 1989).

La síntesis química directa ha resultado ser muy complicada dado que, a pesar de lo simple de la molécula de GLA, el resultado es una mezcla de moléculas con configuraciones *cis* y *trans* en iguales proporciones para cada uno de sus dobles enlaces, y por tanto difíciles de separar. Por el contrario la forma *cis* es la única que se encuentra en condiciones *in vivo* (SINCLAIR, 1990; DUTA-ROY, 1996).

La borraja como fuente de ácido gamma-linolénico

Tradicionalmente la fuente comercial más utilizada de GLA es el aceite de onagra (*Oenothera biennis*) cuya semilla contiene entre 17 y 25% de aceite, del cual 7-10% es GLA. Esta especie es bianual, sembrándose en torno a agosto y recogiendo sus semillas de septiembre a noviembre del año siguiente (LAPINSKAS, 1993).

La borraja, por el contrario, se ha revelado como una de las mejores alternativas al aceite de onagra. En primer lugar su semilla madura tiene un 25-40% de aceite con 20-25% de GLA y bajo contenido en ácidos α-linolénico y estearidónico (BEAUBAIRE y SIMON, 1987; DEL RÍO y col., 1993; FIELDSEND, 1995). En segundo lugar la borraja es un cultivo anual, a diferencia de la onagra que es bianual (GALWEY y SHIRLIN, 1990). En tercer lugar la semilla de borraja es considerablemente más grande que la de onagra, facilitando su recolección (17 g frente a 0,5 g, peso de 1.000 semillas de borraja y de onagra respectivamente) (VILLA y ÁLVAREZ, 1999; LAPINSKAS, 1993).

A pesar de las citadas ventajas, tiene algunas limitaciones. La principal y que ha condicionado sobremanera el rendimiento que ofrece su cultivo, es la dehiscencia del fruto al llegar a la madurez. GALWEY y SHIRLIN (1990) revelaron en uno de sus trabajos que el aceite de borraja tiene un bajo contenido de ácido erúcico, pero positivamente correlacionado con el contenido de GLA, lo que puede generar un problema a la hora de su comercialización dada su toxicidad en caso de que se encuentre en concentraciones altas. Por otra parte algunos autores han expresado que el aceite obtenido de especies diferentes a la onagra no es funcionalmente equivalente y, por tanto, no tendría las mismas cualidades terapéuticas (HORROBIN, 1994; BARD y col., 1997). Estas dos últimas desventajas pueden superarse puesto que, a nivel experimental, se ha conseguido concentrar el contenido en GLA del aceite de borraja hasta el 93% (SYED RADMATULLAH y col., 1994).

El cultivo de la borraja para producción de semilla

El manejo del cultivo de la borraja que se hace en Aragón está encaminado a la producción y aprovechamiento de sus partes verdes destinadas a su consumo como verdura. En la actualidad se trata de un cultivo bajo abrigo que ocupa el intervalo comprendido entre inicios de otoño hasta la llegada de la primavera. Sin embargo el cultivo de la

borraja como especie oleícola llevado a cabo en otros países se desarrolla en condiciones agronómicas diferentes a las de la borraja como verdura.

Se trata de un cultivo extensivo, que se produce en cuatro países fundamentalmente: Reino Unido, Holanda, Nueva Zelanda y Canadá (LAPINSKAS, 2000). En los países del hemisferio norte se siembra entre final de marzo y principios de abril. La densidad de siembra se mantiene del orden de 2,5 a 3,0 plantas por m^2. Con estas densidades el cultivo se cierra pronto y se controlan las malas hierbas. Esporádicamente se aplica un herbicida de preemergencia. La fertilización es fundamentalmente nitrogenada con aplicación de 40 a 60 kg N/ha en presiembra. En algunas ocasiones se aporta P, K y Mg. Prefiere los suelos bien drenados y vertientes soleadas. La floración empieza a mediados de junio y se extiende hasta septiembre. Sin embargo el cultivo se suele segar a final de julio, cuando las primeras flores muestran semillas maduras (LAPINSKAS, 2000; SIMPSON, 1993b). La superficie destinada a este cultivo es difícil de conocer con precisión. En Reino Unido en 1993 se cultivaron 1.000 ha, a pesar de que varios años antes se había previsto para mediados de los 90 un incremento en superficie de hasta 20.000 ha (FIELDSEND, 1995).

La producción de semilla de borraja

Como ya se ha avanzado en el anterior epígrafe el crecimiento indeterminado de la borraja y la dehiscencia del fruto cuando llega su momento de madurez dificulta su recolección. El periodo de floración se puede alargar más de dos meses, lo que implica un intervalo similar de maduración y desprendimiento de semilla. Este carácter que es sin duda de gran interés para las especies silvestres, puesto que facilita su dispersión y supervivencia, es indeseable en cualquier cultivo. Se ha estimado que más del 50% de la semilla que produce la borraja se pierde por la falta de sincronía en la maduración y la dehiscencia del fruto (FIELDSEND, 1995).

Varios son los trabajos que se han realizado en diversos países occidentales con el fin de determinar todos aquellos aspectos relacionados con las prácticas culturales que permitan aprovechar al máximo el potencial productivo de la borraja. Uno de los primeros estudios encaminados a evaluar la producción potencial de la borraja fue realizado por BEAUBAIRE y SIMON (1987) en Estados Unidos. Estos investigadores buscaban determinar cuál era la densidad de plantas por parcela más adecuada así como el momento óptimo de cosecha. De sus resultados concluyeron que la manera de obtener máxima producción era practicando recogidas periódicas de la semilla por aspiración de aquellas que permanecían en la superficie del suelo para, en último término, cosechar de forma destructiva las parcelas. Siguiendo este procedimiento la mejor producción se obtuvo con una densidad de 36.000 plantas/ha. En este caso el rendimiento total fue de 754 kg/ha.

El método anteriormente expuesto, con varios pases no destructivos más uno destructivo, si bien conseguía aprovechar la producción de la planta por las sucesivas recolecciones, implica la necesidad de una máquina no existente en el mercado que aspire las semillas. Estos autores diseñaron un prototipo que realizaba esta función, pero tiene varias limitaciones. Una de ellas es la rentabilidad. Los precios del aceite de borraja, al igual que el de onagra, son muy variables en función del año, lo que haría más costosa si cabe la amortización de esa

máquina con los beneficios de este cultivo (FIELDSEND, 1995). Por otra parte una campaña lluviosa impediría la entrada de la máquina a las parcelas, con lo que la cantidad de semilla cosechada disminuiría considerablemente (JANICK y col., 1989).

En la búsqueda de nuevos métodos para optimizar no sólo la producción de semilla sino todas las prácticas culturales relacionadas con esta especie, SIMPSON (1993a) publicó una descripción fenológica en la cual se divide el desarrollo de la borraja en siete estadios desde la germinación y la nascencia hasta la senescencia de los tallos. El estadio cinco es el que hace referencia a la maduración de la semilla y la abscisión. Dentro de este estadio, con índices agregados al 5, se hace referencia a la posición que ocupa la flor cuyas semillas se han desprendido o están a punto de desprenderse en la inflorescencia. Por ejemplo 5.3 indica que la tercera flor de la inflorescencia presenta semilla madura. La referencia del estado de madurez de las flores se estableció en relación a la cima apical.

Basándose en los criterios fenológicos anteriormente explicados, SIMPSON (1993b) comparó dos alternativas para realizar la recolección de la semilla, el desecado con glifosato o la siega, para posteriormente cosechar con una máquina automotriz convencional. Sus resultados le llevaron a descartar el tratamiento herbicida y a concluir que la siega cuando las plantas están en estadio de 5.1 a 5.3, con posterior pase de cosechadora, es la forma de optimizar la recolección. De este modo se obtuvo un rendimiento de 367,5 kg/ha.

Este criterio (siega con cosecha cuando la paja se ha secado) fue utilizado posteriormente por BERTI y col. (1998) para buscar el momento óptimo de cosecha tras introducir en Chile dicho cultivo. En este trabajo se obtuvo un rendimiento de 180,7 kg/ha, cantidad inferior a lo esperado y justificada por los autores por la alta densidad de siembra aplicada (87.000 plantas por hectárea), lo que condiciona la producción de semilla. SORLINO (1998) estableció que además del número de plantas por hectárea, la fertilización, y la conjunción del proceso de vernalización con fotoperiodos crecientes determinan la magnitud de la floración y por ende la producción de semilla. Sin embargo todos estos últimos aspectos necesitarían ser investigados más profundamente.

El genotipo también determina la producción de semilla. GALWEY y SHIRLIN (1990) evaluaron alrededor de 500 entradas de borraja de distintas procedencias con el fin de seleccionar entre dicho germoplasma las mejores líneas para usos farmacéuticos. Los genotipos españoles cultivados produjeron más semillas que los tipos silvestres de cualquier origen, aspecto ratificado por SORLINO (1998); sin embargo su contenido en GLA fue menor. Por otra parte, los resultados obtenidos por DEL RÍO y DE HARO (1995) con otro material vegetal, pusieron de manifiesto que la semilla procedente de otras variedades españolas de flor blanca tenía un mayor contenido en aceite y mayor concentración de GLA que la de entradas silvestres de flor azul de origen andaluz.

La morfología de las plantas de flor azul es diferente a las de flor blanca. Las primeras tienen un tallo principal central y pequeñas ramas laterales a diferencia de las cultivadas de flor blanca que poseen numerosos tallos equiparables en porte y vigor. No obstante, cabe señalar que, dentro de dicha morfología general de las plantas de flor blanca, existe gran variabilidad, como ya puso de manifiesto DOMÍNGUEZ y col. (1990) tras seleccionar a partir de una población cultivada 10 formas o tipos por sus características

morfológicas y algunas de interés fisiológico.

El código de estados fenológicos descrito por SIMPSON (1993a), como ya se dijo, centra su atención en el momento de madurez de la cima apical del tallo principal, utilizando para tal descripción plantas de flor azul. En la borraja de flor blanca, al tener una morfología distinta, este criterio no sería directamente aplicable.

Nuestro grupo buscó el momento óptimo de cosecha para un genotipo de flor blanca. Los estudios se centraron en la fenología de la floración pero no a nivel de planta como en los ejemplos anteriores sino a nivel de parcela. Los resultados obtenidos nos indicaron que existe una evolución de la floración alcanzándose un máximo 32 días después de la aparición de la primera flor abierta en una planta cualquiera de la parcela de cultivo. En este momento la producción potencial se ha calculado en 150,5 kg/día y ha. Dicho periodo sería el que marcaría el momento óptimo de cosecha. En nuestra opinión la siega con posterior pase de cosechadora es una buena alternativa, ya que entendemos que permite recoger las semillas que han ido madurando en la planta desde el momento que se corta hasta que se pasa la cosechadora. El hecho de que hayamos observado que un proceso inducido de deshidratación en la planta conlleva la retención de la semilla, aspecto también expresado por BERTI y col. (1998), avala nuestra hipótesis.

Dado que como bien se ha visto, los problemas de la cosecha de la semilla de esta especie vienen acarreados por la dehiscencia del fruto, y en el germoplasma estudiado no se habían encontrado entradas que retuvieran la semilla, DE HARO y DEL RÍO (1998) aplicaron mutagénesis inducida con el objeto de superar ese problema. Del proceso se obtuvieron no sólo líneas parcialmente indehiscentes sino también con mayor número de semillas por flor e importante variabilidad en el contenido en aceite. En estas nuevas líneas puede estar el futuro de la producción de semilla de borraja.

Conclusiones

De la revisión acerca de los procesos de producción y recolección de la semilla de borraja para producción de ácido gammalinolénico que se presenta en este artículo, se pueden destacar la importancia de dicha especie como fuente de semilla para la extracción de aceite rico en GLA. Por el contrario, el proceso de recolección de la misma es complicado debido al crecimiento indeterminado y a la dehiscencia del fruto, lo que conlleva un mal aprovechamiento de la producción de la planta. Para mejorar los rendimientos de la recolección se han propuesto dos alternativas: diseño de aspiradoras autopropulsadas para la recogida de semilla de forma periódica entre líneas y aplicación de herbicidas o siega de las plantas para conseguir su desecación y posterior cosecha con una máquina convencional, siguiendo criterios fenológicos para tales labores.

Bibliografía

ANDREASSI M., FÓRRELO P., LORIO A., DI MASCI S., ABATE G., AMERIO P., 1997. Efficacy of gamma-linolenic acid in the treatment of patients with atopic dermatitis. J. of Int. Medical Research 25: 5, 266-274.

BARD J.M., LUC G., JUDE B., BORDET J.C., LACROIX B., BONTE J.P., PARRA H.J., DURIEZ P., 1997. A therapeutic dosage (3g/day) of borage oil supplementation

has no effect on platelet aggregation in healthy volunteers. Fyndam. Clin. Pharmacol. 11, 143-144.

BEAUBAIRE N.A., SIMON J.E., 1987. Production potential of *Borago officinalis* L. Acta Horticulturae, 208: 101-113.

BERTI M., JOUBLAN J.P., SERRI H.Y., GONZÁLEZ M., 1998. Determinación de la fecha de cosecha en el cultivo de borraja (*Borago officinalis* L.). Ciencia e Investigación agraria, 25: 119-126.

CALLAWAY J.C., TENNILA T., PATE D.W., 1996. Occurrence of *omega*-3 stearidonic acid (*cis*-6,9,12,15-octadecatetraenoic acid) in hemp (*Cannabis sativa* L.) seed. J. of the Inter. Hemp Assoc. 3(2): 61-63.

DE HARO A., DEL RÍO M., 1998. Isolation of chemical induced mutants in borage (*Borago officinalis* L.). J. Am. Oil Chemist Soc. 75:2, 281-283.

DEL RÍO M., FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ A., DE HARO A., 1993. Wild and cultivated *Borago officinalis* L.: Sources of gamma-linolenic acid. Grasas y aceites, 44: 125-126.

DEL RÍO M., DE HARO A., 1995. Posibilidades medicinales de la borraja (*Borago officinalis* L.). VI Congreso de la SECH. Barcelona 1995. p. 350.

DEFERNE J.L., PATE D.W., 1996. Hemp seed oil: A source of valuable essential fatty acids: J. of the Inter. Hemp Assoc. 3(1): 1, 4-7.

DOMÍNGUEZ V., ARCE P., SANTAMARÍA J., 1990. Diferenciación de diez genotipos de borraja (*Borago officinalis* L.) en una población de dicha especie cultivada. Actas de Horticultura, 8: 313-317.

DUTTA-ROY A.K., CAMPBELL F.M., TAFFESSE S., GORDON M.J., 1996. Transport of long-chain fatty acids across the human placenta: role of fatty acid binding proteins. In: Huang, Y.S., Mills, D.E. (Eds.). Gamma-linolenic acid metabolism and its roles in nutrition and medicine. AOCS Press, Champagne, Illinois, 42-53.

FIELDSEND A.F., 1995. Borage: a crop with future? 1995. Biologist 42(5): 203-207.

GALWEY N.W., SHIRLIN A.J., 1990. Selection of borage (*Borago officinalis*) as a seed crop for pharmaceutical uses. Heredity, 65: 249-257.

GANONG W.F., 1988. Fisiología médica. (11ª edición). Edit. El Manual Moderno, S.A. de C.V. Méjico D.F.

HARVEY R.G., 1997. Borage oil: Theory and potential. Veterinary time 27: 7, 15-16.

HORROBIN D.F., 1983. The regulation of prostaglandin biosynthesis by the manipulation of essential fatty acid metabolism. Rew. Pure appl. Pharmacol. Sci. 4: 339-383.

HORROBIN D.F., 1984. Placebo controlled trials of evening primrose oil. Swedish J. boil. Med., 3, 13-17.

HORROBIN D.F., 1990. Omega-6 essential fatty acids: pathophysiology and roles in clinical medicine. Alan R. Liss, New York, 595 pp.

HORROBIN D.F., 1994. Natural? Safe. Pharm. Tech. Europe 58: 14-15.

HUANG Y.S., MILLS D.E., 1996. Gamma-linolenic acid metabolism and its roles in nutrition and medicine. AOCS Press, Champagne, Illinois, 319 pp.

JAMAL G.A., CARMICHAEL H., WEIR A.I., 1986. Gamma-linolenic acid in diabetic neuropathy. Lancet 1: 1098.

JANICK J., SIMON J.E., QUINN J., BEAUBAIRE N., 1989. Borage: A source or Gamma-linolenic acid. In: L.E. Craker, and J.E. Simon (Eds.). Herbs, Spices, and Medicinal Plants: Recent Advances in Botany, Horticulture, and Pharmacology. Vol. 4, 145-168. Oryx Press, Phoenix.

LAPINSKAS P., 1993. Oils crops for the pharmaceutical industry. In: Shewry, P. and Stobart, K. (eds.) Seeds storage compounds: biosynthesis, interactions and manipulation, pp. 332-342. Oxford University Press.

LAPINSKAS P., 2000. Omega-6 fatty acids- What, why, where and how? A fitter future for fats? Leatherhead Food Research Association, Leatherhead, England.

PALOMBO J.D., DEMICHELE S.J., LIU-JINWEN, BISTRIAN B.R., HUANG-YUNGSHENG., 2000. Comparison of growth and fatty acid metabolism in rats fed diets containing equal levels of GLAfrom high gamma-linolenic acid canola oil or borage oil. Lipids 35: 9, 975-981.

PHINNEY S., 1994. Potential risk of prolonged gamma-linolenic acid use. Ann. Internal Med. 120(8): 692.

RATLEDGE C., 1987. Lipid biotechnology: a wonderland for the microbial physiologist. JAOCS 64(12) 1647-1656.

REDDY A.S., THOMAS T.L., 1996. Expression of a cyanobacterial DELTA6-desaturase gene results in gamma-linolenic acid production in transgenic plants. Nature-Biotechnology. 14:5, 639-642.

SAYANOVA O., SMITH M.A., LAPINSKAS P., STOBART A.K., DOBSON G., CHRISTIE W.W., SHEWRY P.R., NAPIER J.A., 1997. Expression of a borage desaturase cDNA containing an N-terminal cytochrome b5 domain results in the accumulation of high levels or DELTA6-desaturated fatty acids in transgenic tobacco. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 94: 8, 4211-4216.

SIMPSON M.J.A., 1993a. A description and code of development of borage (*Borago officinalis* L.). Ann. Appl. Biol. 123: 187-192.

SIMPSON M.J.A., 1993b. Comparison of swathing and desiccation of borage (*Borago officinalis* L.) and estimation of optimum harvest stage. Ann. Appl. Biol. 123: 105-108.

SINCLAIR H.M., 1990. History of essential fatty acids. In Horrobin, D.F. (Ed.). Omega-6 essential fatty acids: Pathophysiology and roles in clinical medicine. Alan R. Liss, Ney York, 1-20.

SORLINO D., 1998. Uso de siembras continuadas para la caracterización de la etapa siembra-floración de dos poblaciones de *Borago officinalis*, mediante modelos fenológicos. Revista de la facultad de agronomía 18 (1-2): 111-117.

SYED RADMATULLAH M.S.K., SHUKLA V.K.S., MUKHERJEE K.D., 1994. _-linolenic acid concentrates from borage and evening primrose oil fatty acids via lipase-catalised esterification. JAOCS 71(6): 563-567.

TORSELL K.B.G., 1983. Natural products chemistry. A Biogenetic Approach. John Wiley & Sons. New York.

TRAITLER H., WINTER H., RICHLI U., INGENBLEEK Y., 1984. Characterization of gamma-linolenic acid in *Ribes* seed. Lipids 19: 923-928.

VILLA F., ÁLVAREZ J.M., 1999. La borraja, cultivo, fenología y selección para la resistencia a la subida a flor. Gobierno de Aragón, Departamento de agricultura y Medio ambiente. 127 pp.

WHIPKEY A., SIMON J.E., JANICK J., 1988. "In vivo" and "in vitro" lipid acumulation in *Borago officinalis* L. J. Amer. Soc. Hortic. Sci., 111: 798-807.

WOLF R.B., KLEIMAN R., ENGLAND R.E., 1983. New sources of _-linolenic acid. J. Amer. Oil Chem. Soc. 60: 1858-1860.

WRIGHT S., BURTON J.L., 1982. Oral evening-primrose-seed oil improves atopic eczema. Lancet 8308: 1120-1122.

(Aceptado para su publicación el 25 de abril de 2002)