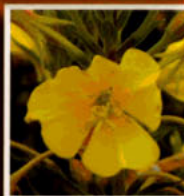


# Oleaginosas especiales: Alternativas productivas para el sur de Chile

Resultados Proyecto FIA  
PI-C-2001-1-A-082



Autores

Marisol Berti  
Rosemarie Wilckens  
Susana Fischer  
Felicitas Hevia  
Claudia Tramón  
Rosa Pertierra



UNIVERSIDAD DE CONCEPCION



FACULTAD DE AGRONOMIA



GOBIERNO DE CHILE  
FUNDACIÓN PARA LA  
INNOVACIÓN AGRARIA

Chillán, Chile, 2006.

Este documento fue realizado en la Universidad de Concepción con apoyo del FIA.

***Marisol Berti Díaz***

Ingeniero agrónomo de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Master of Science en producción de cultivos de la North Dakota State University (Estados Unidos de Norteamérica). Docente de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción.

***Rosemarie Wilckens Engelbreit***

Licenciada en Biología de la Universidad de Concepción y Doctor en Ciencias Naturales de la Universidad Técnica Carolo-Wilhelmina de Braunschweig (Alemania). Docente de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción.

***Susana Fischer Ganzoni***

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Concepción y Magister en Ciencias mención Producción Vegetal de la misma Universidad. Docente de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción.

***Felicitas Hevia Hott***

Licenciada en Química de la Universidad de Concepción y Magister en Ingeniería Agrícola de la misma Universidad. Docente de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción.

***Claudia Tramón Pregnan***

Ingeniero Civil Químico, Universidad de Concepción. Jefe de área de Productos Naturales de la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción.

***Rosa Pertierra Lazo***

Ingeniero agrónomo de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Doctor en Ciencias Agrarias de la Universidad de Bonn (Alemania).

# Oleaginosas especiales: Alternativas productivas para el sur de Chile

Resultados Proyecto FIA PI - C - 2001 - 1-A - 082

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Chillán, Chile, 2006.

ISBN 956-227-292-3

Registro de Propiedad Intelectual

Inscripción N° 154539

Universidad de Concepción

Fundación para la Innovación Agraria.

La presente publicación entrega los resultados  
obtenidos en el marco del proyecto

"Introducción y evaluación de oleaginosas especiales  
de uso medicinal, cosmético y/o industrial en la  
VIII y Décima Regiones", con el apoyo financiero de la  
Fundación para la Innovación Agraria (FIA).

Chillán, Chile.

Marzo de 2006.



# Presentación

En la última década en Chile la superficie sembrada con cultivos tradicionales o extensivos, que principalmente se cultivan desde la VIII Región al sur, ha disminuido, producto, como en el caso del trigo, del incremento sostenido del rendimiento. Sin embargo, la producción de oleaginosas comenzó a disminuir a partir de comienzos del siglo XXI. Cultivos como el raps y la maravilla, de los cuales el año 1988 se sembraron 60.000 ha y 22.000 ha, respectivamente, al año 2000 solamente había 2000 ha de maravilla, correspondientes a semilleros (INE, 2000). Y en la temporada 2000-2001 solamente se sembró 22.800 ha de raps cayendo abruptamente a sólo 750 ha en la temporada 2001-2002. Paulatinamente el cultivo se ha recuperado llegando a 16.220 ha en la temporada 2005-2006 (ODEPA, 2005). La producción propia de oleaginosas ha sido reemplazada por la importación de mezclas de aceites vegetales desde Bolivia y Argentina, que no estaban contempladas en la banda de oleaginosas, a valores inferiores al piso de la banda, con la consecuente reducción del precio de raps pagado a productores y la consecuente quiebra de la empresa que hacía las contrataciones. De allí, que el drama de los agricultores de la VIII, IX y X Regiones fuera cada vez más agudo, ya que las alternativas para rotación de cultivos son cada vez más reducidas, y tristemente, tierras agrícolas de alta calidad están siendo plantadas con especies forestales. Por esa razón, era urgente buscar alternativas extensivas, de bajo costo de producción, que se adaptaran a las condiciones edafoclimáticas, y de gestión para los agricultores en esta zona. Otros países, ante disyuntivas parecidas, han buscado resolver el problema apoyando la investigación de nuevos cultivos industriales que puedan masificarse, cuyo costo productivo sea bajo, estén altamente mecanizados y que sirvan de alternativa en las rotaciones. Así, en Estados Unidos y Europa se han estado invirtiendo recursos en la investigación y el desarrollo de nuevas especies oleaginosas de uso cosmético, medi-

cinal e industrial desde hace más de 50 años, lográndose avances en la domesticación de especies silvestres vía mejoramiento para obtener semillas con alto contenido de aceite y de ácidos grasos especiales para la industria (Princen, 1988). Además, gran parte de estos compuestos químicos son ambientalmente amigables, ya que en muchos casos reemplazan a :1) compuestos derivados del petróleo, una fuente no renovable de energía, 2) compuestos volátiles utilizados en la industria de las pinturas, que dañan la capa de ozono, 3) aceites que causan alergias e irritaciones a operarios industriales y usuarios del producto final, 4) aceites que sólo producen especies tropicales, por lo cual, los países desarrollados dependen de la inestabilidad del abastecimiento del mercado.

Basándose en estos antecedentes se planteó el proyecto FIA PI-C-2001-1A-082 "Introducción y evaluación de oleaginosas especiales de uso medicinal, cosmético y/o industrial en la VIII y X Regiones", que se inició en primavera del año 2001 hasta el otoño de 2005 y que fue ejecutado por los investigadores del Departamento de Producción Vegetal de la Facultad de Agronomía y la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción y los agentes asociados: Rapalco Ltda. (Entre Lagos) y Loncopan S.A. (San Bernardo). Esta última empresa es la principal exportadora nacional de aceites refinados para la industria cosmética mundial y tiene infraestructura instalada para la extracción y refinación de aceite de oleaginosas.

En el proyecto se evaluó la adaptación y el potencial de rendimiento y desarrollo de nueve especies con futuras expectativas como oleaginosas de uso cosmético, medicinal o industrial: *Calendula officinalis*, *Cucurbita pepo* convar. *citrullina* var. *styriaca*, *Cuphea* spp., *Euphorbia lagascae*, *Lesquerella fendleri*, *Limnanthes alba*, *Sesamum indicum*, *Stokesia laevis* y *Vernonia galamensis* en el valle central regado de la VIII Región (Chillán) y secano de precordillera, X Región (Entre Lagos), que posteriormente se cambió al secano interior (San Pablo) en la misma región. Las especies elegidas, según los antecedentes disponibles, fueron aquellas con mayor potencial de adaptación y desarrollo en las regiones ya descritas. También se incluyeron en este libro los resultados de la investigación realizadas en las especies *Borago officinalis* y *Oenothera biennis* producto de un proyecto anterior.

La metodología usada en la ejecución del proyecto se basó en ensayos de campo para determinar la fecha de siembra más adecuada y los requerimientos de riego y fertilización. Especialmente para *Cucurbita pepo* convar. *citrullina* var. *styriaca* se realizó ensayos para controlar la mosca de la semilla y determinar la fertilización nitrogenada y fosforada más adecuada.

Posteriormente se hizo un análisis de contenido y composición del aceite en la semilla cosechada y la determinación de los parámetros tecnológicos para la extracción del aceite de aquellas especies que se obtuvo más semillas. Además, se incluyó un estudio de mercado de los aceites refinados.

A continuación se presenta un breve resumen de los resultados más relevantes para cada una de las especies en estudio.

En la literatura se indica que todas las especies en estudio se deben sembrar en invierno. Sin embargo, salvo *Calendula officinalis* y *Limnanthes alba*, las plántulas de las demás especies no resistieron las heladas de invierno ni en Chillán (VIII Región) ni en Entre Lagos, Cocule o San Pablo (X Región), siendo necesario cambiar la fecha de establecimiento a la primavera en ambas zonas.

Los rendimientos de semilla, en general, fueron mucho menores a los esperados según la literatura y varió entre los años de estudio, posiblemente debido a las condiciones climáticas imperantes. De acuerdo a los resultados obtenidos, sólo *Calendula officinalis* y *Limnanthes alba* se adaptaron a Osorno (X Región) y Chillán (VIII Región). *Limnanthes alba* tiene potencial para ser cultivado en Osorno. En el valle central regado la caléndula es una alternativa si se mecaniza la cosecha y se logra extraer el aceite por un método diferente al prensado en frío. En aquellas especies de maduración tardía, tales como *Euphorbia lagascae*, *Sesamum indicum* y *Vernonia galamensis*, puede haber problemas con la cosecha si el otoño es demasiado lluvioso.

De acuerdo al contenido de aceites especiales, las especies *Cucurbita pepo* convar. *styriaca*, *Euphorbia lagascae*, *Limnanthes alba*, *Sesamum indicum*, *Stokesia laevis* SA644 y *Vernonia galamensis* cumplirían con las exigencias del mercado. Los cultivos con futuro potencial de desarrollo en Chillán son crambe, calendula y cuphea. Mientras que *Euphorbia lagascae*, *Sesamum indicum*, *Vernonia galamensis* y *Cuphea* spp. tendrían posibilidades de ser cultivadas más al norte de Chillán; las tres primeras porque no alcanzan a madurar los frutos y la última porque las plantas son sensibles a las heladas. Sólo *Stokesia laevis* tiene limitadas posibilidades de ser cultivada, ya que es una planta bianual y no ha expresado su potencial producción.

Los ensayos con calabaza aceitera indican que con una dosis media de nitrógeno en combinación con fósforo se incrementa la producción de frutos por planta y que con un insecticida es posible controlar la mosca de la semilla de la calabaza.

La Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) de la Universidad de Concepción sólo pudo extraer aceite por prensado frío desde las semillas de *Limnanthes alba* (meadowfoam) y por Soxhlet, con solvente orgánico, de las de *Lesquerella fendleri* y de *Cucurbita pepo* convar. *citrullina* var. *styriaca* (calabaza aceitera).

El estudio de mercado muestra que Chile importa aceite de raps, de soya, de linaza, de ricino, de sésamo, de palma, de coco y de tung, que podría ser reemplazado por aceite de *Euphorbia lagascae*, *Lesquerella*, *Cuphea*, caléndula, sésamo y semillas de sésamo, siempre y cuando se logre alcanzar volúmenes de producción y producto a precios competitivos respecto a productos importados de bajo costo.

Los primeros resultados y la experiencia adquirida con la ejecución de este proyecto permitió presentar el año 2003 el proyecto FONDEF D0311 100 "Optimización de la tecnología de producción de oleaginosas especiales (borraja, echium, lino) en el sur de Chile", que está en ejecución desde noviembre de 2004 en la X Región.

Las autoras quieren expresar su agradecimiento a la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), que siempre apoyó tanto económicamente como con sugerencias la ejecución de este proyecto y a todas aquellas personas que colaboraron durante este, para obtener los resultados que se presentan en este libro.

# Índice

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> | <b>9</b>  |
| <b>2. ESPECIES</b>     | <b>27</b> |
| BORRAJA                | 29        |
| CALABAZA               | 49        |
| CALÉNDULA              | 71        |
| CRAMBE                 | 87        |
| CUPHEA                 | 101       |
| EUPHORBIA              | 117       |
| LESQUERELLA            | 131       |
| LIMNANTHES             | 147       |
| ONAGRA                 | 161       |
| SÉSAMO                 | 175       |
| STOKESIA               | 193       |
| VERNONIA               | 203       |





# 1

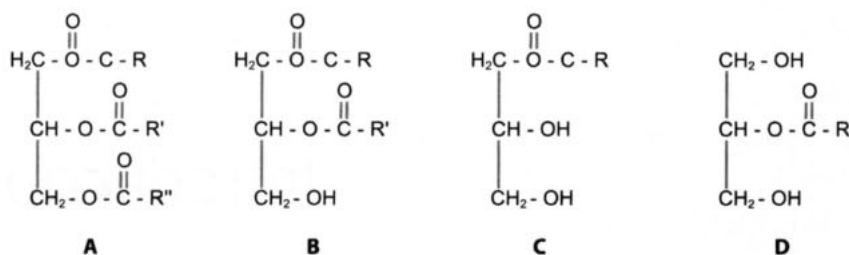
## Introducción

### PROCESAMIENTO DE SEMILLAS OLEAGINOSAS

#### Química de las grasas y aceites

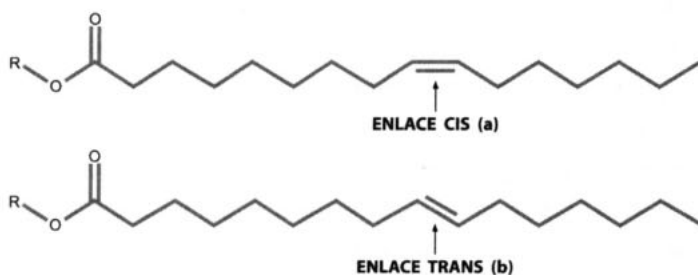
Los lípidos constituyen un grupo de sustancias orgánicas de naturaleza muy variada, que tienen en común la propiedad de ser soluble en solventes orgánicos, tales como, cloroformo, éter, benceno y con escasa solubilidad en agua. Están constituidos básicamente por átomos de C, H, en menor proporción por O y ocasionalmente pueden contener pequeñas cantidades de P, N o S. Son los principales componentes del tejido adiposo y, junto a las proteínas e hidratos de carbono, constituyen los principales componentes estructurales de las células. Se encuentran en el reino animal y vegetal y son utilizados por los organismos vivos en funciones vitales, tales como la formación de sales biliares, fuente de ácidos grasos insaturados esenciales, depósito de reserva, portador de vitaminas liposolubles (A, D, E, K), en la síntesis de hormonas, forman parte de las membranas celulares, entre otros. Los lípidos de la dieta tienen un rol importante en la nutrición, pues además de aportar la energía, permiten el transporte de las vitaminas liposolubles, mejoran el sabor de los alimentos y contribuyen a la sensación de saciedad después de comer. Sin embargo, desde hace algunas décadas se ha discutido su contribución a la obesidad y al riesgo de ciertas enfermedades. Son susceptibles a procesos de deterioro (enranciamiento y lipólisis), lo que provoca alteraciones en las características sensoriales de los productos.

Entre otros compuestos, pertenecen a este grupo de biomoléculas las grasas y los aceites, las cuales presentan la misma estructura química. No obstante, a temperatura ambiente los primeros son sólidos y los segundos líquidos. Son una mezcla de ésteres del glicerol con uno, dos o tres residuos de ácidos grasos (mono-, di- y triglicéridos, respectivamente), los cuales pueden ser idénticos o diferentes (Fig. 1).



**Fig. 1.** Estructura general de un (a) triglicérido, (b) diglicérido y (c y d) monoglicéridos, R representa la cadena hidrocarbonada de los residuos del ácido graso.

Salvo muy escasas excepciones, los ácidos grasos son ácidos orgánicos monocarboxílicos, de cadena lineal, muy larga (12-26 átomos de carbono), con número par de átomos de C, pueden ser saturadas o insaturadas. Es decir, pueden poseer sólo enlaces simples entre sus átomos de carbono, o bien uno, dos, tres, o más dobles enlaces, los cuales se presentan generalmente en posición *cis*, y en muy pocos casos, en posición *trans* (Fig. 2).



**Fig. 2.** (a) Ácido *cis* palmitoleico; (b) ácido *trans* palmitoleico

Existe un grupo de ácidos grasos llamados hidroxilados, los que poseen uno o más grupos hidroxilos secundarios en su estructura. Algunos de ellos, que tienen relevancia industrial, son los ácidos caléndico, lesquerólico y vernólico, presentes en *Calendula officinalis*, *Lesquerella fendleri* y *Euphorbia lagascae*, respectivamente.

El punto de fusión del ácido graso dependerá del largo de la cadena y del grado de insaturación de ésta. Es así, como existe relación entre la composición de los ácidos grasos del glicérido y la forma o estado, líquido o sólido, al que se encuentra a

temperatura ambiente. Los aceites, que son líquidos a temperatura ambiente, presentan una alta proporción de ácidos grasos insaturados (aceite de maíz, oliva, peces) o una alta proporción de ácidos grasos saturados de cadena corta (grasa de la leche y aceite de coco), mientras que las grasas de origen animal (vacuno, cerdo), que son sólidas en esas condiciones, son ricas en ácidos grasos saturados.

En las grasas y aceites naturales se encuentran alrededor de un 97% de glicéridos, además ácidos grasos libres, fosfolípidos, ceras, esteroides, terpenoides y otros componentes lipídicos menores. Los ácidos grasos esenciales deben ser incluidos en nuestra dieta, debido a que no son sintetizados por nuestro organismo, a pesar de participar en funciones vitales: en la estructura de las membranas celulares y en la síntesis de prostaglandinas, lecitina y mielina. También, se les conoce como vitamina F, son los ácidos: linoleico,  $\alpha$ -linolénico,  $\gamma$ -linolénico, dihomo  $\gamma$ -linolénico y araquidónico.

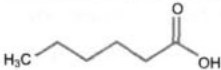
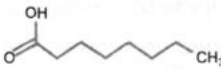
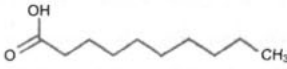
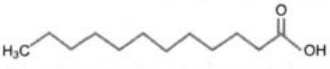
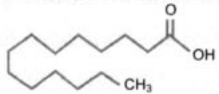
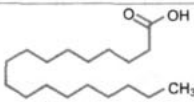
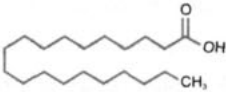
### **Nomenclatura de los ácidos grasos**

Existen varios sistemas para representar y nombrar los ácidos grasos. El que considera los nombres comunes (frecuentemente deriva del origen del compuesto, alguna propiedad o aplicación), y el oficial o IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, que establece una serie de reglas para dar el nombre a los compuestos químicos). En el caso de los ácidos grasos, el sistema de nomenclatura más usado es el común.

La estructura de los ácidos grasos se puede representar mediante una expresión numérica constituida por dos términos separados por dos puntos; el primero indica el número de átomos de carbono y el segundo el número de dobles enlaces de la cadena. A continuación se anota el o los números que corresponden a los átomos de carbono desde donde se inicia el doble enlace, a partir del extremo carbonílico (-COOH).

Así por ejemplo, el ácido palmítico tiene una cadena de 16 átomos de carbono, sin doble enlace y se representa como 16:0 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Nombre común, símbolo y estructura química de algunos ácidos grasos saturados.

| NOMBRE COMÚN | SÍMBOLO | ESTRUCTURA QUÍMICA                                                                  |
|--------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Butírico     | 4:0     |    |
| Caproico     | 6:0     |    |
| Caprílico    | 8:0     |    |
| Cáprico      | 10:0    |    |
| Láurico      | 12:0    |    |
| Mirístico    | 14:0    |    |
| Palmitico    | 16:0    |    |
| Estárico     | 18:0    |   |
| Araquídico   | 20:0    |  |

Para el caso de los ácidos grasos insaturados, se debe considerar la posición y el número de dobles enlaces. Siempre el primer doble enlace está ubicado en el carbono número nueve, contado desde el grupo carbonílico, Δ9. Se usan dos sistemas de nomenclatura numérica, dependiendo desde donde se inicia la numeración de los átomos de carbono, desde el grupo metilo o desde el grupo carbonílico (Cuadro 2).

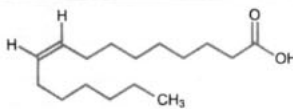
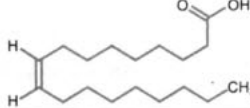
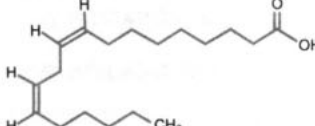
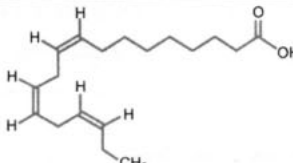
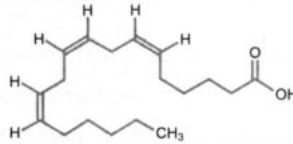
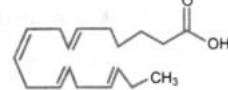


**Cuadro 2.** Sistemas de nomenclatura numérica para ácidos grasos.

| SISTEMA NOMENCLATURA | INICIO NUMERACIÓN C              | UTIL PARA APLICAR EN:                                      |
|----------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Designación $\Delta$ | Grupo carbonílico (-COOH)        | Bioquímica, reacciones de ácidos grasos en el metabolismo. |
| Designación n ó n-x  | Grupo metilo (-CH <sub>3</sub> ) | Nutrición, destaca familias de ácidos grasos.              |

En el Cuadro 3 se indican para algunos ácidos grasos más frecuentes, además del nombre común, la designación según ambos tipos de nomenclatura:

**Cuadro 3.** Algunos ácidos grasos insaturados frecuentes.

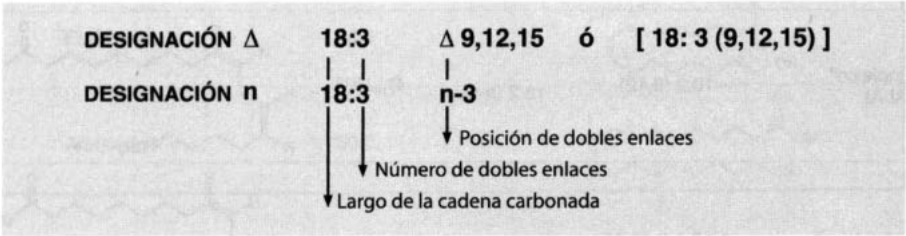
| NOMBRE COMÚN                 | SÍMBOLO                                     |            |                                               | ESTRUCTURA QUÍMICA                                                                   |
|------------------------------|---------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                              | $\Delta$                                    | n ó n-x    | **                                            |                                                                                      |
| Palmitoleico                 | 16:1 $\Delta$ 9<br>16:1 (9)                 | 16:1 (n-7) | C <sub>16</sub> $\Delta$ <sup>9</sup>         |    |
| Oleico                       | 18:1 $\Delta$ 9<br>18:1 (9)                 | 18:1 (n-9) | C <sub>18</sub> $\Delta$ <sup>9</sup>         |    |
| Linoleico*<br>(ALA)          | 18:2 (9,12)                                 | 18:2 (n-6) | C <sub>18</sub> $\Delta$ <sup>9,12</sup>      |  |
| $\alpha$ linoleico*<br>(ALA) | 18:3 $\Delta$ 9,12,15<br>18:3 (9,12,15)     | 18:3 (n-3) | C <sub>18</sub> $\Delta$ <sup>9,12,15</sup>   |  |
| $\gamma$ linoleico*<br>(GLA) | 18:3 $\Delta$ 6,9,12<br>18:3 (6,9,12)       | 18:3 (n-6) | C <sub>18</sub> $\Delta$ <sup>6,9,12</sup>    |  |
| Estearidónico<br>(SA)        | 18:4 $\Delta$ 6,9,12,15<br>18:4 (6,9,12,15) | 18:4 (n-3) | C <sub>18</sub> $\Delta$ <sup>6,9,12,15</sup> |   |

Continuación Cuadro 3.

| NOMBRE COMÚN            | SÍMBOLO                                                 |            |                                  | ESTRUCTURA QUÍMICA |
|-------------------------|---------------------------------------------------------|------------|----------------------------------|--------------------|
|                         | $\Delta$                                                | n ó n-x    | **                               |                    |
| Araquidónico (AA)       | 20:4 $\Delta$ 5,8,11,14<br>20:4 (5,8,11,14)             | 20:4 (n-6) | $C_{20}\Delta^{5,8,11,14}$       |                    |
| EPA (Eicosapentaenoico) | 20:5 $\Delta$ 5,8,11,14,17<br>20:5 (5,8,11,14,17)       | 20:5 (n-3) | $C_{20}\Delta^{5,8,11,14,17}$    |                    |
| Erúxico                 | 22:1 $\Delta$ 13<br>22:1 (13)                           | 22:1 (n-9) | $C_{22}\Delta^{13}$              |                    |
| DHA                     | 22:6 $\Delta$ 4,7,10,13,16,19<br>22:6 (4,7,10,13,16,19) | 22:6 (n-3) | $C_{22}\Delta^{4,7,10,13,16,19}$ |                    |

\* Ácidos grasos esenciales    \*\* Se usa como alternativa en designación  $\Delta$ .

Así por ejemplo, para el ácido  $\alpha$ -linolénico resulta:



Series o familias

Con simbología n ó n-x se destaca la familia o serie a la que pertenece el ácido graso: omega-3 ( $\omega$ -3), omega-6 ( $\omega$ -6) y omega-9 ( $\omega$ -9), cuyos ácidos grasos precursores son, respectivamente, ALA [18:3(n-3)], LA [18:2(n-6)] y oleico [18:1(n-9)]. A partir de ALA y mediante un complejo proceso bioquímico, nuestro organismo produce otros ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3 de cadena más larga, con diferentes grados de instauración, como SA [18:4(n-3)], EPA [20:5(n-3)] y finalmente DHA [22:6(n-3)]. De la misma forma, LA sirve de precursor de los ácidos de la familia  $\omega$ -6,

como GLA [18:3(n-6)], y AA [20:4(n-6)]. En este proceso los ácidos grasos de ambas series compiten por la misma enzima, que se convierte en el factor limitante de la reacción. La síntesis de los ácidos grasos poliinsaturados de cadena muy larga de ambas familias depende directamente de la concentración de los precursores, por lo que resulta relevante que el aporte de éstos en la dieta sea balanceado, más aún cuando ALA presenta una mayor afinidad por la enzima que LA. Es, por lo tanto, importante mantener en la dieta un adecuado balance de los ácidos grasos  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6, porque los últimos siempre están en exceso, consumiendo las vitaminas antioxidantes que deben proteger a nuestras células de los radicales libres.

Los ácidos grasos  $\omega$ -3 son producidos por algas marinas, están presentes en una gran cantidad de peces de agua fría y también se encuentran en la semilla de la linaza, soya, zapallo, nueces y girasol. Ayudan a prevenir enfermedades cardiovasculares al no formar depósitos grasos que obstruyen las arterias como lo hacen los ácidos grasos saturados. Sin embargo, al aumentar la cantidad de ácidos grasos poliinsaturados ingeridos es necesario incrementar en la dieta la cantidad de vitaminas A, C, E y flavonoides a través del consumo de frutas, verduras y vino, para prevenir la oxidación de éstos.

Los ácidos grasos saturados son más difícil de metabolizar por el organismo, dado que todos sus enlaces están saturados, lo que los hace muy estables y que no sea posible la formación de moléculas más pequeñas, capaces de atravesar las paredes de los capilares sanguíneos y las membranas celulares, acumulándose a la forma de placas al interior de las arterias. En cambio, los ácidos grasos insaturados y más aún los poliinsaturados, presentan una alta reactividad, siendo muy susceptibles a la oxidación, con la consecuente formación de moléculas más cortas o volátiles, que otorgan al producto un olor y sabor característico, denominado rancidez.

La rancidez es una indicación del grado de deterioro de las grasas y aceites. Esta puede ser causada por microorganismos que hidrolizan el triglicérido, formándose ácidos grasos de cadena corta, responsable del olor y sabor característico. En el caso de aceites de pescado y soya (*Glycine max*), la rancidez es el resultado de una autooxidación de los ácidos grasos insaturados, con la formación de radicales libres, los que en presencia de oxígeno formarían hidroperóxidos y la consecuente formación de nuevos radicales libres, que mantienen activa la cadena de reacciones. El aceite de soya es particularmente susceptible a este fenómeno, debido, aparentemente, al alto contenido de ácido linoleico, por lo que la disminución de este ácido es un importante desafío para los fitomejoradores.

La composición de los ácidos grasos de un aceite natural está determinada genéticamente. Una variación en la composición de éstos en las semillas de oleaginosas se puede lograr desarrollando nuevas variedades, aunque factores ambientales durante el desarrollo del cultivo, como la temperatura y la humedad, pueden influir, dentro de ciertos límites. Así por ejemplo, cuando la temperatura ambiental es más baja se produce una mayor cantidad de ácidos grasos insaturados, tales como ácido linolénico y linoleico, mientras que a temperaturas más altas se favorecen las grasas más sólidas (saturadas) y una mayor proporción de ácido oleico.

Los aceites y grasas no sólo tienen importancia como alimento, sino también en la industria de pinturas, pegamentos, surfactantes, cosméticos, farmacéutica, polímeros, biolubricantes, entre otros. Particularmente interesantes son los ácidos grasos poliinsaturados de las series  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6. En la Unión Europea, el mercado de aceites vegetales no alimenticios y grasas animales alcanza a los tres 3 millones de toneladas por año, existiendo una demanda insatisfecha por éstos.

### **Propiedades físicas y químicas de los glicéridos**

Las propiedades físicas y químicas de los glicéridos están estrechamente relacionadas con la composición y la estructura química de los ácidos grasos. Entre estos se encuentran:

**Viscosidad.** Es de gran interés en el procesado y la manipulación de las grasas. Generalmente, es alta y varía con las características estructurales de los ácidos grasos. Es mayor cuando la cadena es más larga y disminuye en la medida que se incrementa el grado de insaturación.

**Índice de refracción.** El índice de refracción de una grasa aumenta con el largo de la cadena y el grado de insaturación. Se utiliza para controlar el proceso de hidrogenación.

**Densidad.** Una de las propiedades físicas de mayor interés, sobre todo para el diseño de técnicas y aparatos con que se procesa una grasa es, sin lugar a dudas, la densidad. Es relativamente constante para los distintos ácidos grasos, pero la diferencia es grande entre el estado sólido y líquido. Se determina con un dilatómetro.

**Solubilidad.** Es otra propiedad física muy importante en el procesado. En general, las grasas son totalmente solubles en disolventes apolares como éter de petróleo, benceno y eter etílico; totalmente insolubles en disolventes polares como, por ejemplo, el agua; y parcialmente solubles en disolventes de polaridad intermedia como el etanol y la acetona.

**Índice de acidez (IA).** Se expresa como los mg de KOH necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres en 1 g de grasa o aceite.

**Índice de saponificación (IS).** Corresponde a los mg de KOH requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres y los resultantes de la hidrólisis de 1 g de grasa o aceite.

**Índice de esterificación (IE).** Son los mg de KOH que se gastaron para hidrolizar los ésteres.  $IE = IS - IA$ .

**Índice de yodo.** A través de esta prueba se mide el grado de insaturación de los glicéridos. Se expresa como gramos de yodo absorbidos por 100 gramos de muestra. Debe especificarse el método utilizado, De Wijs o de Hanus, para la determinación.

**Índice de peróxido.** Indica el grado de autooxidación que ha sufrido el aceite y corresponde a la cantidad de peróxidos en la muestra que causan la oxidación del yoduro potásico en determinadas condiciones de trabajo. El yodo liberado se valora con tiosulfato sódico y se expresa en miliequivalentes de oxígeno activo por kg de grasa.

**Prueba de Kreis.** Es una de las pruebas más antiguas para la valoración del estado de oxidación de las grasas. Mide el color rojo producido al reaccionar las grasas oxidadas con floroglucinol (reactivo de Kreis).

**Estudio cromatográfico.** La cromatografía gaseosa permite obtener información más específica sobre la naturaleza y características de las grasas o aceites, que los métodos anteriores. Informa sobre la cantidad de cada uno de los ácidos grasos presente en el glicérido, incluyendo los isómeros *cis* y *trans*, cuando son insaturados. El procedimiento típico para la separación, identificación y cuantificación del ácido graso comprende



una hidrólisis básica con KOH; una esterificación (normalmente metilación) para obtener compuestos más volátiles que los ácidos, existiendo varios métodos para ello; y la separación de los ésteres al inyectar la muestra en un cromatógrafo gaseoso, mediante una programación cuidadosa de la temperatura. Los ácidos se identifican por comparación de sus tiempos de retención versus el del estándar correspondiente. La cuantificación se logra por la integración de las áreas de cada peak de la curva, para lo cual el equipo dispone de un integrador. Un cromatograma de un aceite se presenta en la Fig.3.

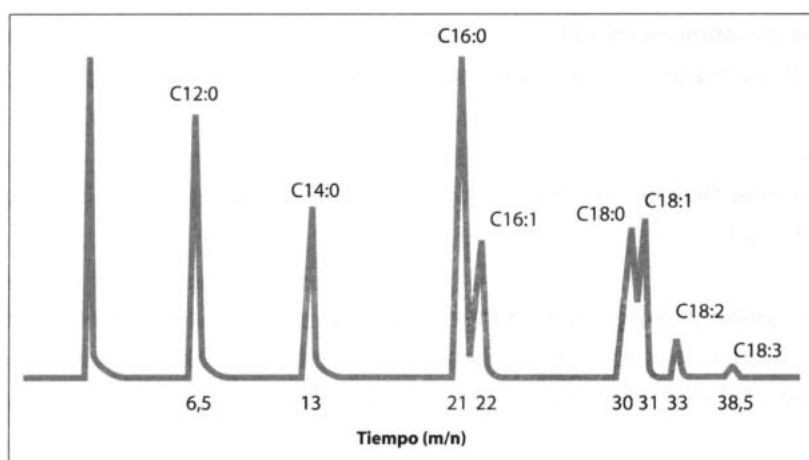


Fig. 3. Cromatograma de un aceite vegetal.

### Ácidos grasos en semillas de oleaginosas comerciales

Algunos de los ácidos grasos provenientes de semilla de oleaginosas con mayor relevancia comercial son:

#### I. Ácidos grasos no hidroxilados

##### 1. Ácidos grasos saturados

- Ácido caprílico (C8:0): se encuentra como triglicérido en la mantequilla, *Aloe vera*, aceite de coco y aceite de *Cuphea*. Presente acción antifúngica.
- Ácido cáprico (C10:0): se encuentra libre en diferentes tipos de grasas y como éster de glicerina en la mantequilla y aceite de coco (*Cocos nucifera* L.).

- Ácido láurico (C12:0): se encuentra en los aceites de coco y de palma (*Elais guineensis*) y *Cuphea spp.* Industrialmente, se utiliza en la elaboración de jabones, tensoactivos, cosméticos, plásticos y emulsionantes.
- Ácido mirístico (C14:0): se encuentra en nuez moscada (*Myristica fragans* Houtt.).
- Ácido palmítico (C16:0): es el componente principal de los aceites del endosperma de la palma (*Elais guineensis* L.) y se encuentra en un alto porcentaje en los aceites de algodón (*Gosypium hirsutum*), de maíz (*Zea mays*) y de palta (*Persea americana* L.). Sus principales aplicaciones están en la fabricación de jabones, cosméticos, productos textiles, pinturas, barnices y emulsionantes.
- Ácido esteárico (C18:0): está presente en la manteca de cacao (*Theobroma cacao* L.) y de karité (árbol del Shea o *Bulyspernurre parzii*). Sus múltiples aplicaciones comerciales incluyen las industrias de jabones, cosméticos, productos textiles, plásticos, velas, ceras, pinturas, barnices, papelería, lubricantes y emulsionantes.

## 2. Ácidos grasos insaturados

### Ácidos grasos omega-3

- Ácido  $\alpha$ -linolénico (C18:3 n-3): es un ácido graso esencial, precursor de la serie omega 3, constituye el 50-60% de los aceites de los ácidos grasos del aceite de linaza (*Linum ussitisimum*) y 8-10% del aceite de soya (*Glycine max*), está presente en las nueces (*Juglans regia*), semillas (pepas) de calabaza, semilla de mostaza (*Brassica juncea* L.), soya, raps, cereales, camelina (*Camelina sativa* L.) y también, se encuentra en hortalizas verdes como lechuga (*Lactuca sativa*), brócoli (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) y espinaca (*Spinacia oleracea* L.).
- Estearidónico (C18:4 n-3): Se encuentra en aceite de *Echium vulgare*, *E. plantagineum*, zarzaparrilla negra (*Ribes nigrum*) y de cáñamo (*Cannabis sativa* L.).
- EPA (C20:5 n-3): Se encuentra en hígado de vacuno y aceite de pescado.

### Ácidos grasos omega-6

- Ácido linoleico (18:2 n-6): es un ácido graso esencial, se oxida fácilmente. Es el componente principal de los aceites de maíz, algodón, pepita de uva (*Vitis vinifera*), raps, soya y maravilla (*Helianthus annus* L.), grosella (*Ribes sativum*),

borraja (*Borago officinalis*) onagra (*Oenothera biennis*), germen de trigo (*Triticum aestivum*), frutos secos.

- Ácido  $\gamma$ -linolénico (18:3 n-6): se encuentra en las semillas del cáñamo (*Cannabis officinalis*) y en *Echium plantagineum*. El aceite de *Echium* es usado por su propiedad antiinflamatoria, para eliminar la dureza de la piel y además, ejerce un efecto protector contra los rayos UV. Se encuentra en onagra, borraja, grosella.
- Ácido araquidónico (20:4 n-6): es muy frecuente en el reino animal, formando parte de los lípidos constituyentes de las membranas celulares y del tejido nervioso. En el reino animal se observa en carnes, huevos y leche.

### Ácidos grasos omega-9

- Ácido oleico (18:1 n-9): es el principal ácido graso de los aceites de almendra (*Prunus amygdalus* L.), palta, oliva (*Olea europea*, 72%), maní (*Arachis hipogaea* L.) y algunas variedades de canola (*Brassica napus* L.). También está presente en una importante proporción en los aceites de cartamo o safflower (*Carthamus tinctorius*), sésamo (*Sesamum indicum* L.), soya y maravilla, y en la manteca de cacao. Los destinos principales de estos aceites son la industria de alimentos y la industria cosmética.
- Ácido erúico (22:1 n-9): representa un factor antinutritivo, se encuentra en la mostaza, raps y crambe (*Crambe abyssinica* L.). A partir de este ácido graso se obtienen numerosos derivados que son utilizados como polímeros, aceites para uso químico, productos cosméticos y farmacéuticos, entre otros.

## II. Ácidos grasos hidroxilados o epoxidizados

- Ácido ricinoleico (C18:1): ácido graso de 18 átomos de carbono, un doble enlace y un grupo hidroxilo secundario. Se encuentra en el aceite de ricino (*Ricinus communis* L.).
- Ácido caléndico (C18:3): la caléndula (*Calendula officinalis*) es rica en ácido caléndico, que se utiliza en la fabricación de pinturas y barnices en atención a su propiedad antiadherente.
- Ácido vernólico (C18:9): también se encuentra como epoxiácido por oxidación de un doble enlace. Está presente en el aceite de semilla de veronía (*Vernonia*

*galamensis*), *Stokesia laevis* y *Euphorbia lagascae*. Las aplicaciones industriales más relevantes son en recubrimientos, poliuretanos, plásticos, resinas, y componentes eléctricos.

- Ácido densipólico: Se encuentra en *Lesquerella fendleri*.
- Ácido lesquerólico (C20:1): es un ácido graso con 20 átomos de carbono, un doble enlace y un grupo hidroxílico secundario. Aproximadamente el 55% del contenido total de aceite de semilla de *Lesquerella fendleri* corresponde a ácido lesquerólico.

### **Almacenamiento y transporte de semillas de oleaginosas**

El almacenamiento y transporte de semillas oleaginosas generalmente se lleva a cabo a granel, sistema que ha desplazado casi completamente al manejo en sacos. Las semillas se almacenan en silos que son ventilados para evitar la generación de calor local y la formación de bolsones de agua. Los silos se llenan por el tope y se vacían por el fondo.

### **Secado**

El manejo que se hace de las semillas oleaginosas en forma previa a su procesamiento es decisivo en la calidad del aceite que se obtendrá. Un alto contenido de humedad puede acelerar el efecto del oxígeno en la degradación del almidón y la liberación de dióxido de carbono. Esta reacción produce calor, el cual promueve la lipólisis, el crecimiento de microorganismos (el cual puede llevar a la formación de micotoxinas como las aflatoxinas), formación de olores y colores indeseables y, en casos extremos, a la coagulación de las semillas en los silos e incluso a la combustión espontánea. Las reacciones de lipólisis y lipo oxidación también pueden ser promovidas por plagas del grano o por daño mecánico de las semillas.

Durante el procesamiento del aceite es posible remover los productos indeseables de la degradación de proteínas y carbohidratos, de la lipólisis y la oxidación. Sin embargo, esto se traduce en pérdidas en el rendimiento del proceso de producción.

Con el fin de minimizar estos efectos negativos, las semillas deben ser secadas antes de ser almacenadas. El contenido crítico de humedad varía para cada especie, dependiendo de su contenido de proteínas y carbohidratos.

### **Limpieza**

Al llegar a la planta de extracción, las semillas son sometidas a los procesos de

tamizado, selección con aire y paso por imanes, con el fin de eliminar residuos vegetales, polvo, arena, madera, trozos de metal y semillas de otro tipo.

### **Descascarillado**

Antes del prensado y la extracción por solvente, las semillas deben ser descascarilladas, puesto que las cascarillas tienden a retener parte del aceite que se quiere recuperar. Una cierta proporción de cascarillas en el material puede ser deseable, puesto que se facilita la operación de percolación en el subsiguiente proceso de extracción por solvente; sin embargo, un contenido excesivo de cascarillas puede perjudicar la calidad del aceite extraído, puesto que el solvente también extrae ciertas ceras de la testa de las semillas.

Dependiendo de su composición química, las cascarillas de la semilla de muchas especies son aprovechables, especialmente en la producción de alimentos para animales.

### **Prensado**

Los procesos modernos para la producción de aceite de semilla de oleaginosas son una combinación de prensado y extracción por solvente.

El objetivo del prensado es separar, por medios mecánicos, el aceite de la fase sólida, también llamada "torta de prensado". Las semillas son prensadas hasta un contenido de aceite residual de aproximadamente 20%; luego, la torta se extrae con solvente hasta un contenido de aceite residual de 1 a 2%. El prensado se omite si el contenido de aceite de la semilla es inferior al 20%.

Las condiciones del proceso son determinadas por el tamaño y estabilidad de las células que contienen el aceite. Las semillas oleaginosas, por lo general, deben pasar por una molienda y un proceso de acondicionamiento antes del prensado. La molienda destruye parcialmente la estructura celular, aumentando la superficie interna y facilitando el acceso al aceite dentro de la semilla.

La semilla molida es acondicionada en un proceso de humedad y temperatura. Durante este tratamiento, se produce la descomposición de las lipoproteínas, la coagulación de las proteínas y la coalescencia de los cuerpos de aceite intracelulares. Estas condiciones facilitan tanto el prensado como la posterior extracción con solvente. Un alto nivel de temperatura y humedad en el acondicionamiento permite, además, desactivar enzimas y microorganismos perjudiciales.

Sin embargo, un contenido excesivo de humedad disminuye el rendimiento del prensado. Por otra parte, un calentamiento excesivo perjudica la calidad nutricional de la torta prensa y el sabor y color del aceite obtenido por prensado. Las condiciones del pre-tratamiento deben ser cuidadosamente ajustadas a cada especie.

Actualmente, la mayoría de los procesos de prensado se realiza en forma continua en prensas tipo tornillo sinfín. El prensado en este tipo de prensas (Fig. 4) es eficiente y uniforme, puesto que la capa de material a ser estrujado es relativamente delgada.

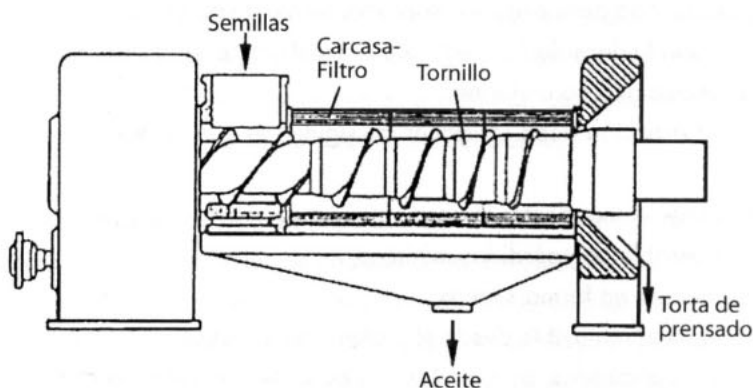


Fig. 4. Prensa tipo tornillo sinfín.

El material vegetal avanza por el tornillo y es estrujado entre éste y la carcasa, a través de una disminución en la sección de flujo del material vegetal. El aceite se recupera por aberturas practicadas en la carcasa, mientras que la torta emerge al final del tornillo. Los perfiles de presión específicos requeridos pueden ser logrados a través del diseño del tornillo y su carcasa; en las secciones iniciales del tronillo los canales de descarga del aceite son mayores, mientras que en las secciones finales la presión se aumenta para estrujar el aceite más atrapado y romper los cuerpos de aceite intracelulares. Típicamente, las prensas tornillos entregan una razón de compresión del orden de 1:15.

Una prensa continua con un arreglo específico de tornillo normalmente entrega resultados óptimos sólo para un tipo de semilla. El aceite obtenido por prensado contiene fragmentos de material vegetal, que debe ser separado por filtración.



### Extracción

Las semillas que tienen un contenido de aceite menor a 20%, y las tortas de prensado, que contienen entre un 15 y un 25% de aceite, usualmente se extraen con solvente, proceso que permite obtener contenidos de aceite residual mucho más bajos que el prensado.

Tanto las semillas como las tortas de prensado que se van a extraer se someten a un proceso de laminado, con el fin de aumentar su superficie interna de extracción y producir vías de difusión cortas y uniformes. Las láminas deben tener un mínimo de humedad y elasticidad para evitar el desprendimiento de partículas de menor tamaño, lo cual aumentaría la densidad del empacado en el reactor de extracción y produciría sectores de precolación no uniforme.

El solvente de extracción debe satisfacer las siguientes condiciones:

- No contener componentes tóxicos,
- Ser recuperable con pérdidas mínimas,
- Ser manejable en forma segura,
- Ser fácilmente removible desde el material en proceso,
- Disolver los glicéridos, pero no los componentes indeseables como colorantes, gomas y fosfolípidos.

Por estas razones, industrialmente se utiliza casi en forma exclusiva el hexano como solvente de extracción.

Las operaciones de extracción por solvente son en general procesos en contra-corriente, en los cuales el solvente puro se contacta con material vegetal que ya ha sido extraído hasta casi el agotamiento, mientras que los extractos ya enriquecidos en aceite se contactan con material vegetal no extraído aún. Estas operaciones pueden llevarse a cabo tanto en procesos continuos como discontinuos.

### Refinación

Los aceites obtenidos por prensado y por extracción pueden contener componentes que son indeseables desde el punto de vista del sabor, la estabilidad, la apariencia o los procesos posteriores. Estas sustancias incluyen partículas de semillas, polvo, fosfatidos, carbohidratos, proteínas, ácidos grasos, trazas de metales, pigmentos, ceras, productos de la oxidación de los ácidos grasos y componentes tóxicos, como hidrocarburos aromáticos policíclicos, micotoxinas y residuos de pesticidas.

El objetivo de la refinación del aceite es eliminar estos componentes no deseados tanto como sea posible, sin afectar la concentración de los componentes valiosos, como vitaminas y ácidos grasos poliinsaturados, y sin una pérdida significativa de los glicéridos principales. Algunos aceites no son refinados, con el fin de preservar sus características químicas propias.

El proceso de refinación consta de las siguientes etapas:

**Desgomado:** su objetivo es eliminar fosfátidos, gomas y otros compuestos coloidales complejos que pueden promover hidrólisis e interferir con los siguientes pasos de la refinación. El método a usar depende de las características de los componentes a eliminar. Los procesos más utilizados son hidratación y sobre calentamiento del aceite.

**Neutralización o deacidificación:** consiste en eliminar los ácidos grasos libres, especialmente los de cadena corta, los cuales son los responsables de los sabores rancios en los aceites comestibles. Junto a los ácidos grasos libres, la neutralización elimina fosfátidos y gomas residuales, fenoles y aflatoxinas. Los procesos de neutralización industrialmente más importantes son la neutralización con álcali y por destilación.

**Decoloración o blanqueo:** se realiza para remover pigmentos como carotenoides y clorofilas, y también contribuye a la eliminación de fosfátidos, jabón, trazas de metales y productos de oxidación. Típicamente, el proceso de blanqueo consiste en poner en contacto el aceite con adsorbentes sólidos como tierra filtrante o carbón activado.

**Desodorización o stripping al vacío:** se remueven compuestos volátiles odoríferos y saborizantes, como aldehídos, cetonas, ácidos grasos libres, alcoholes, esteroides y tocoferoles. Esencialmente, es una destilación con vapor o stripping, en la cual los compuestos volátiles se separan de los glicéridos, que no son volátiles. Se realiza al vacío debido a la baja presión de vapor de los compuestos que se requiere remover.

**Winterización o hibernación:** más que una etapa de la refinación, se trata de un proceso de fraccionamiento, mediante el cual se separan del aceite las

ceras que causan turbidez a temperaturas ambientales. Después de la desodorización, los aceites se mantienen en cámaras refrigeradas, para promover la formación de cristales de los componentes con alto punto de fusión, los cuales se remueven posteriormente por filtración.

### Otros procesos

Después de ser refinados, algunos aceites son sometidos a otros procesos con el fin de otorgarles ciertas características especiales.

En algunos casos, se realiza un fraccionamiento para remover componentes no deseados, o bien para aislar la fracción específica del aceite que posee las propiedades deseadas.

Otro proceso común es la hidrogenación, mediante la cual se saturan los dobles enlaces carbono-carbono de los glicéridos insaturados, permitiendo un aumento del punto de fusión del aceite.

Un tercer proceso ampliamente utilizado en la industria es la interesterificación, la cual permite modificar las características físicas de un aceite sin cambiar la composición química de sus glicéridos.

En general, estos procesos permiten modificar las propiedades de los aceites, con el objetivo de adecuarlos a aplicaciones específicas, tanto en la industria de alimentos como en numerosos campos en la industria química.

### LITERATURA CITADA

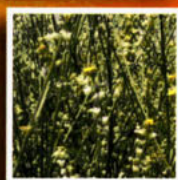
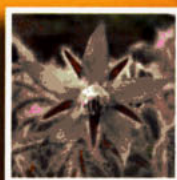
R. Brockmann, G. Demmering, U. Kreutzer, M. Lindemann, J. Plachenka, y U. Steinberger. 2003. Fatty acids. *In*: Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry. 6ª ed., Wiley-VCH, Alemania.

Organización Mundial de la Salud. 1997. Grasas y aceites en la nutrición humana. Consulta FAO/OMS de expertos. Estudio FAO Alimentación y Nutrición No.57, FAO/OMS.

Thomas, A. 2003. Fats and fatty oils. *In*: Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry, 6ª ed. Wiley-VCH, Alemania.

# 2

## Especies







# Borraja



- Nombre Común:** Borraja
- Nombre Científico:** *Borago officinalis* L.
- Otros Nombres:** Borrage, borragem (portugués), borage (inglés), borraña o borragine (italiano), bourrache (francés), Borretsch (alemán).
- Familia:** Boraginaceae.
- Centro de Origen:** Proviene de la zona mediterránea de Europa y Asia Menor (Müller, 1999).
- Distribución geográfica:** Su distribución es amplia, actualmente se encuentra en toda Europa, América y Asia (Müller, 1999), aparte de sus centros de origen. En zonas tropicales las plantas se desarrollan como matorrales, y también se le cultiva en los jardines como especie ornamental.



### Descripción

Es una planta anual, cuya altura oscila entre los 30 y 60 cm. El tallo es grueso, con grandes hojas de tipo ovoidal. Toda la planta está cubierta por tricomas firmes, aguzados y mucilaginosos. Las flores son de color azul intenso, a veces blancas o violáceas, con aspecto estrellado y se ordenan en inflorescencias denominadas ci-mas. La floración se prolonga desde principios de verano hasta mediados de otoño. Es una especie de polinización cruzada obligada por lo que se requieren de polinizadores para la producción de semillas (Alonso, 1998; Müller, 1999). Cada flor tiene el potencial de formar cuatro frutos o núculas. Sin embargo, el número de frutos que llegan a madurez fisiológica es menor. La cantidad de frutos que logran completar su desarrollo es mayor en las flores que abren primero y va disminuyendo a medida que las flores se ubican en posiciones más periféricas y que abren al final de la floración (Giménez, 2005).

El fruto madura y se desprende aproximadamente 23 a 25 días después de la apertura de la flor o lo que corresponde a 606 grados día (Giménez, 2005).

### Composición de la semilla

El contenido de aceite en semillas de borraja fluctúa entre 30 y 38%, del cual un 20 a 28% corresponde a ácido gamma-linolenico (ácido *cis*-6,9,12-octadecatrienoico) (GLA), un ácido graso en la familia omega-6, esencial para el ser humano. La composición de los ácidos grasos en la planta varia, encontrándose el más alto contenido de GLA en las semillas (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Composición de ácidos grasos en distintas partes de la planta de borraja.

| ESTRUCTURA     | COMPOSICIÓN DEL ACEITE (DISTRIBUCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS, %) |      |      |      |      |      |      |
|----------------|-----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                | 16:0                                                      | 18:0 | 18:1 | LA   | GLA  | ALA  | SA   |
| Semilla madura | 25.9                                                      | 2.4  | 11.5 | 34.5 | 23.1 | 1.6  | 0.8  |
| Hoja joven     | 24.8                                                      | 2.2  | 2.7  | 20.9 | 22.0 | 17.3 | 9.9  |
| Hoja madura    | 18.6                                                      | 1.7  | 4.7  | 13.3 | 8.0  | 38.4 | 15.2 |
| Flor           | 31.9                                                      | 3.5  | 3.3  | 41.7 | 10.6 | 5.7  | 3.3  |
| Raíz           | 29.8                                                      | 2.1  | 4.6  | 34.4 | 14.8 | 8.2  | 6.0  |

Sayanova *et al.*, 1999.

16:0= ácido palmítico, 18:0= ácido esteárico, LA= ácido linoleico, GLA= ácido gamma-linolénico, ALA= ácido alfa-linolénico, SA= ácido estearidónico (18:4).

## Usos

Las funciones de los ácidos omega-6 (incluido el GLA) a nivel celular son mantener la estructura y fluidez de las membranas celulares, especialmente de aquellas de la piel. La deficiencia de GLA aumenta la pérdida de agua de la piel, provocando la deshidratación de ésta.

Por otro lado, los ácidos omega-6 ayudan a movilizar el colesterol en la sangre, aumentando su solubilidad. Mientras que la función más importante del GLA es ser el precursor de un sinnúmero de moléculas involucradas en procesos de regulación, incluyendo las prostaglandinas (PGE-1), leucotrienos y otras moléculas que reducen la inflamación, inhiben la agregación plaquetaria y aumentan la dilatación de vasos sanguíneos (Lapinskas, 2000).

El GLA puede sintetizarse en el cuerpo humano a partir de ácido linoleico, que se encuentra en aceites vegetales, tales como de maravilla, oliva y maíz. Sin embargo, la enzima que cataliza la conversión de ácido linolénico a GLA (D-6 desaturasa) puede ser inhibida por una serie de condiciones, tales como, envejecimiento, diabetes, altos niveles de colesterol en la sangre, infecciones virales, deficiencia de zinc o eczema atópico. Por esa razón, entre los usos potenciales del GLA se incluyen el tratamiento del eczema atópico (Wright y Burton, 1982) y para reducir los efectos secundarios de la diabetes, tales como daño vascular, alteraciones plaquetarias y arteriosclerosis (Kies, 1989).

También la leche materna contiene GLA y se ha demostrado que el consumo de aceite de borraja en madres lactantes aumenta la concentración de GLA y sus derivados en ella (Thijs *et al.*, 2000).

## Antecedentes de mercado

El mercado del aceite de borraja es difícil de estimar debido a que los volúmenes anuales fluctúan fuertemente. De acuerdo a Lapinskas (2000) el volumen mundial de aceite de borraja fluctúa entre 500 y 750 t/año. Sin embargo, según la información más reciente el mercado está creciendo y podría alcanzar 2500 t/año. El precio de la semilla a productor fluctúa entre 2.5 y 4 US\$/kg, dependiendo de la oferta mundial y la calidad de estas. Si la semilla contiene por sobre un 24% de GLA tiene mayores posibilidades de ser comercializada en años con sobrestock.

El precio del aceite fluctúa entre 14 y 16 US\$/kg para aceite de borraja refinado con más de un 22% de GLA. Aquellos aceites cuyo contenido es menor a 20% de GLA generalmente no tienen mercado. La producción nacional de aceite de borraja aún es mínima, pero se espera que aumente en los próximos cinco años.

### Países productores

Los principales productores de semilla de borraja son Canadá, Inglaterra y Nueva Zelanda (Nicholls, 1996). En el Estado de North Dakota, Estados Unidos, se obtuvo la mayor producción de borraja en 1999. En Chile, la superficie sembrada en el año 2004 alcanzó 1000 hectáreas.

## MANEJO DEL CULTIVO

### Requerimientos de suelo y clima

La borraja prefiere suelos francos a franco arcillosos, con buen drenaje y un pH 6.0 a 7.0. En la X Región la mayor parte de los suelos tiene pH menores a este rango. Aún así, la borraja crece bien a pH 5.5 o incluso menor, siempre y cuando el contenido de aluminio del suelo no sea alto. En algunos de los ensayos realizados se observó deformación de raíces causadas por fitotoxicidad por aluminio. Si las raíces se dañan prematuramente el cultivo no podrá resistir la más mínima sequía durante el mes de diciembre, como suele ocurrir en algunas temporadas.

La temperatura base para floración es la mínima que requiere el cultivo para crecer y alcanzar este estado de desarrollo. La temperatura base calculada para borraja sembrada en distintas fechas en Chillán fue de 6.2 °C (Berti *et al.*, 2002). Giménez (2005) indica que la duración de las etapas fenológicas en borraja dependen de la temperatura, y la calculó utilizando una temperatura base de 0 °C. El tiempo térmico entre emergencia y botón floral fluctuó entre 1310 a 1525 °C día para la etapa emergencia a botón floral (Giménez, 2005).

El clima es muy importante, ya que determina la calidad del producto final de esta especie. El mercado internacional exige un 22% de GLA (ácido gamma linolénico) en la semilla, como mínimo para su comercialización, y esto sólo se logra en la X Región (Berti *et al.*, 2002) y probablemente en la precordillera de la IX Región. Es decir, se requieren zonas agroclimáticas con temperaturas que no sobrepasen los 25 °C durante la floración y cuaja de las semillas. Cuando las temperaturas son superiores a 25 °C durante la floración, disminuye considerablemente el contenido de GLA a niveles tales que el producto ya no es comercializable.

En estudios realizados sobre la evolución de la composición de lípidos en semillas de borraja se determinó que el aumento en la concentración de aceite y de GLA en la semilla ocurre sólo en la última semana de maduración de éstas (Hamrouni *et al.*,

2002). Por otro lado, otros estudios indican que con temperaturas mayores a 25°C disminuye la tasa de síntesis de GLA. Por eso es necesario determinar la fecha exacta de siembra en cada localidad, de modo que la última semana de la maduración de la semilla coincida con temperaturas menores a 25 °C.

### **Cultivares ofrecidos en el mercado**

Las empresas privadas dedicadas a la producción de esta especie tienen líneas mejoradas, más homogéneas en floración y con mayor contenido de aceite, es decir, superior a 30%. Sin embargo, el mayor problema de la borraja es el desgrane que alcanza hasta un 80%. En la actualidad no existen variedades que no se desgranen, lo que limita el potencial de rendimiento del cultivo. La única variedad registrada que existe en el mercado se denomina 'Gladiator', de origen británico, y que está disponible sin pago de derecho de propiedad. Sin embargo, también existen selecciones de semillas en Francia y Canadá, pero se piensa que también corresponden a 'Gladiator'. A pesar de los esfuerzos realizados buscando genotipos con frutos indehiscentes esto aún no ha sido posible. Además, la borraja es un cultivo de polinización cruzada, es decir, requiere de insectos para su polinización.

### **Mejoramiento**

Uno de los objetivos de mejoramiento de la borraja es lograr un contenido de GLA mayor a 22% y estable en distintos ambiente, es decir, que la síntesis de la molécula no dependa tanto de la temperatura durante la maduración de la semilla.

El segundo objetivo de importancia es mejorar la retención de la semilla, para evitar el alto desgrane que tiene actualmente. La borraja produce potencialmente 1000 kg/ha de semilla. Sin embargo, en un cultivo comercial, debido al desgrane, aproximadamente el 75% de las semillas quedan en el suelo.

### **Desarrollo y crecimiento**

El ciclo de vida de la borraja se divide en ocho estados de desarrollo, que se indican en el Cuadro 5 (Simpson, 1993a).

Cuadro 5. Escala de desarrollo para *Borago officinalis*.

| ESTADO | NOMBRE DEL ESTADO O SUB ESTADO                                                                                           | CÓDIGO |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 0      | <b>Germinación y emergencia</b>                                                                                          |        |
|        | Semilla seca                                                                                                             | 0.0    |
|        | Semilla embebida                                                                                                         | 0.2    |
|        | Radícula emergida                                                                                                        | 0.4    |
|        | Hipocotilo extendido                                                                                                     | 0.6    |
|        | Cotiledones sobre el suelo                                                                                               | 0.8    |
| 1      | <b>Producción de hojas</b>                                                                                               |        |
|        | Ambos cotiledones expandidos y verdes                                                                                    | 1.0    |
|        | Primera hoja verdadera más de 2 cm de largo                                                                              | 1.1    |
|        | Segunda hoja verdadera más de 2 cm de largo                                                                              | 1.2    |
|        | n... hoja verdadera más de 2 cm de largo                                                                                 | 1.n    |
| 2      | <b>Extensión del tallo floral</b>                                                                                        |        |
|        | Estado roseta (sin internudos claramente visibles)                                                                       | 2.0    |
|        | Aproximadamente 5 internudos elongados                                                                                   | 2.5    |
| 3      | <b>Desarrollo de yemas florales</b>                                                                                      |        |
|        | Yemas vegetativas solamente                                                                                              | 3.0    |
|        | Yemas florales presentes pero cubiertas por hojas                                                                        | 3.1    |
|        | Yemas florales visibles en el centro de la planta                                                                        | 3.3    |
|        | Inflorescencias elongadas (cimas)                                                                                        | 3.6    |
| 4      | <b>Floración</b>                                                                                                         |        |
|        | Ninguna flor abierta                                                                                                     | 4.0    |
|        | Primera flor abierta                                                                                                     | 4.1    |
|        | n... flor abierta                                                                                                        | 4.n    |
| 5      | <b>Maduración y abscisión de semillas</b>                                                                                |        |
|        | Ninguna flor con frutos maduros (negros o cafés) en el tallo principal (se cuentan desde la base del tallo hacia arriba) | 5.0    |
|        | Primera flor con frutos maduros o ya caídos en el tallo principal                                                        | 5.1    |
|        | n... flor con frutos maduros o a caídos en el tallo principal                                                            | 5.n    |
|        | n... flor con frutos maduros o caídos en tallos (n) laterales                                                            | 5.n.n  |
| 6      | <b>Senescencia de hojas</b>                                                                                              |        |
| 7      | <b>Senescencia de tallos</b>                                                                                             |        |

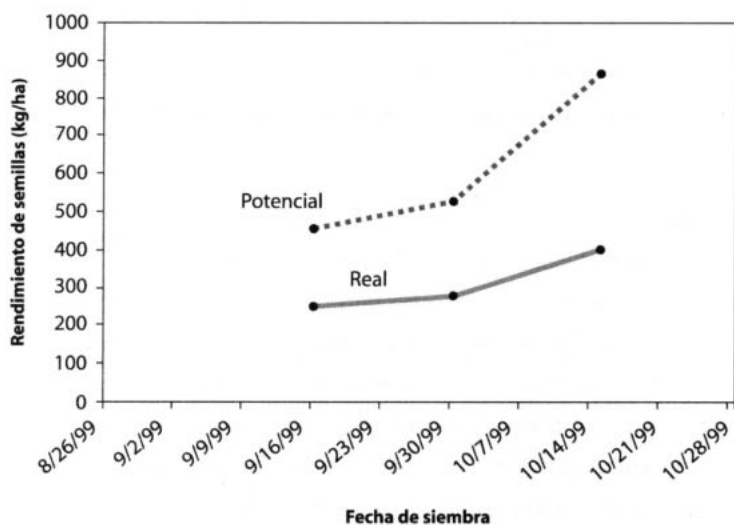
Modificado de Simpson, 1993a.

Fecha de siembra y/o plantación

La borraja se siembra en primavera en Osorno (X Región), siendo la mejor fecha fines de agosto a mediados de septiembre. Cuando la siembra es muy temprana la planta crece muy lento y el cultivo se enmaleza fácilmente. Mientras que con una siembra más tardía el suelo se cubre rápidamente, pero se corre el riesgo de que florezca cuando la temperatura sea mayor a 25 °C. En la VIII Región se puede realizar

siembra otoñal en abril o mayo, ya que la planta resiste hasta  $-4^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, plántulas pequeñas pueden sufrir descalce en algunos tipos de suelos.

En ensayos realizados en Chillán (VIII Región), en los años 1999 y 2000 la borraja fue sembrada en cuatro fechas diferentes (8 de julio, 16 de septiembre, 30 de septiembre y 15 de octubre). La primera fecha fue eliminada del análisis debido al alto descalce de las plantas. Estas últimas se cosecharon en el estado 5,5 de acuerdo a Simpson (1993 a). El rendimiento potencial de semillas y el rendimiento de semillas aumentó a medida que se atrasó la fecha de siembra (Fig. 5). Por otro lado, el contenido de GLA aumentó a medida que se atrasó la fecha de siembra (Cuadro 6), contrario a lo esperado. Esto se debió a que las muestras de semillas provenientes de las siembras más tempranas tenían una mayor proporción de semillas inmaduras (Cuadro 7) (Berti *et al.*, 2002).



**Fig. 5.** Rendimiento real y potencial de semilla de borraja sembradas en diferentes fechas de siembra en Chillán (Berti *et al.*, 1998).



Cuadro 6. Composición del aceite de borraja de acuerdo a la fecha de siembra en Chillán.

| FECHA DE SIEMBRA | COMPOSICIÓN DEL ACEITE (DISTRIBUCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS, %) |      |      |      |       |
|------------------|-----------------------------------------------------------|------|------|------|-------|
|                  | 16:0                                                      | 18:0 | 18:1 | 18:2 | γ18:3 |
| Julio 8          | 11.7                                                      | 2.7  | 20.4 | 37.5 | 22.2  |
| Septiembre 16    | 11.9                                                      | 1.7  | 21.2 | 31.3 | 25.8  |
| Septiembre 30    | 13.6                                                      | 2.4  | 19.6 | 30.7 | 25.8  |
| Octubre 15       | 13.6                                                      | 0.4  | 22.3 | 34.1 | 29.1  |

Berti *et al.*, 2002.  
16:0= ácido palmítico, 18:0=ácido esteárico, 18:1= ácido oleico, 18:2= ácido linoleico, γ18:3= ácido gamma linolénico.

Cuadro 7. Influencia de la madurez de la semilla en la composición del aceite de borraja.

| MADUREZ DE LA SEMILLA (COLOR) | COMPOSICIÓN DEL ACEITE (DISTRIBUCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS, %) |      |      |      |       |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|------|------|------|-------|
|                               | 16:0                                                      | 18:0 | 18:1 | 18:2 | γ18:3 |
| Inmadura (café claro)         | 12.8                                                      | 6.2  | 21.3 | 32.5 | 14.3  |
| Semi-madura (café)            | 12.0                                                      | 4.6  | 19.1 | 35.2 | 19.0  |
| Madura (negra)                | 13.3                                                      | 4.2  | 18.4 | 38.8 | 21.0  |

Berti *et al.*, 2002.  
16:0= ácido palmítico, 18:0=ácido esteárico, 18:1= ácido oleico, 18:2= ácido linoleico, γ18:3= ácido gamma linolénico.

Marco de plantación

La distancia entre hilera utilizada en producción comercial es de 17.5 cm y sobre hilera es sembrada a chorro continuo, con una dosis de 5 a 8 kg/ha, con el fin de alcanzar una población de plantas a cosecha de aproximadamente 200.000 plantas/ha. En estudios realizados en Chillán el máximo rendimiento se alcanzó con 172.222 plantas/ha para borraja sembrada a 60 cm entre hilera y 205.000 plantas/ha al ser sembrada a 40 cm entre hilera. El desgrane fue mayor en las poblaciones de menor densidad (Berti *et al.*, 2002). El peso de 1000 semillas de borraja fluctúa entre 16 a 20 g (Berti *et al.*, 1998).

Preparación de suelo

La borraja se puede sembrar con el sistema de cero labranza, utilizando barbecho químico, en el cual se aplica glifosato para controlar las malezas. Si se utiliza labranza tradicional hay que asegurarse de realizar un buen control de malezas anuales previo a la siembra.

## Fertilización

En ensayos realizados en Canadá no se encontró una respuesta significativa a la aplicación de nitrógeno en el rendimiento de biomasa, de semillas y contenido de GLA en el aceite. Según los autores esta falta de respuesta se debió probablemente a un alto contenido de nitrógeno inicial en el suelo (El Hafid *et al.*, 2002). Esto no significa que la borraja no requiera nitrógeno, sino que en este ensayo el suministro del suelo fue suficiente para el cultivo.

Los requerimientos nutricionales de la borraja son bajos en comparación a otros cultivos, debido a su rápido crecimiento y a la baja acumulación de biomasa, que fluctúa entre 4000 y 5000 kg/ha de biomasa seca. En comparación, el trigo en la zona sur de Chile produce, en promedio, 16000 kg/ha de biomasa seca, incluyendo el grano (esto para un trigo de 70 qq/ha de rendimiento). Por otra parte, un exceso de nitrógeno puede reducir el contenido de aceite y GLA, por lo que la recomendación general es no sobrepasar 80 kg N/ha de aporte total a la planta, es decir, considerando también el nitrógeno suministrado por el suelo.

El fósforo y potasio también deben ajustarse a las condiciones del suelo. En el sur de Chile es fundamental determinar la dosis óptima de fósforo, considerando que la mayor parte de los suelos en las zonas donde se adapta la borraja fijan fósforo reduciendo su disponibilidad para la planta. No hay información referente a los requerimientos de potasio y azufre en este cultivo.

## Riego

En la X Región el cultivo se realiza en condiciones de secano. En la VIII Región necesita riego. Sin embargo, en general no se recomienda el cultivo en la VIII Región o más al norte, ya que no se obtienen los niveles de GLA requeridos por la industria como consecuencias de las altas temperaturas registradas durante la floración y desarrollo de la semilla.

## Control de malezas

El control de malezas con herbicidas es necesario, ya que es un cultivo sembrado en alta densidad, donde no es posible realizar control mecánico o manual. En general, la planta emerge rápidamente una vez sembrada, compitiendo bien con la mayoría de las malezas. Si la temperatura es muy baja en el momento de la siembra (menor a 6 °C) el crecimiento es más lento y las malezas pueden cubrir el cultivo.

Las malezas que mayor complicación que se presentan en la zona productora en Chile son rábano (*Raphanus sativus*), llánten (*Plantago major*), diente de león (*Taraxacum officinale*), viola (*Viola* spp.), vinagrillo (*Rumex acetosella*), sanguinaria (*Polygonum aviculare*), duraznillo (*Polygonum persicae*), *Galium aparine*, entre otras. Se han realizado varios ensayos para determinar la posibilidad de utilizar herbicidas para el control de malezas. Sin embargo, a la fecha no hay herbicidas de postemergencia que controlen malezas de hoja ancha sin causar fitotoxicidad al cultivo, por lo que actualmente el control previo a la siembra con glifosato es la única alternativa.

Estudios realizados en Canadá indican que la borraja tiene buena tolerancia a los gramínicos, tales como Poast (sethoxydim) y Assure (quizalofop) y una baja tolerancia a los herbicidas para hoja ancha. Según otros estudios los herbicidas de pre-siembra triallate (2 kg/ha), pentanochlor (3 kg/ha), linuron (0.375 kg/ha) son tolerados por la borraja (Richardson y West, 1986). Investigaciones más recientes indican que propachlor, chloridazon e isoxaben tampoco causan daño a la borraja (Stobart y Simpson, 1999). Sin embargo, esto aún no ha sido validado en Chile.

### Plagas y enfermedades

Existen varias enfermedades que se presentan en borraja en el extranjero, tales como CMV (Virus del mosaico del pepino) (Arteaga *et al.*, 1988), AMV (Virus del mosaico de la alfalfa) (Mallor *et al.*, 2002), oidios (*Erysiphe cynoglossi*, *E. howeana*) (O'Neill *et al.*, 1991), carbón de la borraja (*Entyloma serotinum*) (Preece y Preece, 1993), necrosis foliar severa (*Alternaria alternata*) (Dal Bello y Perello, 1988) y pudrición blanda (*Sclerotinia sclerotiorum*) (Bradley *et al.*, 2005).

En Chile, en la X Región, la única enfermedad presente frecuentemente es *Sclerotinia sclerotiorum* que infecta las flores, y luego los frutos en desarrollo forman esclerocios (forma de supervivencia del hongo). Al reemplazar a las semillas, los esclerocios se mezclan con estas en el momento de la cosecha. Para *Sclerotinia sclerotiorum* no hay control, pero se puede prevenir evitando exceso de humedad en el follaje y las flores, reduciendo la densidad de la plantación y evitando la presencia de malezas.

### Rotaciones

La siembra de borraja puede realizarse sin problemas después del cultivo de cereales. Sin embargo, hay que considerar que la borraja es un cultivo altamente sensible a herbicidas residuales de la familia sulfonilureas (metsulfuron, triasulfuron, etc.),

comúnmente utilizados en trigo e incluso en barbechos químicos. Si se ha aplicado herbicidas de esta familia en dosis mayores a las recomendadas comercialmente o como barbecho probablemente la borraja presentará síntomas de fitotoxicidad.

El cultivo de borraja después de lupino es complicado ya que el exceso de rastrojo del lupino no permite un buen control de las malezas con el barbecho químico que se hace antes de la siembra, aumentando el problema de ellas durante el cultivo. También se ha observado un aumento de *Sclerotinia sclerotiorum* y probablemente otras enfermedades que aun no han sido identificadas.

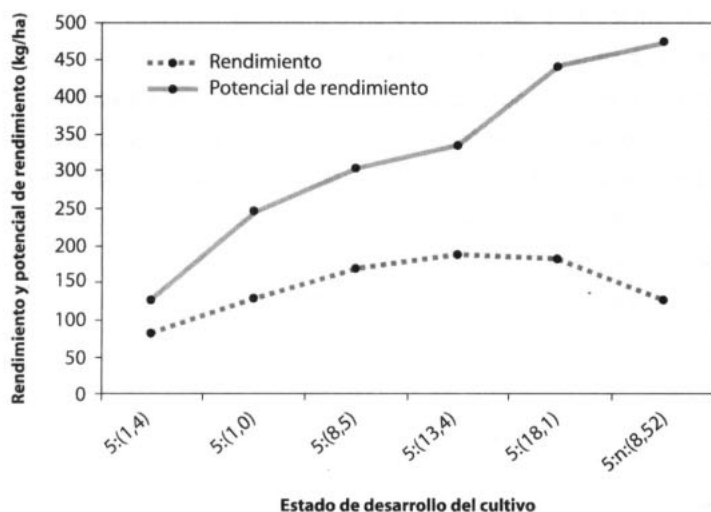
## COSECHA

### Procedimiento

Como momento óptimo de cosecha se recomienda aquel cuando las semillas entre la tercera a la sexta flor del eje principal están maduras (estados 5.3 a 5.6) (Berti *et al.*, 1998). También se puede colocar un paño blanco de 20 x 20 cm debajo las plantas y cuando sobre él hayan caído 3 semillas negras (maduras) en un mismo día el cultivo esta listo para ser segado. Es importante aclarar que el cultivo aún esta en plena floración cuando se debe segar.

Las plantas se cortan a 15 cm sobre el suelo con una segadora hileradora (windrower). El ancho del hilerado es importante para evitar un desgrane excesivo. Es posible aplicar desecante antes de la siega para acelerar el secado, pero debe ser con el consentimiento del comprador final del aceite, ya que en muchos países el uso de este no esta permitido. Una vez segado el cultivo se puede trillar aproximadamente siete días después, dependiendo de las condiciones climáticas.

De acuerdo a estudios realizados por Simpson (1993 b), con la siega previa a la cosecha aumenta el rendimiento de semillas en comparación al uso de desecantes (glifosato o paraquat).



**Fig. 6.** Rendimiento real y potencial de la borraja de acuerdo al estado de desarrollo del cultivo. (Berti, *et al.*, 1998).

### Rendimiento

El rendimiento de semillas es muy fluctuante, ya que depende mucho del momento de cosecha. La borraja potencialmente produce aproximadamente 500 a 1000 kg/ha, pero en la práctica y utilizando cosecha mecanizada el 70% de las semillas se desprenden y caen al suelo (Fig. 6). El promedio de rendimiento de semillas a productor es de aproximadamente 300 kg/ha.

### Calidad

El mercado internacional exige que la semilla de borraja contenga un 22% de GLA (ácido gamma linolénico) como mínimo para su comercialización. Es así, como las zonas en las que estos cultivos pueden ser producidos competitivamente y se cumple con la concentración de ácidos grasos requeridos están limitadas, principalmente, a Canadá, Inglaterra, norte de Estados Unidos, norte de China, Nueva Zelandia y sur de Chile (Lapinskas, 2000).

### Epoca y duración de la cosecha

La cosecha en la X Región generalmente se realiza entre las dos primeras semanas de diciembre y la primera semana de enero, dependiendo de las condiciones climáticas

de la temporada y la fecha de siembra. La cosecha mecanizada es rápida, ya que se puede segar hasta 50 hectáreas diarias sin problemas, dependiendo del equipo disponible.

## POST-COSECHA

### Selección

La semilla debe limpiarse, separando los restos de plantas, las semillas de malezas, piedras, esclerocios de hongos y otras impurezas que reduzcan la calidad final del aceite.

### Procesos

#### Secado

Una vez trillada la semillas es importante secarla de inmediato (incluso en el campo) para evitar el deterioro del aceite. La humedad de almacenaje es de 8%.

#### Producto final

El aceite refinado y desodorizado para su comercialización final debe tener las características indicadas en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Características organolépticas y físicoquímicas del aceite de borraja.

| CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS |                                         |
|--------------------------------|-----------------------------------------|
| Color                          | Amarillo pálido con un leve tinte verde |
| Olor                           | Característico                          |
| CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS |                                         |
| Densidad a 20°C                | 0.905 – 0.925                           |
| Índice de refracción a 20°C    | 1.4710 – 1.4790                         |
| Acidez                         | < 5.0                                   |
| Valor peróxido                 | < 5.0                                   |
| Ácidos grasos libres (%)       | < 2.0                                   |
| Ácido gamma linolénico (%)     | > 22.0                                  |
| Valor de saponificación        | <180                                    |
| Índice de yodo (CALC)          | 130-150                                 |

[http://www.biochemica.com/data\\_sheets/spec\\_sheets/Exotic\\_Oils/borage\\_oil\\_specs.pdf](http://www.biochemica.com/data_sheets/spec_sheets/Exotic_Oils/borage_oil_specs.pdf)



**Resultados obtenidos en Chile**

Los distintos ensayos realizados en la zona centro-sur estuvieron orientados a la búsqueda de zonas agroclimáticas en las que en la semilla se alcanzara el contenido mínimo de GLA exigido por las empresas compradoras de semillas. De todas las localidades evaluadas, sólo se logró contenidos de aceite superiores al 30% y de GLA mayores al 22 % en localidades al sur de Mafil, X Región (Cuadro 9). Sin embargo, es importante destacar que en algunos años (2002 y 2003), donde se registraron temperaturas excesivamente altas durante la floración y la cuaja los contenidos también fueron menores a lo esperado, incluso en la X Región.

**Cuadro 9.** Resumen de los resultados de adaptación de borraja desde el año 1997 al 2003 en diferentes localidades en el sur de Chile

| LOCALIDAD | AÑO  | LATITUD  | RENDIMIENTO DE SEMILLAS (kg/ha) | GLA (%) | CONTENIDO DE ACEITE (%) |
|-----------|------|----------|---------------------------------|---------|-------------------------|
| Chillán   | 1997 | 36°26" S | 189.9                           | 18.46   | —                       |
| Chillán   | 1999 | 36°26" S | 402.3                           | 22.20   | 33.1                    |
| Chillán   | 2001 | 36°26" S | 431.1                           | —       | —                       |
| Chillán   | 2002 | 36°26" S | 72.4                            | 14.8    | 24.8                    |
| Mafil     | 2000 | 39°85" S | 352.9                           | 21.5    | 32.4                    |
| Mafil     | 2002 | 39°85" S | 540.0                           | 26.7    | 30.7                    |
| Remehue   | 2002 | 40°30" S | 142.0                           | 17.1    | 29.5                    |
| Puyehue   | 2001 | 40°38" S | 88.3                            | 24.9    | 31.2                    |
| Rupanco   | 2002 | 40°39" S | 106                             | 19.8    | 27.9                    |
| Crucero   | 2002 | 40°40" S | 190                             | 18.2    | 30.7                    |
| P.Octay   | 2002 | 40°48" S | 300                             | 30.5    | 23.9                    |
| P.Varas   | 2001 | 41°05" S | 349.4                           | 26.9    | 31.0                    |
| I. Quihua | 2001 | 41°83" S | 66.4                            | 24.8    | 32.0                    |

GLA = ácido gamma linolénico

## LITERATURA CITADA

Alonso, J.R. 1998. Tratado de fitomedicina: Bases clínicas y farmacológicas. ISIS Ediciones S.R.L. Buenos Aires, Argentina.

Arteaga, L., E. Rodríguez-Cerezo, C. Maestro, and F. García-Arenal. 1988. Detection and characterization of an isolate of cucumber mosaic virus (CMV) infecting borage (*Borago officinalis*) in Spain. *Plant Dis.* 72 (3):265-267.

Bradley, C. A., L.E. Del Rio, C.D. Chesrown, and B.L. Johnson. 2005. First report of soft rot (*Sclerotinia sclerotiorum*) in borage in North Dakota. *Plant Dis.* 89 92):208.

Berti, M., J.P. Joublan, H. Serri, y M. González. 1998. Determinación de la fecha de cosecha en el cultivo de borraja (*Borago officinalis* L.). *Ciencia Inv. Agraria* 25:119-126.

Berti, M., R. Wilckens, S. Fischer, and R. Araos. 2002. Borage: A new crop for Southern Chile. p. 501-505. In J. Janick and A. Whipkey (eds.). *Trends in New Crops and New Uses: Strength in Diversity*. ASHS Press, Alexandria, VA.

Dal Bello, G.M., and A.E. Perello. 1988. Severe blight of *Borago officinalis* L., a new disease caused by *Alternaria alternata* (Fr.) Keiss. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid. *Invest. Agrar. Prod. Prot. Veg.* 3 (3):347-354.

El Hafid, R., S.F. Blade, and Y. Hoyano. 2002. Seeding date and nitrogen fertilization effects on the performance of borage (*Borago officinalis* L.). *Ind. Crops Prod.* 16:193-199.

Giménez, R. 2005. Determinación de los flujos principales de floración y fructificación de dos cultivares contrastantes de *Borago officinalis* L. Tesis de grado. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

Hamrouni I., S. Touati, and B. Marzouk. 2002. Lipid evolution of borage seeds during the formation and the ripeness. *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse* 79(4):113-118.

Kies, C. 1989. Evening primrose oil: A source of gamma-linolenic acid. *Cereal Foods World* 34:1016-1020.

Lapinskas, P. 2000. Omega-6 fatty acids - What, why, where and how? Presented at: A fitter future for fats? Leatherhead Food Research Association, Leatherhead, England. [www.lapinskas.com](http://www.lapinskas.com) [consulta: 15 mayo, 2005].

Mallor, C., M. L. Arteaga, M. A. Cambra, and S. Fernández-Cavada. 2002. Natural infection of field-grown borage (*Borago officinalis*) by Alfalfa mosaic virus in Spain. *Plant Dis.* 86(6):698.

Müller, E. 1999. 100 Heilpflanzen selbst gezogen. Anbau-Ernte-Anwendung. Leopold Stocker Verlag, Graz., Austria.

Nicholls, F. 1996. New crops in the U.K.: From concept to bottom line profits. p. 21-26. In J. Janick (ed.). *Progress in new crops*. ASHS Press. Alexandria, VA.

O'Neill, T. M., P. Gladders, and R. T. A. Cook. 1991. Powdery mildews on borage (*Borago officinalis*) and evening primrose (*Oenothera biennis*). *Plant Pathol.* 40 (3):478-479.

Preece, T. F., and S. Preece, 1993. *Entyloma serotinum* causing smut disease of borage in Britain. *Mycologist* 7(3):112.

Richardson, W.G., and T.M. West. 1986. Tolerance of evening primrose (*Oenothera biennis*) and borage (*Borago officinalis*) to preemergence herbicides. *Test of Agrochemicals and Cultivars* 7:138-139.

Sayanova, O., P.R. Shewry, and J.A. Napier. 1999. Characterization and expression of a fatty acid desaturase from *Borago officinalis*. *J. Exp. Bot.* 50 (332):411-412.

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

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

Stobart, R.M., and M.J.A. Simpson. 1999. Evaluation of herbicides for broadleaf weed control in borage (*Borago officinalis* L.). Test of Agrochemicals and Cultivars 20:22-23.

Thijs, C., A. van Houwelingen, I. Poorterman, A. Mordant, and P. van den Brandt. 2000. Essential fatty acids in breast milk of atopic mothers: comparison with non-atopic mothers, and effect of borage oil supplementation. European J. Clinical Nutr. 54 (3):234-238.

Wright, S., and J.L. Burton. 1982. Oral evening primrose seed oil improves atopic eczema. Lancet 2 (8308):1120-1122.

### **Páginas web de interés**

[www.lapinkas.com](http://www.lapinkas.com)





**Figura 7.** Cultivo floreciendo(A), flores (B), cosecha mecanizada (c), material hilerado secándose (D).







# Calabaza

**Nombre Común:**

Calabaza aceitera.

**Nombre Científico:**

*Cucurbita pepo* convar. *citrullina* var. *styriaca* (syn. *Cucurbita pepo* subsp. *pepo* convar. *pepo* var. *styriaca*; *Cucurbita pepo* convar. *giromantiina* var. *oleifera*).

**Otros Nombres:**

hull-less pumpkin, naked pumpkin, medicinal pumpkin (inglés), steirischer Ölkürbis, schalenloser Ölkürbis (alemán).

**Familia:**

Cucurbitaceae.

**Centro de Origen:**

Norteamérica (México y E.E.U.U.) (Schuster, 1977).

**Distribución geográfica:**

Tanto el uso comestible de las semillas de cucurbitáceas, como la obtención de aceite a partir de ellas, es una práctica antigua en Africa, China y América, desde donde fue llevada a Europa en la Edad Media. Una mutación de *Cucurbita pepo* L., ocurrida hace más de 100 años en América, le dio la característica de producir semillas sin testa (cáscara) lignificada, permitió desarrollar el cultivo como oleaginosa comercial, aumentando considerablemente la eficiencia de la extracción de aceite. Actualmente, su principal área de producción está localizada en el centro y este de Europa, específicamente el sur de Austria (Styriaca), Hungría y Eslovenia (Berenji y Paap, 2000). En el último tiempo ha aumentado la superficie cultivada en China, desde donde se exporta a Europa. Sin embargo, la semilla es más pequeña y tiene la testa lignificada.

### Descripción botánica

Es una planta dicotiledonea, herbácea, anual, de día corto, monoica (flores femeninas y masculinas en la misma planta), rastrera, que forma guías largas. Desde la base de la planta se desarrolla un eje principal y a partir de los primeros nudos se desarrollan ramas secundarias, las cuales producen una mayor proporción de flores femeninas respecto del eje principal. En cada nudo se ubica una hoja, un zarcillo y una vez iniciada la fase reproductiva, también una flor solitaria. La flor pentámera es de color amarillo intenso, grande, con forma de embudo, produce mucho néctar y requiere de polinización cruzada (Berger s/f). La flor ubicada en los primeros 10 a 20 nudos del eje principal es siempre masculina, para luego dar paso a la aparición de flores femeninas alternadas con masculina, sin un patrón fijo en la proporción entre ambas. Pueden llegar a desarrollarse entre 100 a 200 flores por planta. El fruto maduro pesa entre 4 y 12 kilos (Chile), aunque se han reportado pesos mayores en Europa. Su pulpa es muy fibrosa y contiene numerosas semillas.

La mutación que se produjo hace más de 100 años e informada en 1934 (Loy, 1990), implicó que las cuatro capas celulares externas de la semilla no se engruesan ni lignifican. A partir de estas plantas se seleccionaron cultivares comerciales con semillas libres de testa (sólo testa pergaminosa). La semilla es ovalada y de color verde oliva ennegrecido, con un alto contenido de aceite y proteína (Berger s/f), que corresponde a un 1.5 a 3.0 % del peso fresco total del fruto. El fruto contiene entre 200 a 400 semillas, lo que equivale a 40 a 80 g de semilla por fruto (Schuster, 1977).

### Composición química

La semilla de calabaza aceitera es una de las especies con más alto contenido de aceite (40-50%) y proteína (36-39%) en la familia Cucurbitaceae (Schuster *et al.*, 1983; Abak *et al.*; 1999; Bavec *et al.*; 2002). La mayor parte de los ácidos grasos que componen el aceite son insaturados: ácido linolénico (>55%) y ácido oleico (15-25%). Además, el aceite contiene ácido palmítico, 10 a 25%, y esteárico, 3 a 6%. Otra fuente menciona rangos de 10.3 a 11.7 % de ácido palmítico, 4.1 a 5.4 % de ácido esteárico, 30.5 a 40.8 % de ácido oleico y 42.1 a 51.5 % de ácido linoleico (Murcovich *et al.*, 1999).

La semilla tiene un alto contenido de vitamina E, B1, B2, B6, A, C y D, carotenos, escualeno, potasio, selenio y fitoesteroles (Berger s/f). El escualeno es un constituyente característico que se usa como marcador para diferenciar este aceite del prove-

niente de otras semillas. Su contenido de selenio, entre 0.08 y 0.4 mg/ g , es uno de los más altos encontrados en plantas. El contenido de esteroides varía entre 0.10 y 0.23%. En el aceite de calabaza predomina el  $\gamma$ -tocoferol, siendo 5 a 10 veces mayor al contenido de  $\alpha$ -tocoferol. El humano puede absorber todas las formas de tocoferol ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ), pero el  $\alpha$ -tocoferol se retiene en mayor cantidad en el cuerpo. Aunque no está del todo claro a cual de los componentes se debe el efecto prostatotrópico, hay consenso de que una combinación de varios de sus componentes, en particular el nivel de los fitoesteroides, sería el responsable de él. Estos últimos serían responsable de la actividad antiinflamatoria que ejerce el extracto de la semilla (Bombardelli y Morazzoni, 1997; Kuhlmann *et al.*, 1999).

Por otra parte, las proteínas tienen un valor biológico moderado en comparación con la proteína animal. La globulina presente tiene un contenido relativamente bajo de treonina, leucina, lisina y metionina (Schuster, 1977).

### Usos

Se menciona el uso del aceite (cápsulas) en el tratamiento profiláctico de la hiperplasia prostática benigna, cistitis y debilidad de la vejiga (Kuhlman *et al.*, 1999), como también en el tratamiento de la arteriosclerosis y la hiperlipoproteinemia relacionada a la dieta. Se le asignan, además, propiedades antiinflamatorias (Bombardelli y Morazzoni, 1997). Se indica su utilidad en el control de parásitos intestinales, como semilla entera, molida o encapsulada (Schuster, 1977; Bombardelli y Morazzoni, 1997). La semilla tostada y salada se usa en la fabricación de pan especial y como snack en los Balcanes, en América, China y en los países árabes (Abak *et al.*, 1999; Berenji y Paap, 2000; Follet, 2002).

El aceite prensado en frío es considerado una Delikatesse y es usado para aderezar ensaladas. Se requieren 2.2 a 2.4 kg de semillas secas para obtener un litro de aceite (Berger, s/f). Por su inestabilidad a altas temperaturas no puede usarse para cocinar (Murkovic *et al.*, 1999). Su producción está restringida a Austria, ya que este país cuenta con denominación de origen para este producto (Gruber, s/f).

El fruto, como producto secundario, puede ser usado en la alimentación de vacunos y cerdos, tanto fresco como ensilado (Schuster, 1977).

### Antecedentes de mercado

Aunque no existe información oficial respecto a los volúmenes transados y precios, se cuenta con información recogida de actores activos en el rubro. Hasta finales de la

década de los 90 en Europa se pagaba hasta US\$ 2.5 por kilo de semilla seca (8 a 10% de humedad). Sin embargo, desde hace un par de años el mercado dejó de ser atractivo debido al ingreso al mercado de aceite ofrecido por empresas francesas, con valores que alcanzan sólo al 50 a 60% del valor mencionado anteriormente.

## MANEJO DEL CULTIVO

### Requerimientos de suelo y clima

La planta es de día corto y sensible a las heladas (Berger, 2005). Su temperatura base es de 15°C. El pH adecuado de suelo varía entre 6.0 a 6.5 (Follet, 2002). Tiene gran capacidad de adaptación a un clima seco y caluroso, debido a un mecanismo de inhibición de la respiración.

También se adapta a una amplia gama de suelos, pero no tolera aquellos muy arcillosos, con mal drenaje, ni compactados. Los mayores rendimientos se obtienen en suelos franco a franco-arcilloso, con gran cantidad de materia orgánica. A pesar de la resistencia a la sequía, para una buena producción se requiere de abundante agua después del inicio de la floración (diciembre en Chile).

### Cultivares ofrecidos en el mercado

En Austria son comunes los cultivares Gleisdorfer Ölkürbis y Wies 371. En Hungría se han desarrollado variedades, producto de la cooperación entre dos instituciones mejoradoras (ÖKI-Szarvas y Agroselect). En la literatura familiar se nombran las variedades Kakai, Futo y Oliva (Kuhlmann *et al.*, 1999). Schuster *et al.* (1983) trabajaron con los cultivares Giessener, Tschermak's Ölkürbis, Stamm N° 6/75B y los híbridos Kürbrid y Hybrid 3/76=Comet. 'Giessener' y los dos híbridos fueron desarrollados en Alemania en la Universidad de Giessen, mientras que el último de los cultivares nombrados es el resultado de las cruza que realizó el Dr. Schmidt en Weilburg/Lahn (Alemania). Para responder a los requerimientos de un cultivo mecanizado en 1995 el Instituto Novi Sad (Yugoslavia) desarrolló el cultivar Olivia (Berenji y Paap, 2000). En la literatura no se encuentra una caracterización de cada uno de los cultivares mencionados.

## Desarrollo y crecimiento

La planta emerge rápidamente, en no más de una semana, si se siembra en la fecha adecuada. Existen dos hábitos de crecimiento: rastrero y arbustivo. En el primer caso, el eje principal crece hasta formar una guía de hasta 5 m de largo. Desde la base de la planta salen numerosos brotes laterales, que aumentan en número y longitud a medida que avanza la temporada. Loy (1990) indica que los genotipos arbustivos parecen ser más productivos por tener un mayor índice de cosecha y una mayor adaptabilidad para realizarse cultivos en alta densidad. Además, los frutos cuajan más precozmente y cerca a la base de la planta, madurando más uniformemente y cosechándose más temprano.

El componente de rendimiento más importante para el peso de semilla por fruto es el número de semillas por fruto. De ahí la importancia de una buena polinización del cultivo. Como para toda las cucurbitáceas, se recomiendan mínimo 2 colmenas por hectárea y como ideal 6 a 8. Por ser plantas monoicas y de polen pesado presentan polinización cruzada y entomófila. Existe un desfase entre la floración masculina y femenina. Las flores masculinas se forman (diferencian) desde muy temprano en la planta mientras que las femeninas aparecen recién en el 15° a 20° nudo.

El primer fruto que cuaja demanda toda la energía de la planta. Una vez alcanzado el 50% de su tamaño final recién es posible que cuaje un nuevo fruto en esa planta. Sin embargo, el gran tamaño y peso de los frutos generalmente imposibilita obtener más de 1.5 frutos por planta. El primer fruto cuaja aproximadamente 45 días después de la emergencia y está maduro 60 días después de la cuaja, aunque debe dejarse expuesto a la intemperie para que termine de madurar la semilla.

## Propagación

Se propaga por semillas pudiendo hacerse siembra directa o almácigo y trasplante. Bavec *et al.* (2002) no encontraron diferencia entre sembrar semillas secas o pregerminadas, pero sí al establecer almácigos en vez de hacer una siembra directa. Con plantas de almácigo obtuvieron mayor rendimiento de frutos (número y peso) y semillas por hectárea. El aumento del rendimiento de semillas fue de 68% respecto de la semilla seca y 32% respecto de la pregerminada. Sin embargo, es necesario hacer un análisis económico para decidir si la implementación del trasplante es rentable.

El pregerminado consiste en poner las semillas en cámara húmeda en un sustrato (por ejemplo, turba) a 22°C por 3 días y luego sembrarlas a 3 cm de profundidad en el terreno definitivo (Bavec *et al.*, 2002). El almácigo se hace en bandejas de poliestireno



expandido, de 135 cavidades, y se trasplanta con dos hojas verdaderas. No debe estar más desarrollado, porque sino la plántula se estresa y se afecta negativamente el desarrollo y rendimiento del cultivo. Cien semillas pesan entre 14 y 20 g (Dachler y Pelzmann, 1989), mientras que en Chile pesan aproximadamente 22 a 26 g.

### **Fecha de siembra y/o plantación**

El establecimiento en Chillán, ya sea por siembra directa o trasplante, se realiza en primavera: segunda quincena de octubre a principios de noviembre. A gran escala es preferible la siembra directa. Sin embargo, como la semilla carece de una testa es fácilmente atacada por insectos del suelo, especialmente la larva de la mosca (*Delia platura*). Por ello, se debe tratar las semillas con insecticidas de suelo previo a la siembra. La dosis de semillas para la siembra directa fluctúa de 4 a 6 kg/ha. Considerando que la semilla tiene sobre un 95% de germinación y 100 semillas pesan aproximadamente 22 g (Chile), se pone sólo una semilla por golpe a una profundidad de 3 cm y con una población de alrededor de 20 000 plantas/ha. También se pueden poner dos semillas por golpe y ralear después de la emergencia.

### **Marco de plantación**

Las hileras se separan a 1.6 a 2.1 m entre sí ó a 1.8 a 2.2 m (Dachler y Pelzmann, 1989; Steinwider, s/f) y la distancia sobre la hilera es de 0.3 a 0.4 m, para las variedades rastreras. Para las variedades arbustivas se puede usar marco de plantación más estrecho y simétrico.

Existe una relación significativa entre la densidad de plantas y el rendimiento de semillas por planta (negativa) y el rendimiento de semillas por unidad de superficie (positiva). A su vez, Loy (1990) trabajando, principalmente, con variedades arbustivas y densidades entre 7000 y 36000 plantas/ha encontró que disminuyó el peso de semillas por planta en un 55% y un aumento del 60% en el peso de semillas/m.

### **Preparación de suelo**

La preparación de suelo es similar que la requerida en otros cultivos. Se realizan labores de rastraje en otoño (abril) y a salidas de invierno (agosto). Si es necesario se puede pasar primero un arado cincel para soltar el suelo. En septiembre se realiza una labor más profunda con un implemento rastra de resorte y rotovator, teniendo cuidado de que no haya exceso de humedad en el suelo para esta última labor. No se requiere un mullimiento muy fino, que podría causar gateo de la semilla.

## Fertilización

La fertilización debe ser balanceada, dirigida a un buen llenado de semilla y que no promueva un crecimiento vegetativo excesivo que pudiera afectar la cuaja de frutos, la cantidad de semilla por fruto y atrasar la madurez (Dachler y Pelzman, 1989; Steinwider, s/f). La absorción de nutrientes por parte del cultivo para un rendimiento de 1000 a 1200 kg/ha de semilla es para N/  $P_2O_5$ /  $K_2O$ /  $CaO$ /  $MgO$  de: 260/ 50/ 420/ 280/ 44 kg/ha, respectivamente, evaluada en Europa Central (Schuster, 1977). A partir de esta información y conociendo el contenido específico de un suelo se debe ajustar la fertilización caso a caso. El nitrógeno se debiera aplicar en su totalidad previo a la floración, ya que en cultivos oleaginosos tales como la maravilla se ha demostrado que aplicaciones previas al inicio de la floración influyen sobre la composición de los ácidos grasos en la semilla madura. Así, también un exceso de nitrógeno aplicado en postantesis afecta negativamente y positivamente a los ácidos linoleico y oleico, respectivamente (Steer y Seiler, 1990). Por eso se sugiere poner el 50% de la dosis a la siembra o dos semanas previo a la siembra junto con el fertilizante fosforado y potásico y el 50% restante, 30 a 40 días después de emergencia (previo a la aparición de flores femeninas). La escasa literatura respecto a este cultivo coincide en recomendar dosis más bien moderadas de nutrientes, y específicamente para el nitrógeno valores inferiores a los 90 kg/ha (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Recomendaciones para la fertilización de calabaza aceitera en diferentes países.

| FUENTE                     | PAÍS      | N INICIAL | N<br>(kg/ha) | $P_2O_5$<br>(kg/ha) | $K_2O$<br>(kg/ha) | ENSAYO                |
|----------------------------|-----------|-----------|--------------|---------------------|-------------------|-----------------------|
| Aroiee y Omidbaigi (2004)  | Irán      | 0.009%    | 75           | —                   | —                 | Macetas (invernadero) |
| Bavec <i>et al.</i> (2002) | Eslovenia | -         | 80           | 120                 | 180               | campo                 |
| Steinwider (s/f)           | Austria   | -         | 0 - 90       | 100 - 120           | 120 - 160         | campo                 |
| Dachler y Pelzmann (1989)  | Austria   | -         | 40 - 60      | 80 - 120            | 120 - 160         | campo                 |

Aroiee y Omidbaigi (2004) evaluaron en plantas en maceta con suelo limo arenoso y bajo condiciones protegidas la respuesta a cinco dosis de nitrógeno (0 a 300 kg/ha) obteniendo el mejor rendimiento con la dosis de 75 kg N/ha. Con fertilizaciones excesivas de 225 y 300 kg N/ha las plantas no florecieron ni fructificaron.



## Riego

Se define como un cultivo de bajo requerimiento hídrico (Schuster *et al.*, 1983). No existe información concreta respecto a los requerimientos hídricos, ya que en la principal zona productora (Europa Central y Este) se realiza como cultivo extensivo y sin riego (abastecido sólo por lluvias).

## Control de malezas

El período crítico abarca los primeros dos meses después de la emergencia hasta que el cultivo, por su hábito de crecimiento lateral y hojas grandes, logra cubrir gran parte del suelo. El control mecánico (manual o mecanizado, por la gran distancia entre hileras y plantas) realizado en forma oportuna permite el cultivo sin aplicación de herbicidas. En caso de control químico puede usarse prometrina contra malezas dicotiledoneas y fluazifop-p-butil contra gramíneas (Dachler y Pelzmann, 1989). Este último debe aplicarse sobre las malezas cuando tienen dos a cuatro hojas. La prometrina está discontinuada en Chile. A pesar de que en Nueva Zelandia no hay herbicidas registrados para este cultivo, en superficies experimentales Follet (2002) ha usado herbicidas incorporados de presembrado, tales como alachlor y trifluralina, para controlar exitosamente malezas de hoja ancha y gramíneas.

## Plagas y enfermedades

Según los autores europeos las plagas y enfermedades, en general, no debieran causar un daño económico que justifique una intervención química (Dachler y Pelzmann, 1989). Común para este cultivo, como para otras cucurbitáceas, se mencionan el oidio o ceniza (*Erysiphe cichoracearum*), así como otras manchas foliares (*Sphaeroteca cucurbitae*, *Pseudoperonospora cubensis*). No se mencionan plagas importantes durante el crecimiento del cultivo (Dachler y Pelzmann, 1989). Follet (2002), por su parte, indica que para las condiciones de Nueva Zelandia el oidio debilita al cultivo y todos los años serían necesarias aplicaciones para controlarlo. Incluso sugiere un control preventivo que mantenga una canopia abundante y sana para proteger los frutos contra el sol.

Durante la postcosecha las semillas son atacadas por la polilla india de la harina (*Plodia interpunctella*), por lo que deben guardarse en recipientes duros y resistentes al ingreso del lepidóptero.

### Rotaciones

Puede ir después de cereales, pero no después de otras cucurbitáceas, como el melón, pepino o zapallo ni tampoco después de cultivos con fertilización excesiva (Dachler y Pelzmann, 1989) como, por ejemplo, remolacha.

### COSECHA

El cultivo dura 5 a 6 meses desde la siembra directa, por lo que estableciéndolo en la segunda quincena de octubre se cosecha en marzo a abril, según las condiciones climáticas de la temporada.

### Procedimiento

En el caso de una cosecha manual los frutos se parten y se extraen las semillas, que deben ser lavadas inmediatamente, ya que su descomposición es muy rápida. Se estila y orea y se pone a secar a 50 a 60°C hasta llegar a 8 a 10% de humedad (12-15 h) con aire forzado, exponiendo la semilla sobre rejilla de acero inoxidable (Dachler y Pelzmann, 1989). No se deben sobrepasar los 90 °C, ya que la semilla pierde su sabor nogado y se pone algo amarga.

### Rendimiento

En Austria cosechan entre 600 y 1000 kg/ha de semillas y 30 t/ha de frutos (para forraje) (Dachler y Pelzmann, 1989).

### Calidad

Deseable en el aceite es un alto contenido de ácido linoleico, vitamina E (tocoferol) y fitoesteroles, por sus efectos medicinales, nutraceuticos y para la estabilidad del producto (efecto antioxidante de la vitamina E). Sin embargo, existe una correlación negativa entre los dos primeros compuestos (Schuster *et al.*, 1983). La composición de los ácidos grasos en los vegetales depende de diversos factores, entre los que pueden mencionarse: variedad, localidad, clima, estado de madurez, fertilización (Steer y Seiler, 1990; Murkovic *et al.*, 1999).

Existe una correlación negativa estrecha entre ácido linoleico y oleico, debido a que este último, al desaturarse, se transforma en ácido linoleico. Su contenido final en el aceite depende de la temperatura reinante durante la maduración del fruto. A menor temperatura ambiental mayor es la acumulación de ácido linoleico, como podría

darse en una localidad con menor temperatura, en una temporada fría o en una cosecha tardía. Schuster *et al.* (1983) determinaron que hay una interacción entre el año y la localidad y el contenido de aceite, de ácido linoleico, de ácido oleico y de tocoferol.

En temporadas y localidades más frías se ha obtenido menor contenido de aceite y menor cantidad de  $\alpha$ - y  $\gamma$ -tocoferol (Schuster *et al.*, 1983; Murkovic *et al.*, 1999). El contenido de esteroides no dependen de factores tales como genotipo y localidad (Kuhlmann *et al.*, 1999).

Existe una correlación negativa entre contenido de aceite y contenido de proteína, aunque no tan marcada como en otras especies oleaginosas (Schuster *et al.*, 1983). La falsificación de aceite de calabaza puede detectarse por su contenido de escualeno (Berger, s/f). Cuando se mezcla con aceite de raps se detecta por el relativamente alto contenido de ácido linolénico (10% v/s 0.2 del aceite de calabaza), además de la presencia de ácido erúico. A pesar de que el aceite de raps tiene otros ácidos grasos en mayor cantidad, tales como el oleico y el linoleico, es el ácido linolénico el que acusa la mezcla. El mismo caso se da en la mezcla con aceite de canola (sin ácido erúico) al detectar un nivel de ácido linolénico por sobre un 0.7% (Wentzel, 1987).

China ha pasado a ser un importante proveedor barato de semillas de calabaza, pero se trata de semillas más pequeñas, con testa dura, peladas y cuyo aceite tiene una composición química diferente a aquel obtenido en el centro y este de Europa (Wentzel, 1987).

### **Epoca y duración de la cosecha**

El índice de madurez de cosecha corresponde a un fruto de color amarillo anaranjado o con un veteado amarillo/verde; cuando las hojas y las guías comienzan a senescer y el pedúnculo también está seco, las semillas son de color verde oliva oscuro, llenas y se separan fácilmente del tejido parenquimático (Berger, 2005).

En la zona centro sur de Chile la cosecha se puede comenzar en marzo, aunque se recomienda dejar los frutos al frío para que continúe la maduración de la semilla y se acumule aceite. Es razonable, entonces, pensar en una cosecha en abril. No es recomendable dejar los frutos demasiado tiempo en el campo en otoño, ya que aunque no sufran daño por frío ni heladas puede influir negativamente sobre la calidad del aceite.

La cosecha manual y la extracción manual de semilla son procesos lentos y altamente demandante en mano de obra. Previo a 1970 se desarrolló en Austria una máquina cosechadora específica para este cultivo, la cual es capaz de procesar una hectárea por día. Para que la máquina pueda operar es necesario primero hilerar los frutos. Desde 1989 existen en Austria las pick-up que recogen los frutos directamente del campo. La maquinaria moderna redujo las pérdidas a menos de 10% (Berger, 2005). No se dispone de antecedentes sobre la eficiencia de la maquinaria más moderna.

## **POST-COSECHA**

El aceite comestible, almacenado en oscuridad y a 8 a 12 °C, puede mantener sus propiedades durante 9 meses.

Si se quiere guardar semilla de calabaza como material de propagación es necesario considerar que la semilla no debe secarse a más de 60°C. No existe información en la literatura sobre la duración del poder germinativo de esta especie. Sin embargo, la experiencia en Chile indica que, al igual que otras cucurbitáceas, la calabaza aceitera puede mantener su poder germinativo por cinco años, almacenándose en un lugar fresco y seco (Escaff, 1993).

### **Selección**

Las semillas se limpian de restos de placenta para evitar impurezas en el aceite y se secan hasta un 8% de humedad.

### **Procesos**

El aceite medicinal así como el comestible se extrae por prensado en frío. Por cada litro de aceite se requieren 2.2 a 2.4 kg de semillas, las que se muelen junto con agua y sal hasta formar un puré. La sal estimula la separación del aceite y la proteína. La masa se tuesta por 30 minutos a 60 °C hasta que se evapora el agua. Luego se pasa la masa a una prensa donde es sometida a presiones de 300 a 350 bar para extraer el aceite. El material en suspensión (impurezas) se deja decantar por una semana o se elimina por filtración (Berger, s/f).

Producto final

Las presentaciones son como semilla seca (8-10% de humedad), granulada, encapsulada (molida) y el aceite medicinal en cápsulas (Cuadro 11). El aceite puede ofrecerse puro o en mezcla con otros aceites que tienen efecto medicinal (ej. *Serenoa repens*), vitaminas y minerales.

Cuadro 11. Características organolépticas y físico químicas del aceite de calabaza.

| CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS |                 |
|--------------------------------|-----------------|
| Color                          | Rojo verdoso    |
| Olor                           | Característico  |
| CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS |                 |
| Humedad final (%)              | 0.2             |
| Densidad a 20 °C               | 0.900 – 0.930   |
| Índice de refracción a 20°C    | 1.4730 – 1.4770 |
| Índice de acidez               | < 3.0           |
| Valor peróxido                 | < 5.0           |
| Índice de saponificación       | 180 - 200       |

Alban Muller International (1998).

Resultados obtenidos en Chile

La calabaza aceitera mostró una muy buena adaptación a las condiciones edafoclimáticas de la VIII Región (Chillán), no así a las de la X Región (Entre Lagos, Puyehue). En esta última, con un establecimiento a mediados de noviembre, hubo una lenta emergencia, no se obtuvo buena sobrevivencia de plantas, ni buen tamaño de fruto y éstos no alcanzaron a madurar.

La calabaza es una planta monoica, es decir presenta las flores masculinas y femeninas separadas en una misma planta y, como en toda cucurbitacea, las masculinas son las primeras en aparecer. En términos generales, las flores masculinas aparecieron muy tempranamente, entre el segundo y cuarto nudo. A los 53 días después de la siembra el 40% de las plantas presentó flores masculinas abiertas. Las flores femeninas aparecieron mucho después, entre los 89 y 96 días después de siembra. No se observó una relación entre los niveles de fertilización (tratamientos entre 50 y 90 kg/ha de N) y el inicio de floración femenina. La ubicación de la primera flor femenina mostró gran variabilidad, por ejemplo, entre el nudo 6 y el 20.

No hubo diferencias en precocidad de la cuaja del fruto entre distintos niveles de nitrógeno (entre 50 y 90 kg/ha) y de fósforo (entre 0 y 200 kg/ha) aplicados. Aproximadamente a los 66 días después de siembra, cuando las plantas tenían entre 2.6 y 3 m de largo y 18 a 19 hojas cuajó, en forma uniforme en todas las plantas, el fruto que finalmente se cosechó. En la minoría de los casos se desarrolló posteriormente un segundo fruto en la planta. Las distintas fertilizaciones nitrogenadas o fosforadas tampoco influyeron en el momento que el fruto alcanzó su máximo tamaño, es decir, el momento en que dejó de crecer y se inicia el llenado de la semilla. Esto ocurrió alrededor de 99 días después de siembra.

No hubo diferencia significativa en el rendimiento de semilla según la distancia entre hileras de 1.6 y 2.1 m, dejando fija la distancia sobre hilera en 0.3 m. Al obtener siempre entre 1 y 1.5 frutos por planta es preferible usar la menor distancia para intentar, por otros manejos no evaluados, tales como el uso de bioestimulantes, cantidad de colmenas de abejas, etc., aumentar el rendimiento de semilla por hectárea. En promedio, la semilla contiene sobre el 40% de humedad cuando se cosecha, por lo que hay que considerar los costos de secado para disminuir en el momento del procesamiento el contenido de humedad a un 8% en la semilla.

Entre varios niveles de fertilización nitrogenada (0 a 240 kg/ha) y fosforada (0 a 200 kg/ha), evaluados durante dos años, se determinó que en un suelo trumao (con 5 mg/kg de N inicial) una fertilización adecuada sería de 160 y 100 kg/ha de N y  $P_2O_5$ , respectivamente. El incremento de la aplicación de nitrógeno entre 0 y 160 kg/ha fue beneficiosa para el rendimiento de frutos y semillas por hectárea y la maduración de ambos en ambas temporadas (Cuadro 12 y 13, Fig. 6). Además, aumentó el contenido de aceite de la semilla de calabaza (45% en promedio) (Fig. 6 y 7). La parcialización del N en dos dosis iguales, distanciadas 40 días entre ellas, no tuvo ningún efecto en la sobrevivencia de plantas ni en la respuesta productiva ni cualitativa de la calabaza.

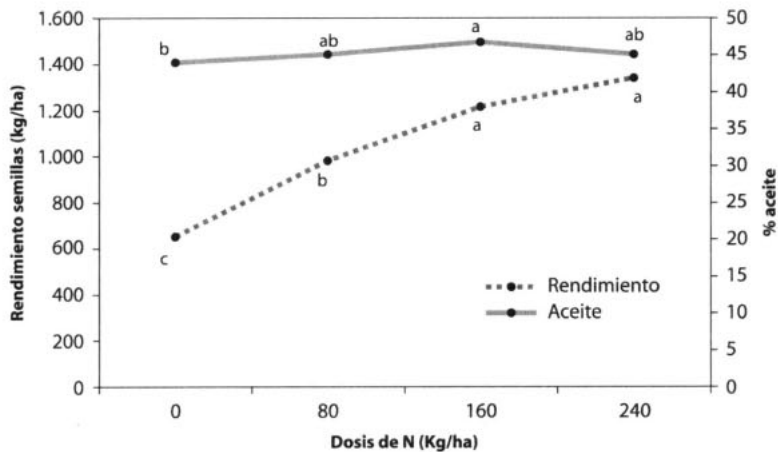


Fig. 6. Respuesta productiva de calabaza aceitera a cuatro fertilizaciones nitrogenadas en un suelo trumao (Chillán) con 5 mg/kg de N en la temporada 2002-2003.

Cuadro 12. Componentes del rendimiento de *Cucurbita pepo* cultivado en Chillán en la temporada 2002-2003, fertilizados con diferentes dosis de nitrógeno y fósforo.

| COMPONENTE                 | UNIDADES NITRÓGENO/ha |        |         |        | UNIDADES P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha |        |        |
|----------------------------|-----------------------|--------|---------|--------|--------------------------------------------|--------|--------|
|                            | 0                     | 80     | 160     | 240    | 0                                          | 100    | 200    |
| Número frutos/planta       | 1.08a                 | 1.09a  | 1.14a   | 1.23a  | 1.03a                                      | 1.2a   | 1.17a  |
| Número frutos/ha           | 15317b                | 15714b | 16905ab | 18810a | 15952a                                     | 16905a | 17202a |
| Rendimiento frutos (kg/ha) | 35794c                | 54127b | 66627a  | 75397a | 48542b                                     | 6270a  | 62946a |
| Peso semilla/fruto (g)     | 42.3b                 | 62.9a  | 72.3a   | 71.2a  | 56.6b                                      | 64.5ab | 65.8a  |

Letras iguales en sentido horizontal indican no hubo diferencia significativa al 5% entre tratamientos Prueba DMS (P > 0.05).

Cuadro 13. Efecto de la dosis de nitrógeno sobre los componentes de rendimiento de calabaza en la temporada 2004-2005.

| NITRÓGENO (kg/ha) | Nº FRUTOS/ PLANTA | RENDIMIENTO FRUTOS (t/ha) | FRUTOS INMADUROS (%) | RENDIMIENTO SEMILLA FRESCA (kg/ha) | RENDIMIENTO SEMILLA SECA (kg/ha) |
|-------------------|-------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 0                 | 1.0 a             | 13c                       | 58 a                 | 384b                               | 115b                             |
| 80                | 1.7 a             | 27bc                      | 25 b                 | 1031a                              | 482a                             |
| 160               | 1.9 a             | 39ab                      | 27 b                 | 1374a                              | 629a                             |
| 240               | 1.8 a             | 41a                       | 30 b                 | 1378a                              | 652a                             |
| CV (%)*           | 24.0              |                           | 18.8                 |                                    |                                  |

CV = coeficiente de variación.

Letras iguales en sentido horizontal indican no hubo diferencia significativa al 5% entre tratamientos Prueba DMS (P > 0.05).



En la temporada 2004-2005 tampoco se encontró interacción entre la dosis y parcialización de nitrógeno para ninguno de los parámetros evaluados, por lo que se analizaron sólo los efectos simples. De los parámetros evaluados el número de plantas y frutos por hectárea y frutos por planta (Cuadro 13) no fueron afectados por la dosis de nitrógeno. Todos ellos obtuvieron coeficientes de variación inferiores a 36.4%. Aunque estadísticamente el número de frutos por planta no mostró diferencias la experiencia indica que obtener más de 1.5 frutos/no es común, tanto aquí como en Austria (Schuster, 1977). Por lo tanto, los 1.9 frutos/planta obtenidos con la dosis de 160 kg N/ha fueron un muy buen resultado, a pesar de las dificultades que se presentaron durante el cultivo. Probablemente el alto valor se vio influenciado por el bajo número de plantas por hectárea. Al disminuir la competencia la planta pudo acumular más fotosintatos, lo cual se tradujo en un número mayor de frutos, por sobre los 1.2 normales para la zona en buenas condiciones de cultivo. Sin embargo, en la maravilla el momento y la cantidad de N afecta tanto el porcentaje como la composición del aceite (Steer y Seiler, 1990).

Se encontró diferencias estadísticas entre las dosis de nitrógeno para el rendimiento de frutos y semillas por hectárea y el porcentaje de frutos verdes al momento de cosecha (Cuadro 13). El rendimiento de frutos por hectárea fue mayor en las plantas fertilizadas con 160 y 240 kg N/ha. Este resultado no concuerda con el de Aroiee y Omidbaigi (2004), quienes trabajando con la misma especie en macetas encontraron que con dosis de N superiores a 225 kg/ha la planta permanece en estado vegetativo y no produce frutos. A su vez, en el tratamiento sin N se registró el mayor porcentaje de frutos verdes, lo cual se contradice con la opinión general de que un estrés (en este caso nutricional) adelanta la floración y maduración de los frutos como mecanismo de supervivencia. En las plantas sin fertilización nitrogenada en rendimiento de semilla tanto húmeda como seca fue significativamente menor que en el resto de los tratamientos, sin diferenciación entre las plantas que recibieron entre 80 y 240 kg N/ha. Es decir, no se encontró diferencias en el peso seco de semillas como sí lo hicieron Aroiee y Omidbaigi (2004). Esto coincide, en parte, con lo obtenido en el primer ensayo de fertilización nitrogenada realizado en 2002, en el cual se concluyó que los mejores resultados se obtuvieron con fertilizaciones de 160 kg N/ha. Del Cuadro 13 se puede deducir que en los frutos que se cosecharon (aunque esto no cambia la respuesta diferencial entre tratamientos) el contenido de humedad de las semillas fue de aproximadamente un 50%, excepto las semillas del tratamiento sin N nitrógeno, en que llegó a un 70%. Lo normal es cosechar con alrededor de un 40%, valor que se alcanza en mayo después de haber dejado los frutos en terreno.

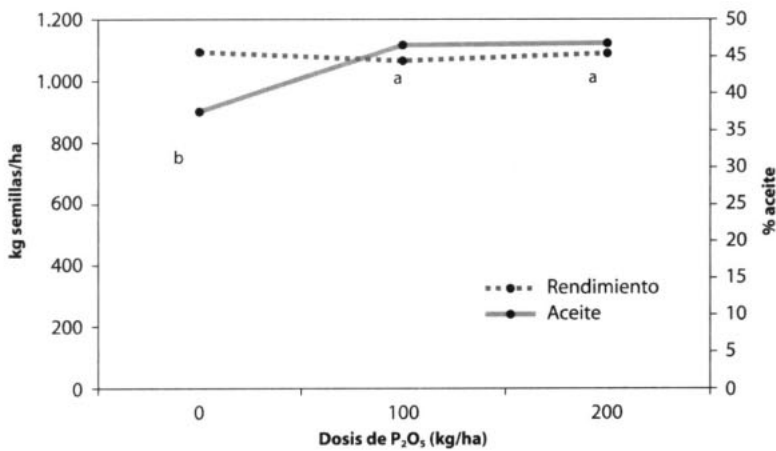


Fig. 7. Respuesta productiva de calabaza aceitera a tres dosis de fertilizante fosforado en un suelo trumao (Chillán) con 45 mg/kg de P-Olsen.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo indicado en la literatura, en que se menciona un rango de 40-50% de aceite (Schuster *et al.*, 1983; Abak *et al.*, 1999; Bavec *et al.*, 2002). En las muestras cosechadas la mayor proporción correspondió al ácido linoleico (C18:2) con un 50-51%, y ácido oleico (C18:1) con un 33-37%. Le siguieron en importancia el ácido palmítico, con un 11% y finalmente el ácido esteárico, con un 4 %, aproximadamente (Cuadro 14). Estos resultados coinciden con los rangos mencionados por Murcovich *et al.* (1999) y otros, quienes indican que el aceite contiene 42.1 a 51.5 % de ácido linoleico, 30.5 a 40.8 % de ácido oleico (C18:1), 10 a 25% de ácido palmítico (C16:0) y 3 a 6% de ácido esteárico (C18:0).

Cuadro 14. Producción de aceite en semillas de calabaza aceitera y composición de aceite según la cantidad de fertilizante nitrogenado aplicado y el momento de aplicación.

| TRATAMIENTO                | CONTENIDO ACEITE (%) | COMPOSICIÓN DE ACEITE (DISTRIBUCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS, %) |       |       |       |
|----------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                            |                      | C16:0                                                    | C18:0 | C18:1 | C18:2 |
| 0 kg/ha N                  | 40.77                | 11.5                                                     | 4.3   | 37.6  | 43.3  |
| 80 kg/ha N siembra         | 48.21                | 11.2                                                     | 4.3   | 33.5  | 50.9  |
| 80 kg/ha N 50% S, 50 % PF  | 44.70                | 11.4                                                     | 3.7   | 33.7  | 51.1  |
| 160 kg/ha N 100% S         | 48.47                | 12.6                                                     | 3.4   | 32.5  | 51.0  |
| 160 kg/ha N 50% S, 50 % PF | 53.32                | 11.1                                                     | 4.4   | 33.9  | 50.2  |
| 240 kg/ha N 100% S         | 47.97                | 11.2                                                     | 4.4   | 33.5  | 50.5  |
| 240 kg/ha N 50% S, 50 % PF | 43.06                | 11.7                                                     | 3.6   | 33.9  | 50.0  |
|                            | NS                   | NS                                                       | NS    | NS    | NS    |

S: siembra, PF: plena floración.

Se puede concluir que

1. Un incremento de la fertilización nitrogenada fue beneficioso para el rendimiento de frutos y semillas por hectárea y la maduración de ambos.
2. La parcialización del N en dos dosis iguales, distanciadas 40 días entre ellas, no tuvieron efecto sobre la sobrevivencia de plantas ni en la respuesta productiva ni cualitativa.
3. Desde el punto de vista agronómico la dosis más adecuada para el cultivo de calabaza sería 160 kg N/ha.
4. Desde el punto de vista económico el nitrógeno debiera aplicarse en un 100% a la siembra para disminuir los costos de operación, mientras que desde el punto de vista ambiental (contaminación de napas de agua) sería mejor aplicarlo en dos parcialidades.
5. La presencia de abejas es clave para el cultivo, siendo la cantidad mínima de colmenas por hectárea de dos y la ideal de seis.
6. La presencia de fósforo exógeno, independiente de la cantidad, afectó positivamente el rendimiento de semilla, siendo neutra la respuesta del contenido de aceite (Fig. 7). Hubo una respuesta a la fertilización fosforada, a pesar de que el suelo contaba con un altísimo nivel de P (45 mg/kg P-Olsen).
7. El rendimiento de semilla obtenido en la Provincia de Ñuble, con una variación entre 980 y 1800 kg/ha, fue superior al de Austria (Schuster 1977) y similar a los obtenidos en Eslovenia y Nueva Zelandia (Follet, 2002).

En cuanto al control de la mosca de la semilla (*Delia platura*), plaga importante por la ausencia de una testa lignificada como protección de la semilla, el insecticida imidacloprid (Punto 70 WP) aplicado en el momento de la siembra al suelo, fue el producto más efectivo para controlarla y lograr la mayor población de plantas definitivas, aunque ésta no fue satisfactoria (Fig. 8). Por pertenecer a una nueva generación de productos, que cumplen un alto estándar medioambiental, y ser, además, sistémico sería lo recomendable a futuro. La efectividad de los otros productos usados, con un costo muy inferior a imidacloprid, podría mejorarse significativamente incorporándolos al suelo varias semanas antes de la siembra. Específicamente en el caso del quitosano (derivado de la caparazón de crustáceos) debieran ser más de cuatro semanas. Los distintos productos insecticidas usados no influyeron estadísticamente significativo en el rendimiento y calidad de frutos ni semillas de calabaza aceitera.

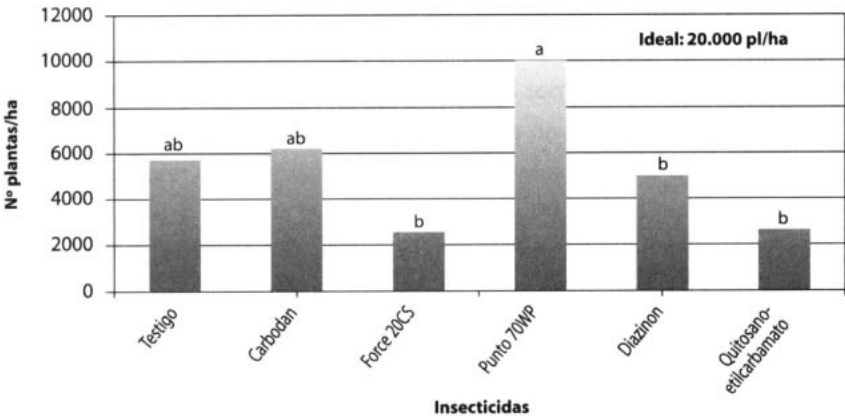


Fig. 8. Población final de plantas de calabaza obtenidas después de la aplicación de insecticidas para el control de la mosca de la semilla (*Delia platura*) en un suelo trumao de la VIII Región (Chillán).

La extracción de aceite por prensado en frío se presenta en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Resultados del prensado en frío de las semillas de calabaza en la temporada 2004-2005.

| MUESTRA          | PESO MUESTRA (g) | PESO ACEITE | PESO FILTRADO | PESO SÓLIDO | PESO TORTA (g) |
|------------------|------------------|-------------|---------------|-------------|----------------|
| Semilla Calabaza | 1300             | ***         | ***           | ***         | 1189           |

\*\*\*: No se obtuvo aceite del prensado.

Debido a que se presentaron problemas en la extracción de aceite de semillas de calabaza por prensado en frío, se repasó la torta más de tres veces y no se obtuvo aceite de las semillas. Posiblemente el problema se haya debido al pequeño tamaño de la muestra. En años anteriores se logró extraer aceite por prensado en frío, pero de una muestra a lo menos 3 veces más grande que la de este año. Por esa razón, se hizo una extracción Soxhlet (Cuadro 16).

Cuadro 16. Resultados de la extracción Soxhlet de la torta de semillas de calabazas en la temporada 2004-2005.

| MUESTRA             | PESO HÚMEDO (g) | HUMEDAD (%) | PESO SECO (g) | ACEITE (g) | RENDIMIENTO (%) |
|---------------------|-----------------|-------------|---------------|------------|-----------------|
| Semilla Calabaza(A) | 4.5             | 4.5         | 42.1          | 20.9       | 49.8            |
| Semilla Calabaza(B) | 7.5             | 4.5         | 45.4          | 22.9       | 50.4            |
| Promedio            | 6.0             | 4.5         | 43.8          | 21.9       | 50.1            |

\*\*\*: No se obtuvo aceite del prensado.

## LITERATURA CITADA

Abak, K., N. Sari, and B. Cetiner. 1999. Changes of protein, fat content and fatty acid composition in naked pumpkin seeds influenced by sowing time. *Acta Hort.* 492:187-192.

Alban Muller International. 1998. Pumpkin seed oil. [en línea]. [http://www.albanmuller.fr/english/p.huiles\\_vegetales/pepins\\_courge.html](http://www.albanmuller.fr/english/p.huiles_vegetales/pepins_courge.html) [consulta: 4 abril, 1999].

Aroiee, H., and R. Omidbaigi. 2004. Effects of nitrogen fertilizer on productivity of medicinal pumpkin. *Acta Hort.* 629: 415-419.

Bavec, F., L. Grič, S. Grobelnik-Mlakar, and M. Bavec. 2002. Production of pumpkin for oil. p.187-193. In J. Janick and A. Whipkey (eds.). *Trends in new crops and new uses*. ASHS Press, Alexandria, VA.

Berenji, J., and D. Paap. 2000. Interrelations among fruit and seed characteristics of oil pumpkin. *Proc. Cucurbitaceae 2000*. *Acta Hort.* 510: 101-104.

Berger, M. s/f. Kürbiskernöl. Die steirische Kernkraft. [en línea]. <http://homepage.sime.com/mpberger/kuerbis/kuerbis.html> [consulta: 8 marzo, 2005].

Bombardelli, E., and P. Morazzoni. 1997. *Cucurbita pepo* L. *Fitoterapia* 4: 291-302.

Dachler, M. und H. Pelzmann. 1989. Heil- und Gewürzpflanzen. Anbau – Ernte-Aufbereitung. Österreichischer Agrarverlag, Viena, Austria.

Escaff, M. 1993. Producción de plántulas de hortalizas. *Agroeconómico* 16:10-16.

Follet, J. 2002. Naked oil seed pumpkin. Crop and Food Research. [en línea]. <http://www.crop.cri.nz/home/products-services/publications/broadsheets/070oilpumpkin.pdf>. [consulta: 8 marzo, 2005].

Gruber, J. s/f. Grünes Gold in neuem Licht. Kürbiskernöl: ein Genuss für die Gesundheit. [en línea]. <http://www.uni-graz.at/communication/unizeit/archiv/vor1999/497/4-97-01.html> [consulta: 8 marzo, 2005].

Kuhlmann, H., U. Kötter, and C. Theurer. 1999. Sterol contents in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* convar. *citrullinina* var. *styriaca*) depending on genotype and location. Acta Hort. 492:175-178.

Loy, J.B. 1990. Hull-less seeded pumpkins: a new edible snackseed crop. p. 403-407. In: J. Janick, and J.E.Simon (eds.). Advances in new crop. Timber Press, Portland, Oregon.

Murkovic, M., A. Hillebrand, S. Draxl, J. Winkler, and W. Pfannhauser. 1999. Distribution of fatty acids and vitamin E content in pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* L.) in breeding lines. Acta Hort. 492:47-55.

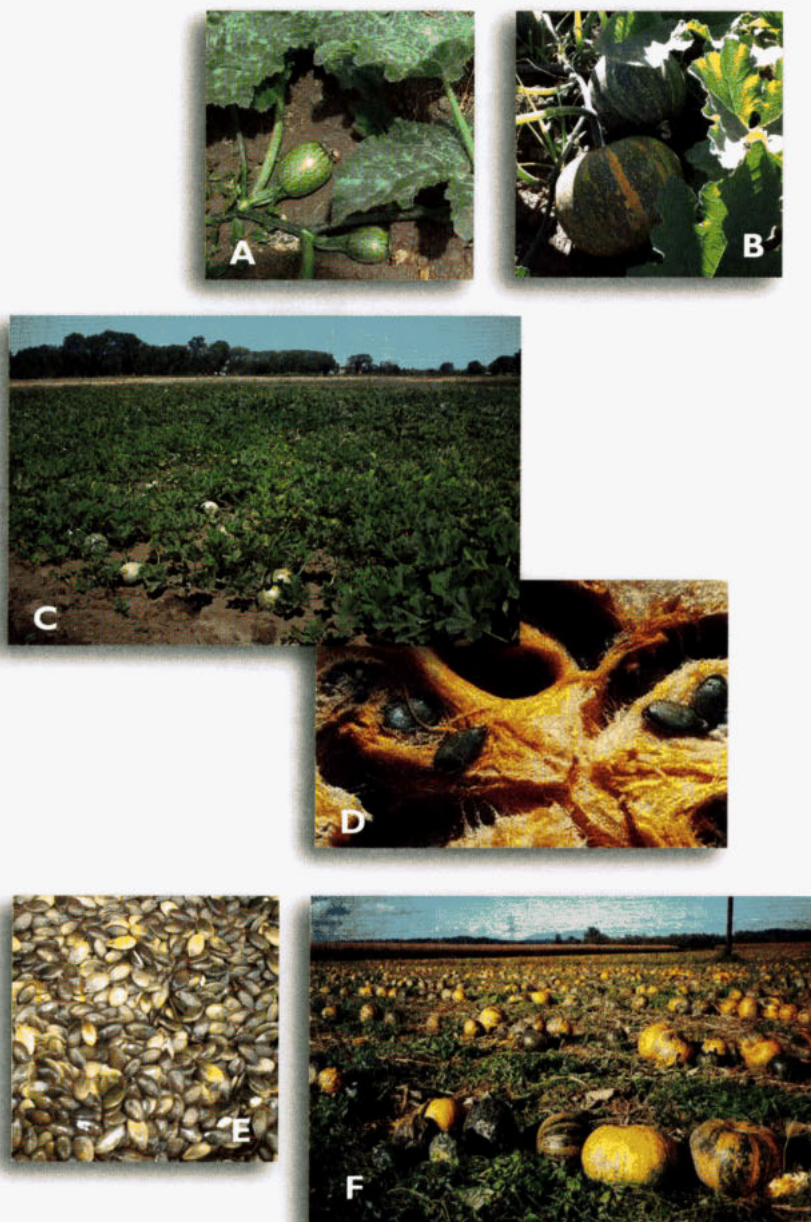
Schuster, W. 1977. Der Ölkürbis. Adv. Agron. Crop Sci. 4:5-53.

Schuster, W., W. Zipse und R. Marquard. 1983. Der Einfluss von Genotyp und Anbauort auf verschiedene Inhaltstoffe von Samen des Ölkürbis (*Cucurbita pepo* L.). Fette – Seifen – Anstrichmittel 2:56-64.

Steer, B.T., and G.J. Seiler. 1990. Changes in fatty acid composition of sunflower (*Heliantus annuus*) seeds in response to time of nitrogen application, supply rates and defoliation. J. Sci. Food Agric. 51:11-26.

Steinwider, J. s/f. Kulturanleitung "Steirischer Ölkürbis". Arbeitsgemeinschaft Steirischer Kürbis, Mureck, Austria. Boletín.

Wentzel, C. 1987. Neuere Studien über die Fettsäurezusammensetzung steirischer Kürbiskernöl. Ernährung 11:752-755.



**Figura 11.** Planta de calabaza con frutos pequeños (A), fruto desarrollado (B), cultivo (C), semillas en el fruto (D), secado de semillas (E), frutos maduros en el potrero (F).





# Caléndula



**Nombre Común:** Caléndula.

**Nombre Científico:** *Calendula officinalis* L.

**Otros Nombres:** Chinita, maravilla, vireina, clavel de muerto, copetuda (Cuba), pot marigold, english marigold o ringflower (inglés), Ringelblume (alemán).

**Familia:** Asteraceae (Compositae).

**Centro de Origen:** Originaria de la región del Mediterráneo y del norte de África.

**Distribución geográfica:** En la actualidad se encuentra distribuída en todo el mundo, principalmente como planta ornamental (Alonso, 1998).

### Descripción

La caléndula es una planta herbácea anual, pero puede comportarse como bianual en climas más templados. El tallo, ramificado, alcanza 30 a 60 cm de altura terminando en capítulos, en cuyos bordes se ubican las flores liguladas. Las hojas son alternas, sésiles, de forma lanceolada-espatulada (Brendler *et al.*, 1999). Los frutos son aquenios espinosos en forma de anzuelo o gancho, alados y orbiculares o vermiformes, que miden hasta 8 mm de largo y 2 mm de ancho (Isaac, 1992; Ming *et al.*, 1999).

### Composición de la semilla

La semilla contiene 17 a 20% de aceite, correspondiendo principalmente a ácido caléndico (51 a 64%) y un 34% de ácido linoleico. El ácido caléndico es un ácido trienoico conjugado altamente reactivo, que tiene un uso potencial como reemplazo del aceite de tung (Muuse *et al.*, 1992). Este último se extrae de las nueces del tung (*Aleurites fordii* y *A. montana*), ambos árboles tropicales.

### Usos

El ácido caléndico se utiliza en la manufactura de barnices y pinturas y cosméticos. Su potencial uso en la industria de pinturas, plásticos y cubiertas se debe a que el ácido caléndico es el ácido graso que se oxida más rápidamente de todos los que se conocen.

Actualmente su uso en cosmética es reconocido, elaborándose productos tan diversos, tales como pasta de dientes, shampoo, cremas, lociones, humectantes y otros productos en base a aceite de caléndula.

Sus derivados epoxiesteres, poliesteres y poliamidas tienen diversos usos en la industria del nylon (Hall, 1998). Sin embargo, no es aconsejable usarlo como lubricante debido a su alta reactividad.

### Antecedentes de mercado

La mayor parte del aceite de tung que se utiliza en Estados Unidos se importa desde China, la que alcanza a 5600 t/año. Por otro lado, también la importación a Inglaterra alcanza 5000 t/año, provenientes de China y América del Sur. La importancia del aceite de tung se debe a que por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados es utilizado en la fabricación de pinturas y tintas, incluso para pintura de embarcaciones. En Europa, el aceite de tung importado podría ser sustituido por 10.000 ha de cultivo

de caléndula, considerando un rendimiento de 2000 kg/ha, con un contenido de un 20% de aceite (Froment *et al.*, 2004).

### **Países productores**

Actualmente Holanda e Inglaterra son los únicos países productores. En Bélgica, Dinamarca, Alemania e Inglaterra se están realizando ensayos (IENICA, 2000).

## **MANEJO DEL CULTIVO**

### **Requerimientos de suelo y clima**

Requiere de lugares soleados y de preferencia con altas temperaturas durante el período de floración. Puede comportarse como planta bianual en climas cálidos de tipo mediterráneo, mientras que en climas más fríos es una planta anual (Isaac, 1992). Es resistente a las heladas y a pesar de ser poco exigente respecto al tipo de suelo, se desarrolla mejor en suelos ricos en materia orgánica (Isaac, 1992; Muñoz, 1993). No tolera bien el suelo muy seco o demasiado húmedo (Inaro, 2002).

### **Cultivares ofrecidos en el mercado**

La mayor parte de los cultivares ofrecidos en el mercado son para uso ornamental o como planta medicinal. Entre ellas se puede mencionar 'Little Ball', 'Avalon', 'Midas Orange', 'Balls Orange', 'Fiesta Gitana', 'Pacific', 'Tieforange Pacific', 'Claudia' y 'Oázis'. Las dos últimas son variedades húngaras de uso medicinal (Köck, 2001).

Las variedades ornamentales, en general, tiene menor rendimiento de semilla y menor contenido de aceite que aquellas desarrolladas para la producción de aceite, cuyos capítulos son más compactos y con achenios principalmente del tipo 'vermiforme'. Es así, como se ofrecen dos líneas mejoradas para la producción de semilla y aceite, CPRO-DLO 879144 y 880557, que en promedio producen un 16% de aceite y un rendimiento cercano a 2000 kg/ha (Froment *et al.*, 2004).

Además, es aconsejable cultivar variedades con capítulos semirelentos (con algunas hileras de flores liguladas por el borde del disco), ya que los frutos alados y en forma de gancho impiden que se desprendan los frutos vermiformes (Isaac, 1992).

### Mejoramiento

La mayor parte del mejoramiento de caléndula para uso industrial se ha realizado en Holanda por CEBECO.

### Desarrollo y crecimiento

Si la humedad del suelo es adecuada y la temperatura varía entre 15 y 20°C, la semilla germina entre 10 a 14 días (Ming *et al.*, 1999).

La caléndula tiene tres tipos de achenios (semillas). Los embriones de los frutos vermiformes son los más pequeños. Sin embargo, las plantas que se desarrollan a partir de los distintos frutos no presentan diferencias ni en forma ni en rendimiento de capítulos. De acuerdo a los resultados de Soto (2002) el mayor porcentaje de germinación se registró en achenios con forma de gancho. Además, para los tres tipos de achenios el porcentaje de germinación aumenta si estos se mantienen en oscuridad.

Para caléndula se ha desarrollado una escala de crecimiento y desarrollo, que identifica los diferentes estados (Cuadro 17) (Froment *et al.*, 2004).

### Fecha de siembra

En zonas con climas templados se obtienen buenos resultados con la siembra en otoño, ya que se inicia tempranamente la cosecha y se obtiene más capítulos florales y mayor rendimiento de semillas.

Si la planta se cultiva como anual en Chillán, el mayor rendimiento se obtiene con la siembra otoñal. Sin embargo, las plantas no mueren durante el siguiente invierno, aumentando considerablemente su rendimiento en el segundo año de producción (Berti *et al.*, 2003). De allí que se sugieran siembras en otoño en climas menos fríos (Isaac, 1992). En Inglaterra se prefiere la siembra primaveral (Spencer, 2004).

La caléndula se propaga mediante la siembra de achenios comúnmente llamados "semillas" y se realiza en forma directa. La semilla debe quedar entre 1 y 2 cm de la superficie, requiriéndose de 5 a 12 kg/ha de semilla (Inaro, 2002; Froment *et al.*, 2004). La semilla germina 5 a 15 días después de la siembra si las condiciones son apropiadas (Froment *et al.*, 2004).

El peso de 1000 semillas fluctúa entre 4 a 15 g (Angelini *et al.*, 1997; IENICA; 2002; Inaro, 2002).

Cuadro 17. Estados de desarrollo en *Calendula officinalis* L.

| ESTADO | NOMBRE                       | SUB<br>ESTADO | NOMBRE                                                                       |
|--------|------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 0      | Germinación                  | 1             | Germinación inicial                                                          |
|        |                              | 3             | 25% germinación                                                              |
|        |                              | 5             | 50% germinación                                                              |
|        |                              | 7             | 75% germinación                                                              |
|        |                              | 9             | Germinación completa                                                         |
| 1      | Emergencia                   | 1             | Emergencia inicial                                                           |
|        |                              | 3             | 25% emergencia                                                               |
|        |                              | 5             | 50% emergencia                                                               |
|        |                              | 7             | 75% emergencia                                                               |
|        |                              | 9             | Germinación completa                                                         |
| 2      | Desarrollo de la plántula    | 2             | Número de hojas verdaderas en pares                                          |
| 3      | Ramificación                 | 3             | Número de ramas hasta el primer botón floral                                 |
| 4      | Desarrollo de yemas florales | 1             | Primera yema floral detectable                                               |
|        |                              | 3             | Primera yema floral visible                                                  |
|        |                              | 5             | Primera yema floral emergida sobre las hojas superiores                      |
|        |                              | 7             | Primera yema floral completamente desarrollada                               |
|        |                              | 9             | Primera yema floral con flores liguladas visibles                            |
| 5      | Inicio de floración          | 1             | Primer capítulo floral abierto                                               |
|        |                              | 3             | Primer capítulo floral con polen                                             |
|        |                              | 5             | Primer capítulo floral con polinización completa                             |
|        |                              | 7             | Primer capítulo floral cerrado con lígulas aún frescas                       |
|        |                              | 9             | Primer capítulo floral cerrado con lígulas marchitas                         |
| 6      | Desarrollo de semillas       | 1             | Semillas del primer capítulo verdes y húmedas                                |
|        |                              | 3             | Primer capítulo con diferentes tipos de semillas visibles                    |
|        |                              | 5             | Primer capítulo con diferentes tipos de semillas completamente desarrolladas |
|        |                              | 7             | Primer capítulo con semillas de color verde pálido y duras                   |
|        |                              | 9             | Primer capítulo con semillas café y duras                                    |
| 7      | Maduración de capítulos      | 1             | 10% de las semillas de color café y secas                                    |
|        |                              | 3             | 25% de las semillas de color café y secas                                    |
|        |                              | 5             | 50% de las semillas de color café y secas                                    |
|        |                              | 7             | 75% de las semillas de color café y secas                                    |
|        |                              | 9             | 90% de las semillas de color café y secas                                    |
| 8      | Senescencia de hojas         | 1             | Senescencia inicial de hojas                                                 |
|        |                              | 3             | 25% de hojas marchitas                                                       |
|        |                              | 5             | 50% de hojas marchitas                                                       |
|        |                              | 7             | 75% de hojas marchitas                                                       |
|        |                              | 9             | 90% de hojas marchitas                                                       |
| 9      | Senescencia del tallo        | 1             | Decoloración inicial del tallo                                               |
|        |                              | 3             | 25 % de tallos decolorados                                                   |
|        |                              | 5             | 50 % de tallos decolorados                                                   |
|        |                              | 7             | 75 % de tallos decolorados                                                   |
|        |                              | 9             | 90 % de tallos decolorados                                                   |

Froment *et al.*, 2004.

### Marco de plantación

Se siembra en hileras a una distancia entre hilera de 12 a 25 cm. Si se utiliza control mecánico de malezas con cultivador se recomienda una distancia entre hilera de 50 cm. La densidad óptima es de 40 a 60 plantas/m<sup>2</sup> (Froment *et al.*, 2004; Spencer, 2004).

### Preparación de suelo

La cama de siembra puede afectar significativamente la emergencia del cultivo. Los residuos del cultivo anterior deben ser incorporados totalmente. Para ello se recomienda una aradura y rastraje de modo tal que la cama de siembra quede mullida, pero firme (Froment *et al.*, 2004).

### Fertilización

Se recomienda fertilizar con 50 a 100 kg N/ha, aplicado en dos parcialidades: la mitad a la siembra y la otra mitad previo a la floración; 25 a 75 kg P/ha como superfosfato triple (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), incorporado en el surco de siembra y entre 50 y 100 kg K<sub>2</sub>O/ha (Froment *et al.*, 2004).

En un ensayo realizado en Inglaterra se determinó que con 86 kg N/ha se obtuvo un máximo de 2330 kg/ha de semillas (ADAS Consulting, 2002).

El contenido de aceite en la semilla no varía si se aplica nitrógeno entre 0 hasta 200 kg/ha. Sin embargo, si se considera el rendimiento de aceite por hectárea este es del orden de 259 kg/ha sin aplicación de nitrógeno, y se incrementa a 400 kg/ha de aceite con 200 kg N/ha (ADAS Consulting, 2002).

### Riego

Se recomienda regar durante la primavera y el verano con la frecuencia requerida según las condiciones específicas. En Chillán, se regó cada dos semanas desde octubre hasta enero, lo cual correspondió entre 4 y 7 riegos en la temporada, obteniéndose buenos rendimientos (Berti *et al.*, 2003).

### Control de malezas

Existen herbicidas recomendados para caléndula, pero deben ser evaluados en Chile antes de utilizarlos. Se recomienda la aplicación de glifosato antes de la siembra para eliminar aquellas malezas que están emergiendo o malezas perennes. En presiembra, se puede aplicar trifluralina en dosis de 1 L/ha y para controlar gramíneas,



(i.a. quizalofop-p-tefuril) 1.5 a 2.0 L/ha, o cualquier otro gramínicida. También se ha evaluado el herbicida pendimethalin (600 g/ha) más propaclar (2 L/ha) y asulam (4 L/ha) con buenos resultados (Froment *et al.*, 2004).

### Plagas y enfermedades

En todas las localidades evaluadas en Chile no se ha observado ninguna enfermedad, fuera de oidio cuando las plantas empiezan a envejecer.

Mientras que en Europa se mencionan mildiú (*Sphaerotheca fuliginea*) (Spencer, 2004), *Alternaria* (Inaro, 2002), *Botrytis* y *Sclerotinia* (Garibaldi *et al.*, 2001; Froment *et al.*, 2004). En Estados Unidos, la calendula es afectada por Aster yellows, que es causada por un fitoplasma transmitido por langostinos. La enfermedad causa enanismo y deformación de los capítulos alcanzando hasta un 27% de plantas dañadas. Los capítulos de las plantas afectados por Aster yellows no producen semillas (Callan *et al.*, 2000).

La principal plaga son las larvas de *Copitarsia sp.*, que aparecen, principalmente, en primavera y se alimentan de los capítulos florales. Se controla con Fastac (i.a. alfacipermetrina) en dosis de 0.30 L/ha o Karate (i.a. lambdacihalotrín), en dosis de 0.15 a 0.20 L/ha. En Europa, también se han observado problemas con áfidos (Inaro, 1992).

### Rotaciones

Se recomienda una rotación de a lo menos 4 años con otras asteráceas (por ejemplo, maravilla) (Inaro, 2002) y de 6 años con caléndula (Froment *et al.*, 2004).

## COSECHA

### Procedimiento

Antes de cosechar, cuando un 80% de los capítulos estén de color café y el desgrane aun no sea importante, es aconsejable aplicar un desecante (paraquat o diquat, 3-4 L/ha) para uniformizar el cultivo. Aproximadamente una semana después de aplicado el desecante se trilla directamente. No es posible realizar una trilla directa sin la aplicación del desecante, ya que el hábito indeterminado de floración mantiene parte del cultivo verde y con alto contenido de humedad. La trilla debe ser lenta y la abertura del cóncavo debe ser suficiente para evitar dañar la semilla (Froment *et al.*, 2004).

Los rendimientos obtenidos al trillar después de la aplicación de un desecante o con hilerado previo no fueron significativamente diferentes. Sin embargo, se prefiere el primer método de cosecha mencionado, ya que la semilla queda más limpia (Breemhaar y Bouman, 1995a, 1995b).

### Rendimiento

El rendimiento de semilla fluctúa entre 700 y 3000 kg/ha (Cuadro 18).

**Cuadro 18.** Rendimiento de semillas de caléndula, contenido de aceite y de ácido caléndico en diferentes países y años de cultivo.

| PAÍS/AÑO                 | RENDIMIENTO<br>SEMILLAS (kg/ha) | CONTENIDO<br>ACEITE (%) | ACIDO CALÉNDICO<br>(%) |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Estados Unidos (Montana) | —                               | —                       | 49-54                  |
| España                   | 3000                            | 21                      | 60                     |
| Alemania                 | 910-1860                        | 17.4 -20.6              | —                      |
| Holanda                  | 2780                            | 16.5                    | —                      |
| Holanda                  | 1500-2500                       | 14-20                   | 55-60                  |
| Italia                   | 1140                            | 5                       | 37                     |
| Nueva Zelanda            | 3000                            | —                       | —                      |
| Inglaterra 1989-1992     | 780-1440                        | 15.2-18.0               | —                      |
| Inglaterra 1993          | 700-1730                        | 10.0-19.5               | —                      |
| Inglaterra 1994-1995*    | 1600-2180                       | 14.2-19.2               | 43-51                  |
| Inglaterra 1996          | 2000-2500                       | 16.6-19.2               | —                      |

Angelini *et al.*, 1997; Cromack y Smith, 1998; Callan *et al.*, 2000; Martín y Deo, 2000; Froment *et al.*, 2004; Spencer, 2004.

Las semillas representan entre el 85-90% del peso seco del capítulo y el índice de cosecha estimado es de 29% (Martín y Deo, 2000).

El rendimiento de aceite con 0 kg N/ha es del orden de 259 kg/ha y se incrementa a 400 kg/ha de aceite con 200 kg N/ha (ADAS Consulting, 2002).

### Calidad

No hay antecedentes al respecto.

### Época y duración de cosecha

La cosecha se realiza en Holanda e Inglaterra a mediados de agosto, lo que correspondería a febrero en Chile.

## POST-COSECHA

### Selección

Todo el equipo utilizado para transportar las semillas debe estar bien sellado para evitar la pérdida de éstas. Antes de secar y guardar las semillas estas deben ser limpiadas en un equipo de aire y harneros (Froment *et al.*, 2004).

### Procesos

#### Secado

El secado debe realizarse a menos de 43 °C y la semilla debe ser almacenada con menos de 9% de humedad (Froment *et al.*, 2004).

Antes de la extracción del aceite es conveniente someter las semillas a un tratamiento hidrotérmico. La extracción mediante un prepsado con una prensa Monfort es casi imposible, y la causa principal se debe al bajo contenido de aceite en el akenio (aprox. un 60 % corresponde a las paredes del fruto). Sin embargo, un prepsado de semillas parcialmente peladas, con una prensa de tornillo con colador, después de un calentamiento a aproximadamente 45°C permite la extracción sin que se afecte el contenido de ácido caléndico. El aceite que se obtiene es turbio, con un alto contenido de fósforo, hierro y agua (1240 mg P/kg aceite, 13.4 mg Fe/kg aceite, y 0.76 % H<sub>2</sub>O) por lo cual es necesario realizar un proceso de purificación del aceite bastante complicado. Al moler las semillas, el contenido de fósforo, hierro y agua disminuye, pero se dificulta la extracción. De allí que se sugiere realizar extracciones de dos fases (con solventes polares y apolares), para disminuir los parámetros anteriores (Fleck *et al.*, 1999).

La extracción del aceite con CO<sub>2</sub> supercrítico ha sido el método más adecuado, ya que el aceite obtenido contiene, en comparación con aquel obtenido por métodos convencionales, mucho menos fósforo, siendo necesario eliminar sólo los mucílagos. Esto abarata costos y, además, hay una pérdida mucho menor de ácido caléndico (Fleck *et al.*, 1999).

#### Resultados obtenidos en Chile

Un cultivar de caléndula colectado en zonas rurales de la VIII Región y que se denomina 'Chilena', se sembró el 3 de mayo, 28 de abril, 5 mayo de 2002, de 2003 y 2004, respectivamente. El cultivo alcanzó el 50% de floración el 18 septiembre 2002

y el 10 de septiembre de 2003, respectivamente. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 19.

**Cuadro 19.** Altura de planta y componentes del rendimiento en caléndula cosechada en tres localidades y tres temporadas diferentes.

| LOCALIDAD         | ALTURA<br>(cm) | RENDIMIENTO<br>(kg/ha) | PESO MIL<br>SEMILLAS (g) | PESO<br>HECTOLITRO ( kg/hL ) |
|-------------------|----------------|------------------------|--------------------------|------------------------------|
| <b>2001-2002</b>  |                |                        |                          |                              |
| Chillán           | 73.1           | 2149                   | 15.5                     | 10.92                        |
| <b>2002-2003</b>  |                |                        |                          |                              |
| Chillán           | 68.7           | 3598                   | —                        | —                            |
| Cocule            | —              | 218                    | —                        | —                            |
| Puyehue           | —              | 342                    | —                        | —                            |
| <b>2003-2004</b>  |                |                        |                          |                              |
| Chillán           | 61.4           | 1080                   | 15.7                     | 10.29                        |
| <b>2004- 2005</b> |                |                        |                          |                              |
| Chillán           | 64.3           | 1082                   | 16.0                     | 12.90                        |

El contenido y la composición de aceites para los mismos años se muestran en el Cuadro 20.

**Cuadro 20.** Contenido de aceite y tipos de aceite en semillas de *Calendula officinalis* cultivada en Chillán y San Pablo, X Región en tres temporadas diferentes.

| LOCALIDAD | CONTENIDO<br>ACEITE (%) | COMPOSICIÓN DEL ACEITE (DISTRIBUCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS, %) |       |       |       |                  |                 |
|-----------|-------------------------|-----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|------------------|-----------------|
|           |                         | C16:0                                                     | C18:0 | C18:1 | C18:2 | C18:3 LINOLÉNICO | C18:3 CALÉNDICO |
| 2002-2003 |                         |                                                           |       |       |       |                  |                 |
| Chillán   | 12.8                    |                                                           |       |       |       |                  |                 |
| 2003-2004 |                         |                                                           |       |       |       |                  |                 |
| Chillán   | 17.9                    | 4.1                                                       | 2.7   | 7.9   | 34    | 0.6              | 44.7            |
| San Pablo | 25.2                    | 3.7                                                       | 2.4   | 8.6   | 31    | 14.3             | 40.0            |
| 2004-2005 |                         |                                                           |       |       |       |                  |                 |
| Chillán   | 21.6                    | 3.32                                                      | 2.15  | 6.55  | 33.9  | —                | 43.6            |

El rendimiento de la temporada 2001-2002 coincide con resultados obtenidos en Inglaterra entre los años 1994 y 1996 (1600-2500 kg/ha), pero fue menor al de dos líneas mejoradas CPRO-DLO 879144 y 880557, las que, en promedio, rinden cerca de 2000 kg/ha (Froment *et al.*, 2004). En otros ensayos se ha determinado un rendimiento de semilla entre 700 y 3000 kg/ha (Angelini *et al.*, 1997; Cromack y Smith, 1998; Callan *et al.*, 2000; Martin y Deo, 2000; Froment *et al.*, 2004; Spencer, 2004). El bajo rendimiento en Chillán en la temporada 2003-2004 se debió a una cuaja defectuosa (limitada), como consecuencia de las altas precipitaciones en primavera y una maduración tardía de los frutos.

El peso de 1000 semillas coincide con el valor más alto determinado por Angelini *et al.* (1997).

En el valle central regado de la VIII Región la caléndula puede llegar a convertirse en una alternativa rentable si se logra mecanizar su cosecha como se realiza en otros países.

## LITERATURA CITADA

ADAS Consulting Ltd. 2002. Calendula as agronomic raw material for industrial application (CARMINA). [en línea]. Final Project Report, Code NF0503, Dep. for Environment, Food and Rural Affairs, Inglaterra.

<http://www.defra.gov.uk/farm/acu/research/reports/NF0503.pdf> [consulta: 7 de abril, 2005].

Alonso J., 1998. Tratado de fitomedicina, bases clínicas y farmacológicas. Ed. SIS. Argentina.

Angelini, L. G., E. Moscheni, G. Colonna, and P. Belloni. 1997. Variation in agronomic characteristics and seed oil composition of new oilseed crops in Italy. *Ind. Crops Prod.* 6:313-323.

Berti, M., R. Wilckens, F. Hevia y A. Montecinos. 2003. Influencia de la fecha de siembra y la procedencia de la semilla en el rendimiento de capítulos de *Calendula officinalis* L. durante dos años en Chillán. *Agric. Técnica* 63(1):3-9.

Breemhaar, H.G., and A. Bouman. 1995a. Harvesting and cleaning *Calendula officinalis*, as a new arable oilseed crop for industrial application. Ind. Crops Prod. 4:255-260.

Breemhaar, H.G., and A. Bouman. 1995b. Mechanical harvesting and cleaning of *Calendula officinalis* and *Dimorphotheca pluvialis*. Ind. Crops Prod. 3:281-284.

Brendler, T., J. Gruenwald, and C. Jaenicke. 1999. Herbal Remedies, [CD-Rom]. Medpharm Scientific Publ. Stuttgart, Alemania.

Callan, N.W., M.P. Westcott, S. Wall-MacLane, and J.B. Miller. 2000. *Calendula*. [en línea]. Western Agric. Res. Center, Montana State Univ. <http://ag.monatana.edu/warc/calendula.htm> [consulta: 7 abril, 2005].

Cromack, H.T.H, and J.M. Smith. 1998. *Calendula officinalis*—production potential and crop agronomy in southern England. Ind. Crops Prod. 7:223-229.

Fleck, G., R.T. Bachmann, H. Gerath, und M. Wilichowski. 1999. Optimierung des Verarbeitungsprozesses von Calendulasaat. [en línea]. <http://www.shef.ac.uk/~cpe/pg/bachmann/calendul.html> [consulta: 8 abril, 2005].

Froment, M., D. Masterbroek, and K. van Gorp, 2004. A growers manual for *Calendula officinalis* L. [en línea]. <http://www.defra.gov.uk/farm/acu/research/reports/Calendula%20Manual.pdf> [consulta: 8 abril, 2005].

Garibaldi, A., A. Minuto, and M.L. Gullino. 2001. First report of *Sclerotinia sclerotiorum* on *Calendula officinalis* in Italy. Plant Dis. 85(4): 446.

IENTICA. 2000. Oil crops. Summary report for European Union. [en línea]. <http://www.ienica.net/reports/BIGOILS.pdf> [consulta: 7 abril, 2005].

IENTICA. 2002. Calendula/ Pot Marigold. [en línea]. <http://www.ientica.net/crops/calendula.htm> [consulta: 7 abril, 2005].

Inaro (Informationssystem nachwachsender Rohstoffe). 2002. Ringelblume. [en línea]. <http://www.inaro.de/Deutsch/KULTURPF/Heilpfl/Ringelblume.htm>. [consulta: 7 de abril, 2005].

Isaac, O.I. 1992. Die Ringelblume. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft GmbH. Stuttgart, Alemania.

Köck, O. 2001. Medicinal plants varieties of Hungary. National Institute for Agricultural Quality Control. Kelti Károly u. 24, H1024 Budapest, Hungría.

Martin, R.J., and B. Deo. 2000. Effect of plant population on calendula (*Calendula officinalis* L.) flower production. N. Zealand J. Crop Hort. Sci. 28:37-44.

Ming, L.C., M.C. Días, and M.C. Ventrella. 1999. Effect of five substrates and three seed types on *Calendula officinalis* (Asteraceae) germination and seedling development. Acta Hort. 50:99-103.

Muuse, B.G., F.P. Cuperus, and J.T.P. Derksen. 1992. Composition and physical properties of oils from new oilseed crops. Ind. Crops Prod. 1:57-65.

Soto, C. 2002. Germinación de achenios de calendula (*Calendula officinalis*). Tesis Ing. Agrónomo. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Chillán, Chile.

Spencer, C. 2004. Market and production of specialty oils in England. En: Seminario: Oleaginosas especiales una alternativa productiva para el sur de Chile. 4 junio 2005. Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán, Chile

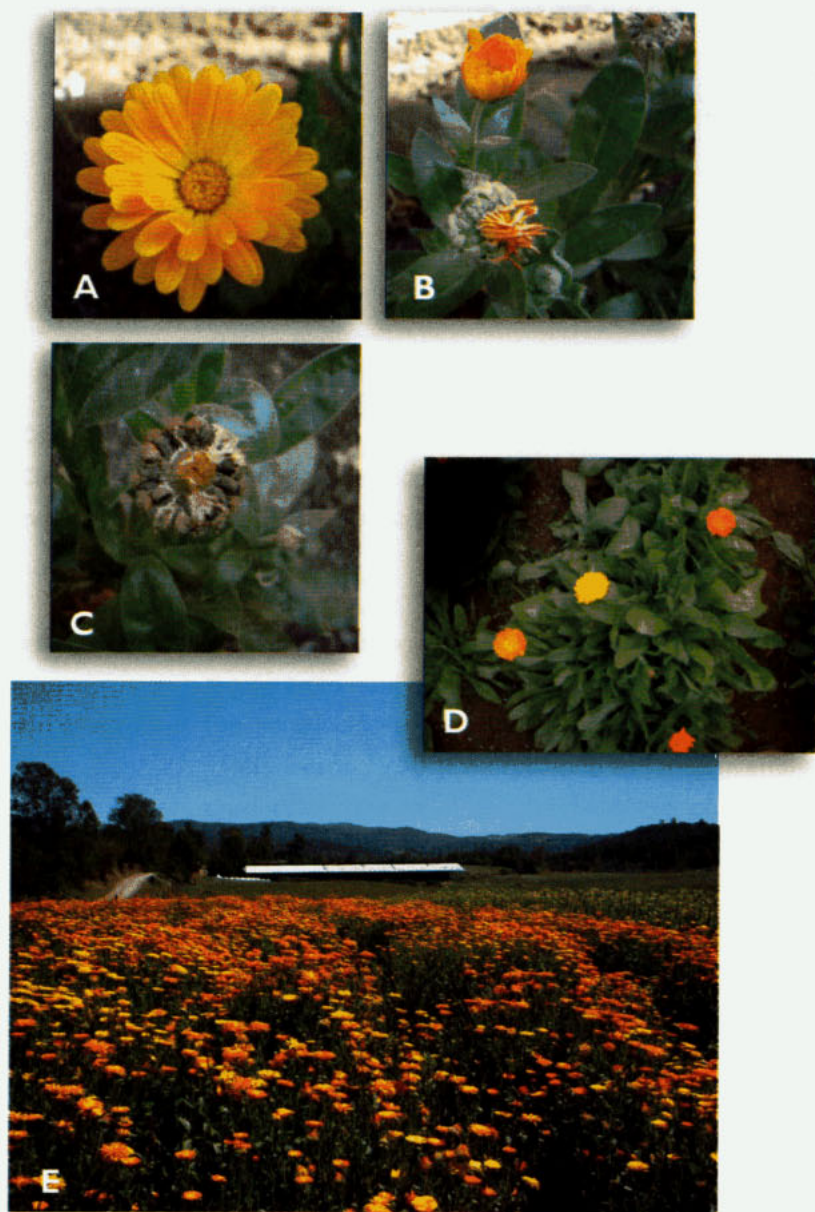


## **PÁGINAS WEB DE INTERÉS**

[www.springdale-group.com](http://www.springdale-group.com)

[http://www.york.ac.uk/org/cnap/oilcrop/cropsind/crambe\\_agro.htm](http://www.york.ac.uk/org/cnap/oilcrop/cropsind/crambe_agro.htm)

<http://www.defra.gov.uk/farm/acu/research/reports/Calendula%20Manual.pdf>



**Figura 12.** Caléndula, inflorescencia (capítulo) (A), frutos inmaduros (B), frutos maduros en el disco (C), planta con capítulos (D), cultivo floreciendo (E).



# Crambe



- Nombre Común:** Crambe.
- Nombre Científico:** *Crambe abissynica* Hochst.ex R. E. Fries.
- Otros Nombres:** Abyssinian mustard, abyssinian kale, colewart, datran (inglés).
- Familia:** Brassicaceae.
- Centro de Origen:** Proviene de la región del Mediterráneo, posiblemente de la región turco-iraní (Knights, 2002).
- Distribución geográfica:** Fue introducido a los Estados Unidos de Norteamérica en 1940. Desde 1958 se ha cultivado en forma intermitente. La producción comercial de crambe comenzó en 1990 con 1200 hectáreas cultivadas en North Dakota (Endres *et al.*, 1999).  
En forma experimental se están realizando ensayos en Austria, Bélgica, Dinamarca, Francia, Portugal Suecia e Inglaterra, mientras que en Alemania, Italia y Francia se están realizando ensayos piloto en pequeñas superficies (IENICA, 2000).

### Descripción

La planta anual es erecta, con hojas grandes pinado-lobadas, de aproximadamente 10 cm de largo y 7 cm de ancho. La altura de la planta fluctúa entre 60 y 120 cm, dependiendo de la temporada y la densidad de siembra. La planta es de hábito de crecimiento indeterminado. Sus flores son blancas, numerosas y pequeñas. El fruto es una silicua redonda, de color café claro, en la que se encuentra una sola semilla esférica, de color café verdoso. El pericarpio del fruto se mantiene adherido a la semilla durante la cosecha (Endres *et al.*, 1999).

### Composición de la semilla

La semilla de crambe contiene un 30-32% de aceite, del cual un 55 a 60% corresponde a ácido erúico, un 17% a ácido oleico y un 8 % a ácido linoleico. Además, la semilla entera contiene un 24% de proteína, 16% de fibra, y 116.1  $\mu\text{mol/g}$  de glucosinolatos (Bondioli *et al.*, 1998; Wang *et al.*, 2000). Por otro lado, la semilla descascarada (sin pericarpio) contiene un 45% de aceite, 31% de proteína, 3% de fibra cruda y 116.1  $\mu\text{mol/g}$  de glucosinolatos (Wang *et al.*, 2000).

### Usos

El ácido erúico y sus subproductos, principalmente la erucamida, son utilizados en la manufactura de diversos productos industriales, tales como lubricantes, coberturas, agentes deslizantes, plastificadores, polímeros, precursores de nylon y la fabricación de fármacos, ceras, cosméticos y perfumes (Bondioli *et al.*, 1998). El aceite de crambe constituye una excelente materia prima para la fabricación de lubricantes debido a su alta viscosidad a 40 y 100 °C, a la resistencia a altas temperaturas y por su bajo punto de fusión, que lo mantiene líquido a bajas temperaturas (Bondioli *et al.*, 1998; Grombacher *et al.*, 1993).

### Antecedentes de mercado

El volumen de los mercados alternativos en los que puede participar el aceite de crambe son los siguientes: biolubricantes 370.000 t/año potenciales (actualmente sólo asciende a 35.000 t/año); biosolventes, el mercado europeo actual es de 60.000 t/año; tintas biodegradables 120.000 t/año; surfactantes 2.000 t/año; polímeros (erucamida) 50.000 t/año (Spencer, 2004). En el mercado mundial el raps industrial o con alto contenido de ácido erúico es la fuente tradicional de este ácido graso. Sin embargo, en Estados Unidos el crambe ha comenzado a reemplazar

al raps industrial, de modo tal, que estos dos cultivos son las únicas fuentes comerciales de ácido erúico. Estados Unidos actualmente importa aproximadamente 20 millones de toneladas de aceite de raps industrial, principalmente desde Canadá y Europa del Este, por un valor de 10 millones de US\$ anuales. Se estima que aproximadamente 25.000 hectáreas de crambe cultivadas en Estados Unidos reemplazan la importación de aceite de raps.

En 1993 se cultivaron 22.000 ha de crambe en North Dakota, la mayor superficie registrada hasta la fecha. Mientras que en 2001 la superficie sólo fue de 9000 ha. La semilla tiene un costo de 12 US\$/ha para el productor. El precio pagado a productor es de 219 US\$/t (Knights, 2002). Los precios del aceite fluctúan entre 620 y 770 US\$/t y el precio del afrecho varía entre 75 a 100 US\$/t (un tercio del valor del afrecho soya) (Salsgiver, 2000). El retorno neto al agricultor se estima en 180 US\$/ha (Salsgiver, 2000).

### **Países productores**

Los principales productores son Estados Unidos e Inglaterra.

## **MANEJO DEL CULTIVO**

### **Requerimientos de suelo y clima**

El crambe se adapta mejor a suelos limosos que no forman costras y prefiere aquellos fértiles, bien drenados, con pH entre 6.0 y 7.5 (Endres *et al.*, 1999).

Es un cultivo adaptado a la zona centro norte de Estados Unidos. En esa zona, en promedio, requiere de 48 a 50 días desde siembra a floración y a los 85 días después de la siembra alcanza la madurez fisiológica. En el norte de Italia, Bologna, el cultivo demora 110 a 115 días (Fila *et al.*, 2002). Para germinar requiere entre 15 a 25 °C en el suelo. Sin embargo, en algunos estados de desarrollo resiste temperaturas de hasta 6 °C bajo cero (Oplinger *et al.*, 1991).

Es más tolerante a la sequía que el maíz, raps y soya (Endres *et al.*, 1999). La semilla es moderadamente tolerante a suelos salinos durante la germinación.

### **Cultivares ofrecidos en el mercado**

Las variedades 'Bel Ezian' y 'Bel Ann' (Campbell *et al.*, 1986a) y las líneas C-22, C-29 y C-37 (Campbell *et al.*, 1986b) fueron desarrolladas en el USDA en Beltsville,



MD, Estados Unidos. Mientras que 'Galáctica' y 'Nebula' fueron desarrolladas por CPRO-DLO en Holanda y se utilizan en Inglaterra. Las variedades 'Carmen' y 'Charlotte' provienen de Cebeco (Holanda), las variedades 'Mario', y 'Ukraina' del ISCI en Italia y 'Prophet' 'Indy' y 'Meyer' fueron seleccionadas en la Universidad de Purdue, Indiana, Estados Unidos. En North Dakota, Estados Unidos, las variedades 'Meyer' y 'Bel Ann' son las más utilizadas (Endres *et al.*, 1999).

### **Mejoramiento**

Existen varios programas de mejoramiento de crambe en Estados Unidos de América y en Europa, que tienen como objetivo aumentar el rendimiento, el contenido de aceite y el contenido de ácido erúico. El contenido de ácido erúico no varía mucho genéticamente, la variación observada está más asociada a condiciones ambientales (Mastebroek y Lange, 1997).

### **Desarrollo y crecimiento**

En general, el período de siembra a emergencia requiere de 120 días grado, el período de emergencia a inicios de floración 300 días grado, el período de inducción floral a floración 390 días grado y de floración a madurez de semillas 950 días grado. El período total desde siembra a madurez requiere de 1640 días grados, lo que equivale a 113 días (Meijer *et al.*, 1999).

El índice de área foliar máximo, de 5,4, se alcanza a inicios de floración (Meijer *et al.*, 1999). Generalmente, el cultivo demora 52 días de siembra a floración y la madurez fisiológica se alcanza entre 12 a 15 días después del término de floración. Una de las limitantes en el desarrollo y productividad del crambe es la baja eficiencia de utilización de la radiación solar durante la etapa de formación de semillas (Meijer *et al.*, 1999). El índice de cosecha, es decir, la proporción de semillas respecto al total de biomasa, fluctúa entre 30 y 35% (Fontana *et al.*, 1998).

### **Fecha de siembra**

La fecha de siembra más adecuada en el norte de Italia, latitud 41°N (similar a Osorno) es entre el 10 y 15 de diciembre (Fila *et al.*, 2002). Esto corresponde a junio en Chile. Sin embargo, hay que considerar que en Italia el invierno es más suave que en la zona de Osorno. Mientras que en Maricopa, Arizona, Estados Unidos, la mejor fecha de siembra es en otoño (noviembre). Sin embargo, si las heladas invernales son muy fuertes se puede perder el cultivo en algunas temporadas (Adamsen



y Coffelt, 2005). En Inglaterra se recomienda sembrar en primavera, es decir, en abril o mayo, cuando el suelo alcanza 8 a 10 °C, lo que corresponde a octubre o noviembre en Chile y que es la fecha más adecuada para el cultivo en Chile (Spencer, 2004).

La siembra tiene que ser superficial, no más de 1,2 cm, para lograr una emergencia vigorosa y uniforme (Spencer, 2004).

### **Marco de plantación**

En North Dakota, Estados Unidos de Norteamérica, se utilizan 22 kg/ha de semillas (Endres *et al.*, 1999). En estudios realizados en Italia el mejor rendimiento se obtuvo con 50 semillas/m<sup>2</sup> y una distancia entre hileras de 40 o 50 cm (Laghetti *et al.*, 1995). En Chengdu, China, se determinó que la población óptima para crambe es de 150.000 plantas/ha (Wang *et al.*, 2000). En Inglaterra, los más altos rendimientos se obtienen sembrando 20 kg/ha a 15 cm entre hilera, con el fin de establecer una población de 100 a 120 plantas/m<sup>2</sup> (Spencer, 2004). En Chile, esta última densidad sería la recomendable.

### **Preparación de suelo**

Se utiliza una preparación tradicional de suelos con arado y dos rastrajes. El último rastraje debe realizarse poco antes de la siembra. La cama de siembra debe ser firme, por lo que se requiere pasar un rodillo antes de la siembra (Grombacher *et al.*, 1993).

### **Fertilización**

Se recomienda fertilizar con al menos 150 kgN/ha y 60 kgP/ha. También se ha visto que el cultivo responde a la fertilización con azufre en suelos con niveles bajos y donde el raps responde a este fertilizante (Laghetti *et al.*, 1995; Spencer, 2004).

### **Riego**

Cuando se siembra en primavera se requiere de al menos tres riegos en la temporada.

### **Control de malezas**

Como el cultivo no compite bien con algunas malezas, se puede utilizar trifluralina o Butisan, aplicados de presembrado (Laghetti *et al.*, 1995). Al sembrar temprano y con alta densidad de siembra las plantas pueden competir con las malezas.

## Plagas y enfermedades

*Alternaria brassicicola* es la enfermedad más importante en crambe. Este hongo causa el pardeamiento de las semillas y tallos, reduciendo la germinación de las semillas, como se ha observado en cultivos en Estados Unidos e Inglaterra (Spencer, 2004). Para el control se recomienda la aplicación de fungicida durante la floración. *Botrytis* sp. y *Sclerotinia* sp. también afectan al cultivo (Mastebroek y Lange, 1997).

*Sclerotinia sclerotiorum* es un problema en los estados de North Dakota y Nebraska, Estados Unidos, y también en Inglaterra. Este hongo sobrevive como esclerocio en el suelo. Los síntomas se pueden ver en las ramas, tallos e incluso en el fruto. La única forma para controlar esta enfermedad es utilizar rotaciones con cereales, hacer una aradura profunda y evitar un exceso de plantas, ya que la alta humedad favorece el desarrollo del hongo (Grombacher *et al.*, 1993). En China, hasta un 48% de las plantas pueden llegar a ser infectadas por *Sclerotinia*, especialmente en las siembras tardías de otoño (Wang *et al.*, 2000).

El crambe también es susceptible al virus del mosaico del rábano (TYMV) (Oplinger *et al.*, 1991). Los síntomas de esta enfermedad son mosaico y clorosis en los márgenes de las hojas más viejas que luego mueren y se caen (Grombacher *et al.*, 1993). Otras enfermedades identificadas, pero que normalmente no dañan severamente al cultivo, son *Ascochyta* y Aster Yellows (Endres *et al.*, 1999).

El insecto *Phyllotreta cruciferae* puede atacar plántulas en algunas ocasiones, pero el daño en el crambe no es tan grave como en el raps. En pre-floración el insecto *Meligethes aeneus* se alimenta del polen de las flores, destruyendo las yemas florales y causando aborto floral. Cuando se detecta la presencia de un número grande de insectos durante la floración se recomienda aplicar un insecticida persistente, pero que no dañe a las abejas, como por ejemplo, alfa-cipermetrina/lambda-cihalotrina. Por otra parte, en algunas temporadas los áfidos pueden ser un problema, pero este cultivo es mucho menos susceptible que el raps (Spencer, 2004).

## Rotaciones

Es importante rotar con cereales para evitar el aumento de *Sclerotinia*. Es un excelente cultivo en la rotación con cereales, ya que no aparecen plantas voluntarias que puedan convertirse en malezas en el cultivo siguiente. Tampoco se cruza con raps, lo que es importante, ya que el raps con alto ácido erúico se cruza con el raps doble cero (Canola), del cual se obtiene el aceite comestible. Además, se ha demostrado que el crambe mejora la estructura del suelo para el cultivo siguiente (Endres *et al.*, 1999; Spencer, 2004).

## COSECHA

### Procedimiento

El crambe se cosecha con trilladora convencional, cortando 25 a 30 cm sobre la superficie del suelo. Para trillar el cultivo debe estar libre de malezas y la semilla debe tener un 14% de humedad (Spencer, 2004). La semilla debe cosecharse con el pericarpio intacto, para lo cual la velocidad del cilindro debe fluctuar entre 400 a 500 rpm y la abertura del concavo de 3/8". El ventilador debe regularse a baja velocidad, menos de 500 rpm, de modo que fluya el aire, pero sin desconectarlo completamente (Oplinger *et al.*, 1991; Grombacher *et al.*, 1993).

El cultivo está fisiológicamente maduro cuando el 50% de las cápsulas están de color café claro. El crambe también se puede segar e hilarar o aplicar desecante y después cosechar directamente. El segado y posterior cosecha se recomienda cuando el cultivo está enmalezado o la madurez es desuniforme. Se debe segar al momento de la madurez fisiológica, es decir, cuando el 50% de las cápsulas están de color café claro y la humedad ambiental es alta, para evitar el desgrane (Spencer, 2004). Con el hilarado se seca más rápido que otros cultivos, por lo cual una lluvia después de haber hilarado no es un problema (Spencer, 2004).

### Rendimiento

En Italia, los mas altos rendimientos se obtuvieron con la variedad 'Mario', 'Bel Ann' y la línea 'C-29' (Fontana *et al.*, 1998). Mientras que 'Nébula' y 'Galáctica' son las variedades de mayor rendimiento en Inglaterra (Spencer, 2004) (Cuadro 21).

**Cuadro 21.** Rendimiento de semillas de crambe en varios países.

| PAÍS/ESTADO            | RENDIMIENTO DE SEMILLAS (kg/ha) | CONTENIDO DE ACEITE (%) | ACIDO ERÚCICO (%) | PESO MIL SEMILLAS (g) |
|------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|
| Italia                 | 3400- 4100                      | 32 -37                  | 53                | -                     |
| E.E.U.U., North Dakota | 1500-1900                       | 31- 32                  | 52                | -                     |
| E.E.U.U., Minnesota    | 950-2100                        | 29 -32                  | -                 | 5,8 -7,9              |
| Inglaterra             | 2600                            | 35                      | 56                | -                     |

Fontana *et al.*, 1998; Endres *et al.*, 1999; Spencer, 2004.

El peso del hectólitro, con 322 kg/m<sup>3</sup>, es mucho más bajo que en otras especies.

## POSTCOSECHA

### Selección

La semilla de crambe debe limpiarse y almacenarse con menos de un 9% de humedad (Oplinger *et al.*, 1991). Antes de secar la semillas estas se deben limpiar en una máquina de aire y harneros para remover restos de planta y malezas. Si la semilla esta húmeda a la cosecha, la temperatura de secado tiene que ser inferior a 43 °C (Spencer, 2004).

### Producto Final

Las características físicas y químicas del aceite crudo y refinado de crambe se indican en el Cuadro 22.

**Cuadro 22.** Características del aceite crudo y refinado de crambe extraído con solvente.

| PARÁMETRO                              | ACEITE CRUDO | ACEITE REFINADO |
|----------------------------------------|--------------|-----------------|
| Acidez ( % de ácido oleico)            | 2.07         | 0.18            |
| Valor peróxido (meqO <sub>2</sub> /kg) | 3.1          | 5.3             |
| Índice de iodo (gJ <sub>2</sub> /100g) | 91.1         | 91.6            |
| Índice de viscosidad                   | 164.0        | 199.0           |

Bondioli *et al.*, 1998.

El subproducto de la extracción de aceite es el afrecho. Se han realizado varios estudios con el fin de determinar la factibilidad de utilizar el afrecho en la alimentación animal. Los resultados indican que se puede utilizar el afrecho para alimentar novillos, adicionando hasta un 4.2% del total de materia seca de la ración (Carlson *et al.*, 1996).

### Resultados obtenidos en Chile

El crambe, cultivar Meyer, se sembró en otoño (abril). Las plantas emergieron sin problemas, pero murieron con las heladas de invierno. Por esta razón no se recomienda la siembra otoñal de este cultivo de Chillán al sur. La siembra primaveral se realizó el 12 de noviembre. Sin embargo, el número de plantas establecida fue deficiente (5%) lo cual impidió poder evaluar posteriormente el rendimiento (Cuadro 23).

**Cuadro 23.** Población inicial, altura, rendimiento de biomasa y semillas, peso de 1000 semillas y peso del hectolitro para *Crambe* sp.

| POBLACIÓN INICIAL<br>(PLANTAS/ m <sup>2</sup> ) | ALTURA PROMEDIO<br>(cm) | RENDIMIENTO BIOMASA<br>(bms) (kg/ha) | RENDIMIENTO SEMILLAS<br>(bms) (kg/ha) | PESO MIL SEMILLAS<br>(g) | PESO HECTOLITRO<br>(kg/hL) | CONTENIDO ACEITE<br>(%) |
|-------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|
| <b>2003-2004</b>                                |                         |                                      |                                       |                          |                            |                         |
| 8.5                                             | 52.4                    | 45.1                                 | 12                                    | 6.5                      | 28.0                       | 29.0                    |
| <b>2004-2005</b>                                |                         |                                      |                                       |                          |                            |                         |
| -                                               | -                       | -                                    | 3400 <sup>(1)</sup>                   | -                        | -                          | 36.6                    |
| -                                               | -                       | -                                    | 4000 <sup>(2)</sup>                   | -                        | -                          | 33.9                    |

(1) San Carlos, 23 U N/ha, 67.5 U P/ha y 48 UK/ha (tres repeticiones). Aceites del Maule.

(2) San Carlos, 90 UN/ha, 67.5 UP/ha y 48 UK/ha (una repetición). Aceites del Maule.

El rendimiento fue bastante menor a lo que se cosecha en Nebraska, donde se menciona algo más de 1000 kg/ha, mientras que es más alto en North Dakota (1350-1722 kg/ha) y en las Grandes Llanuras se puede cosechar hasta 2793 kg/ha. Posibles causas del bajo rendimiento se deban a lluvias que se presentaron en momentos cercanos a la maduración de la semilla, que causan una caída de estas o por atraso de la cosecha. Esta debe realizarse cuando aproximadamente un 50 % de las semillas adquieren la coloración café, ya que sino se pierden muchas por caída.

Los resultados obtenidos en San Carlos en la temporada 2004-2005 podrían atribuirse a las condiciones ambientales y al tipo de suelo sobre el cual se hizo el cultivo. Sin embargo, se requiere de un mayor número de variedades para poder evaluar bien el potencial de este cultivo en Chillán y Osorno.

En Europa los rendimientos fueron diferentes, dependiendo de la localidad y la fertilización nitrogenada. Así, el rendimeinto más alto se obtuvo en Bologna (4.13 a 4.66 t/ha) y el más bajo en Quetigny (1.63 a 2.03 t/ha). De acuerdo a estos resultados se recomienda fertilizar con 75 kg N/ha, según la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, el tipo de suelo y el cultivo anterior en la rotación debido a que la planta no es capaz de absorber todo el nitrógeno disponible en el suelo, especialmente cuando el monto aplicado es más alto.

El peso de 1000 semillas es cercano al valor obtenido en cosechas realizadas en Minnesota, Estados Unidos.

El contenido de aceite, ácido oleico y linoleico en la semilla de *crambe* cultivado en Chile (Cuadro 24) fue más bajo que lo mencionado en la literatura (30-32% de aceite, del cual un 55 a 60% corresponde a ácido erúcico, un 17% a ácido oleico y el ácido linoleico, un 8 %). Mientras que la semilla de *Crambe* cultivado en Europa

contiene aproximadamente un 35% de aceite y de ese, alrededor de un 60 % corresponde a ácido erúxico, es decir, más alto que en raps con alto contenido de ácido erúxico (aprox. 45%) (Diversification with crambe: an industrial oil crop, 2003).

**Cuadro 24.** Contenido y composición de aceite en semillas de *Crambe abyssinica* cultivada en Chillán y San Carlos en dos temporadas diferentes.

| CONTENIDO<br>ACEITE (%) | COMPOSICIÓN DEL ACEITE (DISTRIBUCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS, %) |       |        |       |       |       |       |       |             |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
|                         | C14:0                                                     | C14:1 | C16:0  | C16:1 | C17:0 | C18:0 | C18:1 | C18:2 | ÁC. ERÚCICO |
| 2003-2004               |                                                           |       |        |       |       |       |       |       |             |
| 29.0                    | 1.9                                                       | -     | trazas | -     | -     | 16.9  | 9.5   | 4.2   | 58.1        |
| 2004-2005               |                                                           |       |        |       |       |       |       |       |             |
| 36.6 <sup>(1)</sup>     | 2.1                                                       | 0.43  | 18.6   | 7.6   | 4.9   | 1.0   | 5.3   | 0.2   | 56.5        |
| 33.9 <sup>(2)</sup>     | 2.6                                                       | 0.30  | 21.4   | 9.0   | 5.2   | 1.1   | 4.6   | 0.2   | 58.5        |

(1) Localidad San Carlos, fertilización 23 U N/ha, 67.5 UP/ha, 48 UK/ha. Aceites del Maule.

(2) Localidad San Carlos, fertilización 90 U N/ha, 67.5 UP/ha, 48 UK/ha. Aceites del Maule.

En el Cuadro 24 se aprecia que el contenido de los diferentes aceites varió de un año a otro, y no se tiene explicación para ello. Sin embargo, se aprecia en la temporada 2004-2005, que al incrementarse la fertilización nitrogenada, disminuyó el contenido de aceite. En Europa se determinó que al aumentar el aporte de nitrógeno disminuyó el contenido de aceite, pero no afectó el contenido de ácido erúxico (Diversification with crambe: an industrial oil crop, 2003). Como este ensayo no se realizó de acuerdo a un diseño experimental, no es posible comparar estadísticamente los resultados.

LITERATURA CITADA

Adamsen, F.J., and T.A. Coffelt. 2005. Planting date effects on flowering, seed yield, and oil content of rape and crambe cultivars. Ind. Crops Prod. 21:293-307.

Bondioli, P., L. Folegatti, L. Lazzeri, and S. Palmieri. 1998. Native *Crambe abyssinica* oil and its derivatives as renewable lubricants: an approach to improve its quality by chemical and biotechnological processes. Ind. Crops Prod. 7:231-238.

Campbell, T.A., J. Crock, J.H. Williams, A.N. Hang, R.E. Sigafus, A.A. Schneiter, E.F. McClain, C.R. Graves, D.F. Woodley, R. Kleiman, and W.C. Adamson. 1986a. Registration of 'Bel Ann' and 'Bel Enzian' crambe. *Crop Sci.* 26:1082-1083.

Campbell, T.A., J. Crock, J.H. Williams, A.N. Hang, R.E. Sigafus, A.A. Schneiter, E.F. McClain, C.R. Graves, D.F. Woodley, R. Kleiman, and W.C. Adamson. 1986b. Registration of C-22, C-29, and C-37 crambe germplasm. *Crop Sci.* 26:1088-1089.

Carlson, K. D., J. C. Gardner, V. L. Anderson, and J. Hanzel. 1996. Crambe: New crop success. p. 306-322. *In* J. Janick (ed.). *Progress in new crops*. ASHA Press, Alexandria , VA.

Endres, G., B. Schatz, and V. Anderson. 1999. Crambe Production. North Dakota State University Extension Service, Fargo ND. Bull. A-1010.

Fila, G., F. Fontana, C. Maestrini, and G. Bellochi. 2002. Field evaluation of crambe cultivars in northern Italy. VII ESA Congress, Cordoba, España.

Fontana, F., L. Lazzeri, L. Malaguti, and S. Galletti. 1998. Agronomic characterization of some *Crambe abyssinica* genotypes in a locality of the Po Valley. *European J. Agronomy* 9:117-126.

Grombacher, A., L. Nelson, and D. Baltensperger. 1993. Crambe production. *Nebguide Miscellaneous Crops Bull.* G93-1126-A.

IENTICA. 2000. Oil crops. Summary report for European Union. [en línea]. <http://www.ienica.net/reports/BIGOILS.pdf> [consulta: 7 abril, 2005].

Knights, S.E. 2003. Crambe: a North Dakota case study. [en línea]. Rural Industries Research and Development Co. Publ. no. W/02/005. <http://www.jcci.unimelb.edu.au>. [consulta: 7 de abril, 2005].



Laghetti, G., A.R. Piergiovanni, and P. Perrino. 1995. Yield and oil quality in selected lines of *Crambe abyssinica* Hochst. ex.R.E. Fries and *C. hispanica* L. grown in Italy. Ind. Crops Prod. 4:203-212.

Mastebroek, H.D., and W. Lange. 1997. Progress in a crambe cross breeding program. Ind. Crops Prod. 6(3-4): 221-227.

Meijer W.J.M., E.W. Mathijssen, and A. D. Kreuzer. 1999. Low pod numbers and inefficient use of radiation are major constraints to high productivity in *Crambe* crops. Ind. Crops Prod. 9 (3):221-233.

Oplinger, E.S., E.A. Oelke, A.R. Kaminski, D.H. Putnam, T. M. Teynor, J.D. Doll, K.A. Kelling, B.R. Durgan, and D.M. Noetzel. 1991. *Crambe*. Alternative Field Crops Manual.[en línea]. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/crambe>. [Consulta: 7 abril, 2005].

Salsgiver, J. 2000. Industrial uses of agricultural products such as crambe play a role in rural community development. Rural Development Perspectives 12(3): 38-44.

Spencer, C. 2004. Market and production of specialty oils in England. En: Seminario Oleaginosas especiales, una alternativa productiva para el Sur de Chile. 4 de junio. Facultad de Agronomía Universidad de Concepción. Chillán, Chile.

Wang, Y.P., J.S. Tang, C.Q. Chu, and J. Tian. 2000. A preliminary study on the introduction and cultivation of *Crambe abyssinica* in China, an oil plant for industrial uses. Ind. Crops Prod. 12(1):47-52.

## PÁGINAS WEB DE INTERÉS

<http://www.ienica.net/crops/crambe.htm>

[www.springdale-group.com](http://www.springdale-group.com)

<http://www.york.ac.uk/org/cnap/oilcrop/cropsind/crambeagro.ht>



**Figura 13.** Crambe, cultivo floreciendo (A), plantas (B), flores (C).



# Cuphea



**Nombre Común:**

Cuphea.

**Nombre Científico:**

*Cuphea viscosissima*<sup>(1)</sup> Jacq., *C. lanceolata*<sup>(2)</sup>, *C. wrightii*.

**Otros Nombres:**

<sup>(2)</sup> Flor del Cigarro, planta mejicana del Cigarro, planta del Petardo (México).

**Familia:**

Lythraceae.

**Centro de Origen:**

Se encuentra en Estados Unidos <sup>(1)</sup> en los estados de Vermont, Illinois, Ohio, Iowa, Kentucky por el norte, Kansas, Mississippi, Louisiana, Missouri, Nuevo México por el este, hasta el golfo de México y por toda la costa Atlántica y <sup>(2)</sup> de la Sierra Madre de México.

**Distribución geográfica:**

Actualmente se cultiva en los estados de Minnesota, North Dakota e Illinois en Estados Unidos. En forma experimental se ha evaluado en Italia y Holanda (IENICA, 2000). Mientras que en Alemania, se han identificado algunas especies (*C. paucpetala*, *C. leptopoda*, *C. wrightii*, *C. toluhana*, *C. lanceolata*, *C. procumbens*, *C. micropetala* y *C. ignea*) más resistentes a las heladas que se podrían cultivar en Europa Central.

## Descripción

Es una planta herbácea, anual de verano. Existen más de 45 especies de *Cuphea* en Norte y Centro América. Las especies cultivadas varían entre 60 y 100 cm de altura. Las hojas son opuestas, espatuladas, cortamente pecioladas y de 2 a 3 cm de largo. Las flores son de color violeta, rosado e incluso blanco. El fruto es una cápsula dehiscente, que contiene de 10 a 25 semillas de color café oscuro. *Cuphea* es principalmente una especie de polinización cruzada, existiendo algunos genotipos con autopolinización.

## Composición de la semilla

La semilla de *cuphea* contiene aceite rico en ácidos grasos de cadena media, similares al aceite de coco (*Cocos nucifera* L.), al aceite de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) y al aceite de otras palmas (Kleiman, 1990). El contenido de aceite en las semillas fluctúa entre 16 y 42% y los principales ácidos grasos son caprílico, cáprico, laurico y mirístico (Cuadro 25).

**Cuadro 25.** Composición del aceite de diferentes especies de *cuphea* en comparación con el de coco.

| ESPECIE                | COMPOSICIÓN DE ACEITE (DISTRIBUCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS, %) |                         |                         |                           |       |
|------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------|
|                        | ÁCIDO<br>CAPRÍLICO (8:0)                                 | ÁCIDO<br>CÁPRICO (10:0) | ÁCIDO<br>LAURICO (12:0) | ÁCIDO<br>MIRÍSTICO (14:0) | OTROS |
| <i>C. lanceolata</i>   | 87.5                                                     | 2.1                     | 1.4                     | 9.0                       | 0.0   |
| <i>C. viscosissima</i> | 9.1                                                      | 75.5                    | 3.0                     | 1.3                       | 11.1  |
| <i>C. wrightii</i>     | 29.4                                                     | 53.9                    | 5.1                     | 11.6                      | 0.0   |
| <i>C. lutea</i>        | 0.4                                                      | 29.4                    | 37.7                    | 11.1                      | 21.4  |
| Coco                   | 8.0                                                      | 7.0                     | 48.0                    | 18.0                      | 19.0  |

Knapp, 1988.

## Usos

El aceite se utiliza como antiespumante en la manufactura de jabones y detergentes. También se pueden utilizar para reemplazar ácidos grasos saturados y agentes moldeantes en gomas de mascar y caramelos. Los ácidos grasos de cadena mediana (MCT's) se utilizan en la elaboración de alimentos para lactantes normales y enfermos. También se ha demostrado que la inclusión de estos ácidos grasos en la dieta reducen el riesgo enfermedades al corazón, cáncer de mamas, cáncer al colon como también otros desórdenes derivados del desequilibrio de los ácidos grasos (Knapp, 1993).

También existen líneas de cuphea cuyo ácido graso es rico en ácido cáprico. Este se obtiene en cantidades limitadas como derivado de la producción de ácido láurico que se obtiene del aceite de coco y semillas de palma (Isbell *et al.*, 2004). Con el ácido cáprico se ha logrado fabricar estóridos con alta estabilidad oxidativa y a muy bajas temperaturas (-42 °C), por lo cual potencialmente tendría varios usos en la manufactura de lubricantes (Isbell *et al.*, 2004).

### Antecedentes de mercado

En los Estados Unidos y otros países desarrollados hay una alta demanda por ácidos grasos de cadena media, alcanzado aproximadamente a 1.5 millones de toneladas al año. La mitad de esta se satisface con las importaciones de aceites de coco (352.000 t/año), aceite de palma y de semilla de palma (219.000 t/año) (FAO, 2004). Actualmente los precios del aceite de coco y de palma están disminuyendo, correspondiendo a 498 y 523 US\$/t, respectivamente (FAO, 2004) (Cuadro 26 y 27).

**Cuadro 26.** Importaciones de aceite de coco, palma y semillas de palma entre 1999 y 2003 en Estados Unidos de Norteamérica.

| ACEITE DE        | VOLUMEN IMPORTADO |               |               |               |               | IMPORTACIONES A E.E.U.U. |               |               |               |               |
|------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                  | 1999              | 2000          | 2001          | 2002          | 2003          | 1999                     | 2000          | 2001          | 2002          | 2003          |
|                  | (t)               |               |               |               |               | (MILES US\$)             |               |               |               |               |
| Coco             | 335784            | 477353        | 467802        | 484986        | 352334        | 253163                   | 274876        | 176388        | 172593        | 175488        |
| Semilla de palma | 208145            | 167739        | 149147        | 173214        | 219956        | 158978                   | 112077        | 70921         | 79457         | 115022        |
| Palma            | 142859            | 165107        | 171077        | 219017        | 211172        | 73985                    | 59538         | 58719         | 67009         | 89222         |
| <b>Total</b>     | <b>686788</b>     | <b>810199</b> | <b>788026</b> | <b>877217</b> | <b>783462</b> | <b>486126</b>            | <b>446491</b> | <b>306028</b> | <b>319059</b> | <b>379732</b> |

FAOSTAT database, 2004 .

**Cuadro 27.** Precio promedio de los aceites de coco, semillas de palma y palma entre 1999 y 2003 en Estados Unidos de Norteamérica.

| ACEITE DE        | PRECIO (US \$/t <sup>1</sup> ) |      |      |      |      | % CAMBIO 1999-2003 |
|------------------|--------------------------------|------|------|------|------|--------------------|
|                  | 1999                           | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |                    |
| Coco             | 754                            | 576  | 377  | 356  | 498  | -33.9              |
| Semilla de palma | 764                            | 668  | 476  | 459  | 523  | -31.5              |
| Palma            | 518                            | 361  | 343  | 306  | 423  | -18.4              |

FAOSTAT database, 2004.



Se ha estimado que en Estados Unidos se requiere 1.11 millones de hectáreas cultivadas con cuphea para sustituir la importación de aceite. Actualmente se cultiva sólo en forma experimental en el estado de Minnesota, Estados Unidos, con no más de 100 hectáreas en el año 2004. El precio pagado a productor fue de 330 US\$/ha más 33 centavos de dólar por kg de semillas producido (Tony Rosing, TCI, comunicación personal, 2005).

### Países productores

Aún no hay producción comercial de este cultivo. Sin embargo, Estados Unidos lidera a nivel mundial en la investigación y el desarrollo de este cultivo.

## MANEJO DEL CULTIVO

### Requerimientos de suelo y clima

Las semillas presentan dormancia primaria (Widrechner y Kovach, 2000). Para romper esta se han evaluado diferentes tratamientos con temperatura constante y alternancia de temperatura, luz, extracción de embriones, tratamiento de postmaduración, aplicación de ácido giberélico,  $\text{CuSO}_4$  o  $\text{KNO}_3$ . De acuerdo a los resultados obtenidos se sugiere colocar las semillas por dos semanas a bajas temperaturas, humedeciéndolas con una solución de giberelina, y a continuación por 21 días en alternancia de temperatura (14h/30°C, 10h/20°C) (Roath y Widrechner, 1988; Widrechner y Kovach, 2000).

Sin embargo, existen varias líneas ya desarrolladas cuyas semillas no son dormantes (Crane *et al.*, 1994; Crane *et al.*, 1995; Knapp y Crane, 2000b). Por ejemplo, la semilla de la línea PSR23 (*C. lanceolata* x *C. viscosissima*) que se utiliza para el cultivo comercial no presenta dormancia (Knapp y Crane, 2000a).

La tasa de fotosíntesis máxima se logra cuando la temperatura nocturna es de 18 °C y la diurna de 24 °C, alcanzándose la máxima acumulación de materia seca con una temperatura media de 27 °C. Cuando las temperaturas medias son menores a 21 °C se reduce drásticamente la acumulación de biomasa en el cultivo (Gesch *et al.*, 2002a).

### Cultivares ofrecidos en el mercado

Aun no existe un cultivar como tal, pero para las primeras plantaciones comerciales se esta utilizando la línea PSR23 (*Cuphea viscosissima* Jacq. x *C. lanceolata* W.T. Aiton) que presenta un menor porcentaje de desgrane.



### Mejoramiento

En el pasado la mayoría de las líneas silvestre no servían para producción comercial debido a problemas tales como dormancia de la semilla, polinización cruzada obligada, dehiscencia de semillas, hábito de crecimiento indeterminado y bajos rendimientos. Actualmente, existen líneas auto compatibles, con indehiscencia parcial de semillas, no dormantes, como la línea PSR23 (Knapp y Crane, 2000a).

### Desarrollo y crecimiento

*Cuphea* es una especie epigea, de hábito crecimiento indeterminado. La escala de crecimiento y desarrollo del cultivo aun no se ha hecho. El primer estado de desarrollo corresponde a la germinación y emergencia que finaliza cuando los cotiledones están expandidos. Resultados preliminares indican que el cultivo requiere de 27 a 35 días entre floración y madurez fisiológica, lo que equivale a 270 grados días (Berti *et al.*, 2004a). Otros autores determinaron que en *C. lutea* Rose y *C. wrightii* Gray la madurez fisiológica de la semillas ocurre a los 19 días (Kaliangile y Grabe, 1988).

La germinación en Europa central es lenta (14-20 días), emerge tardíamente en mayo después de las heladas, lo cual es compensado por un crecimiento rápido y una maduración temprana. La lenta germinación es consecuencia de la gruesa cubierta seminal (IENICA, 2002).

### Fecha de siembra y/o plantación

La siembra debe realizarse temprano en primavera. En estudios realizados en Minnesota, Estados Unidos, se determinó el 15 de mayo como la mejor fecha de cosecha (Gesch *et al.*, 2002b), lo que correspondería al 15 de noviembre en Chile. Sin embargo, de acuerdo a las diferencias climáticas, la mejor fecha en Chillán sería aproximadamente la última semana de octubre.

### Marco de plantación

La densidad óptima para el cultivo de *cuphea* aun no se ha determinado. Esta especie tiene la capacidad de compensar el rendimiento de semillas en una amplia densidad de plantas y distancia entre hileras. Gesch *et al.* (2003) indican que no se observó diferencias en el rendimiento de semillas para distancias entre hileras entre 12.5 a 75 cm. Si no es necesario usar cultivadores para controlar las malezas es preferible sembrar a distancias menores. En Chile, debiera sembrarse a 17.5 cm entre hilera para aumentar la densidad de plantas.

Es importante destacar que la semilla de cuphea debe sembrarse muy superficialmente, a no más de 12 mm de profundidad. Si se siembra muy profundo las plántulas no serán capaces de emerger (Roath, 1998; Berti *et al.*, 2004b).

Se recomienda una dosis de semillas entre 8 y 10 kg/ha. Sin embargo, esto depende mucho del porcentaje de germinación del lote de semillas que se esté usando.

### **Preparación de suelo**

La cuphea requiere de un suelo mullido, sin terrones ni malezas, pero muy firme para poder controlar la profundidad de siembra (Roath, 1998). Se recomienda utilizar un rodillo antes de la siembra para compactar la cama de semillas. Por el sólo uso de un rodillo antes de la siembra aumentó el número de plántulas emergidas en un 14% (Roath, 1998).

### **Fertilización**

No hay información en cuanto a los requerimientos nutricionales de cuphea. Sin embargo, estudios preliminares indican que la extracción de nitrógeno por parte de la planta es aproximadamente de 100 kg N/ha. Los requerimientos P, K y otros nutrientes aun no se han determinado.

### **Riego**

En el norte de Estados Unidos se cultiva cuphea en condiciones de secano, ya que las lluvias durante el verano generalmente son suficientes para el cultivo. El sistema radical de la planta es superficial, es decir, el 65 a 80% de las raíces se encuentran en los primeros 20 cm del suelo (Sharratt y Gesch, 2004). La distribución de las raíces puede afectarse por la densidad de plantas y la fecha de siembra. Cuando la densidad de plantas es alta y la siembra es temprana se promueve el desarrollo de raíces superficiales.

La eficiencia del uso de agua de cuphea fluctúa entre 1.05 a 2.0 kg/ha/mm y depende de la fecha de siembra (Sharratt y Gesch, 2002). En Chile el cultivo requiere de riego frecuente, pero con poco caudal.

### **Control de malezas**

Cuphea no compite bien con las malezas en los primeros estados de desarrollo. En estudios realizados en Illinois, Estados Unidos, se determinó que con los herbicidas isoxaflutazole e imazethapyr, en las dosis recomendadas para otros cultivos, se logra

un buen control de malezas sin causar fitotoxicidad a la planta (Davis *et al.*, 2003). En estudios realizados en Minnesota, Estados Unidos, cuphea fue tolerante a los herbicidas de preemergencia ethalfluralin e isoxaflutole, y de postemergencia (3 hojas verdaderas) mesotrione y imazethapyr, aplicados en las dosis recomendadas para maíz y soya (Amundson *et al.*, 2003).

### **Plagas y enfermedades**

No se han descrito enfermedades o plagas para esta especie.

### **Rotaciones**

Se esta estudiando el efecto del cultivo de cuphea en la rotación con soya y maíz cada tres años, que es la rotación común en el área de desarrollo. Aun no hay información publicada, pero los resultados preliminares indican que cuphea en la rotación no reduce significativamente el rendimiento de soya y maíz y el rendimiento de cuphea tampoco es afectado por el cultivo precedente (Isbell y Behle, 2004).

## **COSECHA**

### **Procedimiento**

La cosecha se puede realizar con trilladora convencional directa una vez desecado el cultivo o con segadora e hileradora y luego trilla. Los rendimientos son superiores con trilla directa, ya que la siega aumenta el desgrane. El uso de desecantes (paraquat) reduce la humedad de las semilla a la cosecha, pero también reduce el rendimiento (Berti *et al.*, 2005).

### **Rendimiento**

Actualmente los rendimientos promedios a nivel de agricultor en Minnesota, Estados Unidos, son de 300 a 600 kg/ha, perdiéndose al menos un 30% de la cosecha por desgrane. El índice de cosecha (proporción de semillas respecto a la biomasa total del cultivo) en esta especie es muy bajo, entre 7 y 10%, comparado con otras oleaginosas, tales como la maravilla, 35%, y raps, 30 % (Sharratt y Gesch, 2004).

### **Epoca y duración de la cosecha**

Debido a la naturaleza indeterminada, la planta sigue floreciendo hasta que se presente una helada y el crecimiento cesa. Debido a esto es difícil determinar el momento

óptimo de cosecha. El desgrane aumenta a medida que se atrasa la cosecha, las cápsulas basales son las primeras en madurar y generalmente comienzan a desgranarse antes de que las últimas cápsulas estén maduras.

En Minnesota, Estados Unidos, se cosecha aproximadamente 7 días después de una helada fuerte, la última semana de septiembre o primera de octubre (Gesch *et al.*, 2002c; 2005), lo que correspondería a fines de marzo y primera semana de abril en nuestro país. En Chile, probablemente sea necesario aplicar un desecante, ya que las heladas muchas veces se atrasan hasta mayo.

## **POST-COSECHA**

### **Selección y Procesos**

El contenido de humedad de la semilla a la cosecha es generalmente bastante alta, entre 20 y 40%, por lo que se requiere de un proceso de secado inmediato.

### **Producto final**

El aceite de cuphea es de color amarillo pálido.

### **Resultados obtenidos en Chile**

Los rendimientos de cuphea fueron bajos, pero principalmente porque el establecimiento del cultivo fue deficiente. Nunca se logró una población de plantas suficientemente grande como para poder evaluar apropiadamente el rendimiento.

La cuphea se adapta desde la VIII Región hacia al norte, ya que no tolera heladas y requiere de altas temperaturas para crecer y desarrollarse.

La cosecha se realiza en forma periódica a partir del mes de febrero hasta comienzos de marzo, ya que el objetivo es aumentar la cantidad de semillas cosechadas.

Para cosechar se corta la planta a 10 cm del suelo, donde se concentra la mayor parte de las semillas. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 28.

**Cuadro 28.** Parámetros evaluados al momento de la cosecha y rendimiento de semilla de cuphea cultivada en Chillán.

| LÍNEA            | FECHA COSECHA                     | POBLACIÓN INICIAL (Pl/ha) | ALTURA (cm) | RENDIMIENTO (kg/ha) | PESO 1.000 SEMILLAS (g) | PESO HECTÓLITRO (kg/hL) |
|------------------|-----------------------------------|---------------------------|-------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>2003-2004</b> |                                   |                           |             |                     |                         |                         |
| PSR23            | Periódicamente<br>Febrero a marzo | 64000                     | 32.2        | 166a                | 4.0a                    | 43.0                    |
| VL-91            | Periódicamente<br>Febrero a marzo | 64000                     | 16.6        | 19b                 | 2.0b                    | 48.6                    |
| VL-92            | Periódicamente<br>Febrero a marzo | 64000                     | 16.5        | 35b                 | 2.5b                    | 50.5                    |
| VL-160           | Periódicamente<br>Febrero a marzo | 64000                     | 23.0        | 11b                 | 4.0a                    | 47.0                    |
| <b>2004-2005</b> |                                   |                           |             |                     |                         |                         |
| PSR23            |                                   | 32000                     | 48.0        | 28                  | 2.8                     | 49.5                    |
| VL-91            |                                   | 32000                     | 26.6        | 13                  | 3.3                     | 51.2                    |
| VL-92            |                                   | 32000                     | 52.3        | 19                  | 3.5                     | 55.0                    |
| VL-160           |                                   | 32000                     | 59.3        | 8                   | 3.3                     | 52.8                    |

Letras distintas en sentido vertical indican hubo diferencia significativa al 5% entre tratamientos (variedades). Prueba DMS (P ≤ 0.05).

La línea PSR23 fue la más productiva (Cuadro 28), con un contenido de aceite de 32-35% (Cuadro 29), lo cual coincide con los resultados obtenidos de ensayos en North Dakota y Minnesota, Estados Unidos. Se observó que las líneas VL no fructificaron adecuadamente (Cuadro 28), posiblemente por una dificultad en su polinización y por ello, la mala cuaja del fruto.

**Cuadro 29.** Contenido y composición de aceite en semillas de cuphea cultivada en Chillán en dos temporadas diferentes.

| LÍNEA     | CONTENIDO<br>ACEITE (%) | COMPOSICIÓN DE ACEITE (DISTRIBUCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS, %) |        |        |        |        |        |        |        |        |      |
|-----------|-------------------------|----------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
|           |                         | C 8:0                                                    | C 10:0 | C 12:0 | C 14:0 | C 16:0 | C 18:0 | C 18:1 | C 18:2 | C 18:3 | C 22 |
| 2003-2004 |                         |                                                          |        |        |        |        |        |        |        |        |      |
| PSR-23    | 32.4                    | —                                                        | —      | —      | 21.6   | 21.3   | 3.0    | 27.0   | 19.6   | 1.3    | 6.1  |
| 2004-2005 |                         |                                                          |        |        |        |        |        |        |        |        |      |
| VL-92     | 30.5                    | 2.5                                                      | 65.6   | 3.3    | 5.2    | 5.6    | —      | 7.1    | 5.0    | —      | —    |
| VL-160    | 34.7                    | 4.8                                                      | 64.2   | 3.5    | 4.7    | 5.2    | —      | 6.3    | 4.6    | —      | —    |
| VL-91     | 29.4                    | 9.9                                                      | 66.1   | 3.4    | 2.8    | 3.9    | —      | 5.9    | 5.4    | —      | —    |
| PSR-23    | 35.5                    | 1.9                                                      | 63.9   | 3.6    | 6.6    | 6.0    | —      | 8.5    | 5.2    | —      | —    |

Cuphea tiene posibilidades de desarrollo en Chile, pero es necesario realizar más ensayos de mayor tamaño para evaluar su potencial.

El contenido de aceite mas alto se observó en la línea PSR-23 en ambas temporadas (Cuadro 29). El ácido cáprico (C 10:0) fue el ácido graso más importante en todas las líneas de cuphea evaluadas.

## LITERATURA CITADA

Amundson, G.B., F. Forcella, and R.W. Gesch. 2003. Herbicide tolerance in Cuphea: A New Oilseed Crop. North Central Weed Science Society 58: 8.

Berti, M.T., B.L. Johnson, F. Forcella, and R.W. Gesch. 2005. Cuphea seed yield and oil content response to harvest methods. 4th ASA Annual meetings 6-10 November, Salt Lake City, Utah.

Berti, M T., B.L. Johnson, and L.K. Manthey. 2004a. Cuphea seed oil content and fatty acid composition changes during seed development. p. 759-773. In M.J. Pascual-Villalobos *et al.* (eds.). Industrial Crops and Rural Development. Proceedings of 2005 Annual Meeting of the Assoc. for the Advancement of Industrial Crops. 17-21 September 2005, Murcia, España.

Berti, M.T., B. L. Johnson, and P. Petersen. 2004b. Cuphea seeding depth affects plant stands. (Abstract). [en línea]. In AAIC/NUC Joint Annual Meeting: Industrial Crops and Uses to Diversify Agriculture. 19-22 September, Minneapolis, MN. <http://www.aaic.org>.

Crane, J.M., D.M. Webb, L.A. Tagliani, and S.J. Knapp. 1994. Registration of LN-183, non dormant *Cuphea lanceolata* germplasm. Crop. Sci. 34:423.

Crane, J.M., L.A. Tagliani, and S.J. Knapp. 1995. Registration of five self-fertile, partially nondormant *Cuphea* germplasm lines: VL-90 to VL-95. Crop Sci. 35(5):1516-1517.

Davis, V., S. Pegg, G. Roskamp, and W.B. Phippen. 2003. Cuphea injury rates with preemergence herbicides. (Abstract). [en línea]. In AAIC Annual Meeting. 12-15 October, Portland, Oregon. <http://www.aaic.org>.

FAOSTAT data. 2004. FAO statistical databases.[en línea] <http://apps.fao.org/faostat>. (consulta: diciembre, 2004).

Gesch, R.W, N.W. Barbour, F. Forcella, and W.B. Vorhees. 2002a. Cuphea growth and development: responses to temperature. p. 213-215. In: J. Janick and A. Whipkey (eds.). Trends in New Crops and New Uses. ASHS Press, Alexandria, VA.

Gesch, R.W., S.C. Cermak, T.A Isbell, and F. Forcella. 2005. Seed yield and oil content of Cuphea as affected by harvest date. Agron. J. 97:817-822.

Gesch, R.W., F. Forcella, N.W. Barbour, B. Phillips, and W.V. Vorhees. 2002b. Yield and growth response of Cuphea sowing date. Crop Sci. 42, 1959-1965.

Gesch, R.W. F. Forcella, and B. Sharratt. 2002c. Harvest date and method for Cuphea in the northern corn belt. (Abstract). [en línea]. In AAIC Annual Meeting 25-28 August. Saskatoon, SK, Canada <http://www.aaic.org>.

Gesch, R.W., F. Forcella, N.W. Barbour, W.V. Vorhees, and B. Phillips. 2003. Growth and yield response of Cuphea to row spacing. Field Crops Res. 81:193-199.

IENTICA. 2000. Oil crops. [en línea]. Summary report for European Union. <http://www.ienica.net/reports/BIGOILS.pdf> (consulta: abril, 2005).

IENTICA. 2002. Cuphea. [en línea]. <http://www.ienica.net/crops/cuphea.pdf>. (consulta: 29 marzo, 2005).

Isbell, T., and R.W. Behle. 2004. Progress in the development of cuphea as a crop for midwest growers. Inform. 14(8):513-515.



Isbell, T., S.C. Cermak, and R.L. Evangelista. 2004. Recent developments in the industrial utilization of high capric cuphea oil. American Oil Chemists' Society Meeting, 11-14 october, Chicago, IL.

Kaliangile, I., and D. F. Grabe. 1988. Seed maturation in *Cuphea*. Journal of Seed Technology 12(2):107-113.

Kleiman, R. 1990. Chemistry of new industrial oilseed crops. p. 196-203. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.). Advances in New Crops. Timber Press, Portland.

Knapp, S.J. 1993. Breakthroughs towards the domestication of *Cuphea*. p. 372- 379. In: J. Janick and J. Simon (eds.). New Crops, Wiley. New York.

Knapp, S.J., and J.M. Crane. 2000a. Registration of reduced seed shattering *Cuphea* germplasm PSR23. Crop Sci. 40:298-299.

Knapp, S., and J.M. Crane. 2000b. Registration of high oil *Cuphea* germplasm VL186. Crop. Sci. 40:301.

Roath, W.W. 1998. Managing seedling emergence of *Cuphea* in Iowa. Journal of Iowa Acad. Sci. 105(1):23-26.

Roath, W.W., and M.P. Widrlechner. 1988. Inducing germination of dormant *Cuphea* seed and the effects of various induction methods on seedling survival. Seed Sci. and Technology 16:699-703.

Sharratt, B.S., and R.W. Gesch. 2002. Rooting characteristics and water requirements of *Cuphea*. p. 216-218. In: J. Janick and A. Whipkey (eds.). Trends in New Crops and New Uses. ASHS Press, Alexandria , VA.

Sharratt, B.S., and R.W. Gesch. 2004. Water use and root length density of *Cuphea* spp. influenced by row spacing and sowing date. Agronomy Journal 96:1475-1480.

Widrechner, M.P., and D.A. Kovach. 2000. Dormancy-breaking protocols for Cuphea seed. Seed Sci. and Technology 28:11-27.





Figura 14. *Cuphea* sp., flores (A), cultivo floreciendo (B, C).



# Euphorbia



**Nombre Común:** Euphorbia.

**Nombre Científico:** *Euphorbia lagascae* Sprengel.

**Otros Nombres:** Caperspurgue (inglés).

**Familia:** Euphorbiaceae.

**Centro de Origen:** España.

**Distribución geográfica:** En forma experimental se están realizando ensayos en España, Portugal, Francia, Alemania, Italia, Holanda e Inglaterra (IENICA, 2000).

## Descripción

Es una planta anual que tiene hojas largas, angostas y redondeadas, de color verde claro, posicionadas en forma de cruz sobre el tallo central, del cual nacen numerosos tallos secundarios. El tallo es glabro, suave y de color verde claro. La raíz es pivotante y profunda. Las inflorescencias son cimosas, con flores pequeñas, apétalas y con brácteas de color verde claro. El fruto es una cápsula tricarpelada, indehisciente, que contiene normalmente tres semillas y que al madurar explota, emitiendo un ruido característico. Las semillas son de color café oscuro moteado o negro, reticuladas, de más o menos 5 mm de largo y presentan una carúncula de color café o anaranjado en algunos mutantes. En general, las semillas de plantas con frutos indehiscientes son más grandes y más redondeadas que aquellas de plantas con cápsulas quatricarpeladas (Pascual-Villalobos *et al.*, 1993). Las plantas florecen indeterminadamente y alcanzan una altura de 60 a 100 cm (White *et al.*, 1973).

## Composición de la semilla

La semilla contiene entre un 48 a 52% de aceite, del cual el 58 a 67% corresponde a ácido vernólico (ácido 12,13-epoxi-cis-9-octadecenoico), 24 % ácido oleico y 12 % ácido linoleico (Pascual y Correal, 1992; Pascual-Villalobos *et al.*, 1992). Además, contiene un 15% de proteína.

## Usos

Hay una alta demanda de ácido vernólico para la producción de pinturas y otros recubrimientos. La industria de las pinturas está interesada en éste ácido, porque puede reemplazar algunos solventes costosos que deben adicionarse para el secado de éstas y que causan daño ambiental. También se puede utilizar en la fabricación de lubricantes, ya que fluye mejor que otros a bajas temperaturas y es mucho más resistente a la degradación por oxidación que el aceite de raps. El ácido vernólico también puede ser utilizado en la producción de poliuretano. Por otro lado, modificando químicamente el aceite de *E. lagascae* se puede obtener el ácido 12-hidroxiesteárico, que tiene aplicación en la industria de las grasas (Turley *et al.*, 2000).

El afrecho de semillas de *euphorbia* se podría utilizar en la alimentación animal. Sin embargo, previamente es necesario identificar los compuestos tóxicos asociados a esta especie para una evaluación más completa del valor nutritivo de este subproducto (Turley *et al.*, 2000) (Cuadro 30) .



**Cuadro 30.** Composición de ácidos grasos (%) de semillas de *Euphorbia lagascae* y de raps e índice de yodo.

| ÁCIDO GRASO     | EUPHORBIA LAGASCAE | RAPS | TMPO* |
|-----------------|--------------------|------|-------|
| C16:0           | 5                  | 4    | 5     |
| C16:1           | 0                  | 0    | 5     |
| C18:0           | 2                  | 2    | 1     |
| C18:1           | 24                 | 60   | 63    |
| C18:2           | 12                 | 20   | 16    |
| C18:3           | 1                  | 8    | 0     |
| Acido vernólico | 54                 | 0    | 0     |
| Índice de yodo  | 42                 | 100  | 80    |

\*TMPO ester trimetilpropano - un producto trans- esterificado de aceite de semilla de raps, con mejor comportamiento que el aceite vegetal puro, pero a un precio razonable (Turley *et al.*, 2000).

### Antecedentes de mercado

El aceite de *E. lagascae* tienen buenas perspectivas en el mercado de lubricantes ya que es una alternativa biodegradable frente a los aceites minerales. Sin embargo, la principal limitante es el precio de los aceites alternativos. Es posible, además, que el aceite de *E. lagascae* pueda competir con el aceite epoxidizado de soya. En Alemania, actualmente sólo el 4% del mercado de lubricantes es cubierto por aceites biodegradables, lo que equivale a aproximadamente 40.000 t. Existe un mercado potencial de hasta 200.000 t y que podría crecer hasta 500.000 t si se utiliza en motores de combustión. Sin embargo, la principal limitante para que se incremente el uso de aceites biodegradables es el bajo costo del aceite mineral, que se espera aumente en el futuro (Turley *et al.*, 2000).

Otro aspecto que debe destacarse es que en la actualidad el costo del proceso para obtener aceite de una oleaginosa nueva es más que para las materias primas convencionales.

### Países productores

Aun se encuentra en fase experimental y no se cuenta con superficies importantes de producción. En los últimos 10 años se ha cultivado hasta 10 ha anuales en Alemania (Turley *et al.*, 2000).

## MANEJO DEL CULTIVO

### Requerimientos de suelo y clima

Las plántulas emergen 14 días después de la siembra si la temperatura del suelo es de 10 °C. Con temperaturas menores se retrasa la emergencia. Mientras que temperaturas entre 18 y 22 °C son óptimas para el crecimiento vegetativo. Por otro lado, se ha visto que temperaturas bajas favorecen la inducción floral y las altas incrementan el número de flores. En Holanda, el Reino Unido y el norte de Italia el cultivo requiere de 72 días desde siembra a floración. En España, en cambio, esta misma etapa sólo demora 62 días (Angelini *et al.*, 1997; Turley *et al.*, 2000).

### Cultivares ofrecidos en el mercado

El único cultivar desarrollado y patentado actualmente es la variedad 'Vernola' (Turley *et al.*, 2000).

### Mejoramiento

En el mejoramiento de *E. lagascae* han trabajado principalmente el Centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (Murcia, España) en conjunto con el 'Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung' (Instituto de Producción y Mejoramiento Vegetal) de la Universidad de Göttingen (Alemania). Actualmente se cuenta con los genotipos indehiscentes registrados id24, id76 e id77, con los cuales se podría incrementar el rendimiento de semilla (Pascual-Villalobos *et al.*, 1994; Pascual-Villalobos, 1996, 1999a). Entre estas líneas está el cultivar 'Vernola' registrado en el USDA (Reg. N°. GP-, PI604649) y protección varietal (N° EUG2) (Pascual-Villalobos, 1999b). Sin embargo, la característica de indehiscencia es afectada por las condiciones ambientales, observándose que esta es del orden del 77% en siembras de primavera en comparación con sólo un 37% en plantas provenientes de una siembra de otoño (Verdolini *et al.*, 2004).

Además, también hay líneas mutantes multicarpeladas que contienen de 3 a 5 semillas por cápsula, en comparación con el tipo silvestre en el cual sólo se encuentran tres. Este atributo podría utilizarse para aumentar el rendimiento de semillas. También el programa ha seleccionado mutantes multiramificados (mob-headed), que tienen 5 a 9 ramas en el extremo del tallo principal con cápsulas con 4 o 5 semillas y menor altura de la planta. Esta mutación es de interés para el desarrollo de líneas con maduración más uniforme, lo cual permite al mismo tiempo una siembra en densidades más altas (Pascual-Villalobos, 1999b).

### Fecha de siembra

En el norte de Europa es un cultivo de siembra primaveral (a principios de abril) debido a su intolerancia al frío. Sin embargo, en España y Portugal, la siembra invernal es posible, aunque con una siembra en primavera en sectores con riego se obtuvieron los mayores rendimientos.

Con la siembra temprana en primavera se corre mayor riesgo de que las plantas deban desarrollarse en condiciones de mayor humedad. Sin embargo, maduran más temprano (Pascual-Villalobos *et al.*, 1992).

### Marco de plantación

El establecimiento es irregular, incluso en buenas condiciones ambientales y de suelo (sólo germina entre 45 a 50 % de la semilla sembrada). La densidad deseada es entre 40 y 90 plantas/m<sup>2</sup>. Se ha observado una reducción del rendimiento de algunas accesiones cuando las densidades son menores a 77 plantas/ m<sup>2</sup>. La profundidad de siembra debe ser menor a 1.5 cm (Vogel *et al.*, 1993).

### Fertilización

No es una especie exigente en fertilización nitrogenada. Por esa razón, se recomienda fertilizar con 50 N kg/ha para siembras otoñales. No se ha encontrado respuesta significativa al nitrógeno en siembras primaverales.

### Riego

En climas secos el cultivo sembrado en primavera requiere de riego de al menos 350 mm de agua aplicados durante en la temporada de crecimiento (Turley *et al.*, 2000).

### Control de malezas

*E. lagascae* es moderadamente sensible a la competencia con malezas. Se ha informado que el rendimiento aumentó en un 37% en un cultivo libre de malezas en comparación con el control enmalezado (Cromack *et al.*, 1997).

Se han evaluados numerosos herbicidas y se ha obtenido buenos resultados con aplicaciones de trifluralina, clorprofamina y linurón en preemergencia, mientras que en postemergencia benazolin y clopiralid fueron los productos más seguros. El pendimethalin disminuye temporalmente el vigor de la planta. En Estados Unidos, los herbicidas cloridazon, oxyfluorfen, bentazon y alaclor dieron buenos resultados cuando fueron aplicados de postemergencia (Turley *et al.*, 2000).

### Plagas y enfermedades

La única enfermedad importante detectada en España es causada por la roya, *Melampsora euphorbiae*, cuyas pústulas amarillas aparecen en las hojas. Bajo condiciones climáticas favorables, la enfermedad se disemina rápidamente defoliándose las plantas. La enfermedad se puede controlar con oxycarboxin en solución al 0.2% aplicado cuando aparecen los primeros síntomas y luego cada 10 a 12 días (Pascual-Villalobos y Jellis, 1992). Especies del género *Pythium* también pueden dañar la especie causando caída de plántulas o marchitez. Otras enfermedades informadas para *Euphorbia* son *Spaerotheca tomentosa*, *Uromyces pisi* y pudrición radicular causada por *Phytophthora*. En Chillán se observaron infecciones con *Fusarium* y *Rhizoctonia solani* causando pudrición radicular y marchitez de la planta durante la etapa de llenado de la semilla.

Se han observado muy pocas plagas en este cultivo, entre ellas *Nezara viridula*, *Aphis fabae*, *Acirtosiphum* sp. (posiblemente *A. pisum*) y *Celerium euphorbiae* (Vogel et al., 1993).

### Rotaciones

No hay antecedentes al respecto

## COSECHA

### Procedimiento

Los principales problemas que se presentan durante la cosecha de *Euphorbia* son el excesivo desgrane y la presencia de látex en las plantas, que complica el proceso de limpieza. En cultivos experimentales en Estados Unidos y en España, la cosecha directa se realiza con trilladora convencional. Mientras que en Holanda se evaluaron varias técnicas de cosecha para los genotipos dehiscentes. El mejor resultado se obtuvo usando una trilladora de arvejas cuando el cultivo aún no se había secado completamente (algo verde) y a una velocidad de trabajo lenta (1 km/h). Es importante que la cosecha se realice en días soleados y con viento para asegurar óptimos resultados de trilla (Breenhar y Bouman, 1995). El uso de desecantes o de segado e hilerado para ser trillado posteriormente no da buenos resultados debido al alto desgrane (Breenhar y Bouman, 1995).

## Rendimiento

El rendimiento promedio en semilla es de 1 a 1.3 t/ha en España, con un máximo de 1.6 t/ha en zonas costeras. En el sur de Inglaterra se informó de rendimientos de 1.1 t/ha, presentándose problemas de dehiscencia. Aún se está trabajando en la domesticación de la especie para evitar el desgrane, violento, de las semillas en el momento de la madurez del fruto. Sin embargo, el rendimiento potencial se ha estimado entre 1.06 y 2.80 t/ha (Pascual-Villalobos et al., 1992).

## Calidad

Es importante mencionar que tanto el aceite de la semilla como toda la planta de *E. lagascae* contiene compuestos del tipo diterpenesteres que son irritantes (Turley et al., 2000).

El contenido de aceite y ácido vernólico de la semilla aparentemente no depende del grado de maduración de la semilla al momento de la cosecha (Vogel et al., 1993). El contenido de aceite generalmente es alto, entre un 48 y 52%, y el de ácido vernólico entre un 58 a 67% (Turley et al., 2000).

## Epoca y duración de la cosecha

La cosecha se realiza a mediados de agosto en Holanda. Mientras que en el norte de Italia se realiza 116 días después de la siembra (Angelini et al., 1997).

## POSTCOSECHA

### Procesos

A la semilla de *E. lagascae* se le debe eliminar la testa (descascar) antes de extraer el aceite. El método más efectivo para ello es utilizando una prensa hidráulica o de tornillo, combinada con la extracción de la torta con hexano, de este modo se logra extraer el 99% del aceite (Cuperus et al., 1996; Carlson et al., 1997). La refinación se realiza con la tecnología estándar desarrollada para otras oleaginosas.

En todos los pasos se debe usar sistemas cerrados con el fin de minimizar la irritación causada por los compuestos diterpenesteres, especialmente durante la extracción con solventes (Turkey et al., 2000).

Producto final

El aceite tiene un índice de yodo de 87, un valor de saponificación de 1,4640 y un índice de refracción (nD40) de 205.

Resultados obtenidos en Chile

Las semillas de *E. lagascae* se sembraron en Chillán en tres fechas distintas, en noviembre, diciembre y enero, y en la temporada siguiente a fines de octubre. El cultivo se fertilizó con 80 kg N/ha y se regó en cuatro oportunidades con un caudal de 0.4L/min por 3 horas en ambas temporadas. Las plantas florecieron a mediados de enero independiente de la fecha de siembra y a comienzos de febrero en la segunda temporada. La cosecha se realizó manualmente la última quincena de abril en ambas temporadas. El material cosechado se dejó secando sobre plástico en invernaderos antes de la trilla. Los rendimientos obtenidos en Chillán dependieron de la temporada (Cuadro 31).

Cuadro 31. Altura, rendimiento de semillas, peso de 1000 semillas, peso del hectolitro y contenido de aceite de *Euphorbia lagascae*, línea 640, cultivada en las temporadas 2002-2003, 2003-2004, 2004-2005 en Chillán.

| TEMPORADA | ALTURA<br>PROMEDIO<br>(cm) | RENDIMIENTO<br>SEMILLA<br>(kg/ha) | PESO MIL<br>SEMILLAS<br>(g) | PESO<br>HECTÓLITRO<br>(kg/hL) | CONTENIDO<br>ACEITE<br>(%) |
|-----------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 2002-2003 | —                          | 24,0                              | —                           | —                             | —                          |
| 2003-2004 | 68.8                       | 115.9                             | 10.8                        | 52.28                         | 52.2                       |
| 2004-2005 | 69.2                       | —                                 | —                           | —                             | —                          |

La altura registrada fue 10 a 12 cm menor que lo determinado por Angelini *et al.* (1997) en el norte de Italia. Durante la temporada 2002-2003 el bajo rendimiento se atribuye a dos causas: la pérdida de semillas al abrirse el fruto y a que numerosas plantas no alcanzaron a madurar. En la temporada 2003-2004 el rendimiento de semilla fue superior al obtenido en la temporada anterior, aun cuando sigue siendo bajo en comparación a lo obtenido en España e Italia (1,7 t/ha), ya que se pierde mucha semilla que cae al suelo cuando la cápsula que la contiene se abre abruptamente al madurar (Pascual-Villalobos *et al.*, 1992; Angelini *et al.*, 1997). Sin embargo, el contenido de aceite está dentro del rango mencionado en la literatura. El peso de 1000 semillas fue similar y el contenido de aceite mayor a lo determinado por Angelini *et al.* (1997) en el norte de Italia.

**Cuadro 32.** Contenido de aceite y composición en semillas de *Euphorbia lagascae* cultivada en Chillán en la temporada 2003-2004.

| CONTENIDO<br>ACEITE (%) | COMPOSICIÓN DE ACEITE (DISTRIBUCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS, %) |       |       |                    |                       |                            |
|-------------------------|----------------------------------------------------------|-------|-------|--------------------|-----------------------|----------------------------|
|                         | C14:0                                                    | C16:0 | C18:0 | C18:1 (ÁC. OLEICO) | C18:2 (ÁC. LINOLEICO) | C18:9C12-13 EPOXIVERNÓLICO |
| 51.5                    | 1.7                                                      | 5.1   | 1.5   | 22.0               | 10.4                  | 57.9                       |

El contenido de aceite y de ácido epoxivernólico en la semilla (Cuadro 32) están en el rango informado en el extranjero, mientras que las cantidades de ácido oleico y linoleico fueron menores. Según Pascual y Correal (1992), Pascual-Villalobos *et al.* (1992) y Turley *et al.* (2000) la semilla contiene entre un 48 a 52% de aceite, del cual el 58 a 67% corresponde a ácido vernólico (ácido 12,13-epoxi-cis-9-octadecenoico), 24 % ácido oleico y 12 % ácido linoleico. El contenido de aceite y ácido vernólico de la semilla aparentemente no depende del grado de maduración de la semilla al momento de la cosecha (Vogel *et al.*, 1993).

## LITERATURA CITADA

- Angelini, L.G.; E., Moscheni, G. Colonna, and P. Belloni. 1997. Variation in agronomic characteristics and seed oil composition of new oilseed crops in Italy. *Ind. Crops Prod.* 6:313-323.
- Breemhaar, H.G., and A. Bouman. 1995. Harvesting and cleaning *Euphorbia lagascae*, a new arable oilseed crop for industrial application. *Ind. Crops Prod.* 4:173-178.
- Carlson, K.D., T.A. Isbell, T.P. Abbott, and R. Kleiman. 1997. Lab-scale processing of *Euphorbia lagascae* seed and oil. (Abstract). In Annual Meeting of the Assoc. for the Advancement of Industrial Crops, 14-18 September, Saltillo, México.
- Cromack, H.T.H, J.M. Smith, and K.M. Morton. 1997. Weed control in new industrial oilseed species. Brighton Crop Protection Conference Weeds, Brighton, UK, 2: 845-850.



Cuperus, F. P., G. Boswinkel, and J. T. P. Derksen. 1996. The processing of new oilseed crops - an economic evaluation. J. American Oil Chemists' Society 73 (12): 1635-1640.

ENICA. 2000. Oil crops. Summary report for European Union. [en línea]. <http://www.ienica.net/reports/BIGOILS.pdf> (consulta: 7 abril, 2005).

Pascual-Villalobos, M.J. 1996. Mutagenesis in *Euphorbia lagascae*: Induction of novel variability for breeding purposes. In: Princen, L.H., and C. Rossi (eds.). Proceedings of International Conference on New Industrial Crops and Products. Assoc. for the Advancement of Industrial Crops, USA.

Pascual-Villalobos, M.J. 1999a. Registration of indehiscent *Euphorbia lagascae* L. germplasm: idm24, idm76, and idm77. Crop Sci. 39(5): 1537.

Pascual-Villalobos, M.J. 1999b. Registration of multicarpellate, mob-headed, and viridis *Euphorbia lagascae* L. Genetic stocks: mcp, mob, vir, idmcp, idmob, idvir, and idmcpvir. Crop Sci. 39 (5):1541.

Pascual, M.J., and E. Correal. 1992. Mutation studies of an oilseed spurge rich in vernolic acid. Crop Sci. 32 (1) :95-98.

Pascual-Villalobos, M.J., and G.J. Jellis. 1992. Occurrence of *Melampsora euphorbiae* on *Euphorbia lagascae* in south east Spain. Plant Pathology 41:370-371.

Pascual-Villalobos, M.J., G. Röbbelen, E. Correal, and S. Ehbrecht-von Witzke. 1992. Performance test of *Euphorbia lagascae* Spreng., an oilseed species rich in vernolic acid in south east Spain. Ind. Crops Prod. 1(2-4): 185-190.

Pascual-Villalobos, M.J., J.M. Ortiz, and E. Correal. 1993. Morphometric characterization of seeds of *Euphorbia lagascae*. Seed Science and Technology 21(1): 53-60.

Pascual-Villalobos, M. J., G. Röbbelen, and E. Correal. 1994. Production and evaluation of indehiscent mutant genotypes in *Euphorbia lagascae*. Ind.Crops Prod. 3:129-43.

Turley, D., M. Froment and S. Cook (eds.). 2000. Handbook of Euphorbia: The development of *Euphorbia lagascae* as a new oil crop within the European Community. [en línea]. EC Concerted Action (FAIR-CT98/4460). ADAS Consulting Ltd., Wolverhampton, UK.  
<http://www.nf-2000.org/publications/fair4460/> (Consulta: 4 abril, 2005).

Verdolini, F., A. Anconetani, D. Laureti and M.J. Pascual-Villalobos. 2004. Indehiscence expression and capsule anatomy in 'Vernola'. Crop Sci. 44: 1291-1298.

Vogel, R., M. J. Pascual-Villalobos and G. Röbbelen. 1993. Seed oils for new chemical applications. 1. Vernolic acid produced by *Euphorbia lagascae*. Angew. Bot. 67: 31-41.

White, G.A., B.C. Willingham, W.H. Skrdla, J.H. Massey, J.J. Higgins, W. Calhoun, A.M. Davis, D.D. Dolan, and F.R. Earle. 1973. Agronomic evaluation of prospective new crop species. Econ. Bot. 25: 25-43.

## PÁGINAS WEB DE INTERÉS

[www.ienica.net/crops/caperspurge/](http://www.ienica.net/crops/caperspurge/)  
[www.nnfcc.co.uk/crops/info/caperspurge.pdf](http://www.nnfcc.co.uk/crops/info/caperspurge.pdf)





**Figura 15.** Euphorbia, detalle del tallo y la inflorescencia (ciatio) (A), plantas (B).





# Lesquerella



**Nombre Común:** Lesquerella.

**Nombre Científico:** *Lesquerella fendleri* (Gray S. Watts), *L. angustifolia*, *L.*

**Otros Nombres:** Bladderpod, yellow top (inglés).

**Familia:** Brassicaceae.

**Centro de Origen:** Todas las especies del género *Lesquerella* son nativas de Norteamérica y Sudamérica. Así, 83 especies provienen de Norteamérica y sólo 12 de ellas se encuentran en Sudamérica (Dierig *et al.*, 1996). El centro de origen de *L. fendleri* está en el sudoeste de Estados Unidos, el de *L. angustifolia* en Oklahoma, Estados Unidos, el de *L. gordonii* en Nuevo Mexico, Estados Unidos y el de *L. mendocina* en la Patagonia Argentina (Ploschuk *et al.*, 2003).

**Distribución geográfica:** *Lesquerella fendleri* se distribuye en zonas áridas y semiáridas del sudoeste de Estados Unidos, incluyendo los estados de Arizona, Colorado, Nuevo México, Texas, Utah y el norte de México (Dierig *et al.*, 1996). Se están realizando ensayos en Bélgica, Italia, Holanda e Inglaterra (IENICA, 2000).

Descripción

*Lesquerella fendleri* es una planta perenne con hojas pubescentes, pero se cultiva como anual de invierno. Las plantas tienen hábito de crecimiento indeterminado alcanzando hasta 45 cm de altura (Dierig y Thompson, 1993). Las flores son de color amarillo, hermafroditas, y los tricomas de las hojas están fusionados hasta la mitad de su largo, lo cual la distingue de las otras especies de *Lesquerella*. Las hojas basales miden entre 1 a 4 cm de largo y 1 a 6 mm de ancho y sus márgenes son enteros. El número de cromosomas es 2n=12. El fruto es una silicua globosa, glabra. Cada una contiene entre 6 a 25 semillas (Dierig *et al.*, 1996).

Composición de la semilla

La semilla contiene 21-25% de aceite, del cual 51 a 74% es ácido lesquerólico (C 29:1[OH]), y el resto corresponde a ácidos grasos insaturados de 18 carbonos, tales como, ácido oleico, linolénico y linoleico, principalmente (Cuadro 33).

Cuadro 33. Composición de la semilla de *Lesquerella fendleri*

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| Contenido de aceite (%)               | 23-35    |
| Ácido densipólico (%)                 | 0.9      |
| Ácido lesquerólico (%)                | 50 - 80  |
| Ácido auricólico (%)                  | trazas   |
| Glucosinolatos (%)                    | 3 - 7    |
| Proteína cruda ( afrecho o torta) (%) | 30 - 35% |

United States Water Conservation Laboratory, 2004; [www.uswcl.ars.ag.gov](http://www.uswcl.ars.ag.gov)

Usos

El aceite se utiliza para elaborar productos cosméticos tales como lápiz labial, bloqueador solar (Compton *et al.*, 2004) y otros, ya que tiene muy bajos índices de toxicidad e irritación ocular, dermal y oral. El aceite para la industria cosmética debe extraerse aplicando presión en frío (cold press), obteniéndose un 85% (Arquette y Brown, 1993). Además de la industria cosmética puede utilizarse en numerosos otros productos incluyendo adhesivos, plásticos, lubricantes, productos farmacéuticos, medicinales, ceras, barnices, jabones, detergentes, grasas, aceites para motores, tintas y sellantes (Muuse *et al.*, 1992; Dierig y Thompson, 1993; Adamsen *et al.*, 2003). Por su composición puede reemplazar al aceite de ricino (*Ricinus communis*), cuya



producción se encuentra cuestionada en Estados Unidos por la alta toxicidad que tiene para los operarios durante la producción, cosecha y selección de semillas e incluso se encuentra en la lista de plantas tóxicas debido a su alto contenido de alcaloides (Department of Defense Critical Material List) (Dierig y Thompson, 1993).

### **Antecedentes de mercado**

El aceite de *Lesquerella* se puede utilizar en reemplazo del aceite de ricino, ya que es similar a este último. En Estados Unidos se usan entre 30.000 y 45.000 t anuales de aceite de ricino, dependiendo en su totalidad de las importaciones desde China, India, Tailandia y Brasil. Estas alcanzan a valores entre 30 y 50 millones de dólares al año (Dierig y Thompson, 1993). Sin embargo, los importadores están muy preocupados por la estabilidad del precio del producto y la de estos proveedores en el largo plazo. Se ha estimado que el precio de *Lesquerella* pagado al productor podría alcanzar entre 0.33 y 0.4 US\$/kg de semilla.

### **Países productores**

Aún no existe producción comercial. En 1990 se sembraron 12 ha en Arizona y Texas, Estados Unidos, mientras que en 1991 aumentó a 30 ha, con el fin de evaluar la producción comercial del cultivo (Dierig *et al.*, 1992).

## **MANEJO DEL CULTIVO**

### **Requerimientos de suelo y clima**

*Lesquerella* tolera una precipitación anual de 300 a 1100 mm, temperaturas de 13 a 15° C y pH de 5.6 to 8.3 (Duke, 1978; 1983). El cultivo tolera altitudes de 1200 a 2100 m lo que sugiere que podría cultivarse más al norte que su área de distribución. En Texas, la mayor parte de las especies de *Lesquerella* crecen en suelos calcáreos. Esta especie es pionera en suelos secos, pobres y bien drenados. Es una especie rústica que crece en condiciones de requerimientos hídricos tan bajos como 250 mm anuales de precipitación y sin riego en el sur-este de Estados Unidos de Norteamérica. Es tolerante a estrés hídrico durante la etapa vegetativa (Puppala y Fowler, 1998). Es altamente tolerante a suelos salinos, ya que es capaz de excluir el sodio cuando este alcanza límites tóxicos (Grieve *et al.*, 1998). Esto permite que la especie se adapte a suelos con alta salinidad (Foster, 1999). Además, absorbe altas concentra-

ciones de selenio en condiciones salinas, lo cual permitiría su uso en fitoremediación de suelos (Grieve *et al.*, 2001). Fuera de eso, es una especie de día largo.

Se ha determinado que las semillas presentan un ciclo anual de dormancia y no dormancia, que depende de las condiciones de almacenaje. Para la germinación de la semilla se requiere que esta esté expuesta a la luz y a 20°C (Hyatt *et al.*, 2001). Sin embargo, también se puede embeber la semilla con una solución con ácido giberélico. Durante este proceso sobre la testa de la semilla se hidratan moléculas que forman una capa de mucílago disminuye la permeabilidad al oxígeno. Este último es requerido en los diferentes procesos metabólicos que suceden al interior de la semilla durante la germinación (Atwater, 1980). De allí, que una aplicación exógena de giberelinas promueva la germinación de ellas (Bass *et al.*, 1966.)

También se ha evaluado su cultivo en Pisa, Italia, en un clima mediterráneo similar al de la zona centro sur de Chile, con rendimientos adecuados, pero serios problemas de desgrane (Angelini *et al.*, 1997).

#### **Cultivares ofrecidos en el mercado:**

Existe germoplasma registrado para el mejoramiento. Entre este se encuentran las líneas WCL-LY2, con alto contenido de aceite (26%), WCL-SL1, tolerante a alta salinidad y la línea WCL-YS1, con testa de color amarillo, lo cual disminuye la coloración del aceite durante el proceso de extracción (Dierig *et al.*, 1998; Dierig *et al.*, 2000; Dierig *et al.*, 2001a; 2001b; [www.uswcl.ars.ag.gov](http://www.uswcl.ars.ag.gov)).

#### **Mejoramiento**

Existe un programa de mejoramiento en el laboratorio "US Water Conservation Laboratory", USDA, en Phoenix, Arizona, Estados Unidos. Aún no hay cultivares comerciales, pero sí varias líneas que tienen una mayor concentración de aceite y contenido de ácido lesquerólico (Dierig *et al.*, 1998).

#### **Desarrollo y crecimiento**

Si se siembra lesquerella en marzo en Arizona, Estados Unidos, demora 212 días a floración y sólo 66 días cuando se siembra en noviembre (Ploschuk *et al.*, 2003). La floración dura aproximadamente 12 semanas, pero las primeras 4 a 6 semanas de floración son las que tienen mayor influencia sobre el rendimiento (Adamsen *et al.*, 2003). Las abejas son necesarias para la polinización y asegurar altos rendimientos (Adamsen *et al.*, 2003).

### Fecha de siembra y/o plantación

Lesquerella debe sembrarse en otoño en sectores donde no se presentan heladas o estas son suaves (Región Metropolitana, valles de la V Región, zonas costeras). La siembra se realiza con una sembradora de forrajeras tipo Brillion.

En Arizona, Estados Unidos, la mejor fecha de siembra es entre septiembre y octubre (Nelson *et al.*, 1996), lo que correspondería a marzo y abril en Chile. Considerando que *Lesquerella* no tolera heladas esta fecha de siembra sólo se recomienda de la VI Región al norte.

Al realizar siembras primaverales en la Patagonia Argentina (valle del Río Chubut) el rendimiento de *L. fendleri*, *L. angustifolia* y *L. gordonii* se redujo en un 80% en comparación con las siembras otoñales. Estos resultados se deben a que el largo del día y las altas temperaturas que se presentan en el verano en esas latitudes reducen el desarrollo vegetativo, comenzando a florecer las plantas con escasa biomasa acumulada (Ploschuk *et al.*, 2003).

### Marco de plantación

El rendimiento más alto se obtuvo con dosis de semillas entre 6.5 y 8.9 kg/ha (Adamsen *et al.*, 2003). La densidad óptima para maximizar el rendimiento, contenido de aceite y ácido lesquerólico es de 1.000.000 plantas/ha. Cuando las densidades fueron mayores a 1.600.000 plantas/ha disminuyó el rendimiento y contenido de aceite (Brahim *et al.*, 1996, 1998).

El peso de 1000 semillas fluctúa entre 0.55 a 0.65 g y no es afectado por la densidad de siembra (Angelini *et al.*, 1997; Brahim *et al.*, 1998).

### Preparación de suelo

Lesquerella requiere de una cama de siembra fina, mullida, pero firme para poder regular la profundidad de siembra.

### Fertilización

El rendimiento aumentó significativamente de 474 kg/ha a 1260 kg/ha con la aplicación de nitrógeno de 0 a 120 kg/ha (Admudsen *et al.*, 2003). Resultados similares obtuvieron Nelson *et al.* (1999) aumentando el rendimiento de 660 kg/ha a 1990 kg/ha con la adición de 180 kg N/ha. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre 120 y 180 kg N/ha.

Por otra parte, al incrementarse la fertilización nitrogenada disminuyó el contenido de aceite de 26.7 a 23.5 %, pero no tuvo efecto sobre el contenido de ácido lesquerólico (Nelson *et al.*, 1999).

La parcialización de la dosis completa de nitrógeno en tres aplicaciones tuvo un efecto negativo sobre el contenido de aceite, por lo que se recomienda suministrar el nitrógeno en no más de dos aplicaciones (Nelson *et al.*, 1999).

### Riego

Lesquerella responde al riego, aumentando su biomasa, el rendimiento de semillas y el contenido de aceite. La mayor cantidad de biomasa se obtuvo cuando el total de agua aplicada fue 440 mm (correspondiente al 65% de la evaporación de bandeja), dividida en 7 riegos, siendo el primero a inicio de floración, uno a mediados de floración, otro en plena floración y cuatro riegos más, con un intervalo de 7 días entre ellos.

Tanto el período de floración como inicio de llenado de granos son altamente sensibles al estrés hídrico (Hunsaker *et al.*, 1998). La falta de agua alarga la floración en hasta 15 días y reduce la producción de tallos por planta (Ploschuk *et al.*, 2001).

### Control de malezas

Lesquerella crece lento y, por lo tanto, no es muy buena competidora con las malezas. Existen varios herbicidas que se pueden aplicar en este cultivo. Los herbicidas de presembrado incorporados recomendados en Estados Unidos son trifluralina, ethalfluralina y benefin. En cuanto a herbicidas de post emergencia, *Lesquerella* es tolerante a los herbicidas para control de malezas de hoja ancha tales como, oxyfluorfen y clopyralid. Para el control de gramíneas se pueden utilizar fluazifop o sethoxydim (Roseberg, 1996a, b).

### Plagas y enfermedades

Hasta el momento no se han detectado ni plagas ni enfermedades importantes en este cultivo. Sin embargo, los siguientes hongos han sido encontrados en plantas de *L. fendleri*: *Helminthosporium namum*, *Phoma punctiformis*, *Phymatotrichum omnivorum* y *Puccinia aristidae* (Dierig, 2002).

## COSECHA

### Procedimiento

La cosecha se realiza directamente con trilladora convencional. Estudios realizados por Coates (1994; 1996) indican que el segado e hilerado disminuyen el rendimiento debido al aumento del desgrane, que puede alcanzar a un 30%. Por otro lado, el uso de desecantes, aplicado 10 días antes de la trilla, aumentó el rendimiento de semilla (Coates, 1994; 1996).

### Rendimiento

Los rendimientos actuales fluctúan entre 950 y 1120 kg/ha. Mientras que en líneas avanzadas se han observado rendimientos de hasta 1800 kg/ha (Roseberg, 1996a). Sin embargo, en Italia y en Chile los rendimientos son muy bajos. En Argentina los mejores rendimientos de semilla (725 kg/ha) se obtuvieron con *L. angustifolia*, con un contenido de aceite del 22%. Mientras que el mejor rendimiento observado para *L. fendleri* fue 174 kg/ha, con un contenido de aceite de 19.8% (Ploschuk *et al.*, 2003).

### Epoca y duración de la cosecha

Se debe cosechar en enero, con un contenido de humedad de la semilla menor a 19% y se calcula que corresponde a 243 días después de la siembra. Si la cosecha se atrasa, llegando hasta un 7% de humedad en la semilla, el contenido de aceite disminuye (Brahim *et al.*, 1996).

### Resultados obtenidos en Chile

La lesquerella se sembró la primera temporada en otoño en Chillán (VIII Región), Entre Lagos y Cocule (X Región). En las tres localidades, la mayoría de las semillas germinaron y emergieron. Sin embargo, las plántulas murieron con las heladas en el invierno. Esto indica que esta especie no es tolerante a las heladas y, por lo tanto, no prospera como anual de invierno ni siquiera en la zona de Chillán.

La germinación de semillas de las tres líneas WCL-LY1, 98OL y WCL-SL1, fue de 87.5, 36.3 y 42.5 %, respectivamente.

Al ser sembrada en primavera (agosto) lesquerella floreció el 11 de noviembre la primera temporada y el 9 de noviembre la segunda temporada de cultivo en Chillán. Los resultados obtenidos se presentan en los Cuadros 34 y 34.

**Cuadro 34.** Parámetros de rendimiento y contenido de aceite evaluados para *Lesquerella fendleri* cultivada durante tres temporadas en Chillán.

| LÍNEA            | FECHA COSECHA | POBLACIÓN INICIAL<br>(MILES PLANTAS/ha) | ALTURA PROMEDIO<br>(cm) | RENDIMIENTO BIOMASA<br>(bmf) (kg/ha) | RENDIMIENTO DE SEMILLAS<br>(kg /ha) | PESO MIL SEMILLAS<br>(g) | PESO HECTÓLITRO<br>(kg/hL) |
|------------------|---------------|-----------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <b>2002-2003</b> |               |                                         |                         |                                      |                                     |                          |                            |
| WCL-LY1          | Febrero-Abril | —                                       | —                       | 1140                                 | 37.6                                | 0.67                     | 68.7                       |
| 98LO             | Enero-Febrero | —                                       | —                       | 1753                                 | 66.9                                | 0.65                     | 69.7                       |
| WCL-SL1          | Febrero-Abril | 23                                      | 24                      | 1425                                 | 40.7                                | 0.80                     | 65.2                       |
| <b>2003-2004</b> |               |                                         |                         |                                      |                                     |                          |                            |
| WCL-LY1          | Enero-Febrero | 40                                      | 21                      | 429                                  | 60.0                                | 1.0                      | 64.7                       |
| 98LO             | Enero-Febrero | 47                                      | 26                      | 467                                  | 64.6                                | 1.6                      | 65.0                       |
| WCL-SL1          | Enero-Febrero | 51                                      | 21                      | 638                                  | 87.7                                | 1.5                      | 65.2                       |
| WCL-SL1          | Enero-Febrero | 51                                      | 21                      | 638                                  | 87.7                                | 1.5                      | 65.2                       |
| <b>2004-2005</b> |               |                                         |                         |                                      |                                     |                          |                            |
| WCL-LY1          | Enero-Febrero | 63                                      | 21                      | 125                                  | 94.0                                | 0.47                     | 72.0                       |
| 98LO             | Enero-Febrero | 160                                     | 23                      | 298                                  | 223.1                               | 0.47                     | 65.0                       |
| WCL-SL1          | Enero-Febrero | 86                                      | 20                      | 159                                  | 119.1                               | 0.60                     | 68.0                       |

La maduración de esta especie fue muy desuniforme. Por lo tanto, para poder obtener el mayor número de semillas posibles, se procedió a realizar tres cosechas manuales, parcializadas (a mediados de febrero, mediados de marzo y comienzos de abril) o en enero-febrero.

Los rendimientos en Chillán fueron bajos en comparación a otros países. Los rendimientos actuales fluctúan entre 950 y 1120 kg/ha. Esto podrían deberse a que esta especie se siembra en otoño en climas con inviernos más suaves que Chillán (tales como, por ejemplo, Santiago de Chile y Tucson, Arizona, E.E.U.U). Sin embargo, Angelini *et al.* (1997) observaron que con una siembra en primavera en Pisa, Italia, la producción de semilla por planta aumentó. Ellos también mencionan que el período de cuaja de frutos y posterior maduración es largo.

El peso de 1000 semillas fue similar al informado por Angelini *et al.* (1997) y casi duplicó los resultados de Brahim *et al.*, (1996) en la temporada 2003-2004.

**Cuadro 35.** Contenido y composición del aceite en semillas de *Lesquerella fendleri* cultivada en Chillán en tres temporadas diferentes.

| LÍNEA     | CONTENIDO<br>ACEITE (%) | COMPOSICIÓN DE ACEITE (DISTRIBUCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS, %) |       |       |       |       |       |                           |
|-----------|-------------------------|----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|
|           |                         | C16:0                                                    | C16:1 | C18:0 | C18:1 | C18:2 | C18:3 | C20:1 OH ÁC. LESQUERÓLICO |
| 2002-2003 |                         |                                                          |       |       |       |       |       |                           |
| WCL-SL1   | 23.41                   | 1.3                                                      | —     | 12.4  | 14.7  | 6.8   | 10.4  | 30.9                      |
| 98LO      | 18.02                   | 2.5                                                      | —     | 2.3   | 26.8  | 12.2  | 18.8  | 29.9                      |
| WCL-LY1   | 21.07                   | 3.2                                                      | —     | 3.4   | 30.6  | 16.9  | 21.1  | 19.0                      |
| 2003-2004 |                         |                                                          |       |       |       |       |       |                           |
| WCL-SL1   | 20.8                    | 1.6                                                      | —     | 2.7   | 21.4  | 9.9   | 15    | 44.4                      |
| 98LO      | 16.71                   | 2                                                        | —     | 3.4   | 27    | 27    | 17.7  | 2.8                       |
| WCL-LY1   | 27.15                   | 1.7                                                      | —     | 2.4   | 18.6  | 9.4   | 12.7  | 49.8                      |
| 2004-2005 |                         |                                                          |       |       |       |       |       |                           |
| WCL-SL1   | 21.02                   | 28.8                                                     | 5.8   | 3.2   | 41.8  | 7.7   | 0.3   | 1.7                       |
| 98LO      | 23.48                   | 6.0                                                      | 1.6   | 3.3   | 21.7  | 9.3   | 12.4  | 41.6                      |
| WCL-LY1   | 19.41                   | 3.0                                                      | 1.0   | 1.5   | 19.4  | 8.7   | 13.5  | 47.9                      |

El contenido de aceite (Cuadro 35) varió entre las líneas según el año de cultivo, siendo más bajo en la línea 98LO. En general, fue más bajo a lo mencionado en la literatura (23-25%). El ácido de interés industrial, el lesquerólico, fluctuó entre 2.8% y 49.8%, menor a lo informado en Arizona, E.E.U.U. (, 50-80%) (United States Water Conservation Laboratory, 2004).

La extracción de aceite por prensado en frío se presenta en el Cuadro 36.

**Cuadro 36.** Rendimiento de aceite por prensado en frío en una muestra compuesta de semillas de *Lesquerella fendleri*.

| MUESTRA COMPUESTA | PESO MUESTRA (g) | PESO ACEITE (g) | PESO FILTRADO (g) | PESO SÓLIDO (g) | PESO TORTA (g) |
|-------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------|----------------|
| Lesquerella       | 215.0            | ***             | ***               | ***             | 211.8          |

\*\*\*: No se obtuvo aceite del prensado.

No fue posible extraer aceite por prensado a partir de las semillas debido a un problema asociado a un factor físico de la prensa disponible: la razón de compresión necesaria para extraer el aceite de la semilla está fuera del rango de proceso de la prensa. Si se quisiera prensar aceite de *Lesquerella*, sería necesario cambiar piezas de la prensa, con el fin de aumentar la razón de compresión. Por esa razón se realizó una extracción Soxhlet cuyos resultados se presentan en el Cuadro 37.



**Cuadro 37.** Resultados de la extracción Soxhlet de la torta de *Lesquerella fendleri*.

| MUESTRA         | PESO HÚMEDO (g) | HUMEDAD (%) | PESO SECO (g) | ACEITE (g) | RENDIMIENTO (%) |
|-----------------|-----------------|-------------|---------------|------------|-----------------|
| Lesquerella (A) | 39.59           | 7.78        | 36.51         | 10.29      | 28.2            |
| Lesquerella (B) | 41.22           | 7.32        | 38.20         | 10.71      | 28.0            |
| Promedio        | 40.40           | 7.55        | 37.35         | 10.50      | 28.1            |

\*\*\*: No se obtuvo aceite del prensado.

El tiempo de ejecución del prensado para la muestra compuesta de *Lesquerella fendleri* WCLSL1+WC-LYT+98LO, fue de 3.5 minutos por cada 100 g y presentó dificultad en la extracción por la dureza de la semilla, por lo que fue necesario detener a la prensa para enfriar, vaciar, limpiar y posteriormente proseguir en el prensado utilizando un tiempo indefinido para esta extracción (sólo se consideró el tiempo de la extracción de las semillas). La torta se repasó más de tres veces y no se obtuvo aceite de las semillas.

## LITERATURA CITADA

Adamsen, F.J., T.A. Coffelt, and J.M. Nelson. 2003. Flowering and seed yield of lesquerella as affected by nitrogen fertilization and seeding rate. Ind. Crops Prod. 8 (2): 125-131.

Angelini, L.G., E. Moscheni, G. Colonna, P. Belloni, and E. Bonari. 1997. Variation in agronomic characteristics and seed oil composition of new oilseed crops in central Italy. Ind. Crops Prod. 6(3-4): 313-323.

Arquette, J.G., and J.H. Brown. 1993. Development of cosmetic grade oil from *Lesquerella fendleri* seed. p. 367-371. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.). New Crops. John Wiley and Sons, Inc. NY.

Bass, L.N., D. Clark, and R. Sayers. 1966. Germination experiments with seeds of *Lesquerella* spp. Proc. Assoc. Off. Seeds Analysts. N. Am. 56:148-153.

Brahim, K., D.K Stumpf, D.T. Ray, and D.A. Dierig. 1996. *Lesquerella fendleri* seed oil content and composition: harvest date and plant population effects. Ind. Crops Prod. 5 (3): 245-252.

Brahim, K., D.T. Ray, and D.A. Dierig. 1998. Growth and yield characteristics of *Lesquerella fendleri* as a function of plant density. Ind. Crops Prod. 9 (1): 63-71.

Coates, W. 1994. Mechanical harvesting of lesquerella. Ind. Crops Prod. 2 (3): 245-250.

Coates, W. 1996. Effect of harvest method and date on lesquerella seed yields. Ind. Crops Prod. 5 (2): 125-132.

Compton, D.L., J.A. Laszlo, and T. Isbell. 2004. Sunscreen active ingredients from lesquerella oil. American Oil Chemists' Society Meeting. 9-12 May, Cincinnati Ohio.

Dierig, D.A. 2002. Lesquerella. [en línea]. <http://www.nnfcc.co.uk/crops/info/lesquerella.pdf>. (consulta: 22 diciembre, 2004).

Dierig, D.A., and A.E. Thompson. 1993. *Vernonia* and *Lesquerella* potential for commercialization. p. 362-366. In: J. Janick and J. E. Simon (eds.). New Crops. John Wiley and Sons, Inc. NY.

Dierig, D.A., T.A. Coffelt, F.S. Nakayama, and A.E. Thompson. 1996. *Lesquerella* and *Vernonia*: oilseeds for arid lands. p. 347-354. In: J. Janick (ed). Progress in New Crops. ASHS Press. Alexandria, VA.

Dierig, D.A., A.E. Thompson, and F.S. Nakayama. 1992. Lesquerella commercialization efforts in the United States. Ind. Crops Prod. 1 (2/4): 289-293.

Dierig, D.A., A.E. Thompson, and T.A. Coffelt. 1998. Registration of three *Lesquerella fendleri* germplasm lines selected for improved oil traits. *Crop Sci.* 38 (1): 287.

Dierig, D.A., A.E. Thompson, and F.S. Nakayama. 1992. *Lesquerella* commercialization efforts in the United States. *Ind. Crops Prod.* 1 (2/4): 289-293.

Dierig, D.A., P.M. Tomasi, T.A. Coffelt, W.E. Rayford, and L. Lauver. 2000. Registration of a *Lesquerella fendleri* germplasm and yellow seed coat color. *Crop Sci.* 40 (3): 865-866.

Dierig, D.A., P.M. Tomasi, and G.H. Dahlquist. 2001a. Registration of WCL-LY2 high oil *Lesquerella fendleri* germplasm. *Crop Sci.* 41:604.

Dierig, D.A., M.C. Shannon, and C.M. Grieve, 2001b. Registration of WCL-SL1 salt tolerant *Lesquerella fendleri* germplasm. *Crop Sci.* 41(2): 604-605.

Duke, J.A. 1978. The quest for tolerant germplasm. p. 1-61. *In*: ASA Special Symposium 32. Crop tolerance to suboptimal land conditions. Am. Soc. Agron. Madison, WI, IL.

Duke, J.A. 1983. *Lesquerella fendleri* (A.Gray) S. Wats. Brassicaceae Bladder-pod, Yellow-top. Source: Handbook of Energy Crops. [http://newcrop.hort.purdue.edu/newcrop/duke\\_energy](http://newcrop.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy). (consulta: 10 diciembre, 2005).

Foster, M. 1999. *Lesquerella* establishment and response to postemergence herbicides in west Texas. Annual Conference Diversity in Agricultural Markets: New Crops and New Markets. October 17-21, Eugene, Or.

Grieve, K.M., C. Shannon, and D.A. Dierig. 1998. Salinity effects on growth, shoot-ion relations and seed production of *Lesquerella fendleri*. p. 239-243 *In*: J. Janick and J.E. Simon (eds.). Perspectives of New Crops and New Uses. ASHS Press.

Grieve, C.M., J.A. Poss, D.L. Suarez, and D.A. Dierig. 2001. Lesquerella growth and selenium uptake affected by saline irrigation water composition. Ind. Crops Prod. 13 (1): 57-65.

Hunsaker, D.J., F.S Nakayama, D.A. Dierig, and W.L. Alexander. 1998. Lesquerella seed production: water requirements and management. Ind. Crops Prod. 8 (2): 167-182.

Hyatt, L.A., A. S. Evans, and C. C. Baskin. 2001. Annual dormancy cycles in *Lesquerella fendleri* (Brassicaceae) seeds stored under both field and laboratory conditions.[en línea]. p. 648-654. <http://www.nrc.ca/cisti/journals/cjb/b99-142.html> (consulta: 10 diciembre, 2005).

IENTICA. 2000. Oil crops. Summary report for European Union. [en línea]. <http://www.ienica.net/reports/BIGOILS.pdf> (consulta :7 abril, 2005).

Muuse, B.G., F.P. Cuperus and J.T.P. Derksen. 1992. Composition and physical properties of oils from new oilseed crops. Ind. Crops Prod. 1: 57-65.

Nelson, J.M., D.A. Dierig and F.S. Nakayama. 1996. Planting date and nitrogen fertilization effects on lesquerella production. Ind. Crops Prod. 5 (3): 217-222.

Nelson, J.M., J.E. Watson, and D.A. Dierig. 1999. Nitrogen fertilization effects of lesquerella production. Ind. Crops Prod. 9 (3):163-170.

Ploschuk, E.L., L. Windauer, and D.A. Ravetta. 2001. Potential value of traits associated with perennial habit in the development of new oil-seed crops for arid lands. A comparison of *Lesquerella fendleri* and *L. mendocina* subjected to water stress. J. Arid Environ. 47 (3): 373-386.

Ploschuk, E.L., G. Cerdeiras, L. Windauer, D.A. Dierig, and D.A. Ravetta. 2003. Development of alternative *Lesquerella* species in Patagonia (Argentina): potential of *Lesquerella angustifolia*. Ind. Crops Prod. 18 (1): 1-6.

Puppala, N., and J. Fowler. 1998. Growth analysis of *Lesquerella* in response to moisture stress. p. 244-246. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.). Perspectives of New Crops and New Uses. ASHS Press. Alexandria, VA.

Roseberg, R.J. 1996a. Underexploited temperate industrial and fiber crops. p. 60-77. In: J. Janick and J.E. Simon (eds). Progress in New Crops. ASHS Press, Alexandria, VA.

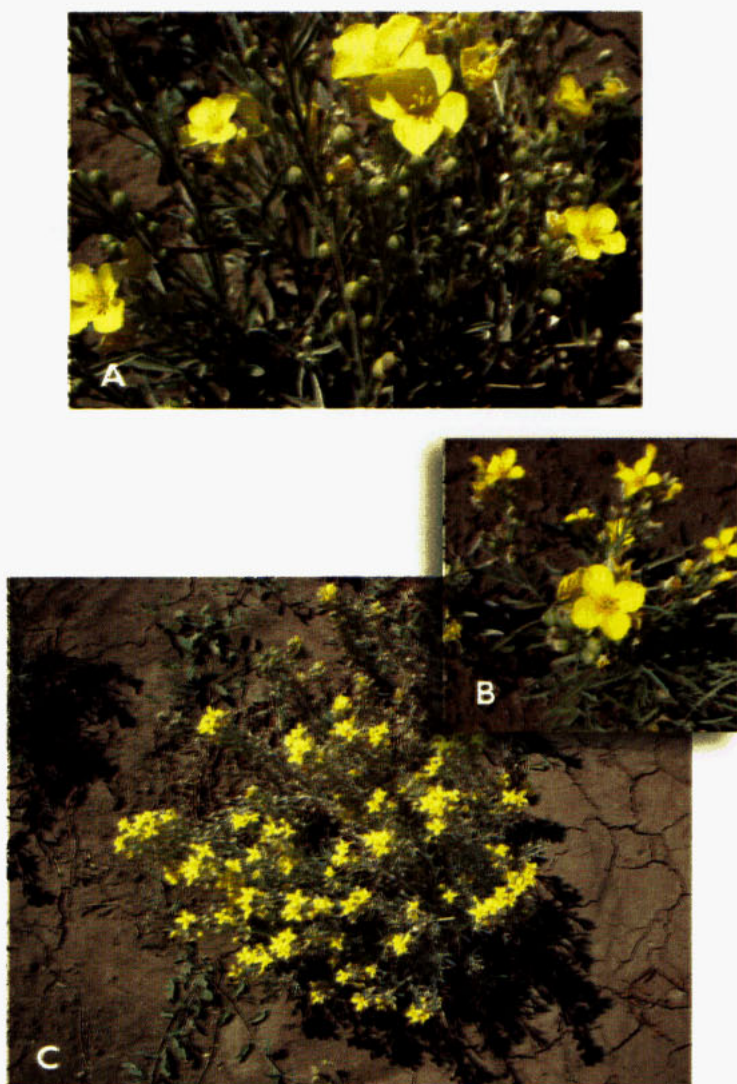
Roseberg, R.J. 1996b. Herbicide tolerance and weed control strategies for *lesquerella* production. Ind. Crops Prod. 5 (2):133-139.

United States Water Conservation Laboratory (USWCL). 2004. *Lesquerella*. New Crops Factsheets. [en línea]. <http://www.uswcl.ars.ag.gov/EPD/NewCrops/Lesquerella.htm> (consulta: 22 diciembre, 2004).

## **PÁGINAS WEB DE INTERÉS**

<http://www.uswcl.ars.ag.gov/epd/newcrops>

[http://newcrop.hort.purdue.edu/newcrop/duke\\_energy](http://newcrop.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy)



**Figura 16.** Lesquerella, flores (A,B), planta completa (C).





# Limnanthes



- Nombre Común:** Meadowfoam.
- Nombre Científico:** *Limnanthes alba* Hartweg ex Benth.
- Otros Nombres:** —
- Familia:** Limnathaceae.
- Centro de Origen:** Norte de California y sur de Oregon (E.E.U.U.).
- Distribución geográfica:** La especie se cultiva principalmente en la costa oeste de Estados Unidos de Norteamérica (Oregon, California e Illinois) (Knapp y Crane, 1999).

Descripción

Meadowfoam es una planta anual de invierno, herbácea, erecta, con una o más ramificaciones desde la base y crece hasta una altura de 25 a 35 cm. Crece en roseta desde la cual se desarrolla el tallo floral a fines de invierno/ comienzos de primavera (IENICA, s/f).

Tiene un sistema radical fibroso que alcanza hasta 150 cm de profundidad. Las hojas son pinadas y las flores son regulares, perfectas y generalmente conspicuas, sobre pedúnculos axilares. Requiere de polinización por insectos para producir semillas y una flor produce hasta cinco frutos (llamados semillas). Sin embargo, lo normal es dos a tres (Oelke *et al.*, 1990).

Composición de la semilla

La semilla contiene entre un 28 a 32% de aceite, que se caracteriza por la alta concentración de ácidos grasos mono insaturados de cadena larga (C20 y C22; 980 g/kg), bajas concentraciones de ácidos grasos saturados y muy altas concentraciones de dobles enlaces D-5 (840 g/kg) (Knapp y Crane, 1999) (Cuadro 37). Estas características del aceite lo hacen muy estable a altas temperaturas y al oxígeno (Bhardwaj *et al.*, 1999).

Cuadro 37. Composición de la semilla, contenido de aceite y composición del aceite de meadowfoam.

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| Características de la semillas |       |
| Aceite (%)                     | 17-29 |
| Ácidos grasos                  |       |
| 20:1 delta 5 (%)               | 50-65 |
| 22:1 delta 5 (%)               | 4     |
| 22:1 delta 13 (%)              | 12    |
| 22:2 delta 5,13 (%)            | 17    |
| Proteína (%)                   | 11-28 |
| Glucosinolatos (%)             | 3-10  |

Kleiman, 1990; [www.meadowfoam.com](http://www.meadowfoam.com); IENICA, s/f; Muuse *et al.*, 1992.

Usos

El aceite se utiliza para elaborar cosméticos, ceras de alta calidad, lubricantes y detergentes. El aceite de meadowfoam que se agrega a cremas y cosméticos tiene un efecto humectante. En shampoo y jabones ayuda a humectar, dar brillo y sedosidad

al cabello y cuero cabelludo. Si se utiliza en lápices labiales revitaliza la piel de labios secos y partidos. Actualmente se utiliza en la manufactura de bloqueadores solares, sombras de ojos, delineadores, máscara para pestañas, cremas para la cara y las manos, lociones reparadoras de cutícula, aceites para el cuerpo, cremas de afeitar, lápiz labial y tratamientos para el cabello ([www.meadowfoam.org](http://www.meadowfoam.org)).

### **Antecedentes de mercado**

El Estado de Oregon (E.E.U.U.) líder en la producción de meadowfoam. Actualmente se cultivan 1 100 hectáreas. La OMG (Oregon Meadowfoam Growers Association) está integrada por 85 agricultores y se esperaba un ingreso bruto de 1.2 millones de dólares por el cultivo de meadowfoam en el año 2004 (Business Journal Portland, October 29, 2004).

El precio del aceite fluctúa entre 7 y 8 US\$/kg. Sin embargo, hay un mercado mucho más grande para este aceite en que se estima que el precio pagado a los productores sería menor, entre 3 y 4 US\$/kg, y el que aun no ha sido explorado.

### **Países productores**

El mercado del aceite de esta especie se abrió en 1992 y actualmente se cultiva en Oregon en Estados Unidos. Además, se están realizando ensayos pilotos en los estados de Virginia e Illinois, Estados Unidos, Bélgica, Dinamarca, Italia, Francia, Reino Unido, Holanda, Nueva Zelandia y Chile (Bhardwaj *et al.* 1999; Knapp y Crane, 1999; IENICA, 2000).

## **MANEJO DEL CULTIVO**

### **Requerimientos de suelo y clima**

Su hábitat natural está entre las latitudes 35 y 45 N. Presenta una baja tolerancia al estrés hídrico y, por lo tanto, se adapta muy bien al clima mediterráneo frío y húmedo del noroeste Pacífico de Estados Unidos (Oelke *et al.*, 1990); clima muy similar al valle central de las Regiones VIII, IX y X. Soporta bajas temperaturas en invierno.

Se propaga por semillas, que germinan a 4.5 °C. Al aumentar la temperatura a 21 °C, disminuye la germinación y a 26.5°C definitivamente entra en dormancia. De allí que las épocas de germinación y crecimiento coinciden con aquellas del raps y del trigo invernal.

La temperatura base para la floración es 5 °C, independiente de la edad de la planta a la que ocurre la inducción de la floración (Seddigh y Joliff, 1994b). La temperatura que se presenta en la etapa de yemas florales no es determinante sobre del rendimiento. En este estado de desarrollo la planta es capaz de soportar altas temperaturas (hasta 32 °C) o bajas temperaturas (hasta 10 °C). Sin embargo, durante la floración la planta es muy sensible a las altas temperaturas (32 °C), ya que las flores recién fertilizadas abortan, reduciéndose el número de semillas por flor (Franz *et al.*, 1992).

Es una planta de día largo, es decir, requiere de 14 a 16 horas de luz para florecer. En inviernos muy nublados y fríos se atrasa la floración, permaneciendo en estado vegetativo (Seddigh y Joliff, 1994a).

Crece bien en suelos pobres, incluso con mal drenaje por tiempo prolongado siempre que queden suficientes hojas fuera del agua (IENICA, s/f). Es mejor evitar suelos arenosos y delgados, ya que en estos la condición de estrés hídrico es más común. El pH óptimo para esta especie es entre 5 y 6 (Joliff y Seddigh, 1993).

### **Cultivares ofrecidos en el mercado**

Existen varios cultivares disponibles, todos desarrollados en la 'Oregon State University' (OSU) en Corvallis, Estados Unidos. El cultivar Foamore es resistente al desgrane y es el que se cultiva principalmente en Oregon. El rendimiento de semilla fluctúa entre 600 y 1000 kg/ha. Otros cultivares son 'Mermaid', 'Floral', 'Knowles' y 'Wheeler'. Este último tiene un rendimiento de semillas y aceite por hectárea más alto que los cultivares existentes anteriormente (Crane y Knapp, 2002).

### **Mejoramiento**

El único programa de mejoramiento de meadowfoam que existente es el de la OSU, que ha desarrollado los cultivares utilizados comercialmente.

### **Desarrollo y crecimiento**

El ciclo de vida del meadowfoam dura aproximadamente 240 días desde la emergencia de la plántula hasta la cosecha. El desarrollo de la semilla en la planta comienza aproximadamente a los 180 días después de la emergencia del cultivo (Fiez *et al.*, 1991).

Durante la época de floración debe velarse que haya a lo menos cinco colmenas por hectárea para asegurar una polinización completa (Joliff *et al.*, 1993; Bhardwaj *et al.*, 1999). Existe

una correlación directa entre la densidad de abejas y el número de semillas cuajadas por flor (Norberg *et al.*, 1993). Si el clima es frío y lluvioso durante la floración las abejas no salen a polinizar y el rendimiento disminuye drásticamente (Oelke *et al.*, 1990).

### **Fecha de siembra y/o plantación.**

Se cultiva como anual de invierno, sembrada en otoño, es decir, a fines de marzo y abril, tanto en la VIII como X Región.

### **Marco de plantación**

Se siembra a 17.5 cm entre hilera con una sembradora cerealera y una dosis de semilla de 25 a 30 kg/ha (Bhardwaj *et al.*, 1999). Una distancia menor entre hileras asegura que el cultivo cubra rápidamente el suelo impidiendo el crecimiento de las malezas (IENICA, s/f).

La densidad de siembra óptima es 6.5 millones de plantas/ha (Joliff *et al.*, 1993). Cuando la densidad de población es demasiado baja, las plantas se tienden, lo cual dificulta la cosecha, mientras que cuando es demasiado alta también se produce tendadura (IENICA, s/f). En los ensayos en Chile se lograron rendimientos de 800 kg/ha con poblaciones entre 200.000 y 500.000 plantas/ha. El peso de mil semillas varía entre 4.2 a 9.8 g.

### **Preparación de suelo**

La cama de siembra debe ser moderadamente mullida para lograr una profundidad de siembra precisa, que se recomienda sea entre 3 y 8 mm (IENICA, s/f).

### **Fertilización**

Los requerimientos nutricionales son bajos. Se recomienda aplicar como máximo 80 kg N/ha. Dosis superiores a esa reducen el rendimiento de semillas, el contenido de aceite en ellas y aumentan la tendadura del cultivo (Joliff *et al.*, 1993).

### **Riego**

Con el riego aumenta el rendimiento de semillas. Por ello, se recomienda aplicar un riego antes de floración (51 mm) o un riego antes (51 mm) y uno después de floración (76 mm) (Joliff *et al.*, 1993). Esto depende de las condiciones climáticas prevalentes durante el cultivo. En la VIII y IX Regiones es probable que el cultivo necesite al menos un riego. En Osorno, X Región, el cultivo puede prosperar en seco en la mayoría de los años.

### Control de malezas

En estado juvenil las plantas de meadowfoam son bastante susceptibles a la competencia por maleza (IENICA, s/f). Por ello debe hacerse un adecuado control de malezas con propaclar y diclofop, con el fin de alcanzar un alto rendimiento de semillas (Jolliff, 1981). Se puede utilizar Lontrel (clopyralid) para controlar malezas de hoja ancha y Select (clethodim) se utiliza para el control de gramíneas anuales (Bhardwaj *et al.*, 1999). Sin embargo, una vez establecido el cultivo, se controla bien las malezas (IENICA, s/f).

### Plagas y enfermedades

Entre las enfermedades descritas para esta especie está *Botrytis cinerea* que afecta a tallos, hojas y flores, cosechándose semillas "chupadas" y disminuyendo el rendimiento (Oelke *et al.*, 1990). También ha sido detectada *Sclerotinia sclerotiorum* en este cultivo ([www.ienica.net/crops](http://www.ienica.net/crops)).

### Rotaciones

En Oregon, E.E.U.U., se utiliza en rotación con semilleros de forrajeras (ballica, festuca y otras). En Chile se comporta bien en rotación con trigo.

## COSECHA

### Procedimiento

La cosecha se realiza con una automotriz en forma directa, para lo cual el contenido de humedad de la semilla debe fluctuar entre 14 y 18%, el 90% de las semillas han madurado y los tallos de las plantas aún están de un color verde amarillento y flexibles. También se puede utilizar una segadora hileradora (windrower) y luego de 10 días trillar (cuando el contenido de semilla es 12-16%). Esto permite acortar el tiempo requerido para la labor, ya que el segado es muy rápido (IENICA, s/f). El rendimiento más alto se obtiene al cosechar una semana antes de la madurez. Si se siega temprano en la mañana, se reduce la caída de semillas (IENICA, s/f).

### Rendimiento

El rendimiento es muy variable, ya que depende de la polinización realizada por las abejas. Si el clima no es favorable para la polinización el rendimiento puede reducirse

a 300 kg/ha, mientras que cuando las condiciones son favorables se alcanzan 800 kg/ha. En Virginia, Estados Unidos, se logran rendimientos de semilla de 200 a 600 kg/ha (Bhardwaj *et al.*, 1999).

### **Epoca y duración de la cosecha**

La cosecha se realiza la primera quincena de diciembre en la VIII y la primera quincena de enero en la X Región.

## **POST-COSECHA**

### **Selección**

No hay antecedentes al respecto.

### **Procesos**

El aceite de alta calidad en estado no procesado es de color verde y tiene olor, por lo cual es necesario refinarlo (IENICA, s/f).

### **Producto final**

El contenido de aceite depende de la zona donde se haya cultivado: en Oregon fluctúa entre 29-32%, en California entre 16-24%, mientras que en Maryland entre 18-27%.

La harina que se obtiene después de romper la semilla contiene un 22% de fibra, 105 µg glucosinolatos/g – demasiado alto para la alimentación de ganado- y el de aminoácidos es similar al de semillas de raps- (IENICA, s/f).

### **Características del aceite**

El aceite de meadowfoam es muy estable a la oxidación, por lo que se puede almacenar por un largo tiempo. Es un aceite líquido mono insaturado, con bajo punto de fusión (melting point), compatible con ceras y otros aceites; tiene un alto peso molecular y no tiene olor ni color característico, lo cual es muy útil para la elaboración de cosméticos; tiene una alta estabilidad hidrolítica y baja toxicidad ([www.meadowfoam.com](http://www.meadowfoam.com)) (Cuadro 38).



**Cuadro 38.** Características físico químicas del aceite de meadowfoam.

| Propiedades físicas       |              |
|---------------------------|--------------|
| Apariencia, a 25°C        | Clara        |
| Punto de turbidez         | 5°C          |
| Viscosidad, a 25 °C       | 85 cp        |
| Densidad a 25 °C          | 7,57 lbs/gal |
| Índice de refracción nD25 | 1.470        |
| Color, Gardner            | 3            |
| Olor                      | Ninguno      |
| Propiedades químicas      |              |
| Acidez                    | < 6.0        |
| Índice de iodo, Hanus     | 92           |
| Valor peróxido            | <3 meq/kg    |
| Valor de saponificación   | 169          |

[www.meadowfoam.com](http://www.meadowfoam.com); [http://www.osel.co.nz/Appendix/cold\\_pressed\\_meadowfoam\\_oil%20tech.htm](http://www.osel.co.nz/Appendix/cold_pressed_meadowfoam_oil%20tech.htm)

### **Resultados obtenidos en Chile**

Las evaluaciones realizadas en Chile indican que el cultivo tiene un potencial interesante en las cercanías de Osorno, en la X Región, donde se alcanzaron los más altos rendimientos en todas las temporadas de evaluación (Cuadro 39 y 40). El rendimiento es altamente dependiente de la polinización por abejas, que a su vez dependen de las condiciones climáticas.

En Chillán, los bajos rendimientos se debieron a dos razones principales, exceso de lluvias y bajas temperaturas durante la floración y alto desgrane antes de la cosecha. En El Carmen, VIII Región, el establecimiento del cultivo fue deficiente reflejándose en bajos rendimientos al final de la temporada. En Entre Lagos, X Región, la acidez del suelo, el alto nivel de aluminio y las bajas temperaturas que se presentaron durante la floración no permitieron que el cultivo prosperara.

**Cuadro 39.** Rendimiento de semilla de *Limnanthes alba* cultivada en Chillán, VIII Región, Cocule, Entre Lagos y San Pablo, X Región durante tres temporadas.

| CULTIVAR         | LOCALIDAD   | RENDIMIENTO<br>SEMILLAS<br>(kg/ha) | PESO MIL<br>SEMILLAS<br>(g) | CONTENIDO<br>ACEITE<br>(%) | C:20 <sup>1</sup><br>(%) | C:22<br>(%) | TOTAL ÁCIDOS<br>GRASOS<br>> C20 (%) |
|------------------|-------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------------------|
| <b>2002-2003</b> |             |                                    |                             |                            |                          |             |                                     |
| OMF78            | Chillán     | 262.4                              | -                           | 19.21                      | 60.2                     | 35.2        | 95.2                                |
| OMF78            | Cocule      | 807.7                              | -                           | 19.21                      | 60.6                     | 33.5        | 94.1                                |
| OMF78            | Entre Lagos | 213.0                              | -                           | -                          | -                        | -           | -                                   |
| Knowles          | Chillán     | 312.6                              |                             | 21.91                      | 56.9                     | 36.0        | 92.9                                |
| Knowles          | Cocule      | 979.3                              |                             | 18.40                      | 58.9                     | 34.4        | 93.3                                |
| Knowles          | Entre Lagos | 279.3                              |                             | -                          | -                        | -           | -                                   |
| <b>2003-2004</b> |             |                                    |                             |                            |                          |             |                                     |
| OMF78            | Chillán     | 68.0                               | 6.25                        | 26.9                       | 56.6                     | 37.6        | 94.2                                |
| OMF78            | San Pablo   | 680.0                              | -                           | 31.5                       | 55.6                     | -           | -                                   |
| Knowles          | Chillán     | 65.2                               | 5.75                        | 19.7                       | 55.6                     | 36.2        | 91.8                                |
| <b>2004-2005</b> |             |                                    |                             |                            |                          |             |                                     |
| OMF78            | Chillán     | 337.6                              | 6.00                        | 29.8                       | 60.0                     | 32.5        | 92.5                                |
| Knowles          | Chillán     | 316.7                              | 6.25                        | 27.9                       | 59.8                     | 32.1        | 91.9                                |

<sup>1</sup> Indica el contenido de ácidos grasos con 20 átomos de carbono (C:20), 22 átomos de carbono (C:22) o la suma de ácidos grasos con más de 20 átomos de carbono.

**Cuadro 40.** Evaluación de la adaptación de meadowfoam en ensayos semi comerciales (0.5 ha) en tres localidades en la temporada 2003-2004.

| EVALUACIÓN                         | LOCALIDAD            |                        |                  |
|------------------------------------|----------------------|------------------------|------------------|
|                                    | CHILLÁN, VIII Región | EL CARMEN, VIII Región | OSORNO, X Región |
| Plena floración                    | 13/10/2003           | 12/11/2003             | 04/12/2003       |
| Densidad (plantas/m <sup>2</sup> ) | 43                   | 23                     | 17               |
| Fecha de cosecha                   | 26/11/2003           | 9/12/2003              | 16/01/2004       |
| Rendimiento de semillas (kg/ha)    | 212                  | 192                    | 680              |
| Contenido de aceite (%)            | 27.7                 | 38.2                   | 19.2             |
| Contenido C20 (%)                  | 61.8                 | 60.3                   | 60.6             |
| Contenido C22 (%)                  | 37.0                 | 33.1                   | 33.5             |
| Total ácidos grasos > C20 (%)      | 98.8                 | 93.4                   | 94.1             |

La extracción de aceite por prensado en frío se presenta en el Cuadro 41 y sus características en el Cuadro 42.

Cuadro 41. Rendimiento de aceite por prensado en frío en semillas de *Limnanthes alba*.

| MUESTRA | PESO MUESTRA (g) | PESO ACEITE (g) | PESO FILTRADO (g) | PESO SÓLIDO (g) | PESO TORTA (g) |
|---------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------|----------------|
| OMF-78  | 505.0            | 67.2            | 59.5              | 7.1             | 371.2          |
| Knowles | 501.0            | 69.1            | 55.7              | 12.6            | 414.4          |

Cuadro 42. Características del aceite obtenido por prensado en frío de las semillas y por extracción Soxhlet de la torta.

| MUESTRA            | HUMEDAD (%) | PESO ACEITE (g) | RENDIMIENTO (%) |
|--------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Prensado en frío   |             |                 |                 |
| OMF-78             | 7.78        | 59.5            | 11.7            |
| Knowles            | 7.96        | 55.7            | 12.1            |
| Extracción Soxhlet |             |                 |                 |
| OMF-78 (A)         | 7.97        | 7.31            | 18.6            |
| OMF-78 (B)         | 7.73        | 7.34            | 18.9            |
| Promedio           | 7.85        | 7.32            | 18.8            |
| Knowles (A)        | 7.77        | 7.31            | 18.6            |
| Knowles (B)        | 7.62        | 7.39            | 18.8            |
| Promedio           | 7.69        | 7.35            | 18.8            |

El aceite de las semillas de *Limnanthes alba* se puede extraer sin problemas con la prensa. La torta se repasó tres veces en la prensa con el fin de maximizar el rendimiento.

LITERATURA CITADA

Bhardwaj, H.L., M. Rangappa, and A.A. Hamama. 1999. Establishment of meadowfoam as a new crop in Virginia. p. 237-243 In: J. Janick and J.E. Simon (eds.). Perspectives of New Crops and New Uses. ASHS Press, Alexandria.

Crane J.M., and S.J. Knapp. 2002. Registration of 'Wheeler' meadowfoam. Crop Sci. 42: 2208-2209.

Fiez, T.E., O.S. Norberg, and G. Joliff. 1993. Dry matter production and carbohydrate accumulation in three meadowfoam lines. *Crop. Sci.* 31: 1008-1014.

Franz, R.E., M. Seddigh, G.D. Joliff, and E.L. Alba. 1992. meadowfoam seed yield response to temperature during flower development. *Crop Sci.* 32: 1284-1286.

IENTICA. 2000. Oil crops.[en línea]. Summary report for European Union. <http://www.ienica.net/reports/BIGOILS.pdf> (consulta: 7 abril, 2005).

IENTICA. s/f. Meadowfoam. [en línea] <http://www.ienica.net/crops/meadowfoam.htm>. (consulta: 6 abril, 2005).

Joliff, G.D. 1981. Development and production of meadowfoam (*Limnanthes alba*). p. 269-285. In: E. H. Pryde, L. H. Princen, and K. D. Mukherjee (eds.). New sources of fats and oils. AOCS Monograph 9. American Oil Chemists' Society, Champaign.

Joliff, G.D., and M. Seddigh, 1993. Soil fertilization and pH effects on meadowfoam growth and flowering. *J. Plant Nutrition* 16(12): 2563-2576.

Joliff, G.D., M. Seddigh, O.S. Norberg, and T.E. Fiez. 1993. Seeding rate, nitrogen fertilization, and irrigation effects on 'Floral' meadowfoam oil yield. *Agron. J.* 85: 188-193.

Kleiman, R. 1990. Chemistry of new industrial oilseed crops. p. 196-203. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.). *Advances in New Crops*. Timber Press, Portland, OR.

Knapp, S., and J. M. Crane. 1999. Breeding advances and germplasm resources in meadowfoam: a novel very long chain seed oil. p. 225-233 In: J. Janick and J.E. Simon (eds.). *Perspectives of New Crops and New Uses*. ASHS Press, Alexandria. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1999/v4-225.html>

Muuse, B.G., F.P. Cuperus, and J.T.P. Derksen. 1992. Composition and physical properties of oils from new oilseed crops. *Ind. Crops Prod.* 1: 57-65.

Norberg, O.S., M. Seddigh, G.D. Joliff, and T.E. Fiez. 1993. Flower production and honey bee density effects on meadowfoam seed yield. *Crop Sci.* 33: 108-112.

Oelke, E.A., E.S. Oplinger, C.V. Hanson, and K A. Kelling. 1990. Meadowfoam. [en línea]. *Alternative Field Crops Manual*. University of Wisconsin Extension Center and University of Minnesota. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/meadowfoam.html>.

Seddigh, M., and G.D. Joliff. 1994a. Light intensity effects on meadowfoam growth and flowering. *Crop. Sci.* 34: 497-503.

Seddigh, M., and G.D. Joliff. 1994b. Pre-induction age and post-induction temperature effects on meadowfoam flowering. *Crop Sci.* 34: 503-508.

## WEBSITES

[www.meadowfoam.com](http://www.meadowfoam.com). Natural Plant Products

[www.ienica.net/crops/meadowfoam](http://www.ienica.net/crops/meadowfoam)

[www.meadowfoam.com](http://www.meadowfoam.com).

<http://www.nf-2000.org/secure/Crops/F601.htm>

<http://www.nf-2000.org/secure/Crops/S601.htm>



**Figura 17.** *Limnanthes*, cultivo (A), cultivo floreciendo (B), flores, detalle (C), frutos (D).





# Onagra



- Nombre Común:** Onagra.
- Nombre Científico:** *Oenothera biennis* L.
- Otros Nombres:** Don Diego de la Noche, hierba del asno, primula, evening primrose, tree primrose, scurvish, king'scureall, nightwillow herb (inglés), rapunzia (italiano), onagre (francés), Nachtkerze (alemán).
- Familia:** Onagraceae.
- Centro de Origen:** Proviene de Norteamérica.
- Distribución geográfica:** Desde Norteamérica fue introducida a Europa en el siglo 17. En China se introdujo el año 1900 como ornamental, naturalizándose en las zonas montañosas del este, en las provincias de Heilongjiang, Jilin y Liaoning ubicadas en el noreste y en la provincia de Shandong y es la especie dominante entre otras 8 especies del mismo género que crecen silvestres. La onagra crece en sectores planos, laderas de montañas y colinas entre 50 y 300 m sobre el nivel del mar, en terrenos húmedos o suelos arenosos, secos y pedregosos (Alonso, 1998; Deng *et al.*, 2001).

### Descripción

Es una especie anual de invierno o bianual facultativa. Tiene un tallo erecto, cubierto de pelos glandulares. La raíz es gruesa, cónica y de color amarillo. El primer año forma una roseta de cuyo centro emerge el tallo de floral en la temporada siguiente, cuando se comporta como bianual. Las hojas son aguzadas de hasta 10 cm de largo. Las flores, de 2 a 3 cm de diámetro, se desarrollan solitarias en las axilas de las hojas. Las flores se abren al atardecer. Las semillas son irregulares, 5 mm de largo, de color café o negro, con bordes rectos y agudos (Deng *et al.*, 2001).

### Composición de la semilla

Sus semillas contienen entre un 16 y un 34 % de aceite, del cual entre 8 y 14 % es ácido gamma-linolénico (GLA) (Hulan *et al.*, 1987). Además, la semilla contiene un 42.9 % de fibra, 15.2 % de proteína, 8.3 % de agua, 7.8 % de cenizas y 5.6 % de almidón, dextrinas y azúcares (Kies, 1989).

### Usos

El ácido gamma linolénico, un ácido graso esencial, insaturado, se sintetiza en el organismo a partir del ácido linoleico ingerido en la dieta o puede ser incorporado directamente como tal en la dieta humana. Por la buena absorción vía cutánea también es utilizado en productos dermatológicos y cosméticos (Kies, 1989; Alonso, 1998).

La conversión a GLA puede ser muy lenta en individuos aquejados por numerosas enfermedades comunes, o puede ser también bloqueada por factores tales como: vejez, altos niveles de colesterol, estrés, alto consumo de alcohol y diabetes. El déficit de ácidos grasos esenciales se manifiesta, ya sea por una hiperqueratosis e hipohidratación cutánea, alteraciones del metabolismo basal y trastornos de la coagulación sanguínea, inmunológicos, de crecimiento y sexuales (Lapinskas, 1993).

El GLA es precursor del ácido araquidónico, a partir del cual se sintetizan numerosas moléculas-señal enormemente activas, tales como las prostaglandinas (Lapinskas, 1993). Estas últimas juegan un papel en un sinnúmero de procesos fisiológicos, tales como la estimulación del proceso inflamatorio, la regulación del flujo sanguíneo a órganos específicos, el control del transporte iónico a través de las membranas y la modulación de la transmisión sináptica (Lapinskas, 1993). Por esa razón, las prostaglandinas ejercen un efecto hipocolesterolemizante, antiinflamatorio, activador de linfocitos T, etc. También se usa en casos de artritis reumatoidea, enfermedades

virales, endometriosis, esquizofrenia, alcoholismo, Alzheimer, cáncer, patologías renales, hepáticas y cardiovasculares, en general (Alonso, 1998).

### **Antecedentes de mercado**

Las ventas de aceite en el mundo y, por consiguiente la demanda por semilla, se ha multiplicado aproximadamente 10 a 15 veces durante los últimos 15 años. Se calcula que la demanda de aceite de onagra ha aumentado progresivamente desde 1986, alcanzando a 1000 a 1200 t de aceite al año en 1999, lo que equivale a aproximadamente 9500 t de semilla.

China es el principal productor mundial de onagra, satisfaciendo un 90% de la oferta mundial. Sin embargo, su producción es muy fluctuante, ya que más de la mitad de la semilla se obtiene de recolección silvestre y sólo el resto de cultivos establecidos en pequeñas superficies. El precio del aceite fluctúa entre 2.5 y 3.5 U\$/kg.

### **Países productores**

El principal país productor de aceite de onagra es China con un 90% del mercado mundial. Canadá le sigue en importancia en producción. En Chile se está iniciando el cultivo comercial con 200 hectáreas en el año 2003-2004.

## **MANEJO DEL CULTIVO**

### **Requerimientos de suelo y clima**

La semilla de onagra generalmente presenta un bajo porcentaje de germinación. Requiere de luz para germinar y se puede aumentar esta exponiendo las semillas a temperaturas bajo cero grados por 3 días (Nightingale y Baker, 1995).

Al igual que la borraja la temperatura durante el desarrollo de la semilla en la planta es clave para obtener un aceite con un contenido mayor al 8% de GLA. Varios investigadores han informado del efecto negativo de temperaturas sobre 22 °C sobre el contenido de GLA (Yaniv *et al.*, 1987; 1989; Levy *et al.*, 1993). La temperatura óptima para obtener un máximo contenido de GLA debe ser menor a 22 °C en el día y menor de 17 °C en la noche (Yaniv *et al.*, 1989).

La onagra llega a ser la especie dominante en terrenos asoleados, fértiles, húmedos, pero también crece en suelos ligeramente salinos o alcalinos y prefiere texturas medias a pesadas (Deng *et al.*, 2001).

### Cultivares ofrecidos en el mercado

Existen híbridos naturales de onagra, y cultivares mejorados de *Oenothera biennis* 'Paul' y 'Traditional' (de la empresa Efamol, Inglaterra) y de *Oenothera lamarckiana*. También están las líneas mejoradas más precoces 'Merlin' y 'Peter', que maduran tempranamente para evitar la exposición de las semillas a altas temperaturas (Levy *et al.*, 1993).

### Desarrollo y crecimiento

El ciclo de vida de la onagra se divide en siete estados fenológicos denominados: germinación y emergencia, producción de hojas, extensión del tallo floral, desarrollo de yemas florales, floración, desarrollo de las semillas y desarrollo de las cápsulas (Simpson, 1994) (Cuadro 43).

La temperatura base para la germinación es 2 °C. Para el desarrollo de la semilla se requiere de 631 a 732 grados días desde floración a madurez fisiológica cuando se siembra el cultivo en otoño y de 759 a 754 °C cuando es sembrado en primavera (Fieldsend y Morison, 2000).

### Fecha de siembra y/o plantación

En Inglaterra la onagra se puede sembrar en otoño o primavera, sin que se presenten diferencias significativas en el rendimiento de semillas, número de capsulas/m<sup>2</sup> y número de semillas por cápsula. Sin embargo, esto depende del cultivar ya que el cultivar 'Merlin' tuvo un menor rendimiento cuando se sembró en primavera (Fieldsend y Morison, 2000).

En Chillán la mejor fecha de siembra es en otoño en los meses de abril y mayo. Cuando se realiza una siembra primaveral las plantas no florecen ya que en el estado de roseta el meristema necesita quedar expuesto al frío para se induzca la floración. En la X Región, Osorno, se puede sembrar en el otoño, marzo y abril, pero el control de malezas se dificulta, ya que la planta durante el invierno es poco competitiva con las malezas. La siembra primaveral, temprana en agosto, es lo más recomendable para la zona de Osorno. Siembras tardías atrasan la cosecha hasta marzo, donde las condiciones climáticas normalmente no son favorables para esta labor.

### Marco de plantación

La siembra se realiza a 17.5 o 35 cm entre hilera y se utilizan 2 a 3 kg de semillas/hectárea. El número de plantas/m<sup>2</sup> es aproximadamente de 100 plantas/m<sup>2</sup>.

**Cuadro 43.** Escala de desarrollo para *Oenothera biennis*.

| ESTADO | NOMBRE DEL ESTADO O SUB ESTADO                                           | CÓDIGO |
|--------|--------------------------------------------------------------------------|--------|
| 0      | <b>Germinación y emergencia</b>                                          |        |
|        | Semilla seca                                                             | 0.0    |
|        | Semilla embebida                                                         | 0.2    |
|        | Radícula fuera de la testa                                               | 0.4    |
|        | Hipocotilo extendido                                                     | 0.6    |
|        | Cotiledones sobre el suelo                                               | 0.8    |
| 1      | <b>Producción de hojas</b>                                               |        |
|        | Ambos cotiledones expandidos y verdes                                    | 1.0    |
|        | Primera hoja verdadera más de 1 cm de largo                              | 1.1    |
|        | n hoja verdadera más de 1 cm de largo                                    | 1.n    |
| 2      | <b>Extensión del tallo floral</b>                                        |        |
|        | Estado roseta (sin internudos claramente visibles)                       | 2.0    |
|        | Aproximadamente 5 internudos elongados                                   | 2.5    |
|        | n internudos                                                             | 2.n    |
| 3      | <b>Desarrollo de yemas florales</b>                                      |        |
|        | Yemas vegetativas solamente                                              | 3.0    |
|        | Yemas florales presentes pero cubiertas por hojas                        | 3.1    |
|        | Yemas florales visibles en el centro de la planta                        | 3.3    |
| 4      | <b>Floración</b>                                                         |        |
|        | Ninguna flor abierta                                                     | 4.0    |
|        | Primera flor abierta                                                     | 4.1    |
|        | n flor abierta                                                           | 4.n    |
| 5      | <b>Desarrollo de las semillas</b>                                        |        |
|        | Todas las semillas blancas                                               | 5.0    |
|        | Primeras semillas no blancas                                             | 5.1    |
|        | n % del largo de la espiga con cápsulas que contiene semillas no blancas | 5.n    |
| 6      | <b>Desarrollo de las cápsulas</b>                                        |        |
|        | Todas las cápsulas verdes                                                | 6.0    |
|        | Algunas cápsulas no verdes                                               | 6.1    |
|        | n % del largo de la espiga con cápsulas cafés                            | 6.n    |

Modificado de Simpson, 1994.

### Preparación de suelo

La onagra se puede sembrar en cero labranza, o con preparación tradicional de suelos. Lo importante es que la cama de siembra debe ser muy firme y estar libre de rastros, ya que la semilla debe quedar casi en la superficie del suelo. Si la semilla es enterrada a mas de 0.5 cm de profundidad, la emergencia de las plántulas va a ser desuniforme y lenta.

### Fertilización

En Canadá la recomendación comercial para fertilizar este cultivo es de 90 kg N/ha, aplicado en tres parcializaciones: 20 kg/ha a la siembra, 20 kg/ha a comienzos de la primavera y 50 kg/ha cuando comienza a desarrollarse el tallo floral (Sheidow y Roy, 1990). En Canadá no se fertiliza con P o K, ya que los suelos normalmente no lo requieren.

En Chile, la recomendación general para el cultivo es aplicar 50 kg/ha de N, como urea, al momento de la siembra, evitando el contacto directo con las semillas. Una segunda y tercera dosis, de 50 unidades de N/ha, son aplicadas posteriormente, en los momentos de mayor demanda por parte del cultivo. No existe información respecto a los requerimientos del cultivo.

### Riego

El cultivo de onagra en Chillán requiere de riego a partir de mediados de noviembre, con una frecuencia aproximada de 10 a 15 días. En la X Región, Osorno, el cultivo se siembra temprano en la primavera y la mayor parte de las temporadas prospera en condiciones de secano.

### Control de malezas

En experimentos realizados en Polonia, donde se evaluaron herbicidas de post emergencia, se concluyó que los herbicidas Basagran 600 SL (bentazon), Kerb 500SC (propizamida) y Pyramin 65 WP (cloridazon) fueron tolerados por el cultivo y se logró controlar malezas de hoja ancha. Sólo con Kerb se logró un buen control en malezas de hoja ancha y gramíneas anuales. Los niveles residuales de herbicida en la semillas se encontraron entre las concentraciones permitidas (Zalecki *et al.*, 1998). En otros estudios se indica que esta especie tolera bien los herbicidas de presembrilla triallate (2 kg i.a./ha), pentanochlor (1.5 kg/ha), isoxaben (0.075 kg/ha), trifluralina (2 kg/ha) y pendimethalin (4 L/ha) (Murawa *et al.*, 1994) y los herbicidas de post-emergencia bentazon (0.75 kg/ha), pentanochlor (1.12 kg/ha), aziprotryne (1 kg/ha), desmetrina (0.2 kg/ha) (Richardson *et al.*, 1984; 1986).

Antes de utilizar herbicidas en el cultivo de onagra en Chile debe evaluarse las condiciones de este, ya que la efectividad de estos depende del tipo de suelo, de las malezas a controlar y otras condiciones ambientales.

### Plagas y enfermedades

Existen varias enfermedades en onagra en el extranjero, tales como *Septoria oenotherae* (Releeder, 1994), *Erysiphe cynoglossi* y *E. howeana* (O'Neill et al., 1991). En Chile sólo se han observado algunas plantas con *Fusarium* en ensayos realizados en Chillán. Los insectos dañinos en onagra son los trips, especialmente *Thrips tabaci* y *Lygus rugulipennis* (Murawa et al., 1994). En Chile aún no se han observado plagas de importancia.

### Rotaciones

La onagra prospera bien después de cereales. Se debe tener la precaución que no exista residuos de herbicidas del grupo de las sulfonilureas, ya que pueden causar fitotoxicidad al cultivo.

## COSECHA

### Procedimiento

El momento óptimo de cosecha es, en general, cuando dos tercios de la planta presenta cápsulas maduras, de color café oscuro, aun sin abrir. La cosecha es mecanizada, cortando el cultivo con una segadora hileradora (windrower). La altura de corte se regula de acuerdo al nivel de las cápsulas desde la base de la planta (Simpson y Fieldsend, 1993).

También se puede utilizar desecante antes de hilarar, pero puede ser riesgoso ya que se abren las cápsulas y aumenta el desgrane de semillas. En ese caso, la trilla se realiza con una automotriz con un pick up recolector adaptado para la especie.

### Rendimiento

La onagra en condiciones de cultivo comercial normalmente rinde entre 800 y 1100 kg/ha de semilla. En Inglaterra se han informado de rendimientos experimentales de hasta 2000 kg/ha (Fieldsend y Morison, 2000)

### Calidad

La calidad de la semilla depende del contenido de aceite y de GLA. El contenido de aceite debe ser superior a 24% y el GLA superior a 8%. La humedad de la semilla no debe superar el 8%.



**Epoca y duraci3n de la cosecha**

La cosecha de onagra en Osorno, X Regi3n, se realiza a partir de la segunda semana de febrero e incluso en marzo. M1s al norte, en Chill1n, la cosecha se realiza a fines de enero.

En la onagra la temperatura durante el desarrollo de la semilla tambi3n es condicionante de la calidad final del aceite, al igual que en borraja (Yaniv y Perl, 1987). Demora aproximadamente 8 semanas despu3s de floraci3n para que en la semilla de onagra se alcance el m1ximo contenido de aceite y GLA (Cuadro 44). Como el contenido de aceite y de 1cido gamma linol3nico aumentan a medida que maduran las semillas, es importante que se coseche con al menos dos tercios de las c1psulas maduras.

**Cuadro 44.** Contenido de aceite y GLA en semillas de onagra despu3s de la floraci3n.

| SEMANAS DESPU3S<br>DE FLORACI3N | CONTENIDO DE ACEITE<br>(%) | CONTENIDO DE 1CIDO GAMMA LINOL3NICO<br>(% DEL ACEITE) |
|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------|
| 3                               | 1.5                        | 5.7                                                   |
| 4                               | 3.4                        | 9.1                                                   |
| 5                               | 7.9                        | 10.4                                                  |
| 6                               | 11.9                       | 10.0                                                  |
| 7                               | 15.3                       | 10.3                                                  |
| 8                               | 16.5                       | 10.4                                                  |
| madura                          | 24.9                       | 8.1                                                   |

Mukerjee y Klewitt, 1987.

**POST-COSECHA**

**Selecci3n**

Las semillas se secan a 8% de humedad y se limpian para evitar impurezas en el aceite.

**Procesos**

La testa de las semillas se ablanda utilizando vapor de agua; luego se extrae el aceite utilizando una prensa tipo espiral. El aceite se filtra y refina neutraliz1ndolo con 1lcali, desodoriz1ndolo con vapor y decolor1ndolo con filtros de carb3n activado. Luego el aceite se seca para extraer la humedad restante y se filtra nuevamente antes de envasar. El aceite tambi3n puede ser extra3do con solventes, como hexano, o CO<sub>2</sub> (Deng *et al.*, 2001).



### Producto final

El producto final es aceite de onagra refinado que se exporta en tambores a los países de destino (Cuadro 45).

**Cuadro 45.** Características organolépticas y físico químicas del aceite de onagra.

| CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS  |                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Color                           | Amarillo pálido transparente        |
| Olor                            | Característico                      |
| CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS |                                     |
| Humedad final                   | 0.2 %                               |
| Densidad a 25°C                 | 0.915 - 0.935                       |
| Índice de refracción a 20°C     | 1.4770                              |
| Acidez (0,3mg KOH)              | < 2.5                               |
| Valor peróxido                  | < 015 o <1-12 (%) meqO <sub>2</sub> |
| Ácidos grasos libres            | < 2.0 %                             |
| Acido gamma linolénico          | > 8 %                               |
| Plomo                           | < 2 mg                              |
| Arsénico                        | <1 mg                               |

Christie, 1999.

### Resultados obtenidos en Chile

Se realizó siembra otoñal y primaveral, lográndose un mejor resultado con la siembra primaveral, ya que en la siembra otoñal hubo una alta competencia con malezas para las cuales se desconoce el control químico probado y disponible.

De acuerdo a los resultados obtenidos en ensayos realizados en el valle central regado de la Octava Región la fecha límite para la siembra de onagra es el mes de agosto, ya que en siembras posteriores a esa fecha las plantas no completan su desarrollo.

En la X Región la onagra sembrada en primavera madura tardíamente (a fines de febrero y principios de marzo), cuando las temperaturas ya han descendido. En la X Región las condiciones de clima son propicias para que el desarrollo de la semilla ocurra en un período, en el cual las temperaturas son menores a 25°C, lo cual indica que esta región tiene un excelente potencial para la producción de esta especie.

Los rendimientos y contenido de aceite obtenidos en distintas localidades en el sur de Chile indican que esta especie tiene potencial especialmente en la X Región, donde se logran contenidos de GLA mayores al 8% (Cuadro 46).

**Cuadro 46.** Resultados de rendimiento de ácidos grasos y aceite en *Oenothera biennis* cultivado en diferentes localidades durante dos años.

| LOCALIDAD    | LATITUD   | RENDIMIENTO<br>(kg/ha) | GLA<br>(%) | CONTENIDO DE<br>ACEITE (%) |
|--------------|-----------|------------------------|------------|----------------------------|
| 2002 - 2003  |           |                        |            |                            |
| Chillán      | 36°26" S  | 1050                   | 6.1        | 22                         |
| Entre Lagos  | 40°38" S  | 850                    | —          | —                          |
| Cocule       | 40° 15" S | 1160                   | —          | —                          |
| Puerto Octay | 40°48" S  | —                      | 8.7        | 9.5                        |
| 2003 - 2004  |           |                        |            |                            |
| Chillán      | 36°26" S  | 1100                   | —          | —                          |

El máximo rendimiento obtenido en Chillán alcanzó a 1552 kg/ha. En ensayos semi-comerciales de 30 ha, realizados en la X Región (Cocule) se obtuvo un rendimiento de 1160 kg/ha. Otras experiencias realizadas en la X Región con esta especie en 4 localidades (Rio Blanco, Casma, Puerto Fonck y Puerto Octay) indican que con las siembras de primavera se logró rendimientos aceptables y contenidos de GLA superiores a 8%. Sin embargo, el contenido de aceite fue muy bajo, menor al 10%, ya que las plantas no alcanzaron a madurar completamente.

El contenido de GLA obtenido en la localidad de Chillán fue bajo, ya que el mínimo exigido para esta especie es de 8%. Esto se debió a la temperatura muy alta durante la floración y posterior desarrollo de la semilla, que redujo el contenido de GLA.

## LITERATURA CITADA

Alonso, R. 1998. Tratado de Fitomedicina. Bases clínicas y farmacológicas. ISIS Ediciones S.R.L. Buenos Aires.

Christie, W.W. 1999. The analysis of evening primrose oil. Ind. Crops Prod. 10(2): 73-83.

Deng, Y.C., H.M. Hua, J. Li, and P. Lapinskas. 2001. Studies on the cultivation and uses of evening primrose (*Oenothera* sp.) in China. Econ. Bot. 55(1): 83-92.

Fieldsend, A.F., and J.I.L. Morison. 2000. Contrasting growth and dry matter partitioning in winter and spring evening primrose (*Oenothera* sp.) Field Crops Res. 68: 9-20.

Hulan, H.W., I.V. Hall, D.M. Nash, and F.G. Proudfoot. 1987. Composition of native evening primrose seeds collected from western Nova Scotia. Crop Res. (Hort. Res.) 27: 1-9.

Kies, C. 1989. Evening primrose oil: a source of gamma linolenic acid. Cereals Foods World 34(12): 1016-1019.

Lapinskas, P. 1993. Oil crops for the pharmaceutical industry. p. 332-342. In: Shewry, P. and K. Stobart (eds.). Seed storage compounds: biosynthesis, interactions and manipulation. Oxford University Press. Oxford, England.

Levy, A., D. Palevitch, and C. Ranen. 1993. Increasing gamma linolenic acid in evening primrose grown under hot temperatures by breeding early cultivars. Acta Hort. 330: 219-225.

Mukherjee, K.D., and I. Kiewitt. 1987. Formation of gamma linolenic acid in the higher plant evening primrose (*Oenothera biennis* L.). J. Agric. Food Chem. 35 (6): 1009-1012.

Murawa, D., B. Adomas, W. Sadej, D. Ciepielewska, and E. Pomianowska. 1994. Chemical degradation of weeds in growing of evening primrose (*Oenothera biennis* L.) and its harmful insects. Materiały Sesji Instytutu Ochrony Roslin. 34(2): 68-71.

Nightingale J., and J. D. Baker. 1995. Improving germination of evening primrose. J. Herbs Spices & Medicinal Plants 3(1): 75-78.

Reeleder, R.D. 1994. Factors affecting infection of evening primrose (*Oenothera biennis*) by *Septoria oenotherae*. Can.J. Plant. Pathol. 16(1): 13-20.

Richardson, W.G., A.G. Jones, and T.M. West. 1984. The response of *Oenothera biennis* to post-emergence herbicides. *Ann. Appl. Biology* 104: 84-85.

Richardson, W.G., and T.M. West. 1986. Tolerance of evening primrose (*Oenothera biennis*) and borage (*Borago officinalis*) to preemergence herbicides. *Test of Agrochemicals and Cultivars* 7: 138-139.

O' Neill, T.M., P. Gladders, and R.T.A. Cook. 1991. Powdery mildews on borage (*Borago officinalis*) and evening primrose (*Oenothera biennis*). *Plant Path.* 40(3): 478-479.

Sheidow, N.W., and R.C. Roy. 1990. Evening primrose. Ministry of Agriculture, Ontario, Canada, Factsheet 147.

Simpson, 1994. A description code of development of evening primrose (*Oenothera* sp.). *Ann. Appl. Biol.* 125(2): 391-397.

Simpson, M.J.A., and A.F. Fieldsend. 1993. Evening primrose: Harvest methods and timing. *Acta Hort.* 331:121-125.

Yaniv, Z., and M. Perl. 1987. The effect of temperature on the fatty acid composition of evening primrose (*Oenothera*) seeds during their development, storage and germination. *Acta Hort.* 215: 31-38.

Yaniv, Z., C. Ranen, A. Levy, and D. Palevitch. 1989. Effect of temperature on the fatty acid composition and yield of evening primrose (*Oenothera lamarckiana*) seeds. *J. Exp. Bot.* 40 (214): 609-613.

Zalecki R., S. Kordana W.A. Kucharski, R. Mordalski, and B. Gnusowsk. 1998. Broadleaf weed and grass weed control in evening primrose (*Oenothera biennis* L.). *Progress in Plant Protection* 38(2): 670-672.



**Figura 18.** Onagra, cultivo floreciendo (A), frutos, flores y botones florales (B), agente polinizante (C).



# Sésamo



- Nombre Común:** Sésamo.
- Nombre Científico:** *Sesamum indicum* L.
- Otros Nombres:** Ajonjolí, sesame (inglés), Sesam (alemán).
- Familia:** Pedaliaceae.
- Centro de Origen:** Proviene de Africa.
- Distribución geográfica:** El sésamo se produce en India, China, Myanmar, Sudán, México, Nigeria, Venezuela, Turquía, Uganda y Etiopía. Fue introducido a Estados Unidos en 1930, donde actualmente se cultiva en el Estado de Texas.



## Descripción

El sésamo es una planta anual, erecta, que crece hasta una altura de 45 a 75 cm. Algunas variedades tienen muchas ramificaciones y otras no, sólo un tallo principal. Las hojas varían en forma y tamaño y pueden ser opuestas o alternas. Las flores tienen forma de campana y son de color blanco a rosado pálido; se desarrollan en las axilas de las hojas y continúan floreciendo indeterminadamente (Oplinger *et al.*, 1990). El sésamo normalmente se autopoliniza, aunque la polinización cruzada por insectos también es común. El fruto es una cápsula con indentaduras profundas a lo largo de ella y mide de 2.5 a 7.5 cm de largo. Cada cápsula contiene 50 a 100 semillas. Las semillas son pequeñas y de variados colores (negro, blanco, café claro y café oscuro) (Oplinger *et al.*, 1990). La semilla mide 2.8, 1.69 y 0.82 mm de largo, ancho y espesor, respectivamente y su densidad es de 1224 kg/m<sup>3</sup> (Tunde-Akintunde y Akintunde, 2004).

## Composición de la semilla

La semilla contiene entre un 45-60% de aceite, del cual el 38% corresponde a ácido oleico y el 48% a ácido linoleico (Ashri, 1989). Además, contiene sesamolina y sesamina, antioxidantes que mantienen estable el aceite por más tiempo. El aceite también puede ser utilizado en la manufactura de jabones, pinturas, perfumes, insecticidas y productos farmacéuticos. La semilla contiene 25% de proteína y el afrecho de sésamo es un excelente suplemento para alimentación de aves y bovinos, ya que contiene 34 a 50% de proteína (Oplinger *et al.*, 1990).

## Usos

Las semillas peladas se utilizan en la fabricación de panes, galletas, crackers, ensaladas y salsas. Además, se comercializa el aceite extraído de la semilla, utilizado especialmente en la cocina oriental. En Chile, las semillas son conocidas, principalmente, como aquellas que cubren el pan de hamburguesas de McDonald's.

El aceite de sésamo es importante debido a su bajo contenido en colesterol y su alta proporción de grasas poliinsaturadas, usadas en oleomargarina, aceite para ensaladas, pinturas, perfumes, farmacéuticos e insecticidas. Entre sus aplicaciones medicinales se cuentan el uso en el tratamiento de la anemia, de la visión y relajación del intestino.



## Antecedentes de mercado

### Mercado de la semilla

La producción mundial de semillas de sésamo supera los tres millones de toneladas anuales y ha aumentado en un 10% con respecto al año 2002 (Cuadro 47). La demanda mundial de semilla de sésamo ha aumentado en un 550% desde 1961 al año 2001.

Sin embargo, los rendimientos promedio de semillas son extremadamente bajos, lo que indica que el cultivo aún se realiza primitivamente y se cosecha en forma manual en la mayor parte de los países productores. El principal productor del mundo es India, seguido de Sudán y China. Aunque India es el principal exportador, se ha criticado su producto de exportación por el alto contenido de residuos de pesticidas en la semilla. También China ha jugado un papel importante en las exportaciones de los últimos años, pero se proyecta que ese país pasará a ser un importador neto en los próximos 10 años, a medida que el consumo interno aumente (Cuadros 47 y 48).

**Cuadro 47.** Superficie, producción y rendimiento de semilla de sésamo en el mundo.

| AÑO  | SUPERFICIE<br>SEMBRADA (ha) | PRODUCCIÓN<br>MUNDIAL (t) | RENDIMIENTO PROMEDIO<br>(kg/ha) |
|------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1998 | 6.007.500                   | 2.564.178                 | 426                             |
| 1999 | 6.798.654                   | 2.610.150                 | 383                             |
| 2000 | 7.275.939                   | 2.882.234                 | 396                             |
| 2001 | 7.150.860                   | 3.252.907                 | 454                             |
| 2002 | 6.314.360                   | 2.801.662                 | 443                             |
| 2003 | 6.570.908                   | 3.096.064                 | 471                             |
| 2004 | 6.558.247                   | 3.157.062                 | 481                             |

FAOSTAT, 2004.

**Cuadro 48.** Principales exportadores de semilla de sésamo en el mundo.

| AÑO       | INDIA   | SUDAN   | CHINA   | ETIOPÍA | GUATEMALA | MÉXICO | MYANMAR |
|-----------|---------|---------|---------|---------|-----------|--------|---------|
| TONELADAS |         |         |         |         |           |        |         |
| 2000      | 183.306 | 209.949 | 103.326 | 31.042  | 18.317    | 14.433 | 18.357  |
| 2001      | 218.970 | 175.918 | 68.309  | 14.818  | 18.265    | 16.844 | 5.935   |
| 2002      | 118.376 | 172.379 | 98.441  | 68.618  | 20.317    | 11.716 | 1.522   |
| 2003      | 189.113 | 172.000 | 104.414 | 71.342  | 16.759    | 11.401 | 24.764  |

FAOSTAT, 2004.

Los principales importadores de sésamo son Japón, Egipto, Corea y Estados Unidos de Norteamérica (Cuadro 49). Y si se agrupan los países de la Unión Económica Europea y Medio Oriente, sus importaciones también son significativas. En Estados Unidos las importaciones han disminuido gradualmente. Sin embargo, en Asia estas han aumentado en los últimos 15 años. En Corea, el precio de sésamo al consumidor es 10 veces más alto que el precio mundial debido a una combinación entre subsidios entregados a los agricultores y a impuestos arancelarios a las importaciones. Por lo que se anticipa que si se levantan estas tarifas arancelarias las importaciones de sésamo en Corea se incrementarán rápidamente.

**Cuadro 49.** Principales importadores de sésamo en el mundo.

| AÑO       | UNIÓN ECONÓMICA EUROPEA | JAPÓN   | COREA  | EGIPTO | ESTADOS UNIDOS |
|-----------|-------------------------|---------|--------|--------|----------------|
| TONELADAS |                         |         |        |        |                |
| 2000      | 96.227                  | 127.692 | 70.118 | 85.919 | 49.062         |
| 2001      | 97.494                  | 107.403 | 77.356 | 68.591 | 49.088         |
| 2002      | 95.015                  | 92.351  | 63.093 | 50.100 | 46.299         |
| 2003      | 107.546                 | 114.241 | 81.282 | 38.533 | 37.348         |

FAOSTAT, 2004.

La influencia de América Central en este mercado ha caído considerablemente desde 1980, transformándose en importadores desde Sudán y Etiopía y reexportadores de semilla pelada, que es el caso de México, principalmente.

La tendencia mundial es a que este cultivo típico de países pobres, donde la mano de obra es de bajo costo, esta siendo reemplazado por producciones altamente mecanizadas en países desarrollados, como Estados Unidos. En este país se cultiva anualmente 12000 ha en Texas, Oklahoma y Kansas (Langham y Wiemers, 2002).

En el Cuadro 50 se muestra las importaciones chilenas de sésamo semillas, la que creció en un 131% entre el año 2002 y 2005. El precio promedio de las importaciones ha aumentado paulatinamente desde el año 2002 hasta el 2004. Además, los porcentajes importados por empresas en Chile se presentan en el Cuadro 51.

**Cuadro 50.** Volúmenes importados de semilla de sésamo en Chile.

| AÑO  | VOLUMEN (t) | PRECIO (US\$/kg) |
|------|-------------|------------------|
| 1998 | 100         | 1.75             |
| 1999 | 82          | 1.65             |
| 2000 | 86          | 1.45             |
| 2001 | 69          | 1.52             |
| 2002 | 77          | 1.27             |
| 2003 | 111         | 1.36             |
| 2005 | 128         | 1.73             |
| 2005 | 178         | 1.63             |

ODEPA, 2005.

**Cuadro 51.** Principales empresas importadoras de sésamo en Chile.

| EMPRESAS                      | %  |
|-------------------------------|----|
| Velarde Hermanos S.A.         | 34 |
| Importadora Caprile.S.A       | 40 |
| Pacific Interbake Chile Ltda. | 9  |
| Importadora y Com.Starfood    | 8  |
| Quimatic S.A.                 | 5  |
| Tomy Comercializadora Ltda.   | 3  |
| Otras                         | 1  |

ODEPA, 2005.

### **Mercado del aceite**

Estados Unidos es el principal importador de aceite de sésamo, con 9824 t en el año 2003 por un valor de 27.405.000 US\$, lo que entrega un valor promedio de 2789 US\$/t.

A pesar de que el consumo de aceite de sésamo en Chile es bajo (Cuadro 52) su demanda está aumentando en la industria cosmética y farmacéutica mundial con excelentes expectativas de negocio en el corto plazo. Las importaciones de aceite de sésamo en Chile alcanzaron 13.134 kg en el año 2005 (ODEPA, 2005). El precio del aceite refinado de sésamo alcanza 2.4 US\$/kg, por lo que, considerando el alto contenido de aceite en la semilla, lo hace un producto de exportación económicamente muy interesante.

**Cuadro 52.** Volúmenes importados de aceite de sésamo en Chile.

| AÑO  | VOLUMEN DEMANDA (t) | PRECIO (US/kg) |
|------|---------------------|----------------|
| 1999 | 1868                | 4.7            |
| 2000 | 2279                | 3.0            |
| 2001 | 2401                | 3.3            |
| 2002 | 4941                | 2.3            |
| 2003 | 4430                | 4.4            |
| 2004 | 7981                | 3.0            |
| 2005 | 13134               | 2.4            |

ODEPA, 2005.

**Países productores**

Estos son India, Sudán, China, Etiopía y Myanmar.

**MANEJO DEL CULTIVO****Requerimientos de suelo y clima**

Es una especie semi-tropical, muy sensible a heladas. En general, el sésamo desarrollado para áreas secas y calurosas sólo se adapta bien al sur del estado de Kansas y entre los estados de Arizona, Nuevo México y principalmente Texas, Estados Unidos. Sin embargo, se han desarrollado genotipos precoces adaptados a latitudes más altas y climas más fríos. Es así, como se han realizado experiencias exitosas con esta especie en el norte de Estados Unidos, donde la temporada de cultivo sólo dura tres meses (Berti, 1993). En Norteamérica no se adapta a los estados más cercanos al Atlántico debido a la alta humedad ambiental que permite se desarrollen enfermedades foliares.

El sésamo se adapta a las zonas productoras de algodón. Requiere de 20 °C en el suelo a la plantación, es altamente sensible a las heladas y requiere un mínimo de 100 días libres de heladas desde su siembra a madurez fisiológica (Oplinger *et al.*, 1990). La temperatura óptima para su crecimiento es de 25 °C, bajo 18 °C el crecimiento es muy lento y menor a 10 °C el cultivo detiene su crecimiento (Oplinger *et al.*, 1990).

El sésamo es tolerante a la sequía y a altas temperaturas, pero con riego se logran mayores rendimientos. No tolera suelos o agua con alta salinidad. Requiere de suelos

con buen drenaje, ya que es muy susceptible a las pudriciones radiculares por exceso de humedad en el cuello de la planta (Oplinger *et al.*, 1990). Por ello debe asegurarse de que no existe una napa frática o una capa impermeable en el suelo, ya que el sistema radicular es pivotante y profundo. El pH del suelo debe estar entre 5 y 8 (Langham *et al.*, 2004).

### **Cultivares ofrecidos en el mercado**

Existen dos tipos de sésamo, aquel que crece en áreas secas y calurosas y otro que crece en áreas húmedas y calurosas. Las variedades desarrolladas para cada tipo de clima sólo se adaptan a ese clima.

Como el sésamo es un cultivo importante, en muchos países existen muchas variedades en el mercado. Es así, como se encuentran cultivares con semilla de color blanco, café y negro que se destinan a distintos mercados, siendo la semilla de color más claro la utilizada en panadería. Los cultivares con mejor potencial de rendimiento, bajo desgrane (indehiscentes) y adaptados a cosecha mecanizada son de la empresa privada Sesaco, que los ha patentado (Langham y Wiemers, 2002; Patente US 6.100.452).

Cultivares dehiscentes: 'Margo', 'Oro', 'Blanco', 'Dulce' y 'Ambia' (Oplinger *et al.*, 1990).

Cultivares indehiscentes: 'Baco', 'Paloma', 'UCR3', 'SW-16', 'SW-17', 'S26', 'S28' y 'S24'. Los tres últimos cultivares pierden sus hojas antes de la cosecha lo que facilita esta última (Langham *et al.*, 2004).

### **Desarrollo y crecimiento**

La germinación es óptima a 25 °C, mientras que en suelos fríos (15 °C) la germinación disminuye. Sin embargo, remojando las semillas en solución de GA<sub>3</sub> 500 mg/L por 12 horas la germinación aumenta rápidamente (Kyauk *et al.*, 1995). La floración comienza 38 a 45 días después y termina 70 a 90 días después de la siembra. La semilla está madura fisiológicamente 35 días después de antesis (90 a 110 días después de la siembra, dependiendo del cultivar usado y de la temperatura) y la senescencia de las cápsulas comienza 53 días después de antesis. Producto de la senescencia de las cápsulas estas últimas se abren en las variedades dehiscentes. Pero considerando que la semillas están maduras antes de la senescencia de la cápsula la cosecha debiera iniciarse antes de que la semillas se empiecen a desgranar (Day, 2000a, 2000b).

Las plantas de sésamo normalmente se secan entre 130 y 160 días después de la siembra.

### **Fecha de siembra**

El sésamo se debe sembrar una vez pasado el peligro de heladas de primavera, con la temperatura del suelo cercana a 20 °C, lo que correspondería entre el 1 y 15 de noviembre para Chillán. Mientras que en Osorno no se recomienda su cultivo, ya que las temperaturas son excesivamente frías para esta especie. Chillán sería el límite sur para este cultivo en Chile, ya que requiere de muy altas temperaturas, que incluso en algunas temporadas no alcanza a madurar.

Se usa una sembradora neumática sin llenar los cajones de la sembradora con semillas, ya que esta se quiebra fácilmente. Se debe levantar las ruedas compactadoras de la sembradora para evitar compactar la línea de siembra. Esto, porque la plántula de sésamo es muy débil para quebrar la costra endurecida de suelo que queda sobre ella (Langham *et al.*, 2004).

### **Marco de plantación**

La dosis de siembra varía entre 2.5 a 5 kg/ha y se siembra a una distancia entre 10 y 50 cm entre hilera y a 15 cm sobre hilera, lo que entrega una población óptima a cosecha de entre 200.000 y 250.000 plantas/ha (Gupta 1981; Yermanos, 1981). Se recomienda aumentar la dosis de siembra si la profundidad de siembra es mayor, si se usa un suelo compactado, con terrones o malezas, en condiciones subóptimas de temperatura de suelo, con baja humedad o en suelos dispares.

Actualmente en Texas se siembra a 38 cm entre hilera para siembras tardías y 56 cm entre hileras para siembras tempranas (Langham *et al.*, 2004). Se recomienda sembrar entre 83 y 117 semillas por metro lineal, con lo que se espera emerjan 36 a 63 plántulas por metro lineal, lo cual daría una población esperada a cosecha de 15 a 30 plantas por metro lineal (Langham *et al.*, 2004).

### **Preparación de suelo**

Es importante sembrar en una cama de siembra mullida, firme y húmeda, pero con suelo suelto y seco en la superficie. Se debe pasar un rodillo para mantener la humedad en el suelo. No sirve sembrar en seco y después regar o esperar que llueva, ya que el suelo se encostra y enmaleza.

### Fertilización

La fertilización recomendada en Venezuela es de 60 a 120 kg N/ha, hasta 100 unidades de P y 130 unidades de K (Mazzani, 1999). En algunas regiones puede aplicarse de 10 a 60 kg N/ha y de 30 a 40 kg P/ha. Sin embargo, cuando el suelo tiene muy bajo contenido de nitrógeno o de materia orgánica, es recomendable una aplicación adicional de 25 kg/ha de fertilizante nitrogenado (MAG, 1991).

Los requerimientos nutricionales del sésamo son similares a los del millet necesitando 80 kg N/ha, 20 kg  $P_2O_5$ /ha y 20 kg  $K_2O$ /ha (Oplinger *et al.*, 1990). En general, la fertilización debe regularse de acuerdo al análisis de suelo. El cultivo extrae aproximadamente 16 a 20 kg N/t de semilla producida. La biomasa del sésamo también contiene nitrógeno y se estima que la extracción adicional es de 30 kg N/ha. Sin embargo, este nitrógeno vuelve al suelo si se incorpora el rastrojo de sésamo (Langham *et al.*, 2004).

### Riego

En comparación a otros cultivos, el sésamo requiere sólo una cuarta parte del agua que necesita el maíz (Langham *et al.*, 2004). Es así, como para sésamo de debe aplicar mínimo 500 a 600 mm de agua durante la temporada de crecimiento (Oplinger *et al.*, 1990). El primer riego generalmente se realiza 28 a 42 días después de la siembra, en el que deben aplicarse 50 a 60 mm de agua. Luego se realizan dos riegos más, con una frecuencia de entre 10 y 16 días. Se recomienda aplicar 25 a 37 mm de agua en cada riego (Langham *et al.*, 2004). No se debe sobregar, ya que el sésamo es muy sensible al exceso de agua.

En estudios realizados en Irán, la evapotranspiración calculada para sésamo fue de 910 mm. Los Kc (coeficiente del cultivo) correspondientes para el cultivo en los primeros estados de desarrollo, floración y para los estados de desarrollo después de floración fueron de 1.08, 1.25, y 0.72, respectivamente. La máxima  $E_t$  ocurrió con un índice de área foliar igual a 3 (Sepaskhah y Asdam, 2001).

### Control de malezas

No hay herbicidas registrados para controlar malezas. Sin embargo, los resultados de algunos ensayos mostraron que el sésamo tolera bien herbicidas tales como Fusilade®, Poast®, Dual®, Select®, Stomp®, Verdict®, Sertin® y Staple®. También tolera trifluralina y pendimethalin, pero sólo con la mitad de la dosis recomendada para otros cultivos e incorporado superficialmente (Langham *et al.*, 2004). Otros

estudios indican que se pueden utilizar herbicidas tales como pendimethalin (Herbadox®) (2 kg i.a./ha), linuron (1.2 kg/ha) y trifluralina (0.23 kg/ha) (Bringham y Young, 1983). Los mejores resultados se obtuvieron con imazethapyr y metolachlor (Grichar *et al.*, 2001).

Se recomienda realizar un control mecánico de malezas con cultivador aproximadamente 3 a 4 semanas después de la siembra (Langham *et al.*, 2004).

Como el sésamo es una especie de muy reciente introducción como cultivo en Chile es importante evaluar la eficacia de los tratamientos herbicidas recomendados en la literatura extranjera.

### Plagas y enfermedades

Las variedades actualmente utilizadas en Estados Unidos son tolerantes a todas las enfermedades descritas para sésamo. Las pudriciones radiculares en sésamo son causadas por un complejo de hongos entre los que se encuentran *Phytophthora parasitica*, *Fusarium oxysporum* y *Macrophomina phaseolina*. *Rhizoctonia solani*, *Helminthosporium*, *Thielaviopsis*, *Verticillium*, *Alternaria sesami*, *Cercoseptoria*, *Cercospora*, *Pseudomonas*, *Cornepora* y *Leveillula* se han descrito para sésamo desde 1978 en Estados Unidos, pero no se han observado en cultivos comerciales (Langham *et al.*, 2004). Aunque en Estados Unidos no es importante, *Alternaria sesami* es muy importante en los países productores de África (Kenia, Sudan y Etiopía), debido a que este patógeno se transmite por semillas, afectando al nuevo cultivo en estados tempranos de desarrollo (Ojiambo *et al.*, 2003). En Nigeria una de las enfermedades importantes del sésamo es el tizón bacteriano producido por *Xanthomonas campestris* pv. *sesami* (Sabet & Dowson), que causa severa defoliación de la planta, especialmente en siembras tempranas (Akpa *et al.*, 1988).

Existen algunas plagas en sésamo, pero los cultivares utilizados actualmente son tolerantes. El sésamo es afectado por la mosquita blanca *Bemisia argentifolii*, especialmente en años secos y calurosos. El gusano del choclo (*Helicoverpa zea*) y *Achyra rantalis* se encuentran frecuentemente en sésamo, pero no causan mayor daño económico (Langham *et al.*, 2004).

### Rotaciones

El sésamo es un excelente cultivo en rotación con maíz, algodón, maní, soya, trigo y sorgo (Langham *et al.*, 2004). No se debe realizar monocultivo de sésamo, ya que las pudriciones radiculares aumentan.



## COSECHA

### Procedimiento

La cosecha se realiza aproximadamente 140 a 150 días después de la siembra. Las variedades de sésamo susceptibles al desgrane deben cosecharse manualmente cuando las plantas aún están verdes y las cápsulas no se han abierto. Se cortan las plantas y se dejan en un piso plástico o de cemento. Las plantas se mueven para que las semillas caigan al suelo. En la mayoría de los países productores se hacen pilas de plantas sobre paños de algodón en el campo y se dejan secar. Luego se golpean para que las semillas caigan y se limpian agitándolas contra el viento para separar el material más liviano de las semillas.

La cosecha mecanizada sólo se utiliza en Estados Unidos y en que se cuenta con variedades indehiscentes. Estas variedades mantienen sus cápsulas cerradas durante el período de secado de la planta, lo que demora entre 30 a 50 días. La cosecha se realiza cuando la semillas tienen menos de un 6% de humedad (Langham *et al.*, 2004).

También se puede usar una trilladora convencional adaptada para sésamo, utilizando un cabezal para maíz o una plataforma para cereales. La mayor parte de la limpieza se realiza en la trilladora para luego enviar la semillas a la planta procesadora. Se debe tener cuidado de no partir las semillas en la trilla (Langham *et al.*, 2004).

### Rendimiento

Se han alcanzado rendimientos de 2200 kg/ha. Sin embargo, 1500 kg/ha es lo que normalmente se ha obtenido en Venezuela y Estados Unidos (Mazzani, 1999).

### Calidad

Debe contener menos de un 2% de semilla partida y sobre un 50% de aceite.

### Producto final

El sésamo se vende en variadas presentaciones y formas. Las más comunes son semilla natural entera, semillas descascarada mecánicamente o con agua, semillas tostadas, aceite refinado de sésamo y aceite extravirgen orgánico o convencional.

### Resultados obtenidos en Chile

El primer año se evaluó una sola variedad de sésamo proveniente de Francia, sembrada en dos fechas. Con la fecha más temprana se obtuvo un rendimiento de semilla de 1035 kg/ha, lo que indica que el cultivo tiene un potencial de rendimiento interesante para el Valle Central regado de la VIII Región. La fecha de floración en la primera temporada fue el 2 de febrero y fue cosechado el 16 de abril.

Los resultados según la fecha de siembra se muestra en el Cuadro 53 y aquellos para los diferentes cultivares sembrados en Chillán en el Cuadro 54.

**Cuadro 53.** Parámetros evaluados en la cosecha de *Sesamum indicum*, línea francesa, cultivado en Chillán durante la temporada 2002-2003, según fecha de siembra.

| FECHA DE SIEMBRA  | RENDIMIENTO (kg/ha) | PESO HECTÓLITRO (kg/hL) |
|-------------------|---------------------|-------------------------|
| Inicios noviembre | 1035                | 62.0                    |
| Inicios diciembre | 360                 | 72.0                    |
| Inicios enero     | 0                   | —                       |

Las variedades venezolanas (Carripucha, Arahuaca, Glauca, Morada, Acarigua, Inmar y Venezuela) si bien se desarrollaron de acuerdo a lo esperado, no se completó la maduración del total de semillas, presentando una gran cantidad de semillas inmaduras y vanas en el producto cosechado.

**Cuadro 54.** Altura, rendimiento de semillas, peso de 1000 semillas y peso del hectólitro para sésamo en la temporada 2003-2004.

| VARIEDAD      | ALTURA<br>PROMEDIO<br>(cm) | RENDIMIENTO<br>DE SEMILLA<br>(kg/ha) | PESO MIL<br>SEMILLAS<br>(g) | PESO<br>HECTÓLITRO<br>(Kg/hL) |
|---------------|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| UDC (Francia) | 101                        | 245.0                                | 3.0                         | 53.18                         |
| Carripucha    | 118                        | 122.8                                | 3.0                         | 58.31                         |
| Arahuaca      | 104.7                      | 21.2                                 | 1.7                         | 35.17                         |
| Glauca        | 99                         | 38.6                                 | 2.3                         | 48.05                         |
| Morada        | 96.5                       | 92.2                                 | 2.0                         | 58.34                         |
| Acarigua      | 102.3                      | 176.6                                | 2.3                         | 53.48                         |
| Inmar         | 139.7                      | 0.0                                  | 2.0                         | 32.96                         |
| Venezuela     | 102.7                      | 140.3                                | 2.7                         | 52.63                         |

El perfil de ácidos grasos y el contenido de aceite obtenidos en las temporadas 2002-2003 y 2003-2004 con la línea francesa se muestran en el Cuadro 55.

**Cuadro 55.** Contenido de aceite y perfil de ácidos grasos de semillas de sésamo producido en Chillán en dos temporadas.

|                         | 2002 - 2003 | 2003 - 2004 |
|-------------------------|-------------|-------------|
| Contenido de aceite (%) | 45.5        | 49.5        |
| C16:0 (palmitico)       | 8.2         | 8.0         |
| C18:0 (esteárico)       | 5.6         | 5.6         |
| C18:1 (oleico)          | 40.1        | 38.7        |
| C18:2 (linoleico)       | 44.0        | 46.7        |

En la temporada 2004-2005 no se pudo realizar análisis de ácidos grasos, porque las semillas no maduraron. Sin embargo, el contenido de aceite determinado está en el rango mencionado para esta especie (45-60%), siendo mayor el de ácido oleico (38%) y un poco menor el ácido linoleico (48%) (Ashri, 1989).

## LITERATURA CITADA

Akpa, A.D., I.D. Erinle, and S.M. Misari. 1988. Manipulation of sowing dates for the control of bacterial blight of sesame (*Sesamum indicum* L.) induced by *Xanthomonas campestris* pv. *sesami* (Sabet & Dowson) dye. Crop Protection 7(6): 367-371.

Ashri, A. 1989. Sesame. p. 375-387. In: Röbbelen, G., R.K. Downey and A. Ashri (eds.). Oil crops for the world. McGraw Hill, New York.

Berti, M.T. 1993. Agronomic evaluation of new crops for North Dakota. M.Sc. Thesis. North Dakota State University, Fargo, ND.

Bringham, R.D., and J.K. Young. 1983. Sesame performance. Lubbock, Texas Agric. Exp. Stn. Texas. A&M University, PR- 4131.

Day, J.S. 2000a. The effect of plant growth regulator treatments on plant productivity and capsule dehiscence in sesame. *Field Crops Res.* 66: 15-24.

Day, J.S. 2000b. Development and maturation of sesame seeds and capsules. *Field Crops Res.* 67:1-9.

FAOSTAT data. 2004. FAO statistical databases. [en línea]. <http://apps.fao.org/faostat>. (consulta: diciembre, 2004).

Grichar, W.J., D.C. Sestak, K.D. Brewer, B.A. Besler, C.R. Stichler, and D.T. Smith. 2001. Sesame (*Sesamum indicum* L.) tolerance and weed control with soil-applied herbicides. *Crop Protection* 20: 389-394.

Gupta, G.R. 1981. Combining ability analysis of yield components in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Madras Agric. J.* 68 (5): 281-288.

Kyauk, H., N.W. Hopper and R.D. Brigham. 1995. Effects of temperature and presoaking on germination, root length and shoot length of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Environ. Exp. Bot.* 35(3): 345-351.

Langham, D.R., G. Smith, T. Wieners, and M. Wetzell. 2004. Southwest sesame grower's pamphlet 2004. [en línea]. Sesaco Corporation. <http://www.sesaco.net>.

Langham, D.R., and T. Wiemers. 2002. Progress in mechanizing sesame in the US through breeding. p. 157-173. *In*: J. Janick and A. Whipkey (eds.). Trends in new crops and new uses. American Society of Horticultural Science Press, Alexandria, VA.

Mazzani, B. 1999. Investigación y tecnología del cultivo del ajonjolí en Venezuela. [en línea]. Ediciones del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. <http://ajonjoli.sian.info.ve>.

ODEPA. 2005. Servicio de información de la agricultura chilena: Comercio exterior agropecuario. [en línea]. <http://www.odepa.gob.cl>.

Ojiambo, P.S., R.K. Mibey, R.D. Narla, and P.O. Ayiecho. 2003. Field transmission efficiency of *Alternaria sesami* in sesame infected seed. Crop Protection 22:1107-1115.

Oplinger, E.S., D.H. Putnam, A.R. Kaminski, C.V. Hanson, E.A. Oelke, E.E. Schulte, and J.D. Doll. 1990. Sesame. [en línea]. Alternative Field Crops Manual. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/sesame.html>.

Sepaskhah, A.R., and M. Andam. 2000. Crop coefficient of sesame in a semi-arid region of I.R. Iran. Agricultural Water Management 49: 51-63.

Tunde-Akintunde, T.Y., and B.O. Akintunde. 2004. Some physical properties of sesame seed. Biosystems Engineering 88(1): 127-129.

Yermanos, D.M. 1981. Sesame production in USA as of 1960's. p. 59-60. In: A. Ashri (ed.) Sesame: status and improvement. FAO Plant Production and Protection. Paper 66, Roma, Italia.

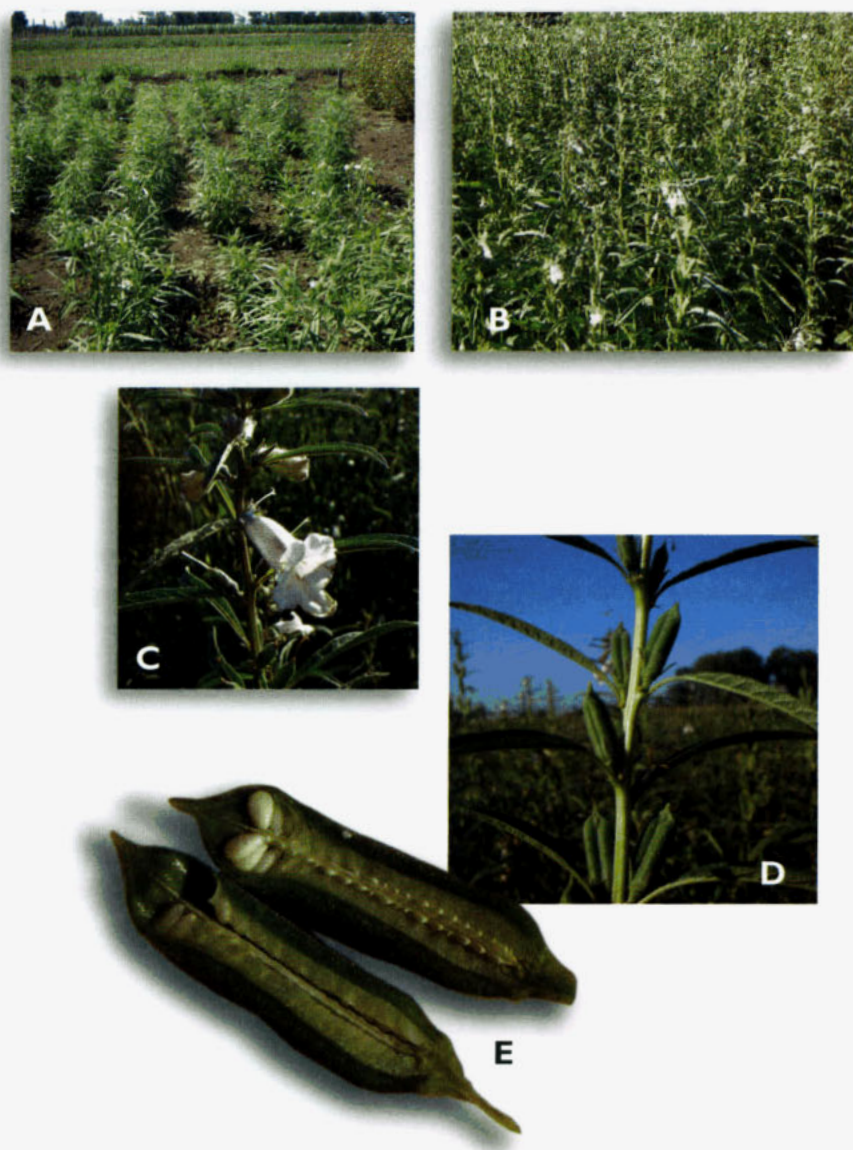
## **PÁGINAS WEB DE INTERÉS**

<http://www.sesaco.net>

<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/sesame.html>

<http://ajonjoli.sian.info.ve>





**Figura 19.** Sésamo, cultivo (A), cultivo floreciendo (B), flores (C), frutos inmaduros (D), semillas (E).





# Stokesia



- Nombre Común:** Stokesia.
- Nombre Científico:** *Stokesia laevis*.
- Otros Nombres:** Stokes Aster (inglés).
- Familia:** Asteraceae.
- Centro de Origen:** Proviene del sureste de Estados Unidos.
- Distribución geográfica:** Se distribuye en forma natural en los estados de Carolina del Sur, Florida y Louisiana, Estados Unidos, donde crece en pantanos.

### Descripción

Es una especie herbácea perenne o bianual, con hojas basales en forma de roseta, de 15 a 20 cm de largo. El o los tallos florales pueden alcanzar hasta 60 cm de altura. Cada tallo floral tiene en su extremo superior un capítulo de 7 a 10 cm de diámetro. Las flores liguladas (conocidas como pétalos) son de color azul, lavanda, rosado o blanco y se encuentran ordenadas en dos círculos concéntricos. Las flores del disco son del mismo color que las liguladas, pero más oscuras. La floración puede durar varias semanas (Campbell, 1981).

### Composición de la semilla

La semilla contiene entre un 36 a 49% de aceite, del cual un 64 a 79% corresponde a ácido vernólico (ácido 12,13-epoxy-cis-9-octadecenoico) (Campbell, 1981; Shands y White, 1990). El contenido de proteína de la semillas es de 23.1% (Campbell, 1981).

### Usos

Las semillas de *Stokesia* son una fuente natural de ácidos grasos epoxidizados que pueden ser utilizados en la manufactura de pinturas, barnices, adhesivos y productos farmacéuticos (Princen, 1990).

### Antecedentes de mercado

El mercado potencial para ácidos grasos epoxidizados es de 45.000 a 90.000 t/año, el que compartiría con *Vernonia galamensis* y *Euphorbia lagascae*.

### Países productores

No hay producción comercial, aún se encuentra en etapa de experimentación.

## MANEJO DEL CULTIVO

### Requerimientos de suelo y clima

Crece a pleno sol, en suelos arenosos con pH 5.8 a 6.8, pero prefiere suelos ácidos. Sin embargo, puede adaptarse a sitios sombreados (Callan y Kennedy, 1995; Jelitto GmbH, 2001). Es muy sensible al exceso de humedad durante el invierno y a las heladas fuertes.

Se recomienda sembrar la semilla en invierno (mayo-septiembre) en un germinador a baja temperatura (5 °C o menos) para estratificarla, ya que germinan en forma muy irregular durante un largo período de tiempo. En estudios realizados en germinación de semillas en especies de esta familia se ha visto que la membrana interna que envuelve a la semilla es la que impone la dormancia del embrión. Incluso puede ser una barrera para la imbibición con agua, giberelina u otros promotores de la germinación (Atwater, 1980). Así mismo se han detectado que durante el proceso de imbibición la semilla exuda sustancias mucilaginosas que se recomiendan remover, con el fin de asegurar la germinación. Para ello bastaría usar un medio de germinación en el cual se puede lavar y eliminar esta sustancia (Atwater, 1980). La máxima germinación de la semilla se obtiene con 20 °C; a temperaturas menores a 11 °C la germinación es nula (Campbell, 1984).

Es una planta perenne que puede permanecer en producción hasta los 5 años, pero que florece recién en la segunda temporada de cultivo. Por ello puede ser cultivada con otra especie el primer año para hacer un mejor uso del suelo (Callan y Kennedy, 1998).

### **Cultivares ofrecidos en el mercado**

Existen varios cultivares, pero la mayoría han sido desarrollados para uso ornamental en jardines y parques y no para su cultivo como oleaginosa. Entre los cultivares ornamentales se encuentran, 'Blue Danube', 'Blue Moon', 'Bluestone', 'Wyoming', 'Rosea', 'Alba', 'Silver Moon', 'Omega Skyrocket' y 'Mary Gregory' que tiene flores amarillas.

### **Fecha de siembra**

Se siembra en primavera, a fines de octubre.

### **Marco de plantación**

Se recomienda plantar a 20 cm entre hileras (Callan y Kennedy, 1999).

### **Fertilización**

Se recomienda 70 kg N/ha, aplicados a fines del verano (febrero) y 200 kg N/ha a la primavera siguiente, en septiembre (Callan y Kennedy, 1999).

### Riego

Requiere de riego durante el verano, no muy frecuente para evitar enfermedades en el cuello de la planta (Gettys y Werner, 2002).

### Control de malezas

El control de malezas es crítico durante el invierno ya que las plantas permanecen en estado de roseta. *Stokesia* tiene excelente tolerancia a los herbicidas fluazifop-p-butil, vernolate, y trifluralina (incorporado en presiembra), pero su tolerancia es moderada frente a los herbicidas imazaquin, acifluorfen, fomesafen, y metribuzina (Callan y Kennedy, 1995). Por otra parte, *Stokesia* muestra excelente tolerancia a napropamida, metolaclor, oxyfluorfen, oryzalin, trifluralina y oxadiazon (Staats *et al.*, 1998).

### Plagas y enfermedades

No se han informado sobre enfermedades o plagas importantes en esta especie, incluso en las de uso ornamental. Sin embargo, *Phomopsis* puede reducir el vigor de la planta (Callan y Kennedy, 1999).

### Rotaciones

No se puede cultivar junto con soya, ya que la falta de luz afecta el crecimiento de stokes aster (Callan y Kennedy, 1995;1996).

## COSECHA

### Procedimiento

Se puede realizar en forma manual cortando los capítulos y luego trillándolos. La cosecha mecanizada aun no se ha evaluado.

### Rendimiento

El potencial de rendimiento de semilla es de 2000 kg/ha. Aunque Callan y Kennedy (1995) sólo obtuvieron 1000 kg/ha en el primer año de producción.

### Resultados obtenidos en Chile

Dos líneas de *Stokesia laevis*, SA640 y SA644, fueron evaluadas en Chillán. La germinación de ambas líneas fue de 80% y 77.8%, respectivamente. Para ello, *Stokesia*

fue sembrada en octubre de 2002 y la floración ocurrió el 30 de octubre de 2003 y el 10 de febrero de 2004 para ambas líneas, respectivamente.

En la temporada 2003-2004 se cosechó por única vez, ya que se trata de una planta bianual. La cosecha se realizó el 8 de abril de 2004, cortando solamente los capítulos abiertos a nivel del tallo con tijeras de podar. Una vez secos, se trilló. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 56.

**Cuadro 56.** Parámetros evaluados al momento de la cosecha y rendimiento de semilla de *Stokesia laevis* cultivada en Chillán durante la temporada 2003-2004.

| LÍNEA | POBLACIÓN INICIAL<br>(plantas/ha) | ALTURA PROMEDIO<br>(cm) | RENDIMIENTO SEMILLA<br>(kg/ha) | PESO MIL SEMILLAS<br>(g) | PESO HECTÓLITRO<br>(Kg/hL) |
|-------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| SA640 | 68.000                            | 27.3 b                  | 490.0 b                        | 8.5                      | 35.72 b                    |
| SA644 | 68.000                            | 78.3 a                  | 1374.6 a                       | 10.3                     | 52.65 a                    |

Letras distintas indican diferencias significativa al 5% entre tratamientos. Prueba DMS ( $P \leq 0.05$ ).

Se observó diferencia estadística en varios parámetros evaluados entre las dos líneas de *Stokesia*, alcanzando valores más altos la línea SA644. El potencial de rendimiento de semilla es de 2000 kg/ha, aunque Callan y Kennedy (1995) sólo obtuvieron 1000 kg/ha en el primer año de producción. El rendimiento obtenido no es suficiente para justificar un cultivo bianual, ya que no sería rentable para los agricultores, por lo que el potencial para su cultivo en la VIII Región es limitado. Los contenidos y composición de aceite se presentan en el Cuadro 57.

**Cuadro 57.** Contenido de aceite y tipos de aceite en semillas de *Stokesia laevis* cultivada en Chillán y cosechada en la temporada 2003-2004.

| LÍNEA | CONTENIDO ACEITE (%) | COMPOSICIÓN DE ACEITE (DISTRIBUCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS, %) |       |       |       |              |
|-------|----------------------|----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------------|
|       |                      | C16:0                                                    | C18:0 | C18:1 | C18:2 | C18:9C12-13† |
| SA640 | 34.1                 | 2.7                                                      | 1.1   | 11.0  | 23.5  | 61.6         |
| SA644 | 33.3                 | 2.5                                                      | 1.7   | 6.5   | 19.5  | 69.2         |

†ácido epoxivernólico.

Sólo se dispone de un análisis, ya que es una planta bianual y no hubo una segunda cosecha. El contenido de aceite en la semilla fue menor a lo informado en la literatura, que indica rangos de 36 a 49%. Mientras que el contenido de ácido vernólico en la

línea SA644 cumple con lo informado, y que corresponde a un 64 a 79% del aceite (Campbell, 1981, Shands y White, 1990).

## LITERATURA CITADA

Atwater, B.R. 1980. Germination, dormancy and morphology of the seeds of herbaceous ornamental plants. *Seed Sci. Technol.* 8: 523-573.

Callan, E.J., and C.W. Kennedy. 1995. Intercropping Stokes Aster: Effect of shade on photosynthesis and plant morphology. *Crop Sci.* 35:1110-1115.

Callan, E.J., and C.W. Kennedy. 1996. Intercropping Stokes Aster: Seedling growth under a soybean canopy. p. 363-367. *In: J. Janick (ed.). Progress in New Crops.* ASHS Press, Arlington, VA.

Callan, E.J., and C.W. Kennedy. 1999. Cropping systems for Stokes Aster. p. 262-263. *In: J. Janick and J. E. Simon (eds.). Perspectives of New Crops and New Uses.* ASHS Press. Alexandria, VA.

Campbell, I.A. 1981. Agronomic potential of Stokes Aster. p. 287-295. *In: E.H. Pryde, L.H. Princen, and K.D. Mukherjee (eds.). New sources of fats and oils.* Amer. Oil Chem. Soc. Monograph 9. Champaign, IL.

Campbell, I.A. 1984. Responses of Stokes Aster achenes to chilling. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109(5): 736-741.

Gettys, L.A., and D.J. Werner. 2002. Stokes aster. *HortTech.* 12(1): 138-142.

Princen, L.H. 1990. New Crops Research and Development: A Federal Perspective. p. 17-20. *In: J. Janick and J.E. Simon (eds.). Advances in New Crops.* Timber Press Portland, OR.

Shands, H.L. and G.A. White. 1990. New crops in the U.S. national plant germplasm system. p.70-75. *In*: J. Janick and J.E. Simon (ed s.). *Advances in New Crops*, Timber Press Portland, OR.

Staats, D., D. Hillock, and J.E. Klett. 1998. Weed control and phytotoxicity of preemergence herbicides applied to container-grown herbaceous plants. *HortTech*. 8(3): 325-328.







**Figura 20.** Stokesia, cultivo (A), capítulos cerrados (B), capítulo (C).





# Vernonia

- Nombre Común:** Vernonia.
- Nombre Científico:** *Vernonia galamensis* (Cass.) Less.
- Otros Nombres:** Ironweed.
- Familia:** Asteraceae.
- Centro de Origen:** Proviene de Africa.
- Distribución geográfica:** Actualmente se encuentra en Kenia, norte de Tanzania, Zimbabwe, Zambia. También se están realizando ensayos en Italia (IENICA, 2000).

## Descripción

*V. galamensis* es una especie compleja que incluye 6 subespecies: ssp. *galamensis*, ssp. *mutomoensis* M. Gilbert, ssp. *nairobiensis* M. Gilbert, ssp. *gibbosa* M. Gilbert, ssp. *afromontana* (R.E. Fries) M. Gilbert y ssp. *lushotoensis* M. Gilbert. Además, la subespecie *galamensis* está constituida por cuatro variedades botánicas: var. *galamensis* M. Gilbert, var. *petitiana* (A. Rich.) M. Gilbert, var. *australis* M. Gilbert y var. *ethiopica* M. Gilberti (Teynor *et al.*, 1992).

Es una planta anual, con una altura que fluctúa entre 0.2 m y 5 m de altura, dependiendo de la subespecie y de lugar geográfico donde crece. Las hojas son alternas y sésiles con márgenes dentados, de 0.5 a 5 cm de ancho por 25 cm de largo (Teynor *et al.*, 1992).

La inflorescencia es un capítulo que contiene 50 a 150 flores hermafroditas que presentan protoandria y autoincompatibilidad (Dierig *et al.*, 1996). Las flores son de color azul, púrpura o blancas (Dierig, 2004). Una planta produce en promedio 80 capítulos, pero el número fluctúa entre 60 y 155. La polinización es abierta, realizada principalmente por insectos. El fruto es un aquenio, que comúnmente se conoce como semilla, de color café oscuro. El número de cromosomas de todas las subespecies es de  $2n=18$  (Dierig *et al.*, 1996).

## Composición de la semilla

La semilla contiene un 35 a 42% de aceite, del cual un 72% a 80% es ácido vernólico (ácido cis-12,13-epoxy-cis-9-octadecenoico). También contiene 12 a 14 % de ácido linoleico, 4 a 6 % de ácido oleico, 2 a 3 % de ácido esteárico y 2 a 3 % de ácido palmítico (Baye y Gudeta, 2002).

## Usos

El ácido vernólico se encuentra en pocas especie vegetales y actualmente se sintetiza a partir de petroquímicos o de aceites vegetales de soya y linaza (Dierig y Thompson, 1993). La ventaja es que el aceite de vernonia tiene una baja viscosidad y puede ser almacenado bajo 0 °C, lo que no es posible con los aceite epoxidizados de soya o de lino. La baja viscosidad permite que el aceite pueda ser usado como solvente y agente secante de pinturas. Considerando que los agentes secantes utilizados actualmente, tales como la terpentina, contaminan el ambiente y destruyen la capa de ozono, el aceite de vernonia se vislumbra como una alternativa interesante (Dierig, 2004).

El ácido vernólico también se utiliza en la elaboración de productos cosméticos y medicinales, aditivos para PVC, mezclas de polímeros y plastificadores. El aceite de vernonia se puede utilizar como solvente para copolímeros acrílicos de estireno (Trumbo *et al.*, 1996). Otros productos novedosos sintetizados a partir de ácido vernólico son el bombikol, una feromona sexual del gusano de seda (*Bombyx mori*), que podría utilizarse para el control de plagas y el ácido traumático que se utiliza como intermediario en la síntesis de prostaglandinas humanas (Cuperus y Derksen, 1996).

### **Antecedentes de mercado**

Actualmente los aceites epóxicos se obtienen a partir de la epoxidización del aceite de soya o de lino. Sin embargo, la calidad del aceite de vernonia es superior. Uno de los mercados potenciales para este aceite es como agente secante en la manufactura de pinturas. En Estados Unidos se utilizan 325 millones de galones de pintura anualmente. El valor pagado a productor se estima que alcanzará a 0.6 US\$/kg de semilla (Dierig y Thompson, 1993).

### **Países productores**

En este momento sólo Zimbabwe, Tanzania y Etiopía.

## **MANEJO DEL CULTIVO**

### **Requerimientos de suelo y clima**

Es una especie anual, herbácea, de día corto. Esto último es una limitante para el cultivo de esta especie en áreas con clima templado y de día largo. Actualmente su cultivo se limita a latitudes menores a 20°. Bajo condiciones normales, las plantas sembradas en primavera permanecen en estado vegetativo hasta el otoño y en la mayoría de los casos las semillas no alcanzan a madurar antes de las primeras heladas. La var. *ethiopica* requiere de 10 h de luz para florecer.

Se distribuye en forma natural en áreas con baja precipitación anual, aproximadamente 200 mm, y crece entre 700 a 2400 m de altitud (Baye y Gudeta, 2002). La planta requiere de suelo bien drenado (Teynor *et al.*, 1992; Baye y Gudeta, 2002).

### Cultivares ofrecidos en el mercado

No hay cultivares disponibles, pero sí líneas mejoradas que se adaptan a ambientes templados. La línea VO29, perteneciente a la var. *petitiana*, es una planta de día neutro o día corto cuantitativa, que le permite florecer mucho más temprano en la temporada. Sin embargo, carece de otras características deseables (Dierig y Thompson, 1993). Existen líneas avanzadas con mejores rendimientos y contenido de aceite, las que probablemente permitirán el cultivo comercial de esta especie en el futuro.

### Mejoramiento

Existe un programa de mejoramiento en el "US Water Conservation Laboratory" en Phoenix, Arizona, Estados Unidos (Dierig y Thompson, 1993; Dierig, *et al.*, 1996). Uno de los éxitos del programa ha sido la transferencia del hábito de floración neutro encontrado en *V. galamensis* var. *petitiana* (VO29) a variedades de día corto (Thompson *et al.*, 1994a). Con los híbridos obtenidos se logró un importante aumento en contenido de aceite y ácido vernólico (Thompson *et al.*, 1994b).

### Desarrollo y crecimiento

El cultivo dura 5 a 7 meses dependiendo de la zona en que se cultive (Angelini *et al.*, 1997).

### Fecha de siembra

Se siembra en primavera, sin embargo en latitudes altas la planta no alcanza a madurar.

### Marco de plantación

En ensayos con líneas híbridas realizados en Maricopa, Arizona, Estados Unidos, los mejores rendimientos se obtuvieron con 60.000 plantas/ha, utilizando una distancia entre hilera de 15 cm (Dierig *et al.*, 1996).

### Preparación de suelo

No hay antecedentes al respecto.

### Fertilización

El rendimiento más alto se obtuvo con 100 y 150 kg N/ha. No se observaron diferencias significativas en rendimiento de semillas al fertilizar con entre 50 y 150 kg  $P_2O_5$ /ha, ni para potasio entre 50 y 150  $K_2O$  kg/ha (Bhardwaj *et al.*, 2000).

### Control de malezas

El control de malezas es crítico en los primeros estados de desarrollo de la planta. Los herbicidas que se pueden utilizar en presembrado en este cultivo son trifluralina (0.56-1.12 kg i.a./ha), benefin (1.68 kg i.a./ha), ethalfluralin (0.84 kg i.a./ha) y pendimethalin (0.84-1.84 kg i.a./ha); en preemergencia se puede utilizar pendimethalin (1.68 kg i.a./ha) y DCPA (8.40 kg i.a./ha) y en postemergencia, fluazifop, pronamida y sethoxydim (Roseberg, 1997).

### Plagas y enfermedades

Vernonia es atacada por numerosas plagas y enfermedades. Algunos patógenos han coevolucionado con la especie siendo específicos para esta. Entre los insectos plagas encontrados en plantas de vernonia se encuentran: *Aphis gosypii*, *Mylabris* sp., *Agronoscelis pubescens* (Thunb.), *Epilachna* sp., *Ornithacris* sp., *Nezara viridula* L., *Liriomyza* sp., *Lygus* sp., *Earias biplaga* (Wkl.), *Epilauta* sp. e *Indent* sp. Esta última especie causa serias pérdidas al cultivo ya que destruye los ápices de crecimiento. *Bagrada* sp. y *Captosoma* sp. pueden causar la marchitez total de la planta (Baye y Gudeta, 2002).

En cuanto a las enfermedades se ha detectado *Rhizoctonia solani* (Kuhn), *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., *Phoma* sp., *Erysiphe* sp., *Puccinia* sp. (Baye y Gudeta, 2002).

## COSECHA

### Procedimiento

En África la cosecha se hace manual, cortando las plantas en la base y luego se trillan. Las semillas no se desgranar, ya que los capítulos son bastante cerrados (Teynor et al., 1992).

### Rendimiento

Los rendimientos obtenidos en Zimbabwe alcanzan a 1345 a 2494 kg/ha (Perdue et al., 1986). En Etiopía se han logrado rendimientos de hasta 4000 kg/ha (Baye y Gudeta, 2002). El rendimiento de semillas, contenido de aceite y peso de mil semillas obtenidos en diversos estados en Estados Unidos y en otros países se presentan en el Cuadro 58.



**Cuadro 58.** Rendimiento de semillas, peso de mil semillas y contenido de aceite de *V. galamanensis* en varios estados de Estados Unidos y otros países.

| ES TADO O PAÍS | RENDIMIENTO DE SEMILLAS (kg/ha) | PESO DE MIL SEMILLAS (g) | CONTENIDO DE ACEITE (%) |
|----------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Virginia, USA  | 490 -1934                       | 2.82                     | 30.2 - 39.2             |
| Missouri, USA  | 325                             | 2.76                     | 37.2                    |
| Texas, USA     | 303                             | 2.55                     | 37.8                    |
| Oregon, USA    | 645                             | 2.53                     | 35.2                    |
| Etiopia        | 3504 - 4086                     | 3.76 - 4.21              | 37.5 - 40.5             |
| Zimbabwe       | 1345 - 2494                     | —                        | —                       |
| Argentina      | 155                             | 3.31                     | 41.7                    |

Adaptado de Perdue *et al.* (1986), Dierig *et al.*(1996), Bardhwaj *et al.*, (2000), Baye *et al.*, (2001).

**Resultados obtenidos en Chile**

Las líneas utilizadas para los ensayos fueron 49B-OR-1 y 15D-10-12-2 , ambas son poblaciones híbridas donde uno de los padres es la línea A0399, la que también fue evaluada.

Dado que la semilla de todas las líneas de vernonia en evaluación no tuvieron buena germinación, se realizó un ensayo de germinación aplicando distintos tratamientos. De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que el mayor porcentaje de germinación (62.5 %) se obtuvo al tratar las semillas de vernonia 49B-OR1 sólo con agua. Sin embargo, el tratamiento con el cual se obtuvo el porcentaje de germinación más homogéneo para las tres líneas de vernonia fue la combinación de oscuridad e imbibición con KNO<sub>3</sub> 0.2% (p/v), con un 58.3 % de germinación (Cuadro 59).

**Cuadro 59.** Porcentaje de germinación de diferentes líneas de Vernonia.

| TRATAMIENTO          | GERMINACIÓN (%) |       |             |          |
|----------------------|-----------------|-------|-------------|----------|
|                      | 49B-OR-1        | A0399 | 15D 10-12-2 | PROMEDIO |
| Agua                 | 62.5            | 22.5  | 30          | 38.3     |
| Luz/KNO <sub>3</sub> | 57.5            | 42.5  | 35          | 45.0     |
| Osc/KNO <sub>3</sub> | 57.5            | 57.5  | 60          | 58.3     |
| CV                   | 9.9             | 13.3  | 44          |          |
| LSD (0.05)           | 1.3             | 1.4   | 4           |          |

Se intentó una siembra otoñal a comienzos de abril, pero todas las plantas murieron con las heladas invernales. La siembra primaveral se realizó a fines de octubre. Todas las líneas de vernonia florecieron tardíamente, la tercera semana de febrero, lo que



indica que responden al fotoperíodo corto para florecer. Esto atrasa la madurez de la semillas, lo cual se presentó entre abril y mayo, cuando ya caen heladas y las lluvias aumentan. Las semillas maduraron heterogéneamente, por lo cual la cosecha se hizo en forma parcializada a medida que iba madurando. En el año 2003, el material cosechado en las últimas semanas de mayo contenía mucha humedad, por lo que hubo que proceder a ventilar y luego secar el material en hornos a 40°C por varios días. En todas las temporadas las semillas maduraron muy tardíamente (abril mayo) y en forma desuniforme, por lo cual la cosecha se hizo en forma parcializada a medida que iba madurando la semilla. Los resultados se muestran en el Cuadro 60.

**Cuadro 60.** Parámetros evaluados al momento de la cosecha y rendimiento de semilla de *Vernonia galamensis* cultivada en Chillán durante tres temporadas.

| LÍNEA              | FECHA COSECHA | ALTURA<br>(cm) | RENDIMIENTO<br>(kg/ha) | PESO 1000<br>SEMILLAS<br>(g) | PESO<br>HECTÓLITRO<br>(kg/hL) |
|--------------------|---------------|----------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| <b>2002 - 2003</b> |               |                |                        |                              |                               |
| AO 399             | —             | —              | 74                     | —                            | —                             |
| 49B-ORI            | —             | —              | 33                     | —                            | —                             |
| 15D-10-12-2        | —             | —              | 72                     | —                            | —                             |
| <b>2003 - 2004</b> |               |                |                        |                              |                               |
| AO 399             | 30/04/04      | 85             | 458.1a                 | 5.0                          | 22.15                         |
| 49B-ORI            | 30/04/04      | 87             | 422.8a                 | 5.3                          | 23.65                         |
| 15D-10-12-2        | 30/04/04      | 90             | 372.8a                 | 5.0                          | 23.22                         |
| <b>2004 - 2005</b> |               |                |                        |                              |                               |
| AO 399             | 15/04/05      | 89             | 199.51                 | 3.6                          | 13.94                         |
| 49B-ORI            | 15/04/05      | 91             | 215.58                 | 3.6                          | 14.57                         |
| 15D-10-12-2        | 15/04/05      | 93             | 229.60                 | 3.6                          | 11.56                         |

\* Letras iguales en sentido verticalmente indican que no hubo diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos (variedades).

Los rendimientos de la temporada 2003-2004 superaron a los obtenidos la temporada 2002-2003. Mientras que los obtenidos en la temporada 2003-2004 no fueron diferentes ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos (variedades) y superaron a aquellos de la temporada 2002-2003. Sin embargo, fueron muy inferiores a los de Zimbabwe, donde alcanzan a 1345 a 2494 kg/ha, mientras que en Etiopía se han cosechado hasta 4000 kg/ha (Perdue *et al.*, 1986; Baye y Gudeta, 2002).

Según Angelini *et al.* (1997) el peso de 1000 semillas es 3.2 g, valor similar al registrado en Chillán. Mientras que en esta última localidad el contenido de aceite de las variedades AO399 y 49B-ORI coincide con los valores más altos y de 49B-ORI incluso mayor a lo determinado por Angelini *et al.* (1997). Los contenidos de aceite y de cada una de las fracciones se presentan en el Cuadro 61.

**Cuadro 61.** Contenido de aceite y tipos de aceite en semillas de *Vernonia galamensis* cultivada en Chillán durante 2003-2004.

| LÍNEA      | CONTENIDO ACEITE (%) | COMPOSICIÓN DE ACEITE (DISTRIBUCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS, %) |       |       |       |              |
|------------|----------------------|----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------------|
|            |                      | C16:0                                                    | C18:0 | C18:1 | C18:2 | C18:9C12-13† |
| A0399      | 31.1                 | 2.9                                                      | 2.6   | 4.2   | 13.4  | 74.1         |
| 49B-ORI    | 31.4                 | 3.3                                                      | 2.6   | 4.7   | 14.2  | 71.9         |
| 15D-1012-2 | 33.4                 | 2.8                                                      | 2.7   | 4.0   | 13.0  | 75.0         |

†ácido epoxivermólico.

El contenido de aceite fue menor a lo mencionado en la literatura (35 a 42%), mientras que sí se cumple con las concentraciones de ácido vernólico (72% a 80%), de ácido linoleico (12 a 14 %) , de ácido oleico (4 a 6%), de ácido esteárico (2 a 3 %) y de ácido palmítico (2 a 3 %) (Baye y Gudeta, 2002).

LITERATURA CITADA

Baye, T., and S. Gudeta. 2002. Pest survey of *Vernonia galamensis* in Ethiopia. p. 219-221. In: J.Janick and A. Whipkey (eds.). Trend in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA.

Baye, T., H. Kebede, and K. Belete. 2001. Agronomic evaluation of *Vernonia galamensis* germplasm collected from Eastern Ethiopia. Ind. Crops Prod. 14:179-190.

Bhardwaj, H L., A.A. Hamana, M. Rangappa, and D.A. Dierig. 2000. *Vernonia* oilseed production in the mid-Atlantic region of the United States. Ind. Crops Prod. 12:119-124.

Cuperus, F.P., and J.T.P. Derksen. 1996. High value added applications from vernolic acid. p. 354-356. *In*: J. Janick (ed.). Progress in new crops. ASHS Press, Alexandria, VA.

Dierig, D.A., T.A. Coffelt, F.S. Nakayama, and A.E. Thompson. 1996. *Lesquerella* and *Vernonia*: oilseeds for arid lands. p. 347-354. *In*: J. Janick (ed.). Progress in New Crops. ASHS Press, Alexandria, VA.

Dierig, D.A., and A.E. Thompson. 1993. *Vernonia* and *Lesquerella* potential for commercialization. p. 362-367. *In*: J. Janick, and J. E. Simon (ed.), New Crops, Wiley, New York.

Perdue, R.E., K.D. Carlson, and M.G. Gilbert. 1986. *Vernonia galamanensis*, potential new crop source of epoxy acid. *Econ. Bot.* 40: 54-68.

Roseberg, R. 1997. Herbicide tolerance by vernonia grown in the temperate zone. *Ind. Crops Prod.* 6: 89-96.

Teynor, T.M., D.H. Putnam, E.S. Oplinger, K.A. Kelling, and J.D. Doll. 1992. *Vernonia*. Alternative Field Crops Manual. University of Minnesota and University of Wisconsin Extension Services.

Thompson, A. E., D. A. Dierig, and R. Kleiman. 1994a. Variation in *Vernonia galamensis* flowering characteristics, seed oil and vernolic contents. *Ind. Crops Prod.* 3(3):175-183.

Thompson, A.E., D.A. Dierig, E.R. Johnson, G.H. Dahlquist, and R. Kleiman. 1994b. Germplasm development of *Vernonia galamensis* as a new industrial oilseed crop. *Ind. Crops Prod.* 3(3):185-200.

Trumbo, D.L., J.C. Rudelich, and B.E. Mote. 1996. Applications of vernonia oil in coatings. p. 267-271. *In*: J. Janick (ed.). Perspectives on new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA.

## **PÁGINAS WEB DE INTERÉS**

<http://www.uswcl.ars.ag.gov>



**Figura 21.** Vernonia, cultivo floreciendo (A), capítulos (B, C).





**Diseño y Diagramación**

Ricardo González Toro

(42) 224504

ricardogonzáleztoro@gmail.com

**Impresión**

Trama Impresores S.A.



***Marisol Berti Díaz***

Ing. Agrónomo, M. Sc.  
Facultad de Agronomía  
Universidad de Concepción  
Casilla 537  
Chillán, Chile  
E-mail: [mberti@udec.cl](mailto:mberti@udec.cl)

***Rosemarie Wilckens Engelbreit***

Lic. Biología, Dr. rer.nat.  
Facultad de Agronomía  
Universidad de Concepción  
Casilla 537  
Chillán, Chile  
E-mail: [rwilcken@udec.cl](mailto:rwilcken@udec.cl)

***Susana Fischer Ganzoni***

Ing. Agrónomo, Mg. Prod. Veg.  
Facultad de Agronomía  
Universidad de Concepción  
Casilla 537  
Chillán, Chile  
E-mail: [sfischer@udec.cl](mailto:sfischer@udec.cl)

***Felicitas Hevia Hott***

Lic. Química, Mg. Ing. Agr.  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Universidad de Concepción  
Casilla 537  
Chillán, Chile  
E-mail: [fhevia@udec.cl](mailto:fhevia@udec.cl)

***Claudia Tramón Pregnan***

Ing. Civil Químico  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Universidad de Concepción  
Casilla 537  
Chillán, Chile  
E-mail: [cltramon@udec.cl](mailto:cltramon@udec.cl)

***Rosa Pertierra Lazo***

Ing. Agrónomo, Dr. agr. ing.  
Chillán, Chile  
E-mail: [rosapertierra@gmail.com](mailto:rosapertierra@gmail.com)