

Título

Camelina y mostaza oriental: dos cultivos con potencial en Chile para producción de biodiesel

Autores

Marisol Berti, Rosemarie Wilckens, Alejandro Solís y Wilson González

Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción

Empresas y Agricultores Asociados:

Sociedad Agrícola, Forestal y Ganadera Santa Matilde Ltda.

Hernán Martínez Chavarría

Alisur S.A.

Ricardo Montesinos Iroume

Biosemillas Ltda.

Molinera Gorbea Ltda.

Enrique Alonso Sabugo

Índice

1. Introducción

2. Antecedentes sobre camelina y mostaza oriental

2.1 Camelina

2.2 Mostaza oriental

3. Fechas de siembra camelina, mostaza oriental y raps

3.1 Objetivos

3.2 Materiales y métodos

3.3 Resultados y discusión

3.4 Conclusiones

4. Fertilización en camelina y mostaza oriental

4.1 Objetivos

4.2 Materiales y métodos

4.3 Resultados y discusión

4.4 Conclusiones

5. Control de malezas en camelina

5.1 Objetivos

5.2 Materiales y métodos

5.3 Resultados y discusión

5.4 Conclusiones

6. Adaptación de variedades de camelina y raps

6.1 Objetivos

6.2 Materiales y métodos

6.3 Resultados y discusión

6.4 Conclusiones

7. Producción y caracterización de biodiesel

8. Análisis económico del cultivo de camelina y mostaza oriental en comparación a raps

8.1 Objetivos

8.2 Materiales y métodos

8.3 Resultados y conclusiones

8.4 Costos de producción de biodiesel

9. Literatura citada

1. Introducción

En la actualidad en Chile no existe un uso relevante de biocombustibles, lo que si ocurre en países como Brasil, Estados Unidos de Norteamérica, Suecia, Alemania y Francia. Sin embargo, nuestro país cuenta con los recursos naturales y la tecnología para avanzar en los procesos regulatorios, técnicos e institucionales creando hoy una alternativa real de sustentabilidad energética para el país (Tokman, 2008).

El desarrollo de los biocombustibles se explica por el interés mundial centrado en dos objetivos: la seguridad energética y la sustentabilidad ambiental. En el año 2007, alrededor de un 70% de la matriz energética de Chile era importada y desde este punto de vista, la búsqueda de diferentes alternativas para generar energía segura de menor costo, ha cobrado importancia en nuestro país y en el mundo, siendo los cultivos oleaginosos una alternativa de interés como fuente de biocombustibles (Saka y Kusdiana, 2001; Fröhlich y Rice, 2005; Tokman, 2008).

El desarrollo de las tecnologías de acuerdo al origen de los biocombustibles se ha dado en dos niveles. El primero, denominado “tecnologías de 1º generación”, que incluyen la utilización de materias primas de uso alimenticio humano y animal. El segundo, denominado “tecnologías de 2º generación”, que se basa en el uso de lignocelulosa, microalgas, grasa animal y aceite de cultivos oleaginosos que no compiten con los usos como alimentos (IEA, 2007). Algunos aceites usados para la elaboración de biodiesel son el de palma (*Elaeis guineensis* Jacq.), de soya (*Glycine max* L.), de raps (*Brassica napus* L.), maravilla (*Helianthus annuus* L.), y recientemente el aceite de camelina (*Camelina sativa* L. Crantz.), ya que es un cultivo de bajo costo en insumos, de corto ciclo productivo y produce un biodiesel comparativamente de baja emisión de CO₂ (Budin *et al.*, 1995; Zubr, 1997; Manjula y Hanna, 1999; Kanchanapoom y Tinnongjig, 2001; Aurore *et al.*, 2003; Hurtaud y Peyraud, 2007; Montana State University (MSU), 2007; Ehrensing y Guy, 2008; McVay y Lamb, 2008).

En Chile, la camelina se introdujo en el 2008 en un esfuerzo nacional para aumentar la cantidad de materia prima para la elaboración de biodiesel. Como Chile importa el 90% de los combustibles utilizados en el país, el aumento del precio de los combustibles extranjeros llevó al gobierno chileno a financiar iniciativas de evaluación de cultivos bioenergéticos para producir materias primas de bajo costo para la industria de los biocombustibles (Ministerio de Agricultura, 2007). Es así, como se concedió una subvención para evaluar la adaptación de camelina en Chile en zonas de producción de semillas oleaginosas, como fuente barata de aceite.

2. Antecedentes de camelina y mostaza oriental

2.1 Camelina

Descripción y origen:

Camelina sativa (L.) Crantz es una planta anual de la familia Brassicaceae y se cree que es nativa del norte de Europa (MSU, 2007), la región mediterránea y Asia central (Hurtaud y Peyraud, 2007). La camelina se conocía también como "Falso lino", porque sus frutos o silicuas se asemejan a las de lino (*Linum usitatissimum* L.), y también como "Gold of Pleasure", un nombre acuñado por los romanos en los primeros siglos. El desarrollo comercial de este cultivo ha sido reciente, principalmente en el estado de Montana, EE.UU., donde rápidamente escaló desde la ausencia de la producción comercial en 2004 a más de 20.000 hectáreas en 2007 (Pilgeram *et al.*, 2007), y a 30.000 hectáreas en 2009.

Composición:

El contenido de aceite de la semilla fluctúa entre 32 a 46% (Vollmann *et al.*, 2007). El aceite de la semilla está compuesto en un 90% por ácidos grasos insaturados, 30 a 38 % de ácido alfa-linolénico (18:3), 15 a 10% de ácido linoleico (18:2), 14 al 17% de ácido oleico (18:1), 15 a 17 % de ácido eicosenoico (20:1), y 1 a 4 % de ácido erúxico (22:1) (Vollman *et al.*, 2007). Estos porcentajes pueden variar de acuerdo a las condiciones climáticas y del suelo al momento de su cultivo (Matthäus y Zubr, 2000).

El afrecho derivado de semilla de camelina contiene entre un 39 y 47% de proteína cruda, un 10 y 11% de fibra cruda, glucosinolatos que pueden fluctuar entre 13,2 a 36,2 $\mu\text{mol/g}$ (Schuster y Friedt, 1998; Zubr, 2003; Ehrensing y Guy, 2008) y aceite que contiene esteroides que puede alcanzar concentraciones de 188 ppm de colesterol, 133 ppm de brassicasterol, 893 ppm de campesterol, 103 ppm de estigmasterol, 1.884 ppm de sitosterol y 393 ppm de Δ^5 -avenasterol (Shukla *et al.*, 2002).

Usos:

El aceite de camelina fue usado en el pasado como combustible para lámparas, luego fue tradicionalmente usado para consumo humano mezclado con el aceite de raps para propósitos culinarios como en ensaladas, comidas, batidos y frituras (Zubr, 1997). Actualmente, el aceite se usa mayormente para propósitos industriales como la elaboración de jabones, lubricantes, barnices y biodiesel (Zubr, 1997; Steinke *et al.*, 2000; Aurore *et al.*, 2003; MSU, 2007;

Vollmann *et al.*, 2007; Retka-Schill, 2008; Russo *et al.*, 2010).

Recientemente la camelina se ha propuesto como una materia prima de bajo costo para la elaboración de biodiesel (Aurore *et al.*, 2003). El biodiesel de camelina tiene propiedades similares al de canola (Fröhlich y Rice 2005). Sin embargo, una de las limitaciones del aceite de camelina para obtención de biodiesel es la competencia que se genera por el mayor valor comercial para la alimentación y el uso en cosmética (>US\$ 1.6/L) respecto al biodiesel (US\$ 0,4 a 0,6/L) (Pilgeram *et al.*, 2007). Además, el aceite de camelina es un componente principal del jet fuel biocombustible para aviones de guerra, hecho en base a camelina, que se ha desarrollado recientemente y por lo cual existe un contrato por 151 m³/año entre la Marina de los EE.UU. y una empresa privada que produce el combustible. Los estudios ambientales realizados por Michigan Tech University (Life Cycle Analysis, LCA) indican que las emisiones de carbono del jet fuel de camelina son un 84% menor a las de combustibles para aviones obtenidos de petróleo (Biofuels Digest, 2009).

De acuerdo a Fröhlich y Rice (2005) el rendimiento del biodiesel derivado del aceite de camelina es similar al de biodiesel derivado del aceite de raps. Sin embargo, los bajos requerimientos en fertilizantes y pesticidas para cultivar camelina, en comparación con el raps, reducen los costos de producción en forma considerable. Los investigadores de la MSU (2007) opinan que el aceite de camelina es más estable que muchos otros aceites vegetales que contienen omega-3, tales como el de cáñamo (*Cannabis sativa* L.) o el de lino (*Linum usitatissimum* L.). De acuerdo a ellos, el alto porcentaje de tocoferol presente en el aceite permite una duración razonable en almacenamiento sin que sea necesaria una hidrogenación o condiciones especiales de almacenamiento.

También se ha utilizado derivados de la extracción del aceite de camelina en la alimentación de bovinos lecheros (Hurtaud y Peyraud, 2007; MSU, 2007), aves (Matthäus y Angelini, 2005; Frame *et al.*, 2007), caprinos (Pilgeram *et al.*, 2007), cerdos (Ni-Eihin *et al.*, 2003) y truchas (McVay y Lamb, 2008). Ni-Eidhin *et al.* (2003) mencionan que la inclusión de aceite de camelina en la dieta de los cerdos influyó positivamente sobre la cantidad de ácidos omega-3 (alfa-linolenico) en el plasma sanguíneo. Resultados similares se han obtenido en caprinos y bovinos de carne o lecheros, donde no sólo se ha usado el aceite como suplemento. Además, la inclusión de las semillas o la torta o afrecho de camelina, derivados de la extracción del aceite, en la ración se ha reflejado en resultados positivos respecto al contenido de ácidos omega-3 tanto en la leche como en la carne (McVay y Lamb, 2008). A esto debe sumarse una ganancia de peso diario similar a la lograda con otras oleaginosas (Hurtaud y Peyraud, 2007). Según Ni-Eihin *et al.* (2003) el aceite de camelina incluido en las dietas de cerdos aumentó el largo de las cadenas de los ácidos grasos omega-3, en particular la de EPA (ácido eicosapentaenoico), y de la relación omega-6/omega-3 en el plasma. Resultados similares se encontraron cuando novillos fueron alimentados con harina de camelina, donde aumentaron los niveles de ácidos omega-3 de cadena larga en el músculo (McVay y Lamb, 2008).

Los niveles de glucosinolatos en el afrecho de camelina son más bajos que en la mayoría de otras especies de *Brassica*. El contenido de ellos debe ser menor a 15 µmol/g de semilla seca para que sea apto para alimentar a peces, mientras que para aves, estos niveles no debiesen causar problemas. Debido a que una limitante del uso del afrecho o

torta de camelina en la alimentación animal puede ser el alto contenido de glucosinolatos, es que varias empresas (L Johnson, com. personal, 2011) están desarrollando líneas nuevas de camelina con muy bajos niveles de glucosinolatos, lo cual hace más atractiva la exploración de esta alternativa para la alimentación animal.

El alto valor proteico de la semilla y su bajo contenido de glucosinolatos convierten a la camelina en una buena alternativa al afrecho de soya, concentrado proteico base usado en todos los planteles animales de monogástricos y concentrados para rumiantes de alta demanda proteica, tales como las vacas lecheras. La cantidad total de concentrado de soya demandada en el país se importa desde Argentina y Bolivia, principalmente.

La harina de camelina también se ha utilizado exitosamente como fuente de proteínas y antioxidantes de lípidos en hamburguesas elaboradas con carne de cerdo (Salminen *et al.*, 2006). Por otro lado, como el aceite contiene ácidos grasos omega-3 tiene un gran potencial como aceite para consumo animal y humano. Si se incorpora en la dieta de animales, enriquecería los productos de origen animal, tales como huevos, carne, leche y sus derivados. Debe recalcar, que el uso de aceites y subproductos de la camelina debe desarrollarse en el país sustentado en resultados de investigaciones realizadas en el mismo.

Otros mercados atractivos son el cosmético, de jabones y otros usos industriales, donde ya se ha usado exitosamente el aceite de camelina (Pilgeram *et al.*, 2007). Por otra parte, existe un creciente interés de parte de la industria alimentaria y farmacéutica por fuentes de ácidos grasos omega-3, centrándose en el aceite de semillas de camelina debido a su alto contenido de ácido alfa-linolénico (omega-3) y antioxidantes naturales (Pilgeram *et al.*, 2007). Aunque el contenido de ácidos grasos omega-3 no es tan alto como en el aceite de semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) y de lino (*Linum usitatissimum* L.), los antioxidantes naturales (principalmente gamma-tocoferol) confieren mayor estabilidad al aceite de camelina, con una larga vida útil, y por ende, el aceite es de alto valor (Pilgeram *et al.*, 2007).

Crecimiento y desarrollo

La planta de camelina es de rápido crecimiento anual (aprox. 90 días). Actualmente existen cultivares invernales que requieren vernalización, y también los hay de primavera (Putnam *et al.*, 1993). La altura de la planta de camelina madura fluctúa entre 60 a 110 cm. Las flores miden entre 5 a 7 mm de diámetro, son principalmente autóгамas, de color amarillo pálido y están dispuestas en una inflorescencia en tipo racimo y con estambres ramificados. El fruto es una pequeña silicua, de 5 mm de diámetro, piriforme, con una arista de 2 a 3 mm y contiene aproximadamente 15 semillas ovaladas, de color marrón claro. Durante la maduración y posteriormente en el almacenaje el color de las semillas se torna de marrón oscuro a rojizo. El peso de 1000 semillas fluctúa entre 0,8 a 1,8 g, y depende del cultivar usado, de las condiciones ambientales y de los fotosintatos presentes al momento del llenado de la semilla (Zubr, 1997).

Cultivo

Camelina, así como la avena (*Avena sativa* L.) y el centeno (*Secale cereale* L.), es considerada un cultivo de segunda importancia en las rotaciones de cultivos, siendo usada como cultivo anual tanto para siembras primaverales como invernales (Putnam *et al.*, 1991; Zubr, 1997; Hurtaud y Peyraud, 2007; McVay y Lamb, 2008). En siembra primaverales, los días entre germinación y cosecha pueden variar entre los 120 días en el caso de Dinamarca (Zubr, 1997), 59 a 73 días en Pisa, Italia (Angelini *et al.*, 1997), 85 a 110 días en Havre, Montana, EE.UU. (McVay y Lamb, 2008), 90 días en Fargo, Dakota del Norte, EE.UU. como también en Austria (Vollmann *et al.*, 2007).

La especie se desarrolla adecuadamente en condiciones de secano con baja pluviometría, a diferencia de otros cultivos oleaginosos (Ehrensing y Guy, 2008). Sin embargo, no crece bien en suelos arcillosos, pobremente drenados y en suelos con un alto contenido de materia orgánica (> 5%) (Zubr, 1997; MSU, 2007; McVay y Lamb, 2008; French *et al.* (2009), después de realizar ensayos en Arizona, EE.UU., mencionan que el requerimiento hídrico mínimo para el cultivo de la camelina es de 333 a 423 mm al año y que una reducción de un 20% de la reposición de agua durante el desarrollo del cultivo disminuye en un 20% el rendimiento de semilla.

Según Crowley y Fröhlich (1998) la semilla de camelina puede germinar entre 5 a 7 días después de sembrada siempre y cuando la temperatura del suelo sea superior a 3,5 °C. En condiciones de laboratorio con temperaturas de 16, 10 y 4 °C el máximo de germinación se puede alcanzar entre 2, 5 y 9 días, respectivamente (Russo *et al.*, 2010). Al germinar la semilla, se desarrolla una raíz cónica, con ramificaciones axiales, y una porción aérea donde las hojas están ordenadas en roseta, de cuyo centro emerge un tallo floral erecto, con numerosas, hojas que puede alcanzar entre 30 a 90 cm de altura (Zubr, 1997; McVay y Lamb, 2008). Durante la siguiente fase de crecimiento se desarrollan flores desde el ápice del tallo, dispuestas en una inflorescencia de tipo racimo.

La planta resiste heladas de hasta -7 °C en siembras invernales y primaverales, presentando poco o ningún daño aparente (MSU, 2004; MSU, 2007) y no tolera bien temperaturas sobre los 25 °C en las etapas de floración y llenado de semillas, lo que ocurre diez días antes de la cosecha (Vollmann *et al.*, 2007; French *et al.*, 2009).

En Montana, EE.UU. se evaluaron distintas fechas de siembra y se pudo determinar que con una siembra antes de fines de febrero o principios de marzo se logran mayores rendimientos que al sembrar a mediados de abril o en fechas posteriores (McVay y Lamb, 2008). No hay antecedentes sobre fechas de siembra de camelina, sembrada como anual de invierno en un clima similar al del sur de Chile (frío-mediterráneo). Para disponer de información para el sur de Chile, habría que comparar con los resultados obtenidos con camelina cultivada en Pisa, Italia, también en un clima mediterráneo (Angelini *et al.*, 1997). Aunque ese estudio sólo incluyó fechas de siembra de primavera, se observó una disminución de la altura de la planta y del rendimiento de semillas en la medida que se atrasó la siembra.

En general, es un cultivo de bajos insumos, ya que no requiere grandes cantidades de fertilizantes o plaguicidas. Investigaciones preliminares indican que la camelina tiene una baja respuesta a N, P y K incorporados al suelo (McVay y Lamb, 2008). Sin embargo, la planta responde a las aplicaciones de fósforo sólo si el nivel presente

en el suelo es menor a 12 mg/kg y no responde a las aplicaciones de azufre. Por lo tanto, se recomienda aplicar entre 78,5 a 100,9 kg N/ha al estado de 4 a 6 hojas verdaderas para alcanzar un rendimiento óptimo de semillas y contenido de aceite (Zubr, 1997; Hurtaud y Peyraud, 2007; MSU, 2007; Jackson, 2008).

Por otro lado, Crowley y Fröhlich (1998), Zubr (2003), Ehrensigg y Guy (2008) y McVay y Lamb (2008) señalan que no es necesario proteger químicamente contra malezas, ni enfermedades, ni insectos, tanto durante el cultivo como el almacenaje de las semillas (MSU, 2007). Sin embargo, Zubr (1997) recomienda que en predios muy infestados con malezas es necesario aplicar herbicidas antes de la siembra. Señala, además, que el control de enfermedades en camelina se basa en la resistencia genética de la especie. Hansen (1998), Sigareva y Earle (1999) y Pedras *et al.* (2003) señalan que la camelina es muy resistente a *Alternaria brassicae* y *Leptosphaeria maculans*. Sin embargo, Zubr (1997), McVay y Lamb (2008) indican que es muy susceptible a enfermedades, tales como *Sclerotinia sclerotiorum*, *Peronospora parasitica* y *Botrytis cinerea* en primaveras húmedas y frías o en el caso de alta densidad de plantas.

El rendimiento de semillas de camelina es muy variable. Así se mencionan: 1500 a 3250 kg/ha en Austria desde 2600 hasta 3300 kg/ha en Dinamarca (Zubr, 1997), 700 a 1600 kg/ha en Montana (McVay y Lamb, 2008), 600 a 1,700 kg/ha en Rosemount, Minnesota, (Putnam *et al.*, 1993), 720 a 2000 kg/ha en Dakota del Norte, y cerca de 1000 kg/ha en Arizona, EE.UU. (French *et al.*, 2009).

2.2 Mostaza oriental

Descripción y origen:

La especie *Brassica juncea* (n=18), conocida como mostaza café o mostaza oriental, actualmente se encuentra distribuida en la India, norte de África, Asia Central, Europa y Norte América. Su origen exacto es desconocido, pero se cree que es un híbrido entre *B. rapa* (n=10) y *B. nigra* (n=8), adquiriendo las características de hojas grandes y rápido crecimiento de *B. rapa* y el contenido de aceite de *B. nigra* (Dixon, 2006). Según el mismo autor, el centro primario, donde se encuentra la mayor diversidad de *B. juncea*, es Asia Central (noroeste de India, incluyendo a Punjab y Cachemira), con centros secundarios en la China central y occidental. Inicialmente esta especie se extendió, durante la Edad Media, por Europa como planta medicinal, para más tarde ser utilizada como hortaliza para el consumo humano (Edwards *et al.*, 2007).

La producción a nivel mundial de semilla de mostaza es cerca de 661.326 toneladas (FAO, FAOSTAT, 2009), con una superficie sembrada de aproximadamente 850 mil ha, el 2008 sólo alcanzaba 680 mil ha (FAOSTAT, 2008). Los principales países productores son Canadá con 208 mil toneladas, Nepal con 135 mil toneladas, Ucrania con 118 mil toneladas, República Checa con 38 mil toneladas y Estados Unidos con 22 mil toneladas (FAO, 2009). Si se compara con el raps, su producción mundial es cerca de 50 millones de toneladas (ODEPA, 2008), con una superficie

sembrada de 27 millones de hectáreas (FAO, 2009). Los principales países y regiones productoras son China con 49%, Comunidad Económica Europea 25%, Canadá 12% y la India con 9% (FAO, 2009). La superficie sembrada en Chile en la temporada 2008 - 2009 fue de 25.135 ha y en la temporada 2009 - 2010 fue de 10.983 ha (ODEPA, 2011)

Composición:

La particularidad de las semillas de *Brassica juncea* es que su contenido de aceite es similar al del raps tipo canola y, por lo tanto, pueden servir para la obtención de aceite para consumo humano. Algunas líneas desarrolladas de mostaza no contienen ácido erúico (típico de las semillas de Brassicas) y su aceite se compone de un 74% de ácido oleico, un 9% de ácido linolénico, un 8 a 9% ácido linoleico y de 0 a 20 μmol de glucosinolatos/ g semilla (Sivaraman *et al.*, 2004).

Usos:

Se cree que *Brassica juncea* fue una de las primeras plantas domesticadas para usar su semilla como condimento (Edwards *et al.*, 2007). En muchas partes del mundo se utiliza como oleaginosa, por su importancia nutricional, como condimento u hortaliza (Edwards *et al.*, 2007) y es particularmente importante en India, Bangladesh y China (Dixon, 2006). En la industria, el aceite de la semilla de las Brassicas es una fuente de ácidos grasos de cadena larga (C18) para múltiples usos, tales como la producción de biodiesel por transesterificación, (Kirk y Oram, 1981; Jham *et al.*, 2009). La producción y la obtención de más aceite de buena calidad ha sido el objetivo principal de muchos programas de mejoramiento de *B. juncea* (Edwards *et al.*, 2007).

Crecimiento y desarrollo:

La mostaza oriental es una planta de ciclo de vida anual, que puede medir entre 30 a 160 cm de altura. Las hojas son muy variables en forma y tamaño, ya sea pinadas o enteras con pecíolos, que pueden ser de color verde pálido a verde oscuro, lisa o pubescente, partidas o no partidas (Dixon, 2006). La inflorescencia es un racimo de hasta 30 cm, con flores amarillas de 1,2 cm de diámetro, aproximadamente. Los frutos son silicuas glabras y cilíndricas, extendidas a erectas, de 3 a 6 cm de largo, con un ápice delgado que no contiene semillas, no más largo que 1/3 del largo del fruto. Las semillas son globulares, de 1,5 a 2 mm de diámetro y de color marrón oscuro.

Cultivo:

Brassica juncea, a diferencia de *Brassica napus*, se encuentra más adaptada a una baja disponibilidad hídrica, altas temperaturas y siembras tardías, reflejándose en un crecimiento vigoroso, una mayor producción de materia seca, un mayor número de silicuas por planta pero menor número de semillas por silicua (Gunasekera *et al.*, 2006 a). Según los mismos autores, presenta una mayor tolerancia a ciertas enfermedades, tales como *Leptosphaeria maculans*, y a algunos insectos. Actualmente existen variedades de mostaza oriental con resistencia a herbicidas del grupo imidazolinones (Ray *et al.*, 2007).

Esta especie se adapta bien a climas templados, tolera temperaturas medias anuales de 6 a 27°C, pero crece mejor cuando la temperatura media mensual fluctúa entre 15 y 18°C. Se encuentra en suelos con pH de 4,3 a 8,3 (Perdomo Mondragón, 2005).

Durante el crecimiento del cultivo, el suministro de nutrientes influye sobre los componentes del rendimiento ya sea el número de plantas/m², número de silicuas por planta, número de semillas por silicua y el peso de mil semillas (Mandal y Sinha, 2004). El número de silicuas por planta es muy importante para el rendimiento de semillas y está determinado por la supervivencia de tallos laterales, brotes y silicuas jóvenes. Así también, el número de semillas por silicua está correlacionado con la longitud de la silicua (Mandal y Sinha, 2004). En cuanto a los componentes del rendimiento la mostaza oriental se destaca por tener un mayor número de silicuas por planta, pero menor cantidad de semillas por silicuas (Wright *et al.*, 1995). Las variaciones en el rendimiento de aceite se deben, principalmente, a las diferencias en el rendimiento de semilla, puesto que el rendimiento de aceite es el resultante del contenido de aceite y rendimiento de semilla (Mandal y Sinha, 2004).

Brassica juncea presenta ventajas agronómicas importantes sobre *B. napus*, ya que está más adaptada a una baja disponibilidad hídrica, a altas temperaturas y siembras tardías (Gan *et al.*, 2007). En condiciones deficitarias de agua, la producción de materia seca de mostaza oriental es mayor a la del raps canola, obteniéndose casi el doble de producción, mientras que en condiciones ambientales normales las diferencias no son tan significativas. Es importante destacar también que *B. juncea* tolera temperaturas más altas que *B. napus*. En general, las temperaturas altas afectan a la formación de órganos reproductivos, lo que se refleja en un menor número de silicuas por planta y, en consecuencia, el rendimiento (Angadi *et al.*, 2000).

Gunasekera *et al.* (2006b) mencionan que el contenido de aceite y de proteína dependen de las interacciones que se establecen entre el genotipo con el ambiente, y que el contenido de aceite en la semilla es inversamente proporcional al contenido de proteína. Sin embargo, este porcentaje de reducción es menor en mostaza oriental que en canola. Los mismos autores determinaron que el cultivo se desarrolla mejor y el rendimiento de semilla es mayor cuando se siembra tempranamente en la temporada en lugares de clima mediterráneo y baja pluviosidad, sólo entre 131 y 266 mm (Gunasekera *et al.*, 2006a).

También para canola se ha observado que la fecha de siembra es un factor determinante, importante, del rendimiento de canola. De ella dependerá el riesgo de heladas que causa el descalce de las plantas pequeñas. Específicamente en Chile se presenta en siembras después del 15 de mayo. Por otro lado, en las siembras tardías se

reduce el rendimiento, ya que la planta acelera su ciclo de desarrollo como consecuencia de temperaturas más altas durante la floración. Robertson *et al.* (2004) plantean, después de realizar un estudio con canola y mostaza oriental en el noreste de Australia, donde tradicionalmente se siembra durante la primera quincena de mayo hasta junio, que al atrasar la siembra en un día después del periodo óptimo (después de la segunda quincena de mayo), se atrasa la floración y, por ende, se afecta el rendimiento y el contenido de aceite, entre otros parámetros (Sang *et al.*, 1986; Taylor y Smith, 1992). Mientras que el rendimiento de semillas y de aceite, cuando se siembra temprano en la temporada, no se afecta significativamente.

Otra ventaja del uso de mostaza oriental es la existencia de cultivares de mostaza oriental resistentes a herbicidas del grupo imidazolinonas lo que permite un más fácil control de malezas (Ray *et al.*, 2007).

3. Fechas de siembra de camelina, mostaza oriental y raps

3.1. Objetivos

Introducir y evaluar agronómicamente su adaptación a cuatro áreas agroclimáticas distintas: valle central precordillera (Región del Bío-Bío), valle central (Región de la Araucanía) y secano interior (Región de los Lagos).

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Introducción de tres cultivares de camelina y tres de mostaza oriental.

La semilla de camelina se internó desde Estados Unidos de Norteamérica gracias a un convenio de investigación entre la empresa Great Plains LLC, la North Dakota State University y Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción.

Mientras que la semilla de mostaza oriental fue proporcionada por la empresa canadiense Viterra ; posteriormente multiplicada en Gorbea, razón por la cual no fue necesario internarla al país. Los cultivares están protegidos a través de un sistema de MTA (Material transfer agreement) y las líneas utilizadas en este proyecto sólo son para evaluación e investigación.

3.2.3. Evaluación de fechas de siembra en cinco localidades.

Se utilizaron tres cultivares de camelina (Suneson, Blaine Creek y Gold of Pleasure), tres líneas de mostaza oriental (J052-014556, J052-07993 y J052-07146) y dos cultivares de raps (Vision (CPA), Exagone (Hyb)) como testigo. Los experimentos se realizaron el año 2008 y se repitió en 2009. En el primer año de evaluación estos cultivos fueron sembrados en cinco fechas de siembra (desde fines de abril a mediados de agosto, Tabla 1) en cinco localidades (Chillán, El Carmen, Los Ángeles, Gorbea y Osorno) y el segundo año se sembró sólo en las 3 primeras fechas en 4 localidades (Chillán, El Carmen, Los Ángeles y Osorno). Los ensayos se diseñaron en bloques completos

al azar con un arreglo de parcelas subdivididas, donde la parcela principal corresponde a la especie, la subparcela a la fecha de siembra (5 fechas de siembra) y la sub-subparcela al cultivar o híbrido. Cada unidad experimental constó de 6 hileras de 5 m de largo, sembradas a 30 cm entre hilera, con un tamaño de 9 m². Durante el primer año, todas las siembras se realizaron en forma manual, mientras que el segundo año se sembró con una sembradora adquirida con fondos del proyecto, lo que permitió hacer la siembra de forma mucho más rápida y eficiente.

La fertilización del ensayo de fechas de siembra se realizó de acuerdo al análisis de suelo, teniendo en cuenta la demanda de nutrientes de estos nuevos cultivos y que corresponde aproximadamente a la mitad de los requerimientos del raps (200 kg/ha N, 40 kg/ha S). Para el control de malezas gramíneas se aplicó tepraloxydin (Aramo) en dosis de 0,75 L/ha, a todos los cultivos, mientras que para el control de malezas de hoja ancha en raps se utilizó metazachlor (Butisan) en dosis 2,3 L/ha, y en mostaza oriental se utilizó el herbicida (imazamox+imazapyr) Eurolightning en dosis de 0,55 L/ha.

Se evaluó la fenología, rendimiento de semillas, contenido de aceite y composición de ácidos grasos. Previo a la cosecha se registró la altura de seis plantas por unidad experimental, las que fueron seleccionadas al azar en cada parcela. Se cosechó manualmente, cortando a ras del suelo 1 metro lineal de plantas en las hileras centrales (3 y 4) con el fin de calcular la biomasa de la muestra una vez secada en invernadero (peso seco de plantas enteras/m²). Se cosechó manualmente el resto de la parcela y se trilló de inmediato con una trilladora estacionaria. De cada muestra se sacaron posteriormente tres plantas para registrar el número de silicuas (frutos) por planta y en 20 silicua seleccionadas al azar el número de semillas por silicua. Se utilizó una trilladora estacionaria para trillar las semillas de la muestra de biomasa, separada anteriormente, y el resto de material cosechado en la misma parcela, juntándolas. Finalmente, se pesó la semilla obtenida en cada parcela, para calcular el rendimiento de semilla de cada tratamiento. Las fechas de cosecha se indican en la Tabla 2.

Una muestra de 40 mL de semillas de camelina, raps y mostaza oriental de cada unidad experimental de cada localidad se analizó con un equipo de Resonancia Nuclear Magnética NMR 2000 (NMR) en la North Dakota State University, Fargo, North Dakota, para determinar el contenido de aceite, mientras que la composición de ácidos grasos se determinó con un cromatógrafo de gases Varian 2000 en la Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción.

Tabla 1. Fechas de siembra de camelina, mostaza y raps en 5 localidades en los años 2008 y 2009.

Seeding date	CH-08	CH-09	EC-08	EC-09	LA-08	LA-09	GO-08	OS-08	OS-09
Fecha 1	21 abril	17 abril	23 abril	06 mayo	24 abril	23 abril	29 abril	2 mayo	28 abril
Fecha 2	13 mayo	5 mayo	13 mayo	26 mayo	14 mayo	14 mayo	14 mayo	29 mayo	28 mayo
Fecha 3	30 mayo	20 mayo	02 junio	10 junio	06 junio	2 junio	02 julio	1 julio	15 junio
Fecha 4	26 junio	-	03 julio	-	03 julio	-	01 agosto	31 julio	-
Fecha 5	28 julio	-	29 julio	-	29 julio	-	19 agosto	18 agosto	-

CH-08 y CH-09= Chillán 2008 y 2009; EC-08 y EC-09= El Carmen 2008 y 2009; LA-08 y LA-09= Los Ángeles 2008 y 2009; GO-08= Gorbea 2008; OS-08 y OS-09= Osorno 2008 y 2009.

Tabla 2. Fechas de cosecha y días desde siembra a cosecha en cada una de las 5 localidades en el 2008 y 2009.

Seeding date	CH-08	CH-09	EC-08	EC-09	LA-08	LA-09	GO-08	OS-08	OS-09
	-----Fecha de cosecha-----								
Fecha 1	11 nov.	27 nov.	11 dic.	7 ene.	20 nov.	9 dic.	4 ene.	3 dic.	19 ene.
Fecha 2	18 nov.	1 dic.	7 dic.	7 ene.	25 nov.	9 dic.	4 ene.	5 ene.	19 ene.
Fecha 3	26 nov.	12 dic.	7 dic.	7 ene.	4 dic.	23 dic.	4 ene.	5 ene.	19 ene.
Fecha 4	1 dic.	-	23 dic.	-	12 dic.	-	4 ene.	5 ene.	-
Fecha 5	10 dic.	-	23 dic.	-	7 ene.	-	4 ene.	5 ene.	-
	-----Días desde siembra a cosecha-----								
Fecha 1	200	216	234	242	206	226	215	211	231
Fecha 2	185	206	212	222	191	205	200	231	200
Fecha 3	176	202	197	202	197	201	152	184	177
Fecha 4	155	-	-	-	151	-	123	154	-
Fecha 5	132	-	-	-	159	-	105	136	-

CH-08 y CH-09= Chillán 2008 y 2009; EC-08 y EC-09= El Carmen 2008 y 2009; LA-08 y LA-09= Los Ángeles 2008 y 2009; GO-08= Gorbea 2008; OS-08 y OS-09= Osorno 2008 y 2009.

3.3. Resultados y discusión

3.3.1 Condiciones climáticas y de suelo

Las características químicas y físicas del suelo y la temperatura y precipitación promedio se presentan en las Tablas 3 y 4. El pH del suelo y la materia orgánica fluctuó entre 5,2 y 6,2 y 4,2 y 16,4 %, respectivamente, entre 0 y 20 cm de profundidad. El N y S residual fueron muy bajos en Chillán en el 2008 y 2009. Por otra parte, los niveles de P y K fueron muy bajos en Gorbea en el 2008. Los niveles de N, P, K y S en las otras localidades se encontraban en niveles medios a altos.

Tabla 3. Análisis químico y físico de suelos en cada localidad en el 2008 y 2009.

Localidad-año	pH		Materia orgánica %		NO ₃		P		K		S	
	-----mg/kg-----											
	Profundidad de suelo (dm)											
	0-2	2-4	0-2	2-4	0-2	2-4	0-2	2-4	0-2	2-4	0-2	2-4
CH-08	5,9	5,9	4,2	4,1	2,2	1,6	44,4	41,2	392	352	5,8	5,5
CH-09	5,6	-	4,2	-	12,0	-	29,2	-	507	-	15,1	-
EC-08	5,5	5,7	15,7	12,5	16,0	18,9	11,1	3,9	283	235	72,6	27,1
EC-09	6,0	-	-	-	22,3	-	10,1	-	169,7	-	53,2	-
LA-08	6,5	6,5	7,7	7,5	4,2	4,2	18,5	13,4	124,8	102,8	14,1	8,6
LA-09	6,5	-	9,0	-	10,9	-	19,2	-	155	-	5,4	-
GO-08	5,3	5,4	16,3	13,5	31,3	20,6	7,5	5,1	66	87	17,2	20,5
OS-08	5,2	4,9	5,9	4,4	61,6	35,2	36,7	17,7	399	293	26,2	25,9
OS-09	5,9	-	6,6	-	41,0	-	47,6	-	726,8	-	17,7	-

Promedio de 6 muestras para cada profundidad.

CH-08 y CH-09= Chillán 2008 y 2009; EC-08 y EC-09= El Carmen 2008 y 2009; LA-08 y LA-09= Los Ángeles 2008 y 2009; GO-08= Gorbea 2008; OS-08 y OS-09= Osorno 2008 y 2009.

Table 4. Mean monthly temperature, and rainfall at five locations in 2008 and 2009 in Chile.

Month	CH-2008	CH-2009	LA-2008	GO-2008	OS-2008	OS-2009
<u>Temperatura media mensual</u>						
-----°C-----						
Abril	11.8	5.6	12.2	10.4	11.4	13
Mayo	10.2	10.6	10.0	8.3	9.2	10
Junio	8.8	7.4	7.6	7.0	8.2	7
Julio	9.0	7.2	8.6	7.8	8.1	7
Agosto	8.7	9.7	8.1	7.1	8.2	10
Septiembre	13.5	10.1	11.2	9.1	9.6	9
Octubre	13.7	12.6	12.9	11.0	11.1	10
Noviembre	20.0	13.1	16.4	14.0	14.1	11
Diciembre	18.7	17.3	18.6	17.0	17.5	14
<u>Precipitacion mensual</u>						
-----mm-----						
Abril	67.7	4.0	66.0	68.8	51.8	72
Mayo	430.5	174.7	349.2	219.5	295.2	239
Junio	100.1	292.6	151.4	155.3	139.5	225
Julio	172.2	101.1	221.2	215.3	357.6	72
Agosto	199.4	182.7	239.2	365.7	250.3	250
Septiembre	41.7	302.4	93.6	49.9	25.6	53
Octubre	29.3	78.4	7.6	25.0	52.3	100
Noviembre	16.9	74.5	15.2	43.2	54.2	77
Diciembre	13.0	3.6	20.0	27.4	17.0	84
Total	1070.8	997.5	1163.4	1585.3	1243.5	1173

CH-2008 y CH-2009= Chillán 2008 y 2009; LA-08 = Los Angeles 2008; GO-08= Gorbea 2008; OS-2008 y OS 2009=Osorno 2008 y 2009.

Estación Meteorológica, Estación Experimental El Nogal, Campus Chillán, Universidad de Concepción.

Estación Meteorológica Instituto Nacional Investigaciones Agropecuarias CRI-Humán, Los Angeles, Región del Bio Bio.

Estación Meteorológica Instituto Nacional Investigaciones Agropecuarias CRI-Carillanca, Temuco, Región de la Araucanía.

Estación Meteorológica Instituto Nacional Investigaciones Agropecuarias CRI-Remehue, Osorno, Región de los Lagos.

3.3.2 Camelina

Rendimiento de semillas

El efecto principal de la fecha de siembra promediadas todas las localidades y años y la interacción entre fecha y localidad fueron significativos para rendimiento de semillas. La fuerte interacción entre localidad y fechas de siembra probablemente ocurrió porque las cuatro últimas fechas de siembra en Osorno en el 2008 y las tres últimas de siembra en Gorbea fueron sembradas dos semanas más tarde que en las otras localidades. Los resultados se presentan como los promedios de rendimiento por fecha y por localidad (Tabla 5).

La fecha de siembra no influyó significativamente en el rendimiento de semillas de camelina en las localidades de Chillán y El Carmen (Tabla 5), por lo que se puede sembrar desde abril hasta agosto, pero con un potencial de rendimiento muy bajo en todas las fechas. El bajo rendimiento de semillas en Chillán se puede explicar

por el anegamiento de las plantas en el mes de mayo de 2008, debido a que cayeron 400 mm de lluvia lo que retrasó el crecimiento. Además, se registraron temperaturas sobre la media normal y estrés hídrico en los meses de octubre y noviembre de 2008 que también explican la reducción de rendimiento en esta localidad en el 2008.

En Los Ángeles en el 2008, en las tres primeras fechas de siembra se obtuvieron los rendimientos más altos por lo que no se recomienda sembrar después de la primera semana de junio. En Gorbea, sólo la primera fecha de siembra sería recomendable, debido que al retrasar la fecha de siembra las plantas se descalzan, un fenómeno observado cuando el cultivo fue sembrado en suelos con alto contenido de materia orgánica y expuesto a heladas intensas en el otoño. En Osorno, el potencial de rendimiento de camelina fue el más alto. Los mejores resultados se lograron con las primeras dos fechas de siembra. La disminución en el rendimiento de semillas a medida que se atrasó la fecha de siembra se debió a un menor número de silicuas (frutos) por planta y peso de la semilla en las fechas 4 y 5 (Tabla 6).

No se observaron diferencias entre las variedades de camelina en ninguna de las localidades. Debe destacarse que esta temporada fue anormal por las altas temperaturas registradas en la primavera, lo que sin duda redujo el potencial de rendimiento de los cultivos en evaluación. Los resultados para la segunda temporada mostraron que los mayores rendimientos de camelina se alcanzaron en Osorno y El Carmen en las fechas 3 y 2 respectivamente mientras que para la fecha 1 la población de plantas fue baja debido a sequía después de la siembra y a helada durante la emergencia de plántulas.

Tabla 5. Rendimiento de semilla de camelina en cinco localidades en el año 2008 y 2009.

Fechas de siembra	CH-08	CH-09	EC-08	EC-09	LA-08	LA-09	GO-08	OS-08	OS-09
	-----kg/ha-----								
Fecha 1	719	420	1216	1400	1882	950	1310	2279	785
Fecha 2	1079	882	1414	1587	1842	1372	530	2314	1179
Fecha 3	601	921	1172	1324	1995	1576	536	1853	1646
Fecha 4	564	-	1189	-	1261	-	496	678	-
Fecha 5	581	-	1167	-	1392	-	514	637	-
DMS fecha (0,05)	NS	389	NS	NS	527	387	218	374	334
DMS fecha x loc, (0,05)		386							
CV, %	22	22	25	11.1	25	19	40	20	27.8

Cultivares usados: Gold of Pleasure, Suneson, Blaine Creek,

CH-08 y CH-09= Chillán 2008 y 2009; EC-08 y EC-09= El Carmen 2008 y 2009; LA-08 y LA-09= Los Ángeles 2008 y 2009; GO-08= Gorbea 2008; OS-08 y OS-09= Osorno 2008 y 2009.

DMS para fecha x localidad para comparar entre fechas de siembra en una localidad en 2008.

Componentes del rendimiento

El objetivo de evaluar los componentes del rendimiento fue determinar las causas de las diferencias observadas en el rendimiento en las distintas localidades y años. Para simplificar el análisis en la Tabla 6 sólo se

indican los resultados promedios por fecha de siembra, localidad y año. Los principales componentes del rendimiento que determinaron las diferencias entre localidades fueron el número de silículas por planta y el peso de 1000 semillas. Las fechas de siembra más tempranas presentaron un mayor número de silículas y mayor peso de 1000 semillas que aquellas sembradas más tarde, esto probablemente debido a que las semillas en las siembras más tempranas se desarrollaron con temperaturas más bajas.

Tabla 6. Componentes de rendimiento de camelina establecida en cinco fechas de siembra en el año 2008, promedio de cinco localidades y tres cultivares.,

Fechas de siembra	Nº plantas/m ²	Nº silículas/planta	Nº semillas/silícula	Peso de 1000 semillas
				-----g-----
Fecha 1	170	205	10,3	1,49
Fecha 2	148	283	10,8	1,25
Fecha 3	163	200	12,2	1,14
Fecha 4	167	153	11,7	1,13
Fecha 5	152	126	12,6	1,08
DMS fechas (0,05)	NS	99	NS	0,14
CV, %	32	53	67	15,4

NS: indica que no hay diferencias entre fechas en un mismo parámetro ($P=0,05$).

Contenido y composición del aceite

El contenido de aceite no varió con la fecha de siembra en Chillán y El Carmen (Tabla 7). En cambio, en Los Ángeles, el contenido de aceite aumentó de 42% a 45,8% entre la fecha 1 y 2, siendo el mayor valor reportado a la fecha en el mundo. Esto demuestra el gran potencial que tiene camelina en Chile. En Gorbea, el contenido de aceite aumentó a medida que se atrasó la fecha de siembra y en Osorno las semillas provenientes de las fechas de siembra 1 y 5 presentaron el contenido más bajo de aceite. Resultados similares se repitieron en la segunda temporada determinándose nuevamente el mayor contenido de aceite en Los Ángeles, con un 44,5 % (Tabla 7).

La composición del aceite de camelina varió, principalmente, en su componente principal, el ácido alfa linolénico. Este fue más alto, 37,43% en la fecha 1, en Osorno y disminuyó a medida que se atrasó la fecha de siembra (Tabla 7). En Los Ángeles, el contenido de ácido alfa-linolénico fue menor que en Osorno y también se observó una disminución a medida que se atrasó la fecha de siembra. Normalmente, la síntesis de los ácidos grasos altamente insaturados en la semilla, tales como el ácido alfa-linolénico, es altamente sensible a la temperatura alta durante el crecimiento de la semilla, disminuyendo su contenido. El aceite de camelina, además de ser una materia prima potencial para obtener biodiesel, es también una fuente importante de ácidos grasos omega-3 (alfa-linolénico) que pueden ser utilizados en alimentación humana y animal.

Tabla 7. Contenido de aceite en semillas de camelina establecida en cinco fechas de siembra y cinco localidades e los años 2008 y 2009, promedio de tres cultivares.

Fechas de siembra	Chillán	El Carmen	%		
			Los Angeles	Gorbea	Osorno
2008					
Fecha 1	43,0	40,7	42,0	44,3	44,0
Fecha 2	42,0	39,8	45,8	45,1	45,4
Fecha 3	43,3	40,4	44,7	45,7	44,5
Fecha 4	42,7	42,5	45,4	-	42,4
Fecha 5	43,6	41,5	44,1	-	42,3
DMS fechas (0,05)	NS	NS	2,1	0,5	1,6
CV, %	1,9	1,9	3,2	0,9	1,2
2009					
Fecha 1	40,4	39,7	43,1	-	40,9
Fecha 2	42,5	39,3	44,3	-	41,4
Fecha 3	40,1	40,5	44,5	-	42,5
DMS fechas (0,05)	1,6	NS	0,8	-	NS
CV, %	1,9	1,9	0,9	-	1,6

NS: indica que no hay diferencias entre fechas dentro de una misma localidad ($P=0,05$),

Tabla 8. Composición de ácidos grasos de camelina establecida en cinco fechas de siembra en el año 2008 en Osorno y Los Ángeles, promedio de tres cultivares.

Fechas de siembra	Ácidos grasos				
	esteárico	oleico	linoleico	linolénico	C20:1
-----% del aceite-----					
Osorno					
Fecha 1	2,5	14,74	15,35	37,43	15,49
Fecha 2	2,58	16,18	16,25	33,62	15,33
Fecha 3	1,88	16,61	17,29	31,80	15,14
Fecha 4	2,58	16,52	18,16	31,48	14,58
Fecha 5	2,59	16,13	19,27	31,79	14,36
Los Angeles					
Fecha 1	2,49	17,73	15,94	34,59	14,93
Fecha 2	2,51	18,72	16,76	34,81	14,05
Fecha 3	2,51	17,68	16,86	33,68	14,77
Fecha 4	2,51	17,76	16,61	33,52	14,97
Fecha 5	2,47	17,54	17,20	33,30	14,33

NS: indica que no hay diferencias entre fechas en una misma localidad ($P=0,05$),

3.3.3 Mostaza oriental

Rendimiento de semillas

El rendimiento de semillas fue diferente entre fechas de siembra en todas las localidades, excepto en El Carmen (Tabla 9). El mayor rendimiento se observó para la fecha 2 en Chillán, Los Ángeles y Osorno, El ensayo de mostaza en Gorbea se sembró en todas las fechas programadas. Sin embargo, las plantas fueron dañadas por descalce

y murieron en los dos primeros meses después de la siembra. Los rendimientos en Chillán y El Carmen fueron menores que los de camelina. Esto se debió, en parte, a una baja densidad de plantas, ya que en ambas localidades el número de plantas establecidas fue menor que el óptimo deseado. Esto se corrigió en la segunda temporada aumentando la dosis de semilla por hectárea a 7 kg/ha, logrando una población promedio de 53 plantas/m². Al igual que para camelina la reducción del rendimiento, al atrasar la fecha de siembra, se debió a una disminución del número de silicuas por planta y del peso de las semillas (Tabla 10).

En mostaza se observó un efecto entre las líneas probadas. Es así, como las líneas J05Z-014556 y J05Z-07146 mostraron el mejor potencial de rendimiento en Los Ángeles y Osorno. Por otro lado, los mejores rendimientos potenciales se observaron en la localidad de Osorno para las fechas 1 y 2. Por ello, sólo las primeras dos fechas de siembra serían recomendables para cultivar mostaza en Chillán, Los Ángeles y Osorno (Tabla 9). Durante el segundo año de ensayos, se registró el mayor rendimiento de semillas en El Carmen en las fechas 1 y 3, superando los 2200 kg/ha en ambos casos, mientras que en la fecha 2 el rendimiento fue menor debido a que se presentó descalce de plantas por heladas otoñales durante la etapa de emergencia del cultivo. A su vez, los menores rendimientos se alcanzaron en Chillán y Los Ángeles, en el primer caso debido a inundación temporal del ensayo y en el segundo, por alto descalce de plantas, lo que provocó una disminución de la población y por ende, una baja en el rendimiento final.

Tabla 9. Rendimiento de semillas de mostaza oriental establecida en cinco fechas de siembra en cuatro localidades en los años 2008 y 2009, promedio de tres cultivares.

Fechas de siembra	CH-08	CH-09	EC-08	EC-09	LA-08	LA-09	OS-08	OS-09
	-----kg/ha-----							
Fecha 1	585	349	1256	2209	1047	454	1681	1213
Fecha 2	762	660	897	1394	1278	360	1842	1207
Fecha 3	313	623	854	2264	785	486	945	896
Fecha 4	212	-	826	-	568	-	353	-
Fecha 5	134	-	991	-	262	-	211	-
DMS (0,05) fechas	436	218	NS	NS	183	NS	506	263
CV, %	42	33	47	25	26	31,4	19	20,4

NS: indica que no hay diferencias entre fechas dentro de una misma localidad ($P=0,05$).

CH-08 y CH-09= Chillán 2008 y 2009; EC-08 y EC-09= El Carmen 2008 y 2009; LA-08 y LA-09 = Los Ángeles 2008 y 2009; OS-08 y OS-09=Osorno 2008 y 2009.

Componentes del rendimiento

La reducción de rendimiento al atrasar la fecha de siembra se debió al menor número de silicuas por planta y al peso de 1000 semillas (Tabla 10).

Tabla 10. Componentes del rendimiento de mostaza oriental establecida en cinco fechas de siembra en el año 200 promedio de cuatro localidades y tres cultivares,

Fechas de siembra	Nº plantas/m ²	Nº silicuas/planta	Nº semillas/silicua	Peso 1,000 semillas
				-----g-----
Fecha 1	42,8	205	12,6	1,28
Fecha 2	48,8	175	13,1	1,24
Fecha 3	45,1	146	13,2	1,27
Fecha 4	33,8	110	13,7	1,22
Fecha 5	37,9	89	13,3	1,19
DMS fechas (0,05)	NS	43	NS	0,06
CV, %	27	53	27	14

NS: indica que no hay diferencias entre fechas dentro de un mismo parámetro ($P=0,05$).

Contenido y composición del aceite

El contenido de aceite fue superior a lo esperado, obteniéndose más de un 40% en todas las localidades en la primeras tres fechas de siembra. A partir de ese momento el contenido de aceite disminuyó en todas las localidades excepto en El Carmen (Tabla 11). Durante el segundo año de ensayos no hubo diferencias en el contenido de aceite en función de la fecha de siembra. Sin embargo, debe destacarse que en esa temporada se alcanzó el máximo contenido de aceite en la fecha 1 en Osorno (44,1%), lo que confirma la importancia de realizar siembras tempranas.

La composición de ácidos grasos del aceite de mostaza oriental indica que las líneas en estudio corresponden a *Brassica juncea* tipo canola, ya que su perfil de ácidos grasos (Tabla 12) coincide con aquel de una variedad de rap canola (contenido de ácidos grasos: 3 a 4% de ácido palmítico, 59 a 63% de ácido oleico, 18 a 22% de ácido linoleico 8 a 11% de ácido linolénico, menos de 2% de C 20:1 y ausencia de ácido erúcico). La ventaja de cultivar una mostaza oriental tipo canola es que no es necesario buscar un mercado especial para el aceite, ya que es exactamente igual a aceite de raps canola y, por lo tanto, cumpliría con todas las especificaciones para elaborar biodiesel a partir de él o utilizarlo en alimento para salmones. No se observó un efecto de la fecha de siembra sobre la composición de ácidos grasos en mostaza oriental (Tabla 12).

Tabla 11. Contenido de aceite de mostaza oriental establecida en cinco fechas de siembra y cinco localidades en los años 2008 y 2009, promedio de tres cultivares.

Fechas de siembra	Chillán	El Carmen	Los Angeles		Osorno
			-----%-----		
2008					
Fecha 1	41,0	41,4	41,2		43,4
Fecha 2	41,8	41,2	40,9		43,0
Fecha 3	41,2	41,3	39,4		43,5
Fecha 4	39,1	41,8	37,3		41,7
Fecha 5	36,9	41,6	34,0		40,4
DMS fechas (0,05)	2,3	NS	1,5		1,8
CV, %	1,9	1,7	3,3		3,9
2009					
Fecha 1	37,6	42,4	42,6		44,1
Fecha 2	39,7	42,8	42,8		43,5
Fecha 3	39,1	42,3	42,3		43,3
DMS fechas (0,05)	NS	NS	NS		NS
CV, %	4,7	2,8	1,9		5,1

NS: indica que no hay diferencias entre fechas dentro de una misma localidad ($P=0,05$).

Tabla 12. Composición de ácidos grasos en mostaza oriental establecida en cinco fechas de siembra en Osorno en el año 2008.

Fechas de siembra	Ácidos grasos				
	palmítico	oleico	linoleico	linolenico	20:1
-----%-----					
Fecha 1	3,41	59,56	22,05	11,22	1,26
Fecha 2	3,43	61,87	18,34	12,47	1,37
Fecha 3	3,53	60,75	21,25	10,95	1,24
Fecha 4	3,55	60,86	21,20	10,71	1,39
Fecha 5	3,76	54,41	27,36	11,04	1,20

NS: indica que no hay diferencias entre fechas dentro de una misma localidad ($P=0,05$).

3.3.4 Raps

Rendimiento de semillas

El raps se usó como testigo en este proyecto, ya que es un cultivo conocido por los agricultores, pertenece a la misma familia Brassicaceae y, además, su uso es similar. Los resultados mostraron que su potencial de rendimiento fue mayor al de camelina y mostaza (Tabla 13). En todas las localidades el rendimiento de semillas en la fecha de siembra 1 fue superior a las restantes, confirmando las observaciones de los agricultores, en el sentido que la siembra de raps debe hacerse antes del primero de mayo. La reducción del rendimiento de semillas, al atrasar la fecha de siembra, se debe a un menor número de silicuas por planta, semillas por silicua y a una leve reducción del peso de las semillas (Tabla 14). Las altas temperaturas en la primavera impidieron que el raps alcanzara su potencial de

rendimiento. Además, en Chillán y Los Ángeles se observó daño por aves al momento de la cosecha, por lo cual rendimiento puede haber disminuido en un 20%.

Durante el segundo año de ensayos no hubo diferencia significativa en el rendimiento al variar la fecha de siembra, excepción de Osorno, donde el rendimiento fue mayor en la primera. En general, el rendimiento de raps fue menor en la segunda temporada en comparación a la primera, destacándose sólo la comuna de El Carmen, con rendimientos cercanos a los 4000 kg/ha.

Tabla 13. Rendimiento de semillas de dos variedades de raps sembrado en distintas fechas en 5 localidades en el año 2008 y 2009.

Fechas de siembra	CH-08	CH-09	EC-08	EC-09	LA-08	LA-09	GO-08	OS-08	OS-09
	-----kg/ha-----								
Fecha 1	2186	970	2368	3973	2938	768	2492	3526	279
Fecha 2	1482	1573	1571	3346	2034	800	800	3112	186
Fecha 3	1324	1349	453	3680	1150	619	415	2788	143
Fecha 4	379	-	375	-	598	-	328	748	-
Fecha 5	211	-	255	-	261	-	342	289	-
DMS (0,05)	1062	NS	550	NS	700	NS	432	560	592
fechas									
CV, %	36	33	35	6,7	11	13	25	19	41

NS: indica que no hay diferencias entre fechas dentro de una misma localidad ($P=0,05$).

CH-08 y CH-09= Chillán 2008 y 2009; EC-08 y EC-09= El Carmen; LA-08 y LA-09 = Los Ángeles 2008 y 2009
GO-08= Gorbea 2008; OS-08 y OS-09= Osorno 2008 y 2009.

Tabla 14. Componentes del rendimiento de raps establecido en cinco fechas de siembra en cinco localidades en el año 2008, promedio de dos cultivares.

Fechas de siembra	Nº plantas/m ²	Nº silicuas/planta	Nº semillas/silicua	Peso 1,000 semillas (g)
Fecha 1	50	167	25	3,55
Fecha 2	46	145	25	3,37
Fecha 3	49	99	23	3,51
Fecha 4	34	70	18	3,20
Fecha 5	31	63	19	3,22
DMS fechas (0,05)	NS	34	3	NS
CV %	35,5	50,3	24,9	5,0

NS: indica que no hay diferencias entre fechas dentro de un mismo parámetro ($P=0,05$).

Contenido de aceite

El contenido de aceite en la semilla de raps fue menor que en las semillas de camelina y mostaza oriental y disminuyó en las fechas 4 y 5 en comparación con las tres primeras fechas de siembra (Tabla 15).

Durante el segundo año de ensayos no hubo diferencia significativa en el contenido de aceite al variar la fecha de siembra, a excepción de Chillán, donde el contenido de aceite en las fechas 2 y 3 fue mayor en comparación a la primera fecha de siembra, alcanzando un 42,3%.

Tabla 15. Contenido de aceite en semillas de raps establecido en cinco fechas de siembra y cinco localidades en el año 2008 y 2009, promedio de dos cultivares.

Fechas de siembra	Chillán	El Carmen	Los Ángeles	Gorbea	Osorno
-----%-----					
2008					
Fecha 1	43,4	42,6	43,4	42,1	43,4
Fecha 2	42,8	40,6	41,0	42,0	43,0
Fecha 3	41,6	40,8	40,1	40,8	43,5
Fecha 4	---	---	---	---	41,7
Fecha 5	---	---	---	---	40,4
DMS fechas (0,05)	NS	---	0,3	NS	1,8
CV, %	3,9	0,1	3,4	3,2	3,2
2009					
Fecha 1	40,6	40,4	41,3	-	42,3
Fecha 2	42,3	41,1	40,9	-	39,8
Fecha 3	42,3	41,0	42,1	-	41,5
DMS fechas (0,05)	0,9	NS	NS	-	NS
CV, %	0,7	0,8	1,5	-	3,6

NS: indica que no hay diferencias entre fechas dentro de una misma localidad ($P=0,05$).

--- no se analizó el contenido de aceite porque no hubo semillas disponibles para el análisis.

3.3.5 Conclusiones

- En Osorno se logró el potencial de rendimiento de camelina más alto. Los mejores resultados se lograron con la primeras dos fechas de siembra. La disminución del rendimiento de semillas a medida que se atrasó la fecha de siembra se debió a un menor número de silicuas (frutos) por planta y peso de la semilla en las fechas 4 y 5.
- El contenido de aceite en semilla de camelina no varió con la fecha de siembra en Chillán y El Carmen. En cambio en Los Ángeles, el contenido de aceite aumentó de 42% a 45,8% entre la fecha 1 y 2, siendo el mayor valor determinado a la fecha en el mundo.
- Las plantas de mostaza oriental son altamente sensibles al descalce, aún más que el raps y la camelina.
- Los mejores rendimientos potenciales de mostaza oriental se observaron en la localidad de Osorno para las fechas 1 y 2. Por ello, sólo las primeras dos fechas de siembra serían recomendables para cultivar mostaza oriental en Chillán, Los Ángeles y Osorno.
- Los resultados mostraron que el potencial de rendimiento del raps es mayor al de camelina y mostaza.
- En todas las localidades el rendimiento de semillas de raps en la fecha de siembra 1 fue superior a las restantes.

4, Fertilización en camelina y mostaza oriental

4.1. Objetivos

- Determinar las dosis de N, P y S que maximicen los rendimientos de camelina y mostaza oriental.
- Evaluar los rendimientos de semilla de camelina y mostaza oriental según la fertilización usada y compararlos con el raps.

4.2. Materiales y métodos

Se establecieron dos ensayos de fertilización, uno para camelina y otro para mostaza oriental. Al igual que el ensayo de fechas de siembra, se realizó en cinco localidades: Chillan, El Carmen, Los Ángeles, Gorbea y Osorno. Una vez elegidos los terrenos se procedió a tomar muestras de suelo con el fin de analizarlas químicamente y definir el tipo de ensayo a establecer en cada localidad. Se tomó una muestra de suelo en cada unidad experimental a 0-20 y 20-40 cm de profundidad antes de sembrar y aplicar los tratamientos. Los análisis de suelo consideraron componentes básicos como: pH, contenido de materia orgánica, N-NO₃, P, K, y S.

De acuerdo al resultado de los análisis de suelos y a la disponibilidad de terreno para ensayos, se decidió evaluar la fertilización con N, P y S sólo en El Carmen y Osorno. El nivel de fósforo en el suelo de Chillán era demasiado alto para realizar un ensayo en esta localidad. Por lo tanto, en las localidades de Chillán, Los Ángeles y Gorbea se establecieron ensayos de fertilidad sólo para N y S para camelina y mostaza oriental, en forma independiente. Además, el resultado de los análisis de suelo permitió corregir las deficiencias de otros nutrientes no evaluados en este ensayo.

El ensayo de fertilidad fue diseñado como bloques completos al azar, con un arreglo factorial de tres factores: N (0, 75, 150 y 300 kg N/ha), P (0, 50 y 100 kg P₂O₅/ha) y S (0 y 40 kg S/ha) y cuatro repeticiones. Como ya se mencionó, en Chillan, Los Ángeles y Gorbea sólo se evaluó la combinación factorial de dos factores: N (0, 75, 150 y 300 kg N/ha) y S (0 y 40 kg/S ha), Cada unidad experimental constó de 6 hileras de 5 m de largo y sembradas a 30 cm entre hilera (parcela de 9 m²).

Los ensayos se establecieron entre la última semana de abril, (21, 23 y 29 de abril de 2008) para Chillán, El Carmen y Los Ángeles, respectivamente y la primera semana de mayo, (7 y 2 mayo de 2008) para Gorbea y Osorno. Durante el año 2009 este ensayo se realizó solamente en Chillán y Osorno, evaluándose la combinación factorial de dos factores: N (0, 75, 150 y 300 kg N/ha) y S (0 y 40 kg/S ha), Las fechas de siembra fueron 17 de abril para Chillán y 28 de abril para Osorno.

En cuanto a los fertilizantes, como fuente de N se utilizó urea (46 % N), como fuente de P se utilizó superfosfato triple (46 % P₂O₅) y como fuente de S se utilizó fertiyeso (15 % SO₄⁻²). El N y S se aplicaron en dos

parcialidades (estado de cuatro hojas verdaderas e inicio de elongación de tallo floral, respectivamente), mientras que el se aplicó durante la siembra, incorporándolo en bandas a un costado de las hileras de siembra.

Tabla 16. Análisis químicos y físicos de suelo a 0-20 cm y 20-40 cm en las 5 localidades el 2008 y 2009.

Localidad	Profundidad de suelo (cm)											
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
pH	Materia orgánica		NO ₃		P		K		S			
		%			mg/kg							
CH-08	5,9	5,9	4,2	4,1	2,2	1,6	44,4	41,2	392	352	5,8	
CH-09	5,6	-	4,2	-	12,0	-	29,2	-	507	-	15,1	
EC-08	5,5	5,7	15,7	12,5	16,0	18,9	11,1	3,9	283	235	72,6	
LA-08	6,2	6,3	8,8	8,1	33,2	25,5	16,1	15,1	107,5	99	17,4	
LA-09	6,5	-	9,0	-	10,9	-	19,2	-	155	-	5,4	
GO-08	5,3	5,4	16,3	13,5	31,3	20,6	7,5	5,1	66	87	17,2	
OS-08	5,2	4,9	5,9	4,4	61,6	35,2	36,7	17,7	399	293	26,2	

Año 2008: Promedio de seis muestras de suelo para cada localidad y cada profundidad.

Año 2009: Promedio de seis muestras de suelo para cada localidad sólo entre 0-20 cm de profundidad.

CH-08 y CH-09= Chillán 2008 y 2009; EC-08 = El Carmen 2008; LA-08 y LA-09 = Los Ángeles 2008 y 2009; GC 08= Gorbea 2008; OS-08 = Osorno 2008.

Previo a la cosecha se registró la altura de 6 plantas por unidad experimental, las que fueron seleccionadas al azar en cada parcela. Se cosechó manualmente, cortando a ras del suelo 1 metro lineal de plantas en las hileras centrales (3 y 4) con el fin de calcular la biomasa de la muestra una vez secada en invernadero (peso seco de planta enteras/m²). Se cosechó manualmente el resto de la parcela y se trilló de inmediato con una trilladora estacionaria. Las muestras de biomasa se pesaron una vez secadas las plantas en invernadero por alrededor de una semana. De cada muestra se sacaron posteriormente tres plantas para registrar el número de silicuas (frutos) por planta y en 20 silicuas seleccionadas al azar el número de semillas por silicua. Se utilizó una trilladora estacionaria para trillar las semillas de la muestra de biomasa, separada anteriormente, y el resto de material cosechado en la misma parcela, juntándolas. La semilla se limpió de residuos vegetales y de suelo en una seleccionadora de semillas. Finalmente, se pesó la semilla obtenida en cada parcela, para calcular el rendimiento de semilla de cada tratamiento.

Una muestra de 40 mL de semillas de camelina, raps y mostaza oriental de cada unidad experimental de cada localidad se analizó con un equipo de Resonancia Nuclear Magnética NMR 2000 (NMR) en la North Dakota State University, Fargo, North Dakota, para determinar el contenido de aceite, mientras que la composición de ácidos grasos se determinó con un cromatógrafo de gases Varian 2000 en la Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción.

El procedimiento de cosecha y trilla es el mismo descrito para el ensayo de fechas de siembra, con la diferencia que en este ensayo durante la trilla se recolectó una muestra de paja y restos de silicuas (frutos) de cada unidad experimental, con el fin de determinar el contenido de nitrógeno (N) en la muestra y en el fruto. Así se pudo

determinar como la dosis de fertilizante nitrogenado aplicado influyó sobre la absorción de N por parte de la planta. Esta muestra fue molida y enviada al Laboratorio Químico de Suelos, Plantas y Aguas de la Universidad de Concepción. Lo mismo se realizó con una muestra de 30 g de semilla por unidad experimental, para determinar el contenido de nitrógeno en la semilla por el método Kjeldhal.

En el año 2009 se establecieron nuevamente los ensayos de fertilización para camelina y mostaza oriental y, de acuerdo a los resultados obtenidos en la temporada 2008 (año 1), se decidió evaluar el efecto de la fertilización con N y S sobre el rendimiento y calidad de camelina y mostaza oriental en Chillán y Osorno solamente. Se eliminaron los tratamientos con P debido a que no se determinó efecto sobre el rendimiento de semillas ni el contenido de ácidos grasos.

4.3. Resultados y discusión

4.3.1 Camelina

Rendimiento de semillas

Los ensayos de fertilización fueron sembrados en el mismo momento que la fecha 1 del ensayo de fechas de siembra en todas las localidades, exceptuando Osorno, que se sembró una semana más tarde.

Se observa en la Tabla 17 que la camelina respondió a la fertilización nitrogenada incrementándose el rendimiento de semillas en las localidades de Chillán, Los Ángeles y Osorno. Sólo en Los Ángeles se observó respuesta hasta 300 kg N/ha. En Osorno, la respuesta se observó sólo hasta 75 kg N/ha. Estos resultados indicarían que este cultivo requiere menor cantidad de N para alcanzar su potencial de rendimiento en comparación al raps. No se observó un efecto del azufre ni del fósforo sobre el rendimiento en ninguna de las localidades.

Tabla 17. Efecto del nitrógeno y el azufre sobre el rendimiento de semillas de camelina sembradas en cinco localidades en el año 2008 y 2009.

Dosis de N	CH-08	CH-09	EC-08	LA-08	GO-08	OS-08	OS-09
(kg N/ha)	-----kg/ha-----						
0	422	160	1629	942	1157	1424	375
75	758	385	1632	1370	1196	1874	296
150	847	550	1527	1931	1311	1917	347
300	1104	694	1766	2390	1419	1598	291
DMS N (0,05)	187	288	193	302	NS	278	NS
Efecto S	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Efecto N x S	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV, %	23	62	20	17	49	29	39

NS: No se observaron diferencias significativas entre distintas dosis ($P=0,05$).

CH 08 y CH 09= Chillán 2008 y 2009; EC-08= El Carmen 2008; LA-08= Los Angeles 2008; GO-08= Gorbea 2008; OS-08 y OS-09= Osorno 2008 y 2009.

La camelina cosechada en Chillán respondió significativamente a la fertilización nitrogenada incrementado rendimiento de semillas al aumentar la dosis aplicada (Tabla 17). A su vez, no se observó efecto del azufre sobre rendimiento de camelina. Mientras que en Osorno no hubo respuesta en rendimiento de camelina al N, al S, ni a sus combinaciones (Tabla 17).

Los componentes del rendimiento más afectados fueron el número de silicuas por planta y número de semillas por silicua (Tabla 18). Es decir, el aumento de rendimiento observado en Chillán y Los Ángeles, al aumentar la dosis de N, se debió a un incremento en el número de silicuas por planta y el número de semillas por silicua. El contenido de nitrógeno en la semilla aumentó significativamente con dosis crecientes de N en El Carmen y Osorno (Tabla 18) aumentando, por lo tanto, el contenido de proteína, lo cual permitiría usar el afrecho de camelina como alimento animal.

Tabla 18. Número de silicuas por planta, número de semillas por silicua, y contenido de nitrógeno en semillas de camelina fertilizada con cuatro dosis de nitrógeno y dos de azufre en Chillán, Los Ángeles y Gorbea y con cuatro dosis de nitrógeno, dos de azufre y tres de fósforo en El Carmen y Osorno, en el año 2008.

Dosis de N (kg N/ha)	Chillán	Los Ángeles	Gorbea	El Carmen	Osorno
Número de silicuas/planta					
0	99,3	117,3	279,9	221,6	196,5
75	128,5	149,8	346,8	213,6	196,1
150	119,1	209,6	297,6	207,0	195,8
300	106,4	271,1	369,1	210,6	187,9
DMS (0,05)	NS	65	NS	NS	NS
Efecto S	NS	NS	NS	NS	NS
Efecto P	X	X	X	NS	NS
CV %	56	60,5	46,7	58,9	79,2
Número de semillas/silicua					
0	10,7	10,1	13,2	12,6	13,0
75	11,7	14,6	12,2	11,7	13,5
150	10,8	13	13,5	11,1	14,8
300	10,7	13,7	10,6	12	13,2
DMS (0,05)	0,58	1,2	0,8	0,6	0,56
Efecto S	NS	NS	NS	0,4	NS
Efecto P	X	X	X	NS	0,48
CV %	24,2	42,1	30,7	41,4	32,3
Contenido N en semilla (%)					
0	3,64	2,63	3,29	2,8	2,89
75	3,61	2,35	3,61	2,96	2,90
150	3,63	2,54	3,65	3,00	3,07
300	3,92	2,77	3,52	3,14	3,26
DMS (0,05)	NS	NS	NS	0,17	0,21
Efecto S	NS	NS	NS	NS	NS
Efecto P	X	X	X	NS	NS
CV, %	6,3	7,4	-	6,8	8,3

NS: indica que no hay diferencias entre las diferentes dosis para cada parámetro evaluado ($P=0,05$).

Cultivar usado: Gold of Pleasure

X en estas localidades no se midió el efecto del fósforo, sino sólo en El Carmen y Osorno.

Al igual que en primer año de ensayo, la aplicación de N influyó sobre la altura de las plantas de camelina en Chillán, ya que aquellas que no fueron fertilizadas fueron de menor altura. Además, sólo se observó respuesta de rendimiento de semilla hasta una aplicación de 150 kg N/ha, y no sería recomendable fertilizar con mayor dosis, ya que la tendedura del cultivo aumenta sobre los 75 kg N/ha, según resultados del año 2008 en Osorno. También hubo respuesta positiva en la altura de plantas al aplicar 40 kg S/ha. En el caso de Osorno, no hubo diferencias en altura de plantas en relación a las diferentes dosis de N, de S ni sus combinaciones. En cuanto a los niveles de N en la semilla en los restos de las plantas cosechadas (paja) luego de la trilla, se observó que en ninguna de las localidades influyó la dosis de N aplicada sobre su posterior acumulación en la semilla cosechada o en la paja. La combinación de fertilización con N y S no influyó sobre el rendimiento de biomasa, el contenido de aceite en la semilla y el peso de 1,000 semillas de camelina sembrada en sólo tres localidades (datos no se muestran).

En cuanto a los resultados obtenidos en la segunda temporada, estos fueron similares a los del primer año para ambos cultivos. No obstante, es necesario señalar algunas diferencias: los rendimientos de semilla fueron inferiores a la primera temporada en respuesta a condiciones climáticas adversas. Específicamente en Chillán, el principal problema en este ensayo fue el exceso de humedad en el suelo, debido a las abundantes precipitaciones, lo que afectó la densidad de la población, el desarrollo vegetativo y la capacidad reproductiva. En Osorno, el problema principal fue el desgrane y tendedura de plantas, provocados por un inusual comportamiento climático, con lluvias primaverales de verano, que prolongaron el desarrollo vegetativo del cultivo y, además, aumentaron la población y el crecimiento de malezas.

Contenido de aceite

Con la dosis de 300 kg N/ha se redujo el contenido de aceite en las semillas de camelina en todas las localidades, exceptuando Gorbea y en mayor proporción en la localidad de Osorno, aunque no fue estadísticamente diferente a las demás dosis (Tabla 19). El contenido de aceite en las semillas de camelina fue más alto con dosis bajas de N, lo cual indica que no es conveniente fertilizar en exceso a este cultivo. Además, considerando que el rendimiento de semilla sólo respondió hasta 75 kg N/ha en Osorno, no sería recomendable fertilizar camelina con dosis mayores a 75 kg N/ha, especialmente porque también aumenta la tendedura del cultivo por sobre esa dosis.

Tabla 19. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de aceite en semillas de camelina en cinco localidades en 2008 y 2009.

Dosis de N	CH-08	CH-09	EC-08	LA-08	GO-08	OS-08	OS-09
kg N/ha	-----%						
0	40,3	40,2	43,6	44,4	44,1	43,3	39,9
75	40,3	40,5	42,8	45,3	43,4	42,8	40,6
150	39,8	40,5	42,4	45,3	43,5	41,0	40,0
300	39,4	40,3	41,6	43,3	43,9	40,3	40,1
DMS (0,05)	NS	NS	0,7	1,1	NS	0,9	NS
Efecto S	NS	NS	0,5	NS	NS	NS	NS
Efecto P	x	NS	0,62	x	x	NS	NS
CV, %	2,9	2,0	2,4	---	---	2,5	1,3

NS: indica que no hay diferencias entre las diferentes dosis para cada parámetro evaluado ($P=0,05$).

CH 08 y CH 09= Chillán 2008 y 2009; EC-08= El Carmen 2008; LA-08= Los Angeles 2008; GO-08= Gorbea 2008; OS-08 y OS-09= Osorno 2008 y 2009.

La dosis de N o S no afectó el contenido de aceite en ninguna de las localidades.

4.3.2 Mostaza oriental

Rendimiento de semillas

La siembra otoñal de Chillán se perdió por anegamiento, por lo cual los datos incluidos en la Tabla 20 corresponden a los resultados de la siembra primaveral del ensayo (03-09-08). Mientras que los ensayos de El Carmen y Gorbea se perdieron debido a fuertes heladas otoñales que provocaron descalce y posterior muerte de plantas. Esta situación, además, en Gorbea se vio acrecentada por una ubicación baja del terreno y fuertes lluvias que inundaron el sector sembrado.

La mostaza oriental respondió a la fertilización nitrogenada en Los Ángeles y Osorno (Tabla 20), llegando a un rendimiento máximo de 2519 kg/ha en la localidad de Osorno con la dosis máxima de 300 kg N/ha. Debido a que en Chillán se trata de resultados de una siembra primaveral, el rendimiento fue mucho más bajo que las siembras otoñales de las demás localidades.

No se observó efecto del azufre ni del fósforo sobre el rendimiento de semillas en ninguna de las localidades. Esto indica que la mostaza oriental responde al nitrógeno, similar al comportamiento del raps, y por lo cual no es posible reducir los costos de fertilización del cultivo.

Tabla 20, Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de semillas de mostaza oriental (*Brassica juncea*) en tres localidades en el año 2008 y 2009.

Dosis de N	CH-08	CH-09	LA-08	OS-08	OS-09
kg N/ha	-----		kg/ha-----		
0	115	375	412	2046	836
75	145	611	1061	2178	846
150	186	760	1442	2289	799
300	178	969	1066	2519	926
DMS (0,05)	NS	NS	473	237	NS
Efecto S	NS	NS	NS	NS	NS
Efecto N x S	NS	NS	NS	NS	NS
CV %	44	65	46	18	23

NS: No se observaron diferencias significativas.

CH 08 y CH 09= Chillán 2008 y 2009; LA-08= Los Angeles 2008; OS-08 y OS-09= Osorno 2008 y 2009.

Componentes del rendimiento

En Los Ángeles, se detectó una respuesta del número de plantas al aumentar la dosis de azufre, mientras que en Osorno aumentó el número de silicuas por planta (Tabla 21), el que también aumentó en Los Ángeles al fertilizar con nitrógeno. Se observó respuesta positiva de aumento del número de semillas por silicua sólo al aumentar la dosis de nitrógeno por sobre los 75 kg N/ha en Los Ángeles. No hubo diferencias significativas en el peso de mil semillas con las diferentes dosis de nitrógeno o azufre en ninguna de las localidades.

Tabla 21. Efecto de las dosis de nitrógeno y azufre en mostaza oriental sobre la densidad de plantas/m², número de silicuas por planta, número semillas por silicua y peso de mil semillas en tres localidades (Chillán, Los Ángeles Osorno) en el año 2008.

Dosis de N (kg/ha)	Chillán*			Los Angeles			Osorno		
				Dosis de S (kg N/ha)					
	0	40	Media	0	40	Media	0	40	Media
Número de plantas/m ²									
0	37,1	32,1	34,6	52,9 b	77,0 a	65	X	X	
75	25,8	30,0	27,9	50,0 b	75,4 a	63	X	X	
150	25,0	34,2	29,6	48,7 b	95,4 a	72	X	X	
300	32,5	27,0	29,6	50,8 b	55,8 b	53	X	X	
Media	30,1	30,7		50,6 B	75,9 A				
Número de silicuas/planta									
0	67	87	77	109	101	105 B	132	171	152 B
75	75	89	82	185	128	156 A	135	154	144 B
150	109	93	101	160	154	157 A	146	147	147 B
300	103	99	101	189	196	193 A	165	206	185 A
Media	89	92		161	145		144 B	170 A	
Número de semillas/silicua									
0	11,0 b	10,6 b	10,8 B	10,5	11,4	10,9 B	13,5 a	13,1 b	13,3
75	11,2 b	12,2 a	11,7 A	11,5	11,5	11,5 B	13,4 a	12,9 b	13,2
150	11,2 b	10,5 b	10,9 B	11,9	12,2	12,1 A	13,0 b	13,2 a	13,1
300	10,6 b	10,8 b	10,7 B	12,4	12,5	12,4 A	13,2 a	13,6 a	13,4
Media	11,0	11,0		11,6	11,9		13,3	13,2	
Peso de mil semillas (g)									
0	2,41	2,44	2,43	2,94	3,06	3,00	3,08	3,00	3,04
75	2,35	2,30	2,33	2,98	3,14	3,06	3,10	2,98	3,04
150	2,45	2,42	2,44	3,00	2,99	2,99	3,00	2,93	2,96
300	2,35	2,42	2,39	2,96	2,99	2,97	3,06	3,03	3,05
Media	2,39	2,40		2,97	3,04		3,06	2,98	

* sembrado en primavera (03/09/08).

Letras mayúsculas indican diferencias entre medias de efectos principales N o S, letras minúsculas indican diferencias significativas de la interacción entre N y S en Chillán, Los Ángeles y Osorno ($P \leq 0,05$).

X parámetro no evaluado en Osorno.

El contenido de nitrógeno en la semilla de mostaza oriental aumentó sólo con la dosis más alta de nitrógeno en Los Ángeles (Tabla 22). Mientras que el nitrógeno total absorbido por la planta dependió de la dosis aplicada, aumentando a medida que aumentó la dosis de nitrógeno, especialmente entre el testigo sin aplicación de nitrógeno con los otros tratamientos (Tabla 22). La absorción promedio de nitrógeno en Chillán y Los Ángeles fue mucho más baja que en Osorno. En Chillán, se debe a que el cultivo se sembró en primavera y, por lo tanto, no alcanzó a absorber todo el N aplicado. Por otro lado, en Los Ángeles, el suelo era de textura más gruesa y, probablemente, una parte importante del nitrógeno aplicado se lixivió a capas más profundas del suelo. Esto indicaría que el potencial observado en Los Ángeles no corresponde al potencial real, ya que las plantas sólo dispusieron de aproximadamente la mitad de los requerimientos de nitrógeno necesarios para alcanzar su potencial. Por ello, es recomendable retrasar la

aplicación de una parcialización del nitrógeno. Mientras que en Osorno, la respuesta de la absorción de nitrógeno fue lineal (Tabla 22), observándose la mayor absorción, de 136 kgN/ha, con la dosis de 300 kg N/ha, asociada directamente con el aumento lineal del rendimiento de semillas a medida que aumentó la dosis de N.

El contenido de proteína de la semilla aumentó sólo con la dosis más alta de nitrógeno en Los Ángeles (Tabla 22). Sin embargo, el contenido promedio máximo de proteína en Osorno fue mayor al 20%, lo que indicaría que el afrecho resultante de esta especie es probablemente de excelente calidad para la alimentación animal.

Tabla 22. Efecto del nitrógeno y azufre sobre el contenido de nitrógeno de la semilla y la planta a cosecha, nitrógeno absorbido y contenido de proteína de la semilla de mostaza oriental en tres localidades (Chillán, Los Ángeles y Osorno), en el año 2008.

Dosis de N (kg N/ha)	Chillán*			Los Angeles			Osorno			
	Dosis de S (kg/ha)			Dosis de P ₂ O ₅ (kg/ha)						
	0	40	Media	0	40	Promedio	0	50	100	Promedio
Contenido de nitrógeno en la semilla (%)										
0	2,68	2,70	2,69	2,43	2,34	2,38 B	3,26	3,24	3,00	3,17
75	2,70	2,70	2,70	2,39	2,32	2,35 B	3,15	3,17	3,22	3,18
150	2,63	2,65	2,64	2,45	2,46	2,45 B	3,27	3,06	3,40	3,24
300	2,78	2,75	2,76	2,78	2,73	2,75 A	3,45	3,29	3,63	3,45
Media	2,69	2,70		2,51	2,46		3,28	3,19	3,31	
Contenido de nitrógeno en la planta a cosecha (%)										
0	1,42	1,39	1,41	0,23	0,27	0,25 B	0,27	0,30	0,27	0,28
75	1,42	1,48	1,45	0,25	0,23	0,23 B	0,25	0,26	0,38	0,30
150	1,35	1,48	1,41	0,29	0,26	0,28 A	0,30	0,25	0,24	0,26
300	1,53	1,52	1,53	0,35	0,27	0,31 A	0,35	0,33	0,32	0,33
Media	1,43	1,47		0,28	0,25		0,29	0,28	0,30	
Nitrógeno total absorbido (kg N/ha)										
0	24,6	23,1	23,9	17,1	16,0	16,5 B	91,8	84,0	99,8	91,9 C
75	31,4	38,8	35,1	40,4	31,8	36,1 A	93,8	119,1	127,5	113,5 B
150	44,6	48,5	46,5	41,3	52,9	47,1 A	104,8	116,0	116,5	112,5 B
300	44,7	26,8	35,7	41,1	39,9	40,5 A	132,3	122,9	155,0	136,7 A
Media	36,3	34,3		34,9	35,2		105,7 B	110,5 A	124,7 A	
Contenido de proteína en la semilla (%)										
0	16,7	16,9	16,8	15,2	14,6	14,9 B	20,4	20,2	18,8	19,8
75	16,9	16,9	16,9	14,9	14,5	14,7 B	19,7	19,8	20,1	19,9
150	16,4	16,6	16,5	15,3	15,4	15,3 B	20,4	19,1	21,3	20,3
300	17,3	17,2	17,3	17,4	17,0	17,2 A	21,5	20,6	22,7	21,6
Media	16,8	16,9		15,7	15,4		20,5	19,9	20,7	

* sembrado en primavera (03/09/08),

Letras mayúsculas indican diferencias entre medias de efectos principales N o S, letras minúsculas indican diferencias significativas de la interacción entre N y S en Chillán y Los Ángeles, o N y P en Osorno ($P=0,05$).

En cuanto a la segunda temporada, el nitrógeno no tuvo efecto significativo sobre el rendimiento de semilla de mostaza oriental en las localidades estudiadas (Chillán y Osorno). Debido a los bajos rendimientos observados en esa temporada, no fue posible concluir sobre el efecto del nitrógeno, más aun habiendo respuesta en el rendimiento frente a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en Osorno en la primera temporada. Tampoco hubo respuesta

significativa con la aplicación de azufre ni con la combinación nitrógeno y azufre. Los bajos rendimientos en Chillán se explican, principalmente por anegamiento de gran parte del ensayo durante el invierno. En Osorno, el problema fue la gran cantidad de malezas que se desarrollaron debido a una primavera y verano lluviosos, que complicaron el control y escaparon a los controles iniciales con graminicidas y Eurolightning.

Contenido de aceite

Con la dosis más alta de nitrógeno (300 kg N/ha) sólo en Osorno (Tabla 23) disminuyó el contenido de aceite en la semilla. La fertilización con azufre incrementó el contenido de aceite en un punto porcentual sólo en Los Ángeles. Sin embargo, el rendimiento máximo de aceite por hectárea fue de 914 kg/ha obtenido en Osorno con la dosis de 30 kg N/ha.

Tabla 23. Efecto del nitrógeno y azufre (Chillán y Los Angeles) y nitrógeno y fósforo (Osorno) sobre el contenido de aceite en la semilla y rendimiento de aceite por hectárea en semillas de mostaza oriental cultivada en tres localidades en el año 2008.

Dosis de N (kg/ha)	Chillán*			Los Ángeles			Osorno		
	Dosis de S (kg/ha)			Dosis de P (kg/ha)					
	0	40	Media	0	40	Media	0	40	Media
Contenido de aceite en la semilla (%)									
0	31,4	31,1	31,3	39,4	41,9	40,7	41,7	41,7	41,7 A
75	31,5	31,2	32,0	41,5	42,0	41,8	41,9	42,0	41,9 A
150	29,7	30,2	29,9	40,9	41,4	41,1	41,8	41,8	41,8 A
300	31,0	30,3	30,7	39,8	40,5	40,2	41,3	41,5	41,4 B
Media	30,9	30,7		40,4 B	41,5 A		41,7	41,8	
Rendimiento de aceite (kg/ha)									
0	81,5	64,4	73,0	176,4	178,8	177,6 B	736,9	847,3	792,1 B
75	94,5	109,1	101,8	446,4	406,1	426,3 A	780,7	802,5	791,6 B
150	135,7	83,0	109,3	477,1	512,7	494,9 A	876,3	905,8	891,0 A
300	137,9	136,5	137,2	389,7	479,2	434,4 A	885,7	942,1	913,9 A
Media	112,4	98,2		372,4	394,2		819,9	874,4	

* sembrado en primavera,

Letras mayúsculas indican diferencias entre medias de efectos principales N o S, letras minúsculas indican diferencias significativas de la interacción entre N y S en Chillán y Los Ángeles, o N y P en Osorno.

4.4. Conclusiones

- La camelina responde positivamente ante la fertilización nitrogenada, pero sólo hasta una dosis de 75 kg N/ha, alcanzando su máximo potencial de producción con menos de la mitad del N que requiere el raps (testigo) que respondió hasta 200 kg N/ha.
- No se observó efecto significativo del azufre ni del fósforo sobre el rendimiento de semillas de camelina en ninguna de las localidades evaluadas.
- El ensayo de fertilización de mostaza oriental en El Carmen y Gorbea se perdió por descalce de plantas, por tanto, no se cosechó.
- En mostaza oriental el rendimiento de semillas aumentó con dosis crecientes de nitrógeno en Osorno y Los Ángeles.
- La mostaza oriental requiere de la misma cantidad de nitrógeno que el raps para lograr su máximo potencial de rendimiento.
- No hubo diferencias significativas en el rendimiento de semillas de mostaza oriental ni el contenido de aceite en la semilla asociadas a las diferentes dosis de nitrógeno y azufre, resultado distinto a los del primer año como consecuencia de condiciones ambientales adversas.

5. Control de malezas en camelina

5.1. Objetivos

Determinar herbicidas de pre y postemergencia para el control de malezas de hoja ancha en camelina.

5.2. Materiales y métodos

Este ensayo sólo se realizó en Chillán con camelina, ya que los tres cultivares de mostaza oriental disponibles son resistentes a herbicidas del grupo de los imidazolinones o conocidos como Clearfield™, por lo que se puede aplicar el herbicida EuroLightning (imazamox+imazapyr) en estado de seis hojas verdaderas.

Se hizo un ensayo de herbicidas de presembrado y uno de post emergencia orientados, principalmente, al control de malezas de hoja ancha, ya que el control de gramíneas con graminicidas postemergentes es eficiente sin que causen fitotoxicidad a las plantas de camelina. Los herbicidas de presembrado fueron aplicados e incorporados mecánicamente antes de la siembra, mediante un motocultor. Los herbicidas de postemergencia se aplicaron sobre plantas de camelina desde el estado de 4 hojas verdaderas, mediante un pulverizador de espalda.

El diseño experimental usado fue de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Cada unidad experimental consistió en 6 hileras de 5 m de largo y sembradas a 30 cm entre hilera (9 m²).

En el año 2008, ambos ensayos se sembraron en primavera, ya que la efectividad de los tratamientos es óptima en primavera. En otoño, la eficacia de muchos productos se ve afectada por las bajas temperaturas que complicaría su evaluación. El ensayo de herbicidas de presembrado se sembró entre el 3 y el 24 de octubre, después de aplicar los herbicidas y luego incorporarlos con un motocultor. El ensayo de herbicidas de postemergencia se sembró el 3 de septiembre de 2008.

Los herbicidas de pre y postemergencia evaluados fueron: metazachlor, pendimethalin, carfentrazone, picloram, clopiralid, metribuzina, oxifluorfen y trifluralina, en distintas dosis (Tablas 24 y 25). Para la temporada 2009 se repitió este ensayo en Chillán, agregando dos herbicidas más a los probados el primer año (ethofumesate y metamitron).

Tabla 24. Herbicidas de presembrado y preemergencia utilizados en el cultivo de camelina.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis (L/ha)	Modo de acción
Treflan	Trifluralina	1,8	inhibidor de mitosis
Spectro 40 EC	Pendimetalin	3,5	inhibidor de mitosis
Bectra 48 SC	Metribuzina	1,5	inhibidor fotosíntesis (PSII)
Goltix, Compact	Metamitron	1,8	inhibidor fotosíntesis (PSII)
Tramat	Ethofumesate	2,5	inhibidor síntesis de ácidos grasos de cadena larga
Butisan S*	Metazachlor	2,3	inhibidor síntesis de ácidos grasos de cadena larga

*Herbicida aplicado de presembrado y en postemergencia del cultivo,

Tabla 25. Herbicidas de post emergencia aplicados al cultivo de camelina.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis (L/ha)	Modo de acción
Affinity 400 DF	Carfentrazone Ethyl	0,02 y 0,04	desorganiza membranas celular (inhibidor enzima PPO)
Tango	Oxifluorfen	2,0	desorganiza membranas celular (inhibidor enzima PPO)
Lontrel	Clopyralid	0,2	regulador de crecimiento (auxina)
Tordon 24 K	Picloram	0,15	regulador de crecimiento (auxina)
Butisan S*	Metazachlor	2,3	inhibidor síntesis de ácidos grasos cadena larga

En la Tabla 26 se detallan las actividades realizadas en ambos ensayos.

Tabla 26, Actividades realizadas en el ensayo de herbicidas de presiembra y postemergencia para camelina,

Actividades en ensayo de presiembra	Descripción
Fecha de siembra	desde el 03/10/08 al 24/10/08
Aplicación de herbicidas	
Fecha incorporación de herbicidas	desde el 03/10/08 al 24/10/08
Trifluralina 1, pendimetalin, metazachlor, y metribuzina	incorporado el mismo día de la siembra
Trifluralina 2	incorporado 15 días antes de la siembra
Riego	06/11/08
Recuento de plantas sobrevivientes	24/11/08
Actividades en ensayo de postemergencia	
Fecha de siembra	03/09/08
Aplicación de herbicidas	
Fecha	06/10/08 al 10/11/08
Metazachlor 1	aplicación con 4 hojas verdaderas
Metazachlor 2	aplicación con 8 hojas verdaderas
Carfentrazone Ethyl 1	dosis 0,02 L/ha, aplicación con 8 hojas verdaderas
Carfentrazone Ethyl 2	dosis 0,04 L/ha, aplicación con 8 hojas verdaderas
Picloram, clopyralid y oxifluorfen	aplicación con 8 hojas verdaderas
Riego	24/10/08 - 13/11/08
Recuento de plantas sobrevivientes	30/11/08

La fitotoxicidad de los herbicidas se evaluó contando el número de plantas de camelina por m² antes y después de la aplicación de los herbicidas de postemergencia y también sobre las malezas de hoja ancha. En ambos casos se usó una escala de evaluación de la fitotoxicidad sobre malezas de hoja ancha (Tabla 27) confeccionada específicamente para las malezas presentes en el cultivo de camelina.

Tabla 27. Escala de fitotoxicidad de la acción de herbicida sobre plantas de camelina o malezas de hoja ancha en cultivo de camelina en Chillán,

Indice	Respuesta visual
1	no hay efecto
2	baja fitotoxicidad, solo hasta un 10% de supresión de plantas
3	hasta un 25% de supresión de plantas
4	medianamente fitotóxico para las plantas, 25 a 50% de control
5	altamente fitotóxico, con más del 50% de plantas con daño

5.3. Resultados y discusión

Ensayo de herbicidas de presembrado

El número de plantas/m² 10 días después de la emergencia no fue significativamente distinto para ninguno de los tratamientos aplicados (Tabla 28), mostrando que tanto las plantas jóvenes de camelina en el testigo como las que recibieron herbicida sobreviven en el mismo porcentaje a los 10 días de emergencia. Cuando nuevamente se evaluó la densidad de plantas un mes después, la reducción de la densidad fue mayor al 40% en todos los tratamientos registrándose la menor mortalidad en el testigo, correspondiendo a la mortalidad o “raleo” natural en el cultivo. Cualquier valor superior a este se evaluó como efecto fitotóxico de los herbicidas sobre la camelina. La menor fitotoxicidad se logró con el tratamiento cuando la trifluralina se incorporó 15 días previo a la siembra. Los otros tratamientos posiblemente tuvieron un efecto residual, causando una mayor mortalidad de las plantas nuevas respecto del testigo. Sin embargo, los resultados obtenidos no fueron concluyentes, ya que todos los tratamientos fueron afectados por anegamiento del sector del ensayo, por lo que fue necesario repetir el ensayo el año 2009.

En Estados Unidos se recomienda controlar malezas en el cultivo de camelina con trifluralina incorporada 1 a 2 meses antes de la siembra.

Tabla 28. Densidad de plantas a emergencia y porcentaje de reducción en la densidad de plantas de camelina un mes después de aplicar los tratamientos de herbicidas de presembrado el año 2008.

Tratamiento	Número plantas a emergencia (plantas/m ²)	Reducción (%)
Testigo	106	40
Trifluralina 1 (incorporado día de siembra)	113	53,6
Trifluralina 2 (incorporado 15 días antes de siembra)	91	42,6
Pendimetalin (incorporado día de siembra)	147	56,9
Metazachlor (incorporado día de siembra)	111	57,0
Metribuzina (incorporado día de siembra)	96	61,3

En 2009 se agregaron dos herbicidas más (ethofumesate y metamitron) para ser evaluados. Los resultados indican que a pesar que la camelina tolera el metamitron (Tabla 29) no fue una buena alternativa para controlar las malezas (Tabla 29). Al igual que en el primer año, la trifluralina sería una buena alternativa para controlar malezas de hoja ancha

debido a su baja fitotoxicidad sobre la camelina, siempre y cuando el herbicida se incorpore el mismo día de siembra (Trifluralina 1). Los resultados indican que la camelina también tolera metazachlor y pendimetalin en las dosis aplicadas.

Tabla 29. Densidad de plantas de camelina y fitotoxicidad de herbicidas de presembrado sobre malezas de hoja ancha un mes después de la aplicación de herbicidas de presembrado el año 2009.

Tratamiento	Densidad camelina (plantas/m ²)	Fitotoxicidad malezas hoja ancha
Testigo	92,0	1,0
Trifluralina 1 (incorporado día de siembra)	98,0	4,3
Trifluralina 2 (incorporado 15 días antes de siembra)	55,0	4,0
Pendimetalin (incorporado día de siembra)	75,0	4,0
Metazachlor (incorporado día de siembra)	105,0	2,6
Metribuzina (incorporado día de siembra)	54,0	3,5
Ethofumesate	44,0	2,3
Metamitron	85,0	2,0
DMS (0,05)	NS	
CV, %	30,8	

Fitotoxicidad (*): Escala (1 a 5) 1-no hay efecto, 5-altamente fitotóxico,

Entre los herbicidas de presembrado utilizados (Tabla 29) destacan la trifluralina, en ambas fechas de aplicación, y el pendimetalin, ya que con ambos se logró controlar malezas gramíneas y de hoja ancha.

Ensayo de herbicidas de post emergencia

La mortalidad de plantas de camelina entre el testigo y el tratamiento con aplicación de metazachlor (1) y clopyralid fue similar (Tabla 30), con la menor pérdida de plantas en la población de camelina. Sin embargo, estos herbicidas no tuvieron un efecto fitotóxico sobre las malezas a controlar. Con los demás tratamientos la mortalidad de plantas fue significativa. Por lo tanto, el único herbicida factible de utilizar en postemergencia sería Butisan (metazachlor). Sin embargo, metazachlor es un herbicida que no controla malezas de la familia Brassicaceae, tales como rábano y mostacilla, y que son más difíciles de controlar en cultivos de crucíferas como la camelina. El ensayo se repitió en el año 2009 para determinar la selectividad de estos herbicidas al aplicarlos durante el invierno.

Tabla 30. Mortalidad de plantas de camelina un mes después de la aplicación de herbicidas de postemergencia el año 2008.

Tratamiento	Mortalidad de plantas (%)
Testigo	11,7
Metazachlor 1 (4 hojas verdaderas)	17,4
Metazachlor 2 (8 hojas verdaderas)	41,9
Carfentrazone Ethyl 1 (0,02 L/ha, 8 hojas verdaderas)	38,5
Carfentrazone Ethyl 2 (0,04 L/ha, 8 hojas verdaderas)	79,9
Picloram (8 hojas verdaderas)	43,8
Clopyralid (8 hojas verdaderas)	12,6
Oxifluorfen (8 hojas verdaderas)	69,9

Durante el año 2009, ambos ensayos se establecieron el 07 de mayo. Los resultados del ensayo de postemergencia indican que el único herbicida tolerado por camelina es metazachlor aplicado en el estado de 8 hojas de camelina; igual resultado obtenido el primer año (Tabla 31). Sin embargo, en este estado la utilidad para controlar maleza con metazachlor es reducida, ya que este herbicida controla, principalmente, malezas en germinación,

Tabla 31. Densidad de plantas de camelina y fitotoxicidad de herbicidas de postemergencia sobre malezas de hoja ancha un mes después de la aplicación de herbicidas de presembrado el año 2009.

Tratamiento	Densidad de plantas (%)	Fitotoxicidad malezas hoja ancha *
Testigo	115	1,0
Metazachlor 1 (4 hojas verdaderas)	42	2,5
Metazachlor 2 (8 hojas verdaderas)	104	3,0
Carfentrazone Ethyl 1 (0,02 L ha ⁻¹ , 8 hojas verdaderas)	10	3,5
Carfentrazone Ethyl 2 (0,04 L ha ⁻² , 8 hojas verdaderas)	0	3,5
Picloram (8 hojas verdaderas)	0	2,3
Clopyralid (8 hojas verdaderas)	0	2,3
Oxifluorfen (8 hojas verdaderas)	0	3,3
DMS (0,05)	64	0,87
CV, %	108	17,0

Fitotoxicidad (*): (1 a 5)1-no hay efecto, 5-altamente fitotóxico,

En la Tabla 31 se observa que el mejor control de malezas de hoja ancha se logró con carfentrazone y oxifluorfen, dos de los herbicidas que, a su vez, también presentan un alto nivel de fitotoxicidad sobre camelina, por lo cual no es factible su uso en su cultivo.

5.4. Conclusiones

- Entre los herbicidas de presembrado, trifluralina se presenta como una buena alternativa para controlar malezas de hoja ancha por su baja fitotoxicidad sobre camelina. Esta última especie también tolera metazachlor y pendimetalin a las dosis aplicadas.
- El único herbicida factible de utilizar en postemergencia sería Butisan (metazachlor). Sin embargo, este herbicida no controla malezas de la familia Brassicaceae, tales como rábano y mostacilla, que son las malezas más difíciles de controlar en cultivos de crucíferas (Brassicaceae) como la camelina.

6. Adaptación de variedades de camelina y raps

6.1. Objetivos

Caracterizar 26 genotipos invernales de raps cultivados en la zona centro sur de Chile con el propósito de determinar su adaptación e interacción genotipo x ambiente y comparar el potencial de rendimiento entre genotipos en cinco ambientes.

Caracterizar cuatro cultivares de camelina cultivados en la zona centro sur de Chile con el propósito de determinar su adaptación a cada localidad y comparar el potencial de rendimiento entre cultivares en las cinco localidades.

6.2. Materiales y métodos

Ensayo de variedades de camelina

En el primer año, 2008, se sembraron cuatro variedades de camelina (Suneson, Blaine Creek, Yellowstone Gold of Pleasure) en Chillán, Los Angeles, Gorbea y Osorno. La siembra se realizó entre el 5 y el 28 de mayo. El diseño usado fue bloques completos al azar con 4 repeticiones. Cada unidad experimental constó de 6 hileras de 9 m de largo, sembradas a 30 cm entre hilera (9 m²). Tal como sucedió con el ensayo de fertilización, en Chillán este ensayo se perdió debido al anegamiento del sector del ensayo. Por lo tanto, fue necesario sembrar nuevamente en septiembre de 2008, cuando el clima y las condiciones del terreno lo permitieron. La cosecha y trilla se hizo de forma similar a la explicada en el ensayo de fechas de siembra. Sólo difiere en que no se tomó una muestra de biomasa ni tampoco se evaluaron los componentes del rendimiento, tales como número de silicuas por planta y semillas por silicula. Por lo tanto, una vez eliminados los bordes y registrada la altura de plantas se cosechó y trilló toda la parcela. Se evaluó la fenología de la planta y el rendimiento de la semilla cosechada. En el año 2009 este ensayo se realizó sólo en las localidades de Chillán y Osorno. En el caso de Chillán, se agregó a las cuatro variedades evaluadas el año 2008 otras 9 variedades, incluidas en el convenio de investigación entre la empresa Great Plains de Montana, Estados Unidos y la Universidad de Concepción.

Ensayo de cultivares de raps

Este ensayo se realizó porque no existe información científica, imparcial, respecto a que cultivares o híbridos de raps se adaptan mejor a cada zona en centro-sur de Chile. Siendo el raps el cultivo testigo en este proyecto, era importante tener una evaluación imparcial del potencial de rendimiento y contenido de aceite de las variedades que se comercializan en el país y de los costos asociados al cultivo.

Este ensayo fue diseñado como bloques completos al azar con 4 repeticiones en cinco localidades: Chillán, El Carmen, Los Ángeles, Gorbea y Osorno. Los tratamientos corresponden a 26 variedades de raps; de las cuales 12 son cultivares de polinización abierta (CPA) y 14 son híbridos (Tabla 32). Los cultivares e híbridos y sus antecedentes fueron facilitados por las empresas Agrosearch, Semillas Baer, KWS y Molinera Gorbea. Cada unidad experimental

constó de 6 hileras de 5 m de largo y sembradas a 30 cm entre hilera. Se sembraron entre el 21 de abril y el 7 de mayo, al lado del ensayo de camelina.

Tabla 32. Nombre, tipo, origen, peso de mil semillas, y dosis de semillas utilizada en el ensayo de cultivares de raps durante el año 2008.

Nombre	Cultivar o Híbrido	Empresa	Peso de mil semillas (g)	Dosis de semilla (kg/ha)
SW5	HIB	Agrosearch Ltda,	3,66	1,6
Galileo	CPA	Agrosearch Ltda,	3,92	2,2
Goya	CPA	Agrosearch Ltda,	4,64	2,7
SW27A	CPA	Agrosearch Ltda,	5,72	3,3
Monalisa	HIB	Baer	5,51	2,4
Liprima	CPA	Baer	5,92	3,4
Coronet	CPA	Baer	4,73	2,7
Exagone	HIB	CIS (M,Gorbea)	5,96	2,6
Livius	CPA	Baer	5,11	2,9
Vision	CPA	Baer	4,30	2,5
Sunday	CPA	Baer	4,80	2,7
Lilian	CPA	Baer	4,95	2,8
Dimension	HIB	Agrosearch Ltda,	4,90	2,1
Hammer	HIB	Agrosearch Ltda,	6,70	2,9
Compact	CPA	Agrosearch Ltda,	4,22	2,4
Tatra	CPA	Agrosearch Ltda,	3,50	2,0
Favorite	CPA	Agrosearch Ltda,	4,81	2,7
Hornet	HIB	Agrosearch Ltda,	5,94	2,5
Rohan	HIB	Baer	7,40	3,2
Taurus	HIB	Baer	5,36	2,3
Cuillin	HIB	Baer	8,53	3,7
Tadeus	HIB	Baer	10,68	4,6
Tassilo	HIB	KWS	5,84	2,5
Brutus	HIB	KWS	8,28	3,5
Artus	HIB	KWS	5,26	2,3
Triangle	HIB	KWS	4,05	1,7

CPA: cultivar de polinización abierta; HIB: cultivar híbrido

En la temporada 2009 se sembraron los ensayos en cinco localidades, con algunos cambios: la localidad de Gorbea fue reemplazada por Victoria, debido a que en esta última localidad el potencial de rendimientos es mayor y la localidad de El Carmen fue cambiada por Traiguén, ya que ante la falta de precipitaciones en El Carmen no se pudo sembrar en la fecha óptima para el cultivo. Además, se cambiaron algunas variedades, eliminando algunas muy antiguas, de bajo rendimiento y reemplazándolas por otras que actualmente se ofrecen en el mercado (Tabla 33).

Al igual que en 2008, este ensayo se diseñó como bloques completos al azar con cuatro repeticiones en las cinco localidades (Chillán, Los Ángeles, Victoria, Traiguén y Osorno), Los tratamientos correspondieron a 24 variedades de raps; de las cuales 5 son cultivares de polinización abierta (CPA) y 19 son híbridos (HIB) (Tabla 33). Los cultivares e

híbridos fueron facilitados por las empresas Agresearch, Semillas Baer y Molinera Gorbea. Cada unidad experiment constó de 6 hileras de 5 m de largo y sembradas a 30 cm entre hilera.

Tabla 33. Nombre, tipo, origen, peso de mil semillas, y dosis de semillas utilizada en el ensayo de cultivares de rapé en el año 2009.

Nombre cultivar	Cultivar o híbrido	Empresa	Peso de mil semillas (g)	Dosis de semilla (kg/ha)
Galileo	CPA	Agresearch Ltda,	3,92	2,2
Goya	CPA	Agresearch Ltda,	4,64	2,7
Cult	CPA	Agresearch Ltda,	5,72	3,3
Monalisa	HIB	Agresearch Ltda,	5,51	2,4
Rohan	HIB	Baer	7,40	3,2
Taurus	HIB	Baer	5,36	2,3
Exagone	HIB	CIS (M,Gorbea)	5,96	2,6
Vision	CPA	Agresearch Ltda,	4,30	2,5
Sunday	CPA	Agresearch Ltda,	4,80	2,7
Pulsar	HIB	Agresearch Ltda,	4,04	1,7
Sitro	HIB	Agresearch Ltda,	4,96	2,1
SW-6	HIB	Agresearch Ltda,	5,48	2,3
SW- 60	HIB	Agresearch Ltda,	4,40	1,9
SW- 61	HIB	Agresearch Ltda,	5,16	2,2
SW- 62	HIB	Agresearch Ltda,	5,00	2,1
Hornet	HIB	Agresearch Ltda,	5,94	2,5
SW- 63	HIB	Agresearch Ltda,	4,80	2,1
SW- 123	HIB	Agresearch Ltda,	4,76	2,0
SW- 151	HIB	Agresearch Ltda,	4,48	1,9
SW- 152	HIB	Agresearch Ltda,	5,40	2,3
SW- 154	HIB	Agresearch Ltda,	4,64	2,0
SW- 155	HIB	Agresearch Ltda,	4,96	2,1
SW- 158	HIB	Agresearch Ltda,	1,12	1,8
SW- 160	HIB	Agresearch Ltda,	4,72	2,0

CPA: cultivar de polinización abierta; HIB: cultivar híbrido.

6.3. Resultados y discusión

6.3.1 Rendimiento de variedades de camelina

El mayor potencial de rendimiento de camelina se alcanzó en la localidad de Osorno, acercándose a la meta de 2500 kg/ha considerada en el proyecto. No se observaron diferencias significativas entre variedades en ninguna de las localidades (Tabla 34).

Tabla 34. Rendimiento de semillas de variedades de camelina en Chillán, Los Ángeles y Osorno, en el año 2008.

Cultivar o Variedad	Chillán	Los Ángeles	Osorno
	-----kg/ha-----		
Blaine Creek	833,7	1567,7	2224
Gold of Pleasure	871,5	1553,0	2383
Suneson	865,2	1455,3	2213
Yellowstone	771,8	1359,4	2263
DMS (0,05)	NS	NS	NS
CV %	35,0	5,7	11,9

NS: indica que no hay diferencias en rendimiento entre variedades en la misma localidad ($P=0,05$).

En la temporada 2009 se sembraron nuevamente estas variedades de camelina en Chillán, más las nueve líneas nuevas (13 cultivares en total) y Osorno (4 cultivares). En la Tabla 35, se observa que con las cuatro variedades originalmente evaluadas en 2008 durante el segundo año también se logró la mayor densidad de plantas, mayor altura y, lo que es más importante, el mayor rendimiento. Aun así, los rendimientos fueron bajísimos; situación provocada por sequía inicial después de la siembra y por inundaciones parciales durante el invierno.

Tabla 35. Densidad, altura de plantas y rendimiento de semillas de variedades o líneas de camelina en Chillán en el año 2009.

Nombre	Densidad de plantas (plantas/m ²)	Altura de plantas (cm)	Rendimiento de semillas (kg/ha)
Gold of Pleasure	57	84,5	695
Suneson	33	76,7	644
Blaine Creek	54	76,9	621
Yellowstone	22	82,4	484
GP 11	13	79,7	278
GP 12	18	71,9	349
GP 42	29	75,0	317
GP 43	14	76,8	236
GP 68	12	79,3	155
GP 69	23	74,1	240
GP 73	23	72,4	232
GP 102	13	70,7	184
GP 106	20	66,0	113
DMS (0,05)	19	7,1	207
CV, %	51,7	11,5	40

DMS: Diferencia mínima significativa entre tratamientos ($P=0,05$).

En la Tabla 36 se observa que en Osorno no hubo diferencia significativa entre las variedades para los tres parámetros evaluados (densidad, altura y rendimiento). El bajo rendimiento obtenido en este ensayo, así como en el ensayo de fertilidad de camelina y la Fecha 1 de camelina, se explicaron anteriormente y tiene relación con una primavera lluviosa, que promovió el desarrollo vegetativo del cultivo (también de las malezas), registrado en mayor altura de

plantas. Esto se asocia a problemas de tendadura de plantas y posterior desgrane de semillas, que se acrecentó con las lluvias y el fuerte viento en primavera-verano.

Tabla 36. Densidad, altura de plantas y rendimiento de semillas de variedades de camelina en Osorno en el año 2009.

Nombre	Densidad de plantas (plantas/m ²)	Altura de plantas (cm)	Rendimiento de semillas (kg/ha)
Gold of Pleasure	57	92	633
Suneson	81	89	447
Blaine Creek	63	88	800
Yellowstone	74	90	785
DMS (0,05)	NS	NS	NS
CV, %	42,4	11	46,2

NS= No se observaron diferencias significativas entre distintas variedades.

6.3.2. Rendimiento de variedades de raps canola

En el año 2008, el rendimiento de semilla de raps fue afectado por la interacción genotipo x ambiente (Tabla 37). Los ambientes con el mayor potencial de rendimiento fueron Osorno y Chillán, Los mayores rendimientos de semillas superiores a 3000 kg/ha, se lograron con los híbridos Monalisa, con 3263 kg/ha, y Hornet, con 3025 kg/ha (Tabla 37).

En la Figura 1 los genotipos distribuidos más cerca del vector horizontal son más estables y aquellos más alejado de la línea vertical, hacia la derecha, son los de más alto rendimiento. Por lo tanto, de acuerdo al biplot obtenido en el híbrido Monalisa se conjugaron el mayor rendimiento y la mayor estabilidad entre todos los genotipos estudiados seguido de los híbridos Hornet y Rohan. Las variedades Coronet, Cuillin y Tatra fueron de bajo rendimiento promedio en todas las localidades. Por lo tanto, se decidió eliminarlas del ensayo en la temporada 2009-2010. Sin embargo Visión, que también fue de bajo rendimiento, se mantuvo en el ensayo, ya que se usó como testigo de las variedades de polinización abierta en el ensayo de fechas de siembra,

El contenido de aceite fue diferente entre genotipos ($P \leq 0,05$) (Tabla 38). Sin embargo, la interacción entre genotipos y ambientes no fue significativa. El contenido de aceite en las semillas de los híbridos Triangle y Tadeu fueron los más altos entre todos los genotipos, de 44,9 y 44,8 % de aceite, respectivamente.

Tal como se mencionó en la metodología, en el año 2009 cambiaron dos de las cinco localidades, estableciéndose finalmente los ensayos en: Chillán, Los Ángeles, Victoria, Traiguén y Osorno. Además, se cambiaron algunas variedades, eliminando algunas muy antiguas, de bajo rendimiento y reemplazándolas por otras que actualmente ofrece el mercado, quedando un total de 24 variedades de raps canola.

En cuanto a los resultados del segundo año, en Los Ángeles el ensayo se perdió en su totalidad debido, en primer lugar, al descalce de plántulas como consecuencia de las heladas, aumentado por la posición baja del terreno. Como consecuencia de la falta de compactación superficial del suelo la siembra se realizó a mayor profundidad para lograr una correcta germinación y emergencia. Además, las pocas plantas que emergieron estuvieron expuestas al daño causado por los tricahues, que cortaron las plantas.

En las localidades de Victoria y Osorno se lograron los mejores resultados de rendimiento (Tabla 39), con diferencias significativas entre las 24 variedades estudiadas. En Osorno destacó el rendimiento de los híbridos SW-6 y Rohan, con 4415 y 4234 kg/ha, respectivamente, En Victoria se destacaron el híbrido SW-123, con 4010 kg/ha, y el cultivar de polinización abierta Cult, que alcanzó un rendimiento de 3730 kg/ha. Tal como ya se había observado en la primera temporada con los híbridos, se alcanzó los mayores rendimientos, demostrando que son mejores respecto a los cultivares de polinización abierta.

También se observó que los rendimientos en Chillán fueron bajos (Tabla 39), incluso en comparación al año 2008. Esto se atribuye, principalmente, al daño causado por aves y que se estima redujo el rendimiento en aproximadamente un 45 %. Una situación similar se observó en Traiguén, donde el cultivo fue dañado por aves. En ambas localidades no hubo diferencias en el rendimiento entre las 24 variedades. El contenido de aceite varió más entre localidades que entre variedades (Tabla 40). Los contenidos más altos de aceite se observaron en semilla cosechada en Traiguén, donde con la línea SW-6 se alcanzó un 48,4 % de aceite en la semilla.

Tabla 37. Rendimiento de semilla de 26 cultivares e híbridos de raps sembrados en cinco localidades en el año 2008.

Cultivar o híbrido	Tipo	Chillán	El Carmen	Los Ángeles	Gorbea	Osorno	Promedio
-----kg/ha-----							
Monalisa	Hibrido	3550	3725	2634	2547	3857	3263
Goya	CPA	3516	3492	2638	1494	3400	2908
Hornet	Hibrido	3210	3398	2519	2054	3941	3025
Rohan	Hibrido	2978	3291	2762	1580	3939	2910
Exagone	Hibrido	3025	3157	2333	1707	3768	2798
Taurus	Hibrido	3025	3092	2215	1524	2949	2536
Dimension	Hibrido	3663	3057	2730	1094	2957	2700
Galileo	CPA	2902	3028	2392	1372	2758	2490
Favorite	CPA	3150	2989	2320	1340	3000	2560
Triangle	Hibrido	1799	2981	2639	1998	3327	2549
Hammer	Hibrido	3723	2879	2339	956	3051	2590
Brutus	Hibrido	3343	2812	2510	1617	3685	2793
Cult	CPA	3169	2784	2530	1556	3086	2625
SW5	CPA	2819	2769	2626	1610	3686	2702
Livius	CPA	3360	2702	2678	1396	3039	2635
Tadeus	Hibrido	2836	2690	2668	1780	3726	2735
Tatra	CPA	2913	2652	2456	1174	2512	2342
Compact	CPA	2824	2624	2601	1282	3154	2497
Vision	CPA	2523	2611	2041	1217	3099	2298
Liprima	CPA	3217	2598	2349	1587	2778	2506
Tassilo	Hibrido	2703	2383	2538	1685	3614	2578
Lilian	CPA	3418	2315	2199	1303	3421	2549
Artus	Hibrido	2334	3166	2202	1474	3090	2453
Cuillin	Hibrido	2492	2129	2470	1395	3369	2365
Sunday	CPA	3308	2273	2120	1474	3318	2499
Coronet	CPA	2795	1567	2328	1292	2944	2185

DMS (0,05)	719	928	NS	509	636	411
CV, %	16	23	17	37	14	18

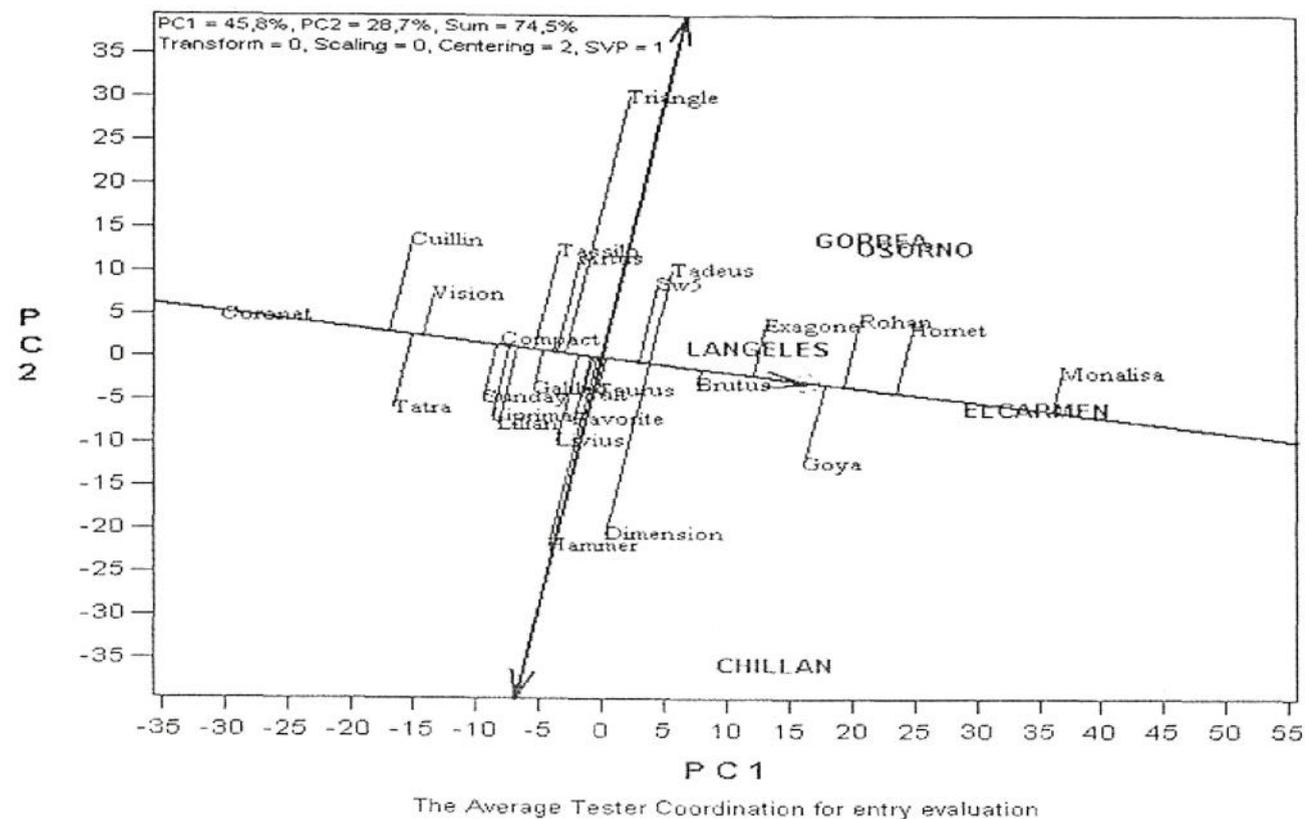


Figura 1. Biplot de la interacción genotipo-ambiente de 26 genotipos de raps cultivados en cinco ambientes (Chillán, El Carmen, Los Ángeles, Gorbea y Osorno) mostrando la estabilidad de rendimiento en el año 2008.

Tabla 38. Contenido de aceite en semillas de 26 cultivares o híbridos de raps sembrados en cinco localidades en el año 2008.

Cultivar o híbrido	Chillán	El Carmen	Los Ángeles	Gorbea	Osorno	Promedio
	-----%-----					
Monalisa	42,8	41,5	43,9	41,5	42,7	42,5
Goya	43,3	42,3	41,5	41,6	43,7	43,2
Hornet	42,2	43,1	43,0	42,2	45,2	43,6
Rohan	43,6	42,6	45,0	42,5	44,7	43,7
Exagone	43,0	41,9	41,9	41,8	42,7	42,3
Taurus	44,0	43,0	44,2	42,3	44,5	43,6
Dimension	45,2	42,6	44,9	43,1	46,9	44,4
Galileo	43,5	42,3	44,9	43,5	43,5	44,3
Favorite	45,2	42,8	45,2	43,6	44,7	41,5
Triangle	40,5	41,2	41,0	39,8	44,2	44,3
Hammer	45,1	44,6	45,1	43,7	45,9	44,9
Brutus	45,4	43,3	45,1	42,1	46,6	44,5
Cult	44,1	41,3	45,1	43,0	42,7	43,3
SW5	41,8	41,3	42,9	41,6	42,8	42,1
Livius	42,6	43,0	43,3	41,8	42,7	42,7
Tadeus	45,0	42,5	44,5	41,4	44,7	43,7
Tatra	45,7	43,1	44,6	43,8	47,0	44,8
Compact	43,2	42,8	44,5	42,1	44,4	43,4
Vision	44,1	41,3	43,9	41,0	42,5	42,6
Liprima	42,1	40,7	43,2	41,1	41,5	41,8
Tassilo	44,9	43,1	43,1	42,7	44,6	43,7
Lilian	46,9	43,2	46,6	42,8	45,8	45,1
Artus	43,3	41,1	43,4	42,0	44,0	42,8
Cuillin	44,2	43,3	44,7	43,1	46,0	44,3
Sunday	44,1	41,8	42,6	42,2	44,0	42,9
Coronet	42,1	41,4	42,9	41,5	42	42,0

DMS (0,05)	1,35	1,76	2,5	1,4	2,5	1,0
CV, %	1,5	2,0	2,7	1,5	2,7	2,2

NS: indica que no se detectaron diferencias significativas entre variedades ($P \leq 0,05$).

Fechas de siembra: Chillán 21/04, El Carmen 22/04, Los Ángeles 24/04, Gorbea 29/04 y Osorno 07/05.

Tabla 39. Rendimiento de semillas de 24 cultivares o híbridos de raps sembradas en cuatro localidades durante el año 2009.

Cultivar o híbrido	Localidad			
	Chillán	Victoria	Traiguén	Osorno
	-----kg/ha-----			
Galileo	1087	2551	1504	2964
Goya	1011	2654	1260	3124
Cult	1222	3730	1957	2851
Monalisa	1054	3042	1480	2374
Rohan	1176	3547	1618	4234
Taurus	1235	2780	1167	3253
Exagone	1578	2988	1684	3405
Vision	1082	2902	1729	2478
Sunday	930	2246	1368	2461
Pulsar	923	1476	1506	2310
Sitro	988	1685	1836	1873
SW-6	1384	2899	1741	3377
SW- 60	926	2497	1354	2992
SW- 61	809	1956	1623	3393
SW- 62	1092	3017	1199	4415
Hornet	859	2462	1826	2473
SW- 63	1134	2883	2355	3069
SW- 123	906	4010	1613	3366
SW- 151	932	3242	2177	2293
SW- 152	989	3347	1767	3775
SW- 154	1104	2761	1455	3205
SW- 155	1311	3395	1620	2630
SW- 158	1129	2690	1697	2633
SW- 160	1520	3081	1431	3045
DMS (0,05)	NS	779,3	NS	940,6
CV, %	35,37	19,5	40,1	19

NS= No se observaron diferencias significativas entre distintas dosis ($P=0,05$).

Tabla 40. Contenido de aceite en semillas de 24 cultivares o híbridos de raps sembradas en cuatro localidades durante el año 2009.

Cultivar o híbrido	Chillán	Victoria	Traiguén	Osorno
	-----%-----			
Goya	38,32	40,56	44,98	45,47
Cult	39,65	41,88	46,44	45,09
Exagone	43,02	44,79	45,83	45,66
Galileo	39,41	41,90	48,21	44,64
Hornet	40,18	40,97	48,22	44,39
Monalisa	39,25	39,86	46,50	44,78
Pulsar	40,69	41,92	47,89	45,11
Rohan	41,45	40,87	47,99	44,64
Sitro	41,42	41,44	47,06	43,90
Sunday	41,33	42,30	47,78	45,35
SW-123	40,86	40,38	47,09	45,11
SW-151	40,78	40,42	45,68	44,95
SW-152	40,72	43,01	47,89	46,17
SW-154	39,89	41,77	46,51	45,41
SW-155	41,16	43,48	46,23	45,94
SW-158	42,06	39,95	46,34	45,24
SW-160	40,60	40,45	46,01	44,55
SW-6	41,82	43,37	48,44	44,94
SW-60	40,70	40,25	45,84	45,87
SW-61	40,46	41,03	47,86	45,66
SW-62	39,61	39,95	45,74	44,41
SW-63	41,25	40,50	47,33	44,94

7. Producción y caracterización de biodiesel de camelina

7.1 Objetivos

7.1.1 Objetivos generales

- Validar el aceite de camelina y mostaza como producto de calidad para la producción de biodiesel.
- Obtener biodiesel a partir de semilla de *Camelina sativa* y caracterizarlo.

7.1.2. Objetivos específicos

- Extraer aceite de la semilla de *Camelina sativa* utilizando prensado mecánico en frío
- Caracterizar el aceite obtenido
- Producir y caracterizar biodiesel en laboratorio

7.2. Materiales y métodos

Los reactivos utilizados en la metanólisis (metanol e hidróxido de sodio) fueron de grado analítico. Todos los otros reactivos utilizados también fueron de grado analítico.

Extracción del aceite de camelina

El aceite de la semilla de camelina fue extraída en frío por prensado mecánico (Fig. 2, Fig. 3 y Fig. 4) en el Laboratorio de Agroindustria del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de La Frontera, Temuco, En este estudio se evaluó la producción de biodiesel de *Camelina sativa* por catálisis alcalina.

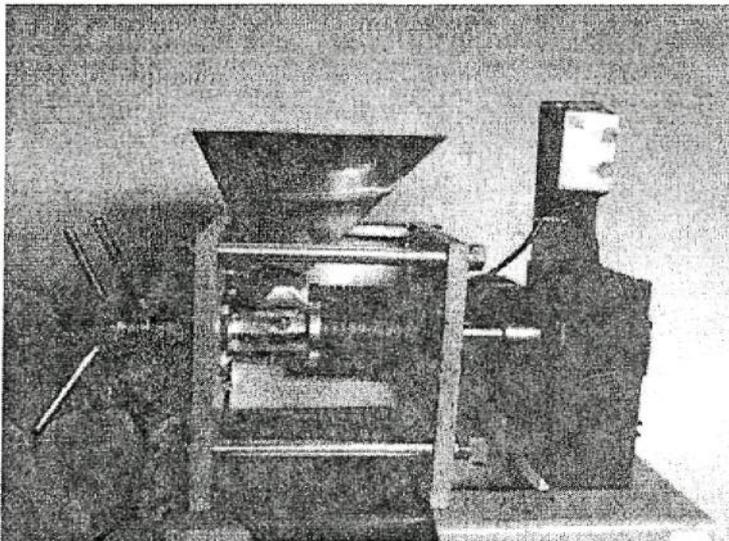


Figura 2. Prensa mecánica para extracción de aceite, Laboratorio de Agroindustria – Universidad de La Frontera.

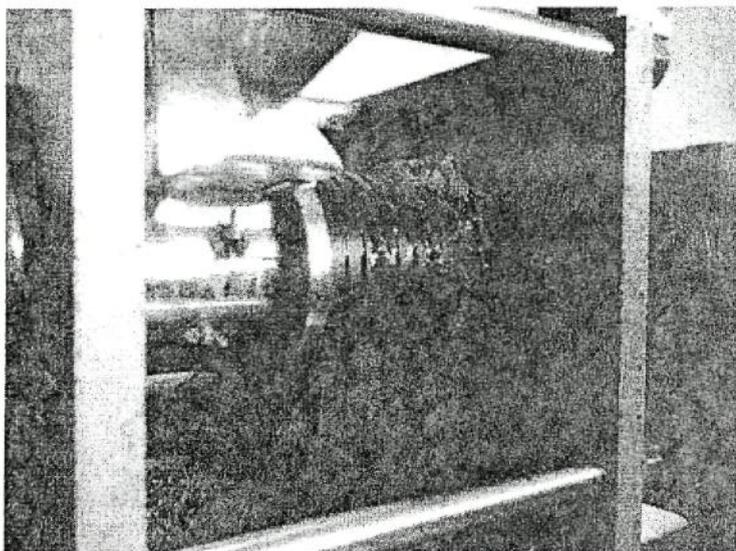


Figura 3. Extracción de aceite.

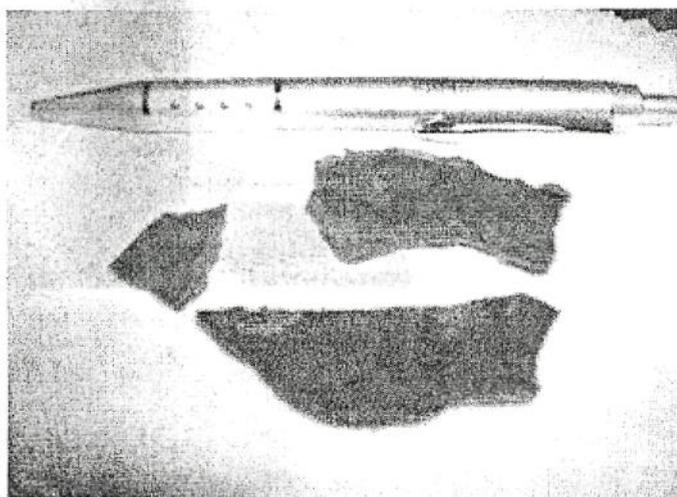


Figura 4. Torta obtenida después de la extracción de aceite.

Caracterización del aceite de Camelina sativa

Se procedió inicialmente a caracterizar el aceite de camelina. El índice de acidez se determinó por titulación calorimétrica en función de los gramos de KOH necesarios para neutralizar 10 g de lípidos (mg KOH/g), además del contenido de ácidos grasos libres (AGL) (Hart y Fisher, 1971).

La densidad se midió con un densímetro manual. La viscosidad se evaluó registrando el tiempo que demora en fluir por gravedad un volumen conocido de aceite (lípidos) a una temperatura de 40°C, empleando un viscosímetro capilar calibrado. El índice de yodo, determinado en función de los gramos de yodo absorbidos por 100 g de muestra, sirvió para determinar el grado de insaturación (Hart y Fisher, (1971). El índice de saponificación se determinó según Cd-3a-94. Para identificar el perfil lipídico del aceite de camelina se usó la metodología de Araujo (1996). Para esto, la muestra fue hidrolizada con KOH/CH₃OH (0,5 M a 100°C por 5 min) y esterificada con HCl/ CH₃OH (4:1 v:v, a

100°C por 15 min). Posteriormente se realizó una extracción con agua y éter de petróleo, recogándose el sobrenadante, el cual fue inyectado en el cromatógrafo de gases (GC/MS) para su análisis.

Metanólisis del aceite de camelina

Se utilizó como alcohol metanol y como catalizador hidróxido de sodio. Además, debido a que su contenido de ácidos grasos libres (AGL) fue inferior al 1%, se realizó la síntesis con 0,35% p:p de catalizador. Se mantuvo constante la agitación, la temperatura, la razón molar metanol/aceite y el tiempo de reacción. Una vez finalizada esta última, la muestra fue centrifugada para recuperar el sobrenadante o biodiesel. En la parte inferior del tubo de centrifuga sedimentó el subproducto de la reacción, que es glicerina. Luego, el biodiesel fue lavado con agua fría para eliminar tanto al catalizador como el exceso de alcohol.

Análisis por cromatografía de gases (GC/MS)

La determinación del perfil lipídico y de metil ésteres (ME) en el biodiesel, además de la cuantificación de la conversión ME (% p/p) se realizó por GC/MS. Para la cromatografía las muestras se inyectaron en un cromatógrafo de gases Clarus 600, acoplado a un espectrómetro de masa Clarus 600T Perkin Elmer, utilizando helio como gas carrier y metil heptadecanoato como estándar interno. La columna utilizada fue Elite 5ms, de 30 m de largo, 0,1 μm de espesor y diámetro interno de 0,25 mm. La temperatura del inyector se mantuvo en 250°C.

7.3. Resultados

Se presentan en los siguientes puntos los resultados del proceso de extracción, caracterización y transesterificación del aceite de *Camelina sativa*, obtenido en el Laboratorio de Biocombustibles de la Universidad de La Frontera.

Extracción de aceite

Los resultados de la extracción de aceite mediante prensado en frío se muestran en la Tabla 41.

Tabla 41. Resultados de la extracción del aceite de *Camelina sativa*.

Parámetro	valor
Peso total	3000 g
Peso torta	2620 g
Peso aceite	340 g
Densidad	0,920 g/cm ³
Volumen	370 cm ³
Contenido de aceite	11,33 % p/p

Caracterización del aceite de *Camelina sativa*

Los resultados de la caracterización del aceite de *Camelina sativa* se presentan en la Tabla 42 y los principales ácidos grasos en la Figura 7. Se observa que en el aceite, el ácido linolénico se encuentra en mayor cantidad, lo que afecta su estabilidad oxidativa, traduciéndose también en un mayor índice de yodo en comparación a otros aceites, como el raps. El índice de yodo es una medida del grado de insaturación, además de entregar información sobre el nivel de oxidación de una muestra. El índice de yodo del aceite de camelina es de 148,51 g yodo/100 g, mientras que del raps es de 110 g yodo/100g (Moser y Vaughn, 2010). Por otro lado, el mayor contenido ácidos grasos insaturados disminuye la viscosidad del aceite. El aceite de camelina tiene una viscosidad 33,71 cSt, menor al promedio de 36 cSt determinado para el aceite de raps, lo que está indicando que el raps tiene un menor contenido de ácidos grasos insaturados respecto al aceite de camelina. El aceite de palma, en cambio, tiene una viscosidad de 41,69 cSt, siendo un aceite más saturado que el de raps y camelina.

Un mayor contenido de ácidos grasos insaturados favorece propiedades del aceite a baja temperatura, tales como el punto de escurrimiento (PE), punto de obstrucción del filtro en frío (PBFF) y punto de niebla (PN). Un biodiesel obtenido de un aceite más saturado, como el de aceite de palma (compuesto de un 41,6% p/p de ácido palmítico), tiene mejores propiedades en frío (PN: 17°C, PE:15°C y POFF: 12°C) en comparación a un aceite más insaturado. Moser y Vought (2010) determinaron que el para el metil ester a partir de los ácidos grasos camelina un PN de 3°C, PE de 4°C y un valor de -3°C para POFF. Por su baja acidez y AGL permite que el aceite sea transesterificado a metil éster (Fig. 5) con un catalizador alcalino homogéneo, como NaOH, sin realizar un pretratamiento previo para disminuir la acidez.

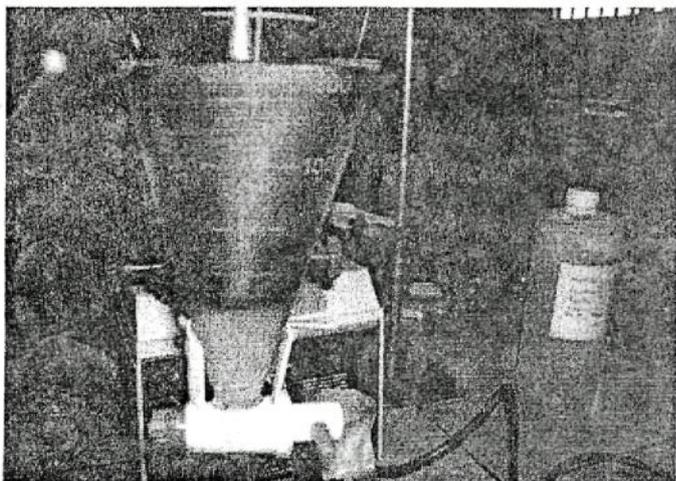


Figura 5. Transesterificación de aceite de *Camelina sativa*, Laboratorio de Biocombustibles.

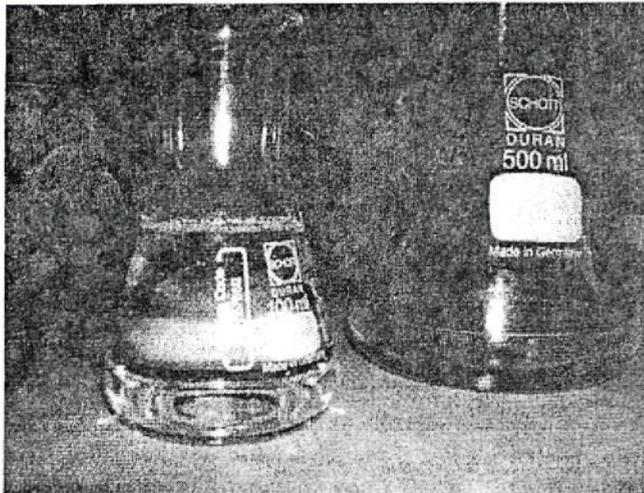


Figura 6. Aceite y biodiesel de *Camelina sativa*, Laboratorio de Biocombustibles.

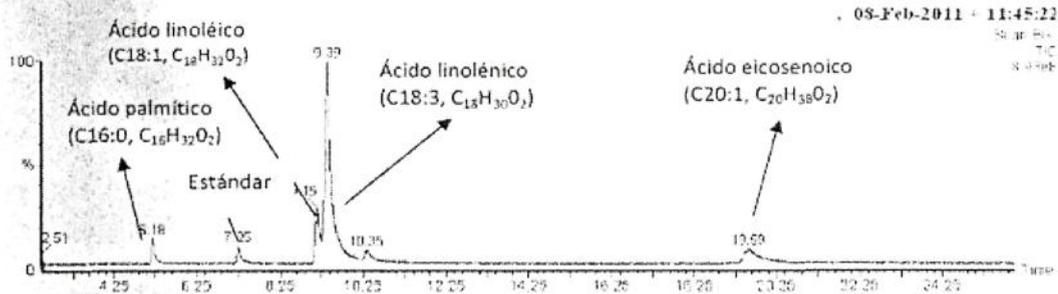


Figura 7. Principales ácidos grasos identificados en el aceite de camelina, Laboratorio de Biocombustibles.

Tabla 42. Caracterización del aceite de *Camelina sativa*, Laboratorio de Biocombustibles.

Propiedades	Unidad	Resultado
Densidad	kg/m ³	923,8
Viscosidad	cSt	33,71
Índice de yodo	g yodo/100 g	148,51
Índice de acidez	mg KOH/g	0,38
Ácidos grasos libres (AGL)	%	0,21
Índice de saponificación		189,18
Peso molecular		851,55
Ácidos grasos		
Acido palmítico (C16:0)	% del aceite	6,49
Ácido linoleico (C18:2)	% del aceite	17,55
Ácido linolénico (C18:3)	% del aceite	51,48
Ácido eicosenoico (C20:1)	% del aceite	19,46

Caracterización del biodiesel de *Camelina sativa*

Los resultados del ensayo se presentan en la Tabla 43. Se obtuvo una conversión de 94,3% utilizando una concentración de catalizador de 0,35% (p/p), valor bajo lo establecido por la norma chilena DS11 (>96,5%). El valor obtenido para la viscosidad fue de 5,5 cSt, consignándose fuera del rango establecido por la misma norma, entre 3,5 y 5,0 cSt. Los mayores niveles de viscosidad (de acuerdo a lo establecido en la norma), podría afectar la atomización y la posterior combustión. Del perfil de metil ésteres se observa un alto grado de ácidos grasos insaturados, con una concentración de ácido linolénico de 53,1 % (Fig. 9), los que se confirma con el valor de índice de yodo obtenido. El biodiesel con mayor contenido en insaturaciones es menos estable a la oxidación que uno formado por cadenas más saturadas, debido a la oxidación de las cadenas insaturadas con la formación de hidroperóxidos, los cuales pueden polimerizar formando gomas insolubles tapando los filtros del motor. La estabilidad a la oxidación ha sido reportada para el metil éster de camelina en 2,5 h y para un biodiesel más saturado como la palma en 10,3 h (Moser y Vaughn, 2010).

Tabla 43. Resultados de la caracterización del biodiesel de aceite de camelina.

Propiedades	Método	Resultados	Límite
Densidad (kg/m ³)	EN ISO3675	895	860-900
Viscosidad (cSt)	EN ISO 3104	5,5	3,5-5
Índice de yodo (g yodo/100 g)	EN 14111	148,7	<120
Índice de acidez (mg KOH/g)	EN 14104	0,52	<0,5
Metil éster (%)	EN 14103	94,3	>96,5
Metil éster de ácido linolénico (%)	EN 14103	53,1	12 max.
Metil éster de ácidos poliinsaturados (≥ 4 doble enlaces)		0	1
Índice de saponificación	AOCS Cd-3a-94	187,6	-
Peso molecular medio (g/mol)		286,4	-
Porcentajes de metil ésteres			
Metil éster de ácido palmítico (%)		3,8	
Metil éster de ácido linoleico (%)		-	
Metil éster de ácido linolénico (%)		58,7	
Metil éster de ácido araquidónico (%)		3,6	
Metil éster de ácido eicosenoico (%)		16,3	
Metil éster de ácido docosanoico (%)		1,2	
Metil éster de ácido erúxico (%)		1,2	

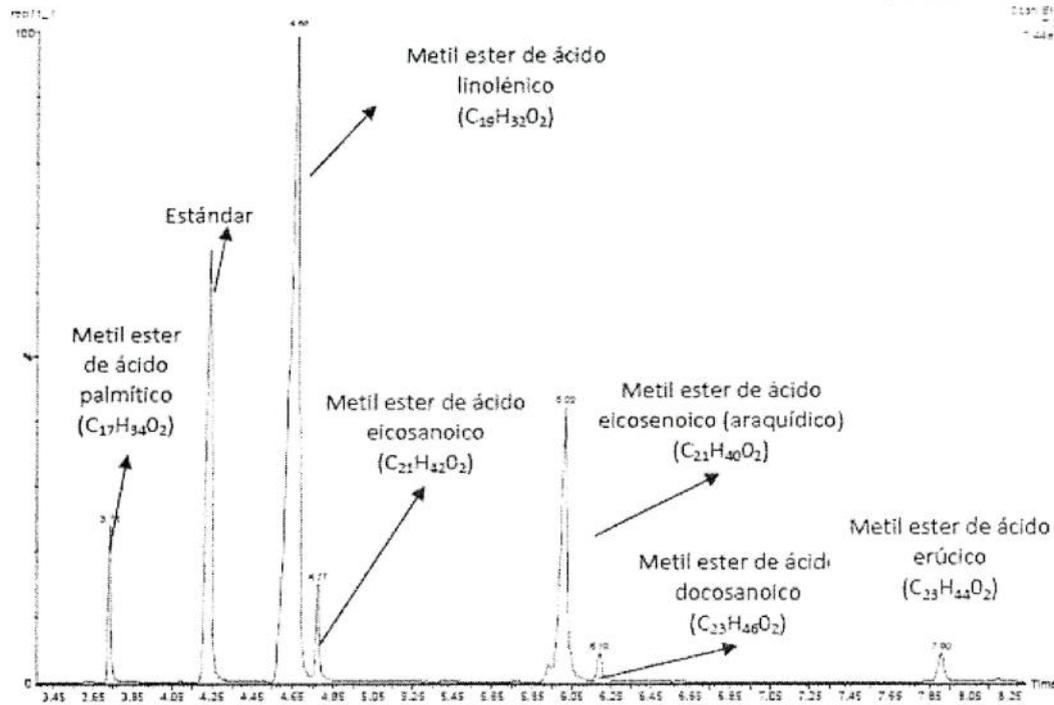


Figura 9. Cromatograma de una muestra de biodiesel de camelina.

8.4. Conclusiones

- Dada la acidez del aceite de camelina es posible emplear una transesterificación alcalina, utilizando, con buenos resultados, hidróxido de sodio (NaOH).
- A pesar que el porcentaje de conversión y la viscosidad del biocombustible de camelina se encuentra fuera de los límites establecidos por la norma chilena para biodiesel (DS N°11), los resultados demuestran que es posible utilizarlo, después de realizar una transesterificación alcalina satisfactoria. Es posiblemente lograr porcentajes de conversión superiores, ajustando óptimamente los porcentajes del catalizador, la relación metanol/aceite, la temperatura, la agitación y el tiempo de reacción.
- El valor de viscosidad obtenido está fuera de los límites de la norma chilena. Sin embargo, como este parámetro se encuentra ligado al contenido de metil ésteres del biodiesel, disminuyendo su valor a medida que el porcentaje de conversión aumenta.
- El metil éster presente en mayor concentración, tanto en el aceite virgen como en el biodiesel, es el linolénico, un ácido graso insaturado. La presencia de éste ácido graso reduce la estabilidad a la oxidación, sintetizándose gomas insolubles, que pueden obstruir los conductos de combustibles, bombas e inyectores en sistemas de pulverización de combustibles. Este resultado se condice bien con el valor del índice de yodo determinado. Por otra parte, un mayor porcentaje de cadenas insaturadas incide en un mejor comportamiento a bajas temperatura, disminuyendo el punto de obstrucción al filtro en frío (PBFF), el punto de niebla (PN) y el punto de escurrimiento (PE).

8. Análisis económico del cultivo de camelina y mostaza oriental en comparación a raps.

8.1. Objetivos

8.1.1. Demostrar, mediante evaluaciones técnica-económicas, el menor costo de producción y la mayor rentabilidad de los cultivos de camelina y mostaza oriental en relación con el cultivo de raps.

8.1.2. Validar técnica y económicamente los cultivos de camelina y mostaza oriental en las Regiones del Bío-Bío, de la Araucanía y de los Lagos como alternativas de cultivo más rentables y competitivas en comparación al cultivo de raps.

8.1.3. Transferir la tecnología de manejo del cultivo de las especies y variedades de camelina y mostaza oriental con mayor potencial agronómico y de mercado.

8.2. Materiales y métodos

Durante el año 2010 se sembraron a escala semi-comercial 1 ha de camelina y 1 ha de mostaza oriental en cuatro localidades: Chillán, El Carmen y Los Ángeles (Región del Bio-Bío) y Osorno (Región de los Lagos). Después de la cosecha se calcularon los costos reales de producción, el ingreso neto obtenido y la factibilidad de utilizar estos cultivos como fuente de materia prima para la elaboración de biodiesel, cuyos parámetros de calidad se evaluaron en el Capítulo 7.

Los cultivos se sembraron con una sembradora cerealera en hileras separadas a 30 cm. Para obtener esta distancia se cubrió un dosificador de semilla por medio. La camelina se sembró en una dosis de 7 kg/ha y la mostaza oriental con 8 kg/ha. En todas las localidades se sembró bajo el sistema de cero labranza, sobre rastrojo de trigo. El manejo realizado en cada localidad se detalla en la Tabla 44. En el caso de Chillán, la superficie a cultivar con camelina o mostaza oriental se dividió en tres, ya que se sembró una franja de cada una de las tres variedades con mejores resultados en los ensayos de variedades y fechas de siembra. Para camelina estas variedades fueron: Gold of Pleasure, Blaine Creek y Suneson. En el caso de mostaza oriental se utilizaron las tres líneas disponibles: J052-014556, J052-07993 y J052-07146. Tanto en Los Ángeles como Osorno se sembró sólo la variedad de camelina Gold of Pleasure de camelina, mientras que en El Carmen sólo la variedad Suneson. En todas las localidades sólo se sembró mostaza oriental variedad J052-014556.

Tabla 44. Labores realizadas en siembras semi-comerciales de camelina y mostaza en año 2010.

Actividad	Chillán	El Carmen	Los Ángeles	Osorno
Fecha de siembra	09/05/10	19/05/10	03/06/10	07/06/10
Fertilización				
Fertilizante/dosis	SFT, 50 kg P ₂ O ₅ /ha	SFT, 50 kg P ₂ O ₅ /ha	SFT, 50 kg P ₂ O ₅ /ha	N, P, K, S, Zn y B (140 kg/ha mezcla)
Fertilizante/dosis	Muriato de potasio, 50 kg K ₂ O/ha	-	Muriato de potasio 50 kg K ₂ O/ha	-
Fertilizante/dosis	Fertiyeso, 40 S kg/ha	Fertiyeso, 40 S kg/ha	Fertiyeso, 40 S kg/ha	Fertiyeso, 40 S kg/ha
Fertilizante/dosis	Urea, 75- 200 kg N/ha	Urea, 75- 200 kg N/ha	Urea, 75- 200 kg N/ha	Urea, 75-200 kg N/ha
Observación	El S y N fueron parcializados en dos aplicaciones (50% en cada una), La dosis menor de N corresponde a camelina y la mayor a mostaza oriental,			
Molusquicida				
Producto/dosis	Metarex (metaldehído), 5kg/ha	Metarex, 5 kg/ha	Metarex, 5 kg/ha	Metarex, 5 kg/ha
Observación	Aplicado en mostaza oriental, por los daños observados en años anteriores,			
Herbicidas				
Producto/dosis	Glifos 480 (glifosato), 3 L/ha	Glifos 480, 3 L/ha	Panzer Gold (glifosato), 3L/ha	Panzer Gold 3L/ha
Observación	Control total de malezas, utilizados en barbecho químico antes de sembrar			
Producto/dosis	Aramo (tepraloxymid), 1 L/ha	Aramo, (tepraloxymid), 1 L/ha	Centurión 240 EC (clethodim), 1 L/ha	Aramo(tepraloxymid), 1 L/ha
Observación	Control de malezas gramíneas en camelina			
Producto/dosis	Eurolightning (imazamox + imazapyr), 1,25 L/ha	Eurolightning (imazamox + imazapyr), 1,25 L/ha	Eurolightning (imazamox + imazapyr), 1,25 L/ha	Eurolightning (imazamox + imazapyr), 1,25 L/ha
Observación	De amplio espectro utilizado en variedades de mostaza oriental Clearfield™			
Funguicidas				
Producto/dosis	Prosaro (imazamox + imazapyr), 0,8 L/ha	Prosaro(imazamox + imazapyr), 0,8 L/ha	Stereo (propiconazol +cyprodynil), 1,5 L/ha	Stereo(propiconazol +cyprodynil), 1,5 L/ha
Observación	Controlan hongos como <i>Phoma</i> en mostaza oriental			
Insecticidas				
Producto/dosis	Lorsban† (clorpirifos), 0,5 L/ha	Lorsban† (clorpirifos), 0,5 L/h	Lorsban† (clorpirifos), 0,5 L/ha	Lorsban† (clorpirifos), 0,5 L/ha*
Producto/dosis	Karate, Zeon‡ (lambdacihalotrina), 0,2 L/ha	Karate Zeon (lambdacihalotrina), 0,2 L/ha	Karate Zeon (lambdacihalotrina), 0,2 L/ha	Karate Zeon (lambdacihalotrina), 0,2 L/ha
Observación	† Controla gusanos cortadores en mostaza oriental ‡Controla áfidos en mostaza oriental			

8.3. Resultados y discusión

En la Tabla 45 se muestra el rendimiento de semilla y contenido de aceite de camelina y mostaza para cada una de las tres variedades evaluadas en Chillán. Se observa que el mayor rendimiento de semilla de camelina se obtuvo con la variedad Blaine Creek, la cual también alcanzó un alto porcentaje de aceite, aunque levemente inferior al determinado en la variedad Suneson.

Para mostaza oriental se alcanzó el mayor rendimiento de semilla con la línea J052-07146, que también alcanzó un alto porcentaje de aceite, donde debe destacarse que fue mayor al promedio obtenido entre las tres variedades estudiadas.

Tabla 45. Rendimiento de semilla y contenido de aceite camelina y mostaza oriental sembradas pre comercialmente en Chillán en 2010.

Cultivo	Variedad	Rendimiento de semillas	Aceite
		-----kg/ha-----	----%----
Camelina	Gold of Pleasure	1300	43,25
Camelina	Suneson	1378	44,85
Camelina	Blaine Creek	1566	44,11
Promedio		1414	44,07
Mostaza oriental	J052-014556	746	41,08
Mostaza oriental	J052-07146	1122	42,62
Mostaza oriental	J052-07993	978	42,86
Promedio		949	42,18

En la Tabla 46, se resume el rendimiento de semillas obtenido en ambos cultivos en las cuatro localidades evaluadas. Se observa que para ambos cultivos el rendimiento aumentó en la medida que fueron sembrados más hacia el sur de Chile, alcanzando el mejor resultado en Osorno, con rendimientos de 2300 kg/ha de camelina y 2200 kg/ha de mostaza oriental. En la Tabla 46, posible observar la tendencia al incremento de los rendimientos a medida que el cultivo se realizó más al sur. Además, se observa que en Los Ángeles y Osorno se estrecha la brecha de rendimientos entre camelina y mostaza, la que es más pronunciada en Chillán y El Carmen a favor de camelina. Estos resultados obtenidos con siembras precomerciales concuerdan con los previamente obtenidos en los ensayos durante dos años, en especial lo referente al mayor potencial de rendimientos logrado en Osorno para ambos cultivos.

Tabla 46. Rendimiento de semillas de camelina y mostaza en una siembra precomercial en cuatro localidades en 2010.

Cultivo	Chillán	El Carmen	Los Ángeles	Osorno
	-----kg/ha-----			
Camelina	1414	2000	2200	2300
Mostaza oriental	949	1700	2000	2200

En la Tabla 47, se presentan los resultados de contenido de aceite de las semillas de camelina y mostaza oriental en las cuatro localidades donde se les cultivó. En ambos casos el contenido de aceite en semillas de camelina fue mayor que en las de mostaza oriental. Además, se observa que el menor contenido de aceite en ambos cultivos se obtuvo en Los Ángeles. Esto pareciera contradecirse al comparar con los ensayos de campo, donde se llegó a obtener un 45% de aceite en semillas de camelina

en Los Ángeles. Sin embargo, la respuesta en la siembra precomercial se debió a la fecha de siembra, que fue muy tardía (03/06/10). Esto fue más notorio aún para mostaza oriental, donde los resultados del ensayo de fechas de siembra mostraron que con las dos o tres primeras fechas se obtiene el mayor rendimiento de semillas y contenido de aceite. Esto demuestra que el principal factor limitante sobre el rendimiento de estos cultivos es la fecha de siembra, la que debe ser temprana en el otoño, inmediatamente después de las primeras precipitaciones. Sólo de esta forma las plantas están más desarrolladas al momento de la época de heladas otoñales, alcanzar un mayor área foliar en primavera con el fin de utilizar los productos de la fotosíntesis en la fase reproductiva de la planta. Así se obtiene una mayor producción de frutos por planta y mayor peso de semillas.

Tabla 47. Contenido de aceite de camelina y mostaza oriental en siembra precomercial en cuatro localidades.

Cultivo	Chillán	El Carmen	Los Ángeles	Osorno
	-----%-----			
Camelina	44,07	44,88	41,26	42,58
Mostaza	42,18	38,53	36,87	41,48

En las Tablas 48, 49 y 50 se detallan los costos de producción y los ingresos por venta de semillas de camelina, mostaza oriental y raps canola utilizando los costos de producción de la localidad de Osorno en 2010.

Tabla 48. Costos de producción de camelina en siembra precomercial en la zona de Osorno.

Item	Cantidad	Unidad	Valor unidad (\$)	Total
MAQUINARIA				
Pulverizador	1	JH	8500	\$ 8,500
Sembradora	1	JH	20000	\$ 20,000
Trompo	1	JH	7000	\$ 7,000
Cosechadora	1	JH	40000	\$ 40,000
Total maquinaria				\$ 75,500
INSUMOS				
semilla	7	Kg	5000	\$ 35,000
Panzer Gold (herbicida)	3	L	1743	\$ 5,229
Aramo (herbicida)	1	L	20230	\$ 20,230
Fertilización con N (Urea)	75	UN	697	\$ 52,275
Fertilización con P (SFT)	50	UP	795	\$ 39,750
Fertilización con S (Fertiyeso)	40	US	653	\$ 26,120
Total insumos				\$ 178,604
MANO DE OBRA				
Siembra	2	JH	6000	\$ 12,000
Cosecha	2	JH	6000	\$ 12,000
Total mano de obra				\$ 24,000
FLETES				
Insumos	0,8	Ton	4000	\$ 3,200
Productos	2,3	Ton	4000	\$ 9,200
Total fletes				\$ 12,400
Costo de producción \$/ha				\$ 290,504
Ingreso bruto/ha	2,3	Ton	450	\$ 491,625
Ingreso neto/ha				\$ 201,121

Ingreso bruto: se estimó con el rendimiento promedio obtenido por localidad a un valor de US\$450/ton, precio actual del raps en el mercado nacional, Valor dólar = US\$ 475.

Tabla 49. Costos de producción de mostaza oriental en siembra precomercial Osorno.

Item	Cantidad	Unidad	Valor unidad	Total
MAQUINARIA				
Pulverizador	1	JH	8500	\$ 8,500
Sembradora	1	JH	20000	\$ 20,000
Trompo	1	JH	7000	\$ 7,000
Cosechadora	1	JH	40000	\$ 40,000
Total maquinaria				\$ 75,500
INSUMOS				
Semilla	8	Kg	5000	\$ 40,000
Panzer Gold (herbicida)	3	L	1743	\$ 5,229
Metarex (molusquicida)	5	Kg	5890	\$ 29,450
Eurolightning (herbicida)	1,25	L	32880	\$ 41,100
Stereo (funguicida)	1,5	L	12852	\$ 19,278
Lorsban (insecticida)	0,5	L	3689	\$ 1,845
karate zeon (insecticida)	0,2	L	27370	\$ 5,474
Fertilización con N (Urea)	200	UN	697	\$ 139,400
Fertilización con P (SFT)	50	UP	795	\$ 39,750
Fertilización con S (Fertiyeso)	40	US	653	\$ 26,120
Total insumos				\$ 347,646
MANO DE OBRA				
Siembra	2	JH	6000	\$ 12,000
Cosecha	2	JH	6000	\$ 12,000
Total mano de obra				\$ 24,000
FLETES				
Insumos	1,3	Ton	4000	\$ 5,200
Productos	2,2	Ton	4000	\$ 8,800
Total fletes				\$ 14,000
Costo de producción \$/ha				\$ 461,146
Ingreso bruto/ha	2,2	Ton	450	\$ 470, 250
Ingreso neto/ha				\$ 9,105

Ingreso bruto: se estimó con el rendimiento promedio obtenido por localidad a un valor de US\$450/ton, precio actual del raps en el mercado nacional, Valor dólar = US\$ 475.

Al analizar estas dos tablas, es posible deducir que hay una diferencia apreciable entre el ingreso neto de camelina y mostaza oriental. Esta diferencia se atribuye a los mayores costos de producción de la mostaza oriental, entre los cuales se puede mencionar, por ejemplo, la necesidad de utilizar funguicidas e insecticidas, además de una mayor cantidad de fertilizante nitrogenado para lograr su potencial de rendimiento. Otro elemento que sube el costo de la mostaza es la utilización del herbicida Eurolightning, el cual es bastante caro, pero se justifica su uso por la buena eficiencia en el control de malezas de hoja ancha,

En la Tabla 51 se comparan los ingresos netos de camelina, mostaza oriental y raps en las cuatro localidades evaluadas. Se observa que la rentabilidad de camelina y mostaza oriental aumenta en la medida que el cultivo se establece más hacia el sur de Chile. Sin embargo, debe desatacarse que el cultivo de mostaza oriental fue mínimamente rentable sólo en Osorno, presentando rentabilidades negativas en todas las demás localidades. Esto se atribuye, en primer lugar, al bajo rendimiento

obtenido en las demás localidades, producto de las condiciones climáticas y al alto costo de producción del cultivo, El último factor podría disminuirse si se hiciera un manejo del cultivo en base a “respuesta”; es decir, haciendo uso de agroquímicos sólo en caso de llegar a un umbral de daño económico y no un manejo preventivo, en el que se hace uso de agroquímicos por calendario antes de que se presente el problema.

Tabla 50. Costos de producción de raps-canola en siembra precomercial en Osorno y El Carmen.

Item	Cantidad	Unidad	Valor unidad (\$)	Total
MAQUINARIA				
Pulverizador	1	JH	8500	\$ 8.500
Sembradora	1	JH	20000	\$ 20.000
Trompo	1	JH	7000	\$ 7.000
Cosechadora	1	JH	40000	\$ 40.000
Total maquinaria				\$ 75.500
INSUMOS				
semilla	8	Kg	5000	\$ 40.000
Panzer (herbicida)	3	L	1743	\$ 5.229
Metarex (molusquicida)	5	Kg	5890	\$ 29.450
Herbicida (varios)	2	L	35000	\$ 70.000
Stereo (funguicida)	1.5	L	12852	\$ 19.278
Lorsban (insecticida)	0.5	L	3689	\$ 1.845
karate zeon (insecticida)	0.2	L	27370	\$ 5.474
Fertilización con N (Urea)	200	UN	697	\$ 139.400
Fertilización con P (SFT)	50	UP	795	\$ 39.750
Fertilización con S (Fertiyeso)	40	US	653	\$ 26.120
Total insumos				\$ 376.546
MANO DE OBRA				
Siembra	2	JH	6000	\$ 12.000
Cosecha	2	JH	6000	\$ 12.000
Total mano de obra				\$ 24.000
FLETES				
Insumos	1.3	Ton	4000	\$ 5.200
Productos	3.2	Ton	4000	\$ 12.800
Total fletes				\$ 18.000
Costo de producción \$/ha				\$ 494.046
Ingreso bruto/ha	3.2	Ton	450	\$ 684.000
Ingreso neto/ha				\$ 189.955

Rendimiento promedio de raps canola en Osorno 3200kg/ha. Ingreso bruto: se estimó con el rendimiento promedio obtenido por localidad a un valor de US\$450/ton, precio actual del raps en el mercado nacional. Valor dólar = US\$ 475.

8.4 Costos de producción de biodiesel

Con los cálculos anteriores es posible saber la rentabilidad del cultivo para un productor interesado en la producción y venta de semillas; pero también es necesario dar a conocer los diferentes escenarios que presenta la producción de biodiesel a partir de semillas de camelina y mostaza.

A continuación se presenta una serie de cálculos que muestran el costo de 1 litro de biodiesel de camelina, mostaza y raps y los escenarios de costos en que sería rentable para el país la producción de biodiesel a partir de estos cultivos.

Precio por tonelada de raps	US\$ 500
Contenido de aceite	43%
Eficiencia Transesterificación (Producción de biodiesel) (%)	80
Densidad del biodiesel (ton/m ³)	0,88

En este momento el costo de biodiesel de raps sería el siguiente: si la tonelada de raps tiene un valor de US\$500 y considerando que el raps contiene 43% de aceite, del cual 10% queda en la semilla después de la extracción, más un 80% de eficiencia en el proceso de transesterificación, y una densidad del biodiesel de 0.88 g/ml, el costo sería $US\$500/0.33 = US\$1515/0.8 = US\$1894/ton * 0.88 = US\$1667/m^3$ es decir **US\$1,67 /litro**, o \$792/litro, con valor del dólar a \$475, esto sin considerar ningún otro costo de filtrado del biodiesel, distribución del combustible, impuestos, etc. Que probablemente son al menos un 30% adicional, es decir el valor, de un litro de biodiesel a consumidor sería del al menos \$1029 ($\$792 * 1.3$), y en este momento el valor del diesel a consumidor es de \$ 609/litro por lo que ahora saldría mucho más caro el litro de biodiesel a partir de aceite de raps que a partir de petróleo.

La ventaja de camelina es que tiene costos de producción más bajos y por lo tanto el producto se puede vender a un costo menor y por lo tanto si la tonelada de camelina se vende a US\$400 solo US\$100 dólares menos que el raps, el costo final del litro de diesel, con todos los otros cálculos iguales, sería de \$823 que sigue siendo alto en comparación al diesel; sin embargo, dada la ventaja en reducción de emisiones contaminantes al utilizar biodiesel; las empresas, el Estado y universidades deberían encontrar una forma, como por ejemplo una bonificación, que haga más competitivo el biodiesel sin que las mezclas con diesel sean obligatorias.

El siguiente ejercicio permite determinar la cantidad de biodiesel producida en una hectárea cultivada con estas nuevas oleaginosas.

Las prensas utilizadas para la extracción del aceite, en general logran un 80% de eficiencia y a su vez la producción de biodiesel es de un 80% del total de aceite; es decir, por 1 ton de semillas de camelina o mostaza con 44% de aceite (menos un 10% que queda en los restos de semilla después de la extracción) se producen $(0.34 * 0.8 * 0.8) = 218$ kg de biodiesel.

Si se obtiene un rendimiento de 2300 kg de semilla por hectárea en ambos cultivos podríamos obtener: $218 \text{ kg de biodiesel/Ton de semilla} * 2.3 \text{ ton de semilla} = 501 \text{ kg de biodiesel}$. Considerando una densidad del biodiesel de 0.88 g/ml (0.88 Ton/m³), se obtienen finalmente: $(0.501 \text{ ton}/0.88 \text{ ton/m}^3) = 0.57 \text{ m}^3 = 570$ litros de biodiesel/ha.

En el caso del raps, al hacer el mismo ejercicio, variando solamente el rendimiento de semilla (3.2 ton/ha) el rendimiento de biodiesel es de 793 litros/ha.

La tabla 51 muestra un escenario de costos de biodiesel en base al costo de producción de los cultivos por hectárea y a la cantidad de biodiesel producida en la hectárea; es decir, representa el precio del

biocombustible al que el productor solo recupera la inversión. Se observa que el mayor costo se alcanza con la mostaza, lo que se debe a que su rendimiento de semilla por hectárea es menor al raps (por lo que se obtiene menos aceite), aunque sus costos son muy similares. A su vez, el litro de biodiesel de camelina resulta más económico, lo que está dado por su menor costo de producción por hectárea.

Tabla 51. Costo de producción de 1 litro de biodiesel de camelina, mostaza y raps.

Costos	Camelina	Mostaza	Raps
Costo producción cultivo (Pesos/ha)	290.504	461.146	494.046
Producción de biodiesel (L/ha)	570	570	793
Costo por litro de biodiesel (Pesos/L)	510	809	623
Costo por litro de biodiesel (Pesos/L)+ 30%(*)	663	1.052	810

(*) costo de elaboración, transporte e impuestos.

La tabla 52 muestra el costo de producción final de los biodiesel de raps, mostaza y camelina, dado por el costo de producción de los cultivos, el costo de producción del biodiesel en planta, transporte y almacenaje, además incluye un descuento por venta de los subproductos generados (torta o afrecho para alimentación animal).

Tabla 52. Costos de producción de biodiesel a partir de aceite de raps, camelina y mostaza.

Costo Biodiesel	Raps	Mostaza	Camelina
Costo Hectárea (\$/há)	494.046	405.189	245.170
Rendimiento aceite (Litros/ há)	819	580,8	626
Costo (\$/ Litro de Biodiesel)			
Costo Miles de pesos (\$/L)	777	942	619
Metanol	30	30,25	30,25
Catalizador	19,25	19,25	19,25
Mano de Obra de Operación	11,00	11,00	11,00
Supervisión (10 % de Capital Fijo)	7,15	7,15	7,15
Energía y Servicios	7,15	7,15	7,15
Disposición de Efluentes	0,55	0,55	0,55
Mantenición (5 % de Capital Fijo)	3,30	3,30	3,30
Repuesto y Elementos de Operación (15 % de Mantenición)	0,55	0,55	0,55
Costo de Laboratorio (15 % de Mano de Obra de Operación)	1,65	1,65	1,65
Overhead, Manejo y Almacenamiento (50 % Operación+ Supervisión + Mantenición)	11,00	11,00	11,00
Seguros (0,5 % de Capital Fijo)	0,55	0,55	0,55
Administración (25 % de Overhead)	2.75	2.75	2.75
Transporte	1.50	1.50	1.50
Almacenaje	2.00	2.00	2.00
Costo Producción/Litro	875	1.041	718
Crédito Subproductos	-201	-201	-201
TOTAL LITRO (\$)	674	840	517

9. Literatura citada

- Angadi, S.V., H.W. Cutforth, P.R. Miller, B.G. McConkey, M.H. Entz, S.A. Brandt, and K. Volkmar. 2000. Response of three *Brassica* species to high temperature stress during reproductive growth. *Can. J. Plant. Sci.* 80(4): 693-701.
- Angadi, S.V., H.W. Cutforth, B.G. McConkey, and Y. Gan. 2003. Yield adjustment by canola grown at different plant populations under semiarid conditions. *Crop Sci.* 43 (4): 1358-1366.
- Angelini, L., 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.
- Araujo, J.M.A. 1996. Química de alimentos. teoría y práctica. Impresa Universitaria. Universidad Federal de Viçosa. Brasil.
- Aurore, B., R. Howard-Hildige, A. O'Connell, R. Nichol, J. Ryan, R. Rice, E.B. Roche, J.J. Leahy. 2003. Camelina oil as a fuel for diesel transport engines. *Ind. Crops Prod.* 17:191-197.
- Bernardo, A., R. Howard-Hildige, A. O'Connell, R. Nichol, J. Ryan, B. Rice, E. Roche, and J.J. Leahy. 2003. Camelina oil as a fuel for diesel transport engines. *Ind. Crops Prod.* 17(3): 191-197.
- Biofuels Digest. 2009. Sustainable oils wins Navy camelina jet fuel contract; 40K gallons. option for 150K more. [en línea]. *Biofuels Digest* September 10. www.biofuelsdigest.com/blog2/2009/09/10/sustainable-oils-wins-navy-camelina-jet-fuel-contract-40k-gallons-option-for-150k-more (Consulta 28 diciembre 2009).
- Budin, J.T., W. Breene, and D. Putnam. 1995. Some compositional properties of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) seeds and oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 72(3): 309-315.
- Crowley, J.G., and A. Fröhlich. 1998. Factors affecting the composition and use of camelina. [en línea]. TEAGASC. www.teagasc.ie/research/reports/crops/4319/eopr-4319.asp. [Consulta 6 octubre 2009].
- Dixon. G. 2006. Vegetable Brassicas and related crucifers. Cabi. Wallingford. UK.
- Ehrensing, D.T., and S.O. Guy. 2008. Camelina. [en línea]. Oregon State University. <http://extension.oregonstate.edu/catalog/pdf/em/em8953-e.pdf>. [Consulta 6 octubre 2009].
- Edwards, D., P.A. Salisbury, W.A. Burton, C.J. Hopkins, and J. Batley. 2007. Oilseed. *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants* 2:179-210. Kole, C.: New York.
- FAO. 2008. FAOSTAT Base de datos. [en línea]. <http://apps.fao.org>. (Consulta 23 marzo 2011).
- FAO. 2009. FAOSTAT Base de datos. [en línea]. <http://apps.fao.org>. (Consulta 23 marzo 2011).
- Frame, D.D., M. Palmer, and B. Peterson. 2007. Use of *Camelina sativa* in the diets of young turkeys. *J. Appl. Poult. Res.* 16(3): 381-386.
- French, A.N., D. Hunsaker, K. Thorp, and T. Clarke. 2009. Evapotranspiration over a camelina crop at Maricopa. Arizona. *Ind. Crops Prod.* 29(2-3): 289-300.
- Fröhlich, A., and B. Rice. 2005. Evaluation of *Camelina sativa* oil as a feedstock for biodiesel production. *Ind. Crops Prod.* 21(1): 25-31.

- Gan, Y., S. Malhi, S. Brandt, F. Katepa-Mupondwa, and H. Kutcher. 2007. *Brassica juncea* canola in the northern Great Plains: Responses to diverse environments and nitrogen fertilization. *Agron. J.* 99(5): 1208-1218.
- Gunasekera, C., L.D. Martin, K.H. Siddique, and G. Walton. 2006a. Genotype by environment interactions of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) and canola (*Brassica napus* L.) in Mediterranean-type environments: I. Crop growth and seed yield. *Eur. J. Agron.* 25(1): 1-12.
- Gunasekera, C., L.D. Martin, K.H. Siddique, and G. Walton. 2006b. Genotype by environment interactions of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) and canola (*Brassica napus* L.) in Mediterranean-type environments: II. Oil and protein concentrations in seed. *Eur. J. Agron.* 25(1): 13-21.
- Hansen, L.N. 1998. Intertribal somatic hybridization between rapid cycling *Brassica oleracea* L. and *Camelina sativa* (L.) Crantz. *Euphytica* 104(3): 173-179.
- Hart, F.L., y H.L. Fisher. 1971. *Análisis Moderno de los Alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza. España.
- Hocking, P.J., and M. Stapper. 2001. Effects of sowing time and nitrogen fertilizer on canola and wheat. and nitrogen fertilizer on Indian mustard: I. Dry matter production, grain yield, and yield components. *Aust. J. Exp. Agric.* 52(6): 623-634.
- Hurtaud, C., and J.L. Peyraud. 2007. Effects of feeding camelina (seeds or meal) on milk fatty acid composition and butter spreadability. *J. Dairy Sci.* 90(11): 5134-5145.
- International Energy Agency (IEA). 2007. Energy technologies at the cutting edge [en línea]. www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/Cutting_Edge_2007_WEB.pdf. [Consulta 20 marzo 2010].
- Jackson. G.D. 2008. Fertilizer facts: response of camelina to nitrogen. Phosphorous, and sulfur.[en línea] Montana State University Extension Service. Facts 49. [landresources.montana.edu/FertilizerFacts/pdf/FF %2049.pdf](http://landresources.montana.edu/FertilizerFacts/pdf/FF%2049.pdf) (Consulta Febrero 2011).
- Jham, G.N., B.R. Moser, S.N. Shah, R.A. Holser, O.D. Dhingra, S.F. Vaughn, M.A. Berhow, J.K. Moser, T. Isbell, R.K. Holloway, E.L. Walter, R. Natalino. J.A. Anderson, and D.M. Stelly. 2009. Wild Brazilian mustard (*Brassica juncea* L.) seed oil methyl esters as biodiesel fuel. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 86(1): 917-926.
- Kanchanapoom, K. and S. Tinnongjig. 2001. Histology of embryoid development in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) cell suspension culture. [en línea]. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 23(Suppl. 1): 643-648.
- Kirk, T.T.O., and R.N. Oram. 1981. Isolation of erucic acid-free lines of *Brassica juncea*: Indian mustard now potential oilseed crop in Australia. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 47: 51-52
- Krisnangkura, K. 1991. Estimation of heat of combustion of triglycerides and fatty acid methyl esters. *J. Amer. Oil Chemists' Soc.* 68(1): 56-58.

- Krist, S., G. Stuebiger, S. Bail, and H. Unterweger. 2006. Analysis of volatile compounds and triacylglycerol composition of fatty seed oil gained from flax and false flax. *Eur. J. Lipid Sci. and Technol.* 108(1): 48-60.
- Ma, F., and M. Hanna. 1999. Biodiesel production: a review. *Bioresour. Technol.* 70(1):1-15.
- Mandal, K.G., and A.C. Sinha. 2004. Nutrient management effects on light interception, photosynthesis, growth, dry-matter production and yield of Indian Mustard (*Brassica juncea*). *J. Agronomy and Crop Science* 190(2): 119-129.
- Matthäus, B., and J. Zubr. 2000. Variability of specific components in *Camelina sativa* oilseed cakes. *Ind. Crops Prod.* 12(1): 9-18.
- Matthäus, B., and L.G. Angelini. 2005. Anti-nutritive constituents in oilseed crops from Italy. *Ind. Crops Prod.* 21(1): 89-99.
- McVay, K.A., and P.F. Lamb. 2008. Camelina production in Montana [en línea]. Montana State University Extension MontGuide MT200701AG. Web revision 1/08. www.montana.edu/wwwpb/pubs/mt200701AG.pdf 6
<http://msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/MT200701AG.pdf>. (Consulta 7 mayo 2008).
- Montana State University (MSU). 2004.
- Montana State University (MSU). 2007. Camelina releases. [en línea]. Montana State University. <http://plantsciences.montana.edu/FoundationSeed/varietyrelease/2007/Camelina.pdf> [Consulta 7 mayo 2008].
- Mosert, B.R., and S.F. Vaughn. 2010. Evaluation of alkyl esters from *Camelina sativa* oil as biodiesel and as blend components in ultra-low-sulfur diesel fuel. *Bioresource Technology* 101(2): 646-653.
- Ni-Eidhin, D., J. Burke, B. Lynch, and D. O'Beirne. 2003. Effects of dietary supplementation with camelina oil on porcine blood lipids. *J. Food Sci.* 68(2):671-679.
- ODEPA. 2009. [en línea]. www.odepa.gob.cl. (Consulta 23 marzo 2011).
- ODEPA. 2010 [en línea]. www.odepa.gob.cl. (Consulta 23 marzo 2011).
- OLEOTOP. 2010. Raps-canola. [en línea]. www.oleotop.cl. (Consulta 23 marzo 2011).
- Onyilagha, J., A. Bala, R. Hallett, M. Gruber, J. Soroka, and N. Westcott. 2003. Leaf flavonoids of the cruciferous species. *Camelina sativa*. *Crambe* spp. *Thlaspi arvense* and several other genera of the family Brassicaceae. *Biochem. Syst. Ecol.* 31(11):1309-1322.
- Pedras, M.S.C., S. Montaut, I.L. Zaharia, Y. Gai, and D.E. Ward. 2003. Transformation of the host-selective toxin destruxin B by wild crucifers: probing a detoxification pathway. *Phytochemistry* 64(5): 957-963.
- Perdomo, F. y J. Mondragón. 2005. Ficha brassicaceae. [en línea]. Segunda versión. <http://conabioweb.conabio.gob.mx/malezasdemexico/brassicaceae/brassicajuncea/fichas/ficha.htm>. (Consulta: Febrero 2008).

- Pilgeram, A.L., D.C. Sands, D. Boss, N. Dale, D. Wichmann, P. Lamb, C. Lu, R. Barrows, M. Kirkpatrick, B. Thompson, and D.L. Johnson. 2007. *Camelina sativa*, a Montana omega-3 and fuel crop [en línea]. Purdue University. www.hort.purdue.edu/newcrop/ncnu07/pdfs/pilgeram129-131.pdf. [Consulta 29 abril 2010].
- Putnam, D.H., J.T. Budin, L.A. Field, and W.M. Breene. 1991. Camelina: a promising low-input oilseed. p. 314-322. *In*: J. Janick and J.E. Simon (eds.). John Wiley and Sons, New York, USA.
- Putman, D.H., J.T. Budin, L.A. Field, and W.M. Breene. 1993. Camelina: A promising low-input oilseed. *In*: J. Janick and J. Simon (eds.). New Crops. pp. 314-322. John Wiley and Sons. New York.
- Ray, K., N. Bisht, D. Pental, and P. Kumar. 2007. Development of barnase/barstar transgenics for hybrid seed production in Indian oilseed mustard (*Brassica juncea* L. Czern & Coss) using a mutant acetolactate synthase gene conferring resistance to imidazolinone-based herbicide 'Pursuit'. *Curr. Sci.* 93(10): 1390-1396.
- Reidy, S. 2011. Biodiesel production drops in 2010, but industry leaders are optimistic for improvements this year. [en línea]. Biofuel market review. www.biofuelbusiness.com.
- Retka-Schill, S. 2008. Oilseed comes of age. [en línea] Biodiesel Magazine 5(11): 44-99. www.biodieselmagazine.com/articles/2876/oilseed-comes-of-age. (Consulta Febrero 2008)
- Robertson. M., J. Holland, and R. Bambach. 2004. Response of canola and Indian mustard to sowing date in the grain belt of north – eastern Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 44(1): 43-52.
- Russo, V.M., B.D. Bruton, and C.E. Sams. 2010. Classification of temperature response in germination of Brassicas. *Ind. Crops Prod.* 31(1): 48-51.
- Saka, S. and D. Kusdiana. 2001. Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical methanol. *Fuel* 80(2): 225-231.
- Salminen, H., M. Estévez, R. Kivikari, and M. Heinonen. 2006. Inhibition of protein and lipid oxidation by rapeseed, camelina and soy meal in cooked pork meat patties. *European Food Research and Technology* 223 (4). 461-468.
- Sang, J., C.A. Bluett, B.R. Elliott, and R. Truscott. 1986. Effect of time of sowing on oil content, erucic acid and glucosinolate contents in rapeseed (*Brassica napus* L. cv. Marnoo). *Aust. J. Exp. Agric.* 26(5): 607-611.
- Sawyer, K. 2008. Is there room for camelina? *Biodiesel Magazine* 5(7): 83-87.
- Si, P., and G.H. Walton. 2004. Determinants of oil concentration and seed yield in canola and Indian mustard in the lower rainfall areas of Western Australia. 2004. *Aust. J. Exp. Agric.* 55 (3): 367-377.
- Sigareva, A., and E.D. Earle. 1999. Camalexin induction in intertribal somatic hybrids between *Camelina sativa* and rapid-cycling *Brassica oleracea*. *Theor. Appl. Genet.* 98(1):164-170.
- Sivaraman, I., N. Arumugam, Y. Sodhi, V. Gupta, A. Mukhopadhyay, A. Pradhan, P.B. Kumar, and D. Pental. 2004. Development of high oleic and low-linoleic acid transgenics in a zero erucic acid

- Brassica juncea* L. (Indian mustard) line by antisense suppression of the *fad2* gene. *Mol. Breed.* 13(4): 365-375.
- Schuster, A., and W. Friedt. 1998. Glucosinolate content and composition as parameters of quality of camelina seed. *Ind. Crops Prod.* 7(2-3):297-302.
- Shukla, V.K.S., P.C. Dutta, and W.E. Artz. 2002. Camelina oil and its unusual cholesterol content. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 79(10):965-969.
- Steinke, G., R. Kirchhoff, and K.D. Mukherjee. 2000. Lipase-catalyzed alcoholysis of crambe oil and camelina oil for the preparation of long-chain esters. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 77(4):361-366.
- Taylor, A., and C.J. Smith. 1992. Effect of sowing date and seeding rate on yield and yield components of irrigated canola (*Brassica napus* L.) grown on a red-brown earth in south-eastern Australia. *Aust. Journal Agric.* 43(7):1629-1641.
- Tokman, M. 2008. Política energética: nuevos lineamientos [en línea]. CNE. www.cne.cl/archivos_bajar/Politica_Energetica_Nuevos_Lineamientos_08.pdf. [Consulta 26 febrero 2010].
- Vollmann, J.T. Moritz, C. Kargl, S. Baumgartner, and H. Wagentristl. 2007. Agronomic evaluation of camelina genotypes selected for seed quality characteristics. *Ind. Crops Prod.* 26(3):270-277.
- Wright, P.R., J.M. Morgan, R.S. Jessop, and A. Cass. 1995. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits: yield and yield components. *Field Crops Res.* 42(1):1-13.
- Zubr, J. 1997. Oil-seed crop: *Camelina sativa*. *Ind. Crops Prod.* 6(2):113-119.
- Zubr, J. 2003. Qualitative variation of *Camelina sativa* seed from different locations. *Ind. Crops Prod.* 17(3):161-169.
- Zubr, J., and B. Matthäus. 2002. Effects of growth conditions on fatty acids and tocopherols in *Camelina sativa* oil. *Ind. Crops Prod.* 15(2): 155-162.