

I

**RENDIMIENTO POTENCIAL, PERIODO CRÍTICO Y
DIFERENCIAS ENTRE GENOTIPOS PRIMAVERALES E
INVERNALES DE COLZA EN EL SUDESTE
BONAERENSE**

CRISTIAN MANUEL APPELLA

Trabajo de tesis para ser presentado como requisito parcial para optar al
Grado de *MAGISTER SCIENTIAE*

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS. UNIVERSIDAD NACIONAL DE
MAR DEL PLATA**

Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Instituto Nacional de Tecnología
Agropecuaria.

Balcarce, Argentina

Octubre de 2012

**RENDIMIENTO POTENCIAL, PERIODO CRÍTICO Y
DIFERENCIAS ENTRE GENOTIPOS PRIMAVERALES E
INVERNALES DE COLZA EN EL SUDESTE
BONAERENSE**

CRISTIAN MANUEL APPELLA

Comité consejero

Dr., M.Sc., Ing. Agr. Pablo E. Abbate

Director de Tesis

**RENDIMIENTO POTENCIAL, PERIODO CRÍTICO Y
DIFERENCIAS ENTRE GENOTIPOS PRIMAVERALES E
INVERNALES DE COLZA EN EL SUDESTE
BONAERENSE**

CRISTIAN MANUEL APPELLA

Aprobado por

.....
Ing. Agr. (M.Sc., DEA, Dr.) Miguel A. Cantamutto

.....
Ing. Agr. José Beltrano

.....
Ing. Agr. (M.Sc., Dr.) Guillermo A. Dosio

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Origen, uso y propiedades de la colza.....	1
1.2.	Producción mundial.....	4
1.3.	Panorama nacional.....	6
1.4.	Fisiología del cultivo.....	8
1.5.	Hipótesis.....	12
1.6.	Objetivos.....	12
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
2.1.	Sitio experimental.....	13
2.2.	Manejo de los experimentos.....	14
2.3.	Mediciones y análisis estadístico.....	16
2.3.1.	Fenología.....	16
2.3.2.	Peso seco del cultivo.....	17
2.3.3.	Área verde e índice de área foliar.....	18
2.3.4.	Cobertura del cultivo e intercepción de la radiación.....	19
2.3.5.	Rendimiento y sus componentes.....	20
2.3.6.	Análisis estadístico.....	21
3.	RESULTADOS.....	22
3.1.	Período crítico del cultivo.....	22
3.1.1.	Fenología.....	22
3.1.2.	Producción de biomasa (peso seco).....	22
3.1.3.	Rendimiento y sus componentes.....	24
3.2.	Rendimiento potencial de los diferentes cultivares de colza.....	27
3.2.1.	Particularidades climáticas del año en estudio.....	27
3.2.2.	Fenología.....	29
3.2.3.	Producción de biomasa.....	32
3.2.4.	Índice de área foliar.....	35
3.2.5.	Intercepción de la radiación.....	36
3.2.6.	Rendimiento y sus componentes.....	37
4.	DISCUSIÓN.....	41

4.1.	Período crítico para la determinación del rendimiento en grano y aceite	41
4.2.	Rendimiento potencial de los diferentes cultivares de colza.....	43
4.2.1.	Desarrollo.....	43
4.2.2.	Producción de biomasa.....	45
4.2.3.	Intercepción y eficiencia de uso de la radiación	46
4.2.4.	Rendimientos y sus componentes.....	47
5.	CONCLUSIONES	50
6.	Anexo A.....	52
7.	BIBLIOGRAFIA.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Rendimiento promedio de los principales países productores (promedio de la serie 2003-2008).....</i>	<i>6</i>
<i>Tabla 2. Periodos de sombreo, fechas de inicio y fin, y duración de los mismos para los diferentes tratamientos del ensayo 1.</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 3. Fechas de siembra de los diferentes cultivares en las localidades de experimentación, correspondientes a la campaña 2008.</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 4. Estados fenológicos (ver Anexo A), seleccionados para realizar los diferentes muestreos de biomasa aérea, según ensayos.</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 5. Fecha de ocurrencia de los diferentes estados fenológicos considerados en el experimento, duración de cada etapa (d), tasa de desarrollo de las mismas (d^{-1}) y tiempo térmico acumulado ($^{\circ}Cd$, con temperatura base $5^{\circ}C$). Emergencia (E), cotiledonar (A); entrenudos visibles (C2); inicio de floración (F1); silicuas mayores a 4 cm (G3); madurez fisiológica (G5).....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 6. Biomasa aérea producida ($g\ m^{-2}$) por los diferentes tratamientos de sombreo en los diferentes momentos de muestreos. Dentro de una misma columna, letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($\alpha=0,05$, MDS). Entrenudos visibles (C2); inicio de floración (F1); plena floración (F2); silicuas mayores a 4 cm (G3); primeras silicuas con granos de tamaño definido (G4); madurez fisiológica (G5).....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 7. Distribución de la biomasa en sus diferentes órganos aéreos según los diferentes tratamientos para cada una de los momentos de muestreo. Dentro de una misma columna, letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($\alpha=0,05$, MDS). Entrenudos visibles (C2); inicio de floración (F1); plena floración (F2); silicuas mayores a 4 cm (G3); primeras silicuas con granos de tamaño definido (G4); madurez fisiológica (G5).....</i>	<i>23</i>

- Tabla 8. Fecha de siembra y días a emergencia de los diferentes cultivares en Balcarce y Barrow, durante la campaña 2008. MDS= 2.3 y 2.5 para Balcarce y Barrow respectivamente.29*
- Tabla 9. Fechas de ocurrencia de los principales estados fenológicos; emergencia (E), cotiledonar (A); roseta (B6); botón floral visible (D2); inicio de floración (F1); silicuas mayores a 4 cm (G3); madurez fisiológica (G5), de los diferentes cultivares en Balcarce (tabla superior) y Barrow (tabla inferior).29*
- Tabla 10. Temperatura media (°C), durante las etapas fenológicas de los diferentes cultivares en las localidades de Balcarce (tabla superior) y Barrow (tabla inferior).29*
- Tabla 11. Tiempo térmico acumulado (°Cd, con temperatura base 5°C) de los cuatros cultivares a través de sus diferentes estados fenológicos, en Balcarce (tabla superior) y Barrow (tabla inferior). Cotiledonar (A); roseta (B6); botón floral visible (D2); inicio de floración (F1); silicuas mayores a 4 cm (G3); madurez fisiológica (G5)31*
- Tabla 12. Biomasa de diferentes órganos aéreos para los 4 cultivares de colza, en distintos estados fenológicos, en Balcarce (tabla superior) y Barrow (tabla inferior). Dentro de una misma columna, letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($\alpha=0,05$, MDS). Entrenudos visibles (C2); botón floral encerrado entre hojas terminales (D1); inicio de floración (F1); silicuas mayores a 4 cm (G3); madurez fisiológica (G5).....34*
- Tabla 13. Tasa de crecimiento del cultivo y de la inflorescencia, durante el período de crecimiento de las inflorescencias (DPCI), para los 4 cultivares en Balcarce (tabla izquierda) y Barrow (tabla derecha).....35*
- Tabla 14. Radiación fotosintéticamente activa (RFA) acumulada y eficiencia de uso de la radiación, durante el periodo de crecimiento de las inflorescencias, para los 4 cultivares de colza ensayados en Balcarce y Barrow. Dentro de una misma columna, letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($\alpha=0,05$, MDS).37*

- Tabla 15. Principales componentes numéricos del rendimiento: número de granos (NG) m⁻² y número de silicuas m⁻² y número de granos por silicuas para cuatro cultivares de colza en la localidad de Balcarce y Barrow; dentro de una misma columna, letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($\alpha=0,05$, MDS).38*
- Tabla 16. Fertilidad de la inflorescencia, expresada como número de granos obtenidos a madurez por unidad de peso de peso seco de la inflorescencia en plena floración, para dos cultivares de colza invernales y dos primaverales, en la localidad de Balcarce y Barrow; dentro de una misma columna, letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($\alpha=0,05$, MDS).39*
- Tabla 17. Variables de producción y calidad: peso por grano (PG), índice de cosecha y concentración de aceite en el grano a madurez, para 2 cultivares de colza invernales y 2 primaverales en la localidad de Balcarce y Barrow.40*

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Fig. 1: Relaciones genómicas de las especies Brassicas “Triangulo de U” (U, 1935).</i>	1
<i>Fig. 2: (A) Producción mundial y (B) superficie de colza, entre los años 1990 y 2007.</i>	4
<i>Fig. 3: Producción mundial de los principales países productores de colza.</i>	5
<i>Fig. 4: Evolución del rendimiento mundial del cultivo desde el año 1961 al 2007.</i>	5
<i>Fig. 5: Áreas potencialmente aptas para cultivo de colza con cultivares invernales (A) y primaverales (B) delimitadas por índices agroclimáticos (Adaptado de Murphy y Pascale, 1991).</i>	6
<i>Fig. 6: Temperatura media máxima y mínima decadica observada durante la campaña 2008, para la localidad de (a) Barrow y (b) Balcarce.</i>	13
<i>Fig. 7: Precipitaciones acumuladas en el periodo Abril – Diciembre histórica y observada durante la campaña 2008, para la localidad de (A) Barrow y (B) Balcarce.</i>	14
<i>Fig. 8: Evolución de la radiación media diaria durante el ciclo de crecimiento del cultivo, para la localidad de (a) Barrow y (b) Balcarce.</i>	14
<i>Fig. 9: Contribución porcentual de los principales órganos de la planta (hoja, tallo e inflorescencia) a la biomasa aérea seca total, a través de los diferentes muestreos de los correspondientes tratamientos de sombreo. Entrenudos visibles (C2); inicio de floración (F1); plena floración (F2); silicuas mayores a 4 cm (G3); primeras silicuas con granos de tamaño definido (G4); madurez fisiológica (G5).</i>	24
<i>Fig. 10: (A) Rendimiento en grano y (B) número de granos por unidad de superficie, expresados en porcentaje respecto al testigo, de los diferentes tratamientos de sombreo ($\alpha=0,05$; MDS= 13 y 11 % para A y B respectivamente).</i>	26

- Fig. 11: *Peso por grano, expresados en porcentaje respecto al testigo, de los diferentes tratamientos de sombreo. ($\alpha=0,05$; MDS= 6.3 %)*.....26
- Fig. 12: *(A) Número de silicuas y (B) número de granos por silicuas, expresados en porcentaje respecto al testigo, de los diferentes tratamientos de sombreo ($\alpha=0,05$; MDS= 17 y 18 % para A y B respectivamente).*.....27
- Fig. 13: *Concentración de aceite, expresados en porcentaje respecto al testigo, de los diferentes tratamientos de sombreo. ($\alpha=0,05$; MDS= 4.5 %) ...*27
- Fig. 14: *Marcha de la temperatura media para la campaña de estudio y la histórica durante los meses de implantación de los cultivares invernales y primaverales en la localidad de (A) Balcarce y B) Barrow.*28
- Fig. 15: *Frecuencia días con heladas (temperatura mínima diaria menor a 0 °C) registradas en los meses de abril a noviembre, durante la campaña en estudio y la histórica para (A) Balcarce y (B) Barrow.*28
- Fig. 16: *Duración, expresada en días, de las diferentes etapas fenológicas de los 4 cultivares en la localidad de Balcarce (A) y Barrow (B).*31
- Fig. 17: *Relación entre la duración de las diferentes etapas comprendidas entre emergencia y floración y el tiempo térmico acumulado (TT) en cada una de ellas, para los cuatro cultivares de colza, en las localidades de (A) Balcarce y (B) Barrow.*31
- Fig. 18: *Biomasa aérea producida (peso seco), a lo largo del ciclo de crecimiento, promedio de dos cultivares invernales y dos primaverales, en (A) Balcarce y (B) Barrow.*32
- Fig. 19: *Contribución porcentual de los principales órganos de la planta (hoja, tallo e inflorescencia) a la biomasa aérea seca total, a través de los diferentes estados fenológicos para los 4 cultivares en (A) Balcarce y (B) Barrow. Entrenudos visibles (C2); botón floral encerrado entre hojas terminales (D1); inicio de floración (F1); silicuas mayores a 4 cm (G3); madurez fisiológica (G5).*..... 33

- Fig. 20: Evolución del índice de área foliar (IAF) desde el estado fenológico C1 a G3 (ver Anexo A) para 2 cultivares de colza de tipo invernal y 2 cultivares de tipo primaveral, en Balcarce. MDS= 0.72 (C1); 0.71 (D1); 0.60 (F1); 1.1 (F2); 0.89 (G3).35
- Fig. 21: Evolución del porcentaje de cobertura del cultivo desde el estado fenológico A hasta G3, para 2 cultivares de colza de tipo invernal y 2 de tipo primaveral, en Barrow.36
- Fig. 22: Radiación fotosintéticamente activa (RFA) acumulada por los 4 cultivares de colza desde emergencia a madurez fisiológica, en Barrow.36
- Fig. 23: Rendimiento de dos cultivares de colza invernales y dos primaverales, en la localidad de Balcarce (izquierda) y Barrow (derecha); dentro de cada localidad, letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($\alpha=0,05$). MDS=94.7 y 60.3 para Balcarce y Barrow respectivamente.38
- Fig. 24: Asociación entre el número de granos m^{-2} y el número de silicuas m^{-2} , para cuatros cultivares de colza en (A) Balcarce y (B) Barrow.38
- Fig. 25: Asociación entre el número de granos m^{-2} y la fertilidad de la inflorescencia, para los cuatro cultivares de colza en (A) Balcarce y (B) Barrow.39

ABREVIACIONES

AF	Área foliar
AFE	Área foliar específica
ANVA	Análisis de varianza
DPCI	Duración del periodo de crecimiento de las inflorescencias (d)
EUR	Eficiencia de uso de la radiación (g MJ^{-1})
IAF	Índice de área foliar
IC	Índice de cosecha
LI	RFA interceptada (%)
MDS	Mínima diferencia significativa
ns	Diferencia no significativa
NG	Número de granos (grano m^{-2})
PCI	Periodo de crecimiento de la inflorescencia (d)
PG	Peso/grano (mg)
PST	Peso seco total (g m^{-2})
R	Tasa de desarrollo (d^{-1})
RFA	Radiación fotosintéticamente activa ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
RFAi	RFA interceptada por el cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
RFAo	RFA incidente por sobre el cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
RFAs	RFA incidente por encima del estrato de hojas senescentes ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
Tb	Temperatura base ($^{\circ}\text{C}$)
TCC	Tasa de crecimiento del cultivo ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
TCI	Tasa de crecimiento de las inflorescencias ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
Tm_i	Temperatura media diaria del i-écimo día ($^{\circ}\text{C}$)
TT	Tiempo térmico ($^{\circ}\text{Cd}$)

RESUMEN

Los cultivares invernales de colza tienen usualmente mayor rendimiento que los de tipo primaveral, es por ello que la introgresión de germoplasma de tipo invernal en los híbridos primaverales, ha permitido un aumento del rendimiento de éstos.

En nuestro territorio se han evidenciado diferencias en el rendimiento entre los cultivares invernales y primaverales; sin embargo no parece estar claro si éstas se deben realmente a diferencias en el potencial de rendimiento de los mismos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar 4 cultivares de colza, 2 invernales y 2 primaverales, en condiciones no limitantes, para verificar las diferencias en el rendimiento de los mismos, como así también determinar para nuestras condiciones el periodo crítico para la determinación del rendimiento y concentración de aceite.

Los ensayos fueron implantados en el año 2008, en el predio de la Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (37°45' S, 58°18' W, 130 m s.n.m.) y en la Chacra Experimental Integrada Barrow (38°19' S, 60°14' W) de la provincia de Buenos Aires, Argentina, pertenecientes al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y al Ministerio de asuntos agrarios de la provincia de Buenos Aires, respectivamente. Todos los ensayos contaron con riego suplementario, alta fertilización y pleno control de adversidades bióticas; se evaluó el rendimiento de cada cultivar y los componentes numéricos del mismo.

En ambas localidades los cultivares invernales tuvieron un rendimiento significativamente mayor a los de tipo primaveral. Estos tipos de cultivares rindieron en promedio 31 y 76 % más que los primaverales en Balcarce y Barrow respectivamente.

Las relaciones encontradas entre el rendimiento y el número de granos m^{-2} fueron significativas ($r^2=0.95$; $p<0.0001$ y $r^2=0.98$; $p<0.0001$), no así cuando se asoció el mismo con el peso seco de mil granos ($r^2=0.08$; $p<0.0001$ y $r^2=0.33$; $p<0.0001$, para Balcarce y Barrow respectivamente).

El aumento en el número de granos por unidad de superficie en los cultivares Pulsar y SW Gospel se debió, en principio a un mayor Índice de fertilidad de la inflorescencia, lo que permitió a igual peso de inflorescencia desarrollar más estructuras productivas (granos), y a una mayor duración del periodo crítico para la determinación del mismo.

El periodo crítico para la determinación del rendimiento y del número de granos, se ubicó entre plena floración y fin del llenado efectivo de granos. Mientras que para la determinación de la concentración de aceite el mismo se ubicó en la etapa de llenado.

Estos ensayos demostraron que en aquellas zonas agroecológicamente aptas para la siembra de los diferentes cultivares de colza, los de tipo invernal tendrían una ventaja productiva sobre los primaverales.

Palabras clave: Colza; número de granos m^{-2} ; índice de fertilidad; concentración de aceite; floración; llenado efectivo de grano.

ABSTRACT

Rapeseed winter cultivars usually out-yield the spring types; that is why introgression of winter germplasm into spring hybrids has achieved an increase in the yield of the latter.

In our region there have been yield differences between winter and spring cultivars; however it seems unclear whether these are actually due to differences in their yield potential.

The objective of this paper was to assess 4 rapeseed cultivars, 2 winter types and 2 spring types, under non-limiting conditions, to verify their yield differences; as well as for our conditions to determine the critical period for yield determination and concentration of oil.

The tests were implemented in 2008, on the grounds of the Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (Balcarce Agr. Experimental Station) (37°45' S, 58°18' W, 130 m a.s.l.), and of the Chacra Experimental Integrada Barrow (Barrow Integrated Experimental Station) (38°19' S, 60°14' W) in the province of Buenos Aires, Argentina, belonging to INTA (National Institute of Agr. Technology). All tests had supplementary irrigation, high fertilization and full control of biotic adversities; was assessment the yield of each cultivar and their numerical components.

In both locations the winter cultivars had a significantly higher yield than the spring types (Fig. 1). These types of cultivars yielded on average 31 and 76% more than the spring types in Balcarce and Barrow respectively.

The relationships found between yield and the number of grains m^{-2} were very strong ($r^2=0.95$; $p<0.0001$ and $r^2=0.98$; $p<0.0001$), and very weak when the yield was associated with the dry weight of a thousand grains ($r^2=0.08$; $p<0.0001$ and $r^2 = 0.33$; $p < 0.0001$), for Balcarce and Barrow respectively.

The highest number of grains achieved by winter type cultivars (Pulsar and SW Gospel), was due in principle to higher fertility rate of the inflorescence, which allowed an equal weight of inflorescence develop more productive structures (grains), and a prolongation of the critical period for the determination thereof.

The critical period for yield determination and the number of grains was between full bloom and end of effective grain filling. As for determining the concentration of oil it was located in the filling stage.

These tests showed that in Agr. areas which are environmentally friendly for the sowing of different rapeseed cultivars, the winter types would have a productive advantage over the spring types.

Keywords: Rapeseed; grain number; fertility rate; concentration of oil; flowering; effective grain filling.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Origen, uso y propiedades de la colza

El género *Brassica* incluye 41 especies, de las cuales 6 son de gran importancia económica debido a que son fuente de aceite comestible, de uso industrial, hortícola y condimentos (Goffman, 2000). Las primeras relaciones entre las especies de *Brassica* fueron realizadas por U mediante estudios taxonómicos en los años 30 (U, 1935). Este investigador propuso que las tres especies con mayor número de cromosomas, *B. juncea*, *B. napus* y *B. carinata*, eran anfidiploides derivados de las especies diploides *B. nigra* (L.), *B. rapa*, y *B. oleracea*. (Fig. 1). Estos resultados fueron luego confirmados por otros investigadores mediante la observación de apareamientos de cromosomas, obtención de anfidiploides artificiales, determinación del contenido de ADN nuclear o con la ayuda de marcadores específicos en los genomas. (Song *et al.* 1990, Demeke *et al.* 1992).

Aunque U (1935) proponía que las tres especies diploides provenían de un único progenitor, más recientemente y utilizando técnicas moleculares, tanto Paterson *et al.* (2006) como Sabharwal *et al.* (2006) pudieron determinar que *B. rapa* y *B. olerácea* tiene un origen común, y *B. nigra* tiene un progenitor distinto.

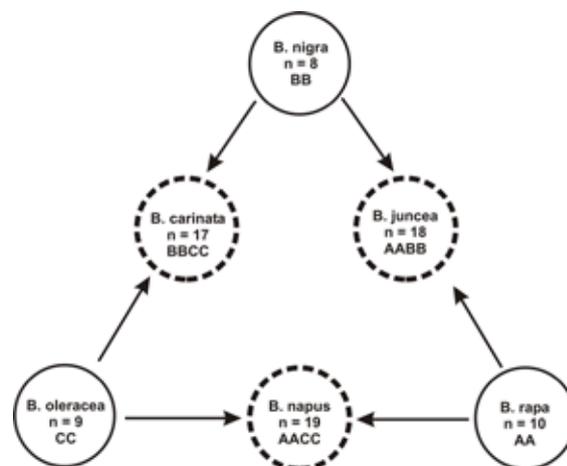


Fig. 1. Relaciones genómicas de las especies Brassicas "Triángulo de U" (U, 1935).

Brassica rapa L. es conocida como turnip rape o “tipo polaco”, sería la más antigua y posiblemente la más distribuida (Kimber y Mac Gregor, 1995). La especie primaria *Brassica olerácea* es la más cultivada en Europa y Canadá donde se la conoce como “tipo argentino”. Al igual que en *Brassica rapa* L. existen variedades de tipo primaveral e invernal. Estas últimas requieren la acumulación de bajas temperaturas (vernalización) para poder florecer, siendo este un proceso inductivo e indispensable para cumplir el ciclo de vida.

Brassica napus L. es una especie anfidiplóide, producto del cruzamiento entre las especies primarias *Brassica rapa* y *Brassica olerácea* (Berry y Spink, 2006). Es una especie anual semiautógama, que presenta hasta un 30% de alogamia (Beckie *et al.* 2003). Si bien su origen no es enteramente claro se cree que provino del sur de Europa, desde donde fue introducida en Asia a comienzos del siglo XVIII (Kimber y Mc Gregor, 1995).

Cuando se habla de colza se hace referencia a dos especies oleaginosas del género *Brassica*: *Brassica rapa* L. ó *campestris* L. y *Brassica napus* L. (Thompson, 1983; Weiss, 1983).

La referencia histórica demuestra que la colza es uno de los primeros cultivos aprovechados por el hombre. Hay evidencias de su uso en la India varios siglos antes de Cristo, pasando a China y Japón en el comienzo de la era cristiana. Debido a su capacidad para crecer y desarrollar con bajas temperaturas, su cultivo pudo expandirse a Europa a mediados del siglo XV.

El destino de los productos derivados de colza ha cambiado con el tiempo; en la antigüedad el aceite obtenido se utilizaba como combustible para la iluminación, ya que produce una llama blanca sin humo. A partir de la era Industrial y con el desarrollo de la energía a vapor, este cultivo tuvo un nuevo destino, pues su aceite, sólo o asociado con otros, fue considerado el mejor lubricante por su condición de adherirse a los metales en ambientes de alta humedad o en contacto con el agua. Esta característica especial se puso de manifiesto durante la segunda guerra mundial debido al bloqueo de las fuentes originales de aceite Europeas y Asiáticas, lo que llevó a desarrollar el cultivo en países como Canadá, para poder de esta manera cubrir la demanda de aceites lubricantes para el funcionamiento de los motores de los barcos (Canola Council, 2005).

El alto contenido de ácido erúico de las variedades antiguas de colza limitó su uso para consumo humano. A finales de los años 50 se planteó la posible existencia de

efectos perjudiciales derivados del empleo de aceites ricos en ácido erúxico en alimentación humana, planteo que se acentuó a raíz de una serie de estudios realizados durante los años 70, y que pusieron de manifiesto que los ácidos grasos C22:1 resultaban cardiotoxicos en animales, y por lo tanto, potencialmente tóxicos para el hombre. Por este motivo, aceites con alto contenido en ácido erúxico no deben destinarse a consumo humano (FAO, 1977). Además, en la harina obtenida en su procesamiento se hallaban presente los productos de hidrólisis de los glucosinolatos, los cuales tenían efectos que iban en detrimento del crecimiento animal. Por lo tanto, la utilización de estas variedades en la alimentación se encontraba fuertemente limitada.

En la actualidad la colza cultivada principalmente como fuente de aceite comestible es la colza "00" o CANOLA (Canadian Oil Low Acid). El término CANOLA se debe a que hacia fines de los setenta (1978) la industria del aceite de colza en Canadá adopta este nombre para identificar los cultivares de *Brassica napus* y *Brassica campestris* que, genéticamente, tenían bajo contenido de ácido erúxico y glucosinolatos (De La Fuente *et al.*, 2006). Para que un cultivar sea calificado como canola debe tener hasta un 2% de ácido erúxico en el aceite y un máximo de 20mmol g⁻¹ de grano seco de glucosinolatos en el subproducto (IASCAV, 1993). Estas especificaciones suelen variar según los países. Como aceite comestible se caracteriza por poseer un bajo nivel de ácidos grasos saturados, menos de un 4% ácido palmítico y un alto nivel (50-60%) de ácidos grasos monoinsaturados como el oleico (C18:1), además de un 8-10% de ácido alfa-linolénico (C18:3). Estudios relacionados a la salud humana demostraron sus bondades para reducir el nivel de colesterol en sangre (Vaisey-Genser y Eskin, 1987).

El subproducto que se obtiene luego de la extracción del aceite, es la harina de extracción, que posee un contenido medio entre 36 a 44% de proteína cruda, 12 a 13% de fibra cruda y entre 7 y 8% de cenizas (Uppström y Johansson, 1991), utilizándose, principalmente en Canadá, Europa y Australia, para la alimentación de animales de granja. La composición de aminoácidos de la harina, dentro de los cuales los más importantes son metionina y cistina, la convierte en un producto de alta calidad, complementándose con otras harinas como la de soja para la elaboración de raciones; además, el contenido de fibras es más alto que el de la harina de soja, lo que la hace apta para ser consumida por rumiantes (Canola Council, 2005).

En la actualidad existen variedades de colza con altos tenores de ácido erúxico (HEAR: High Erucic Acid Rape), que contienen en su aceite entre un 50 a 60% de este ácido graso, se utilizan principalmente para la elaboración de erucamida, un agente

deslizante usado en la inyección de plásticos y en la manufactura de polietileno (IENICA, 2000). Estas variedades se producen en zonas alejadas de donde se siembran las canolas, para reducir el riesgo de hibridación entre materiales y la consecuente alteración de su calidad.

Además de los usos anteriormente detallados, el aceite de colza puede utilizarse para la producción de biodiesel, el cual es conocido como RME (“rapessed methyl ester”) o Diester (Francia). Este no es un dato menor ya que más del 95% de todo el biodiesel producido en Europa (aproximadamente 6 millones de toneladas) deriva del aceite de colza. La razón principal de esto es el hecho de que el estándar de calidad (EN14214) para Biodiesel europeo está basado en el aceite de colza como materia prima.

1.2. Producción mundial

La colza es la oleaginosa de ciclo invierno-primaveral de mayor importancia y expansión en los últimos años, globalmente reconocida como una alternativa de los cereales de invierno en la mayoría de las regiones agrícolas de clima templado (Miralles *et al.*, 2001) Su cultivo está cobrando cada vez más importancia, previéndose un incremento en la producción, dado principalmente por el aumento de la superficie sembrada (Dronne y Gohin, 2005).

Actualmente es la segunda oleaginosa de importancia, luego de la soja, con una producción estabilizada en cerca de los 50 millones de toneladas (Fig. 2 B) y con una superficie cosechada del orden de las 30 millones de hectáreas (Fig. 2 A) (FAOSTAT, 2007).

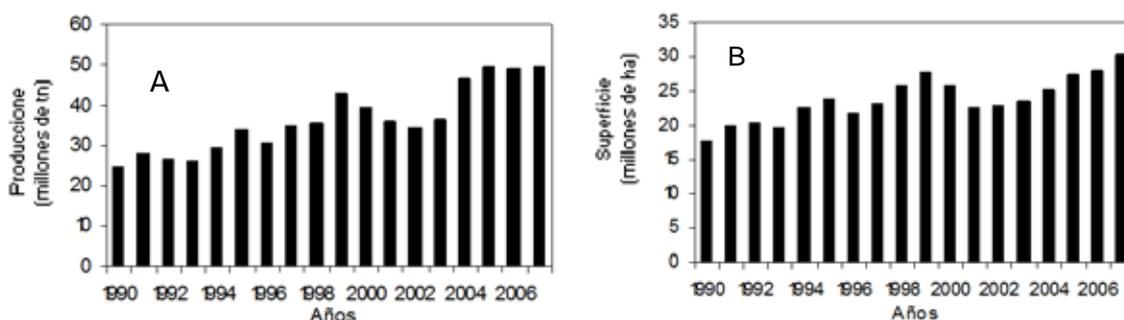


Fig. 2. (A) Producción mundial y (B) superficie de colza, entre los años 1990 y 2007.

La Comunidad Económica Europea es la principal región productora de esta oleaginosa ya que con más de 18 millones de toneladas anuales representa el 34% de la producción mundial (Fig. 3).

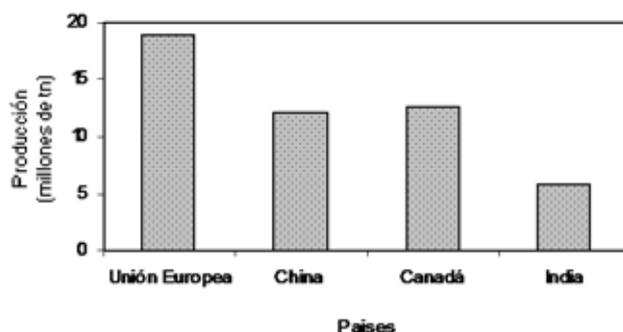


Fig. 3. Producción mundial de los principales países productores de colza.

Le siguen Canadá y China con 12.6 y 12.1 millones de toneladas respectivamente. China a mostrado en estos últimos años un aumento significativo de su producción, pasando de 2 millones de toneladas en 1980 a 13 millones en la campaña 2005 (FAOSTAT, 2010). La evolución del rendimiento de esta oleaginosa muestra un crecimiento sostenido desde la década del 60' (Fig. 4), el cual es función principalmente de los diferentes avances genéticos ocurridos en el cultivo, una de ellas la obtención de la colza "00" o canola, que afianzo la importancia del cultivo y posteriormente la llegada de los híbridos (De La Fuente *et al.*, 2006).

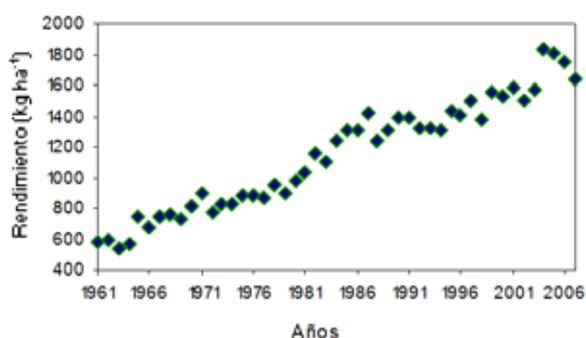


Fig. 4. Evolución del rendimiento mundial del cultivo desde el año 1961 al 2007.

Al considerar el rendimiento de los principales países productores (Tabla 1), vemos una gran diferencia entre la Unión Europea y los demás, esto esta directamente relacionado al tipo de cultivar utilizado por cada uno de ellos. Básicamente hay dos

tipos: primaveral e invernal; estos últimos, por lo general tienen mayor rendimiento en grano que las de tipo primaveral (Lindemans, 1952; Anderson, 1981).

Tabla 1. Rendimiento promedio de los principales países productores (promedio de la serie 2003-2008).

Países	Rendimiento (qq/ha)
Unión Europea	30,2
China	17,8
Canadá	16,7
Australia	12,7
India	10,4

1.3. Panorama nacional

En Argentina, el cultivo de colza no se halla ampliamente difundido a pesar de que una amplia región del país posee características agroecológicas aptas para su difusión (Murphy y Pascale, 1991) (Fig. 5).

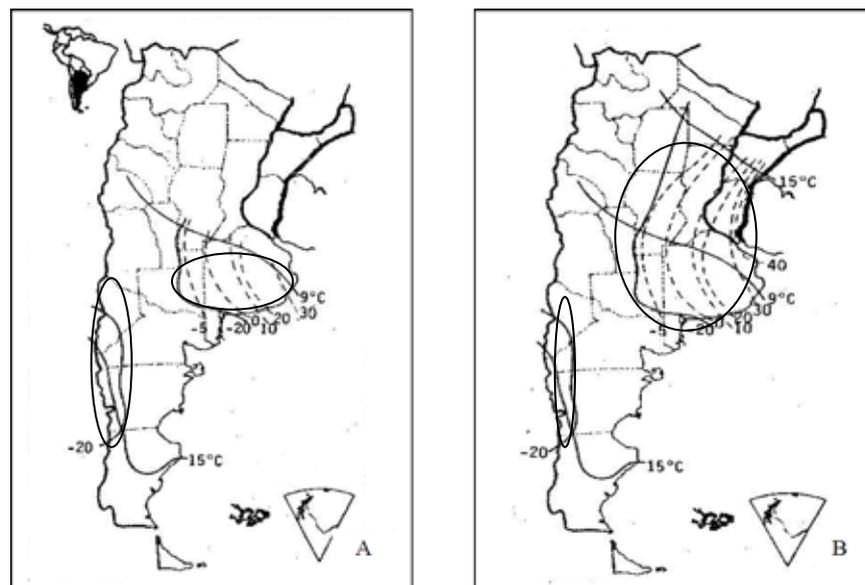


Fig. 5. Áreas potencialmente aptas para cultivo de colza con cultivares invernales (A) y primaverales (B) delimitadas por índices agroclimáticos (Adaptado de Murphy y Pascale, 1991).

Hacia el año 90 se llegaron a sembrar 51.000 ha pero problemas en el acopio y comercialización influyeron para que en las campañas siguientes el área sembrada sufriera una disminución importante. En los últimos años el área sembrada se ha mantenido en 15.000 a 20.000 ha y en la campaña 2008 se supero las 80.000 ha de siembra, marcando una tendencia en lo referente a la adopción de este cultivo por parte de los productores. Actualmente, se encuentran presente en el mercado de semillas cerca de 30 cultivares, todas pertenecientes a *Brassica napus* L., de los cuales el 70% son variedades y el restante 30% híbridos, así mismo del total el 65% corresponde a materiales de tipo primaveral y el 35% a los de tipo invernal.

El crecimiento y expansión de este cultivo está fuertemente asociado a la sanción de la Ley Nacional 26093 de Biocombustibles sancionada en el año 2006 (Iriarte y Valetti, 2008). Esta ley crea el marco institucional de los biocombustibles en la Argentina y establece que todo combustible caracterizado como gasoil o nafta, comercializado en el territorio nacional, deberá ser mezclado con un porcentaje del 5% de biodiesel o bioetanol, respectivamente, generando así las bases para el inicio de su producción a escala comercial. Por lo tanto, considerando que el consumo de combustibles en el país, con su respectiva tasa de crecimiento, llegaría en el año 2010 a aproximadamente 17.000 millones de litros para el gasoil, y teniendo en cuenta el corte establecido por dicha ley de 880.000 m³ de biodiesel es clara la necesidad de incrementar la superficie de los cultivos oleaginosos; este dependerá tanto de los rendimientos en aceite de cada cultivo, como del volumen obtenido en su transformación industrial (Donato *et al.*, 2008). En este sentido, sin tener en cuenta el subproducto, la colza es el cultivo con mayor eficiencia energética, tanto para valores máximos como mínimos de consumo energético (1,5 y 3,5 unidades de energía por cada unidad consumida); respecto de los cultivos de soja y girasol.

Paralelamente, a esta demanda interna de biocombustibles, existe una demanda creciente de los países Europeos de este tipo de combustibles, lo que los obliga a incrementar sus importaciones, por lo que Argentina podría tener un rol importante como proveedor de biodiesel, sobre todo teniendo en cuenta que es uno de los principales productores de aceites vegetales. Actualmente la producción nacional de aceite se basa casi exclusivamente de los cultivos estivales, principalmente soja y girasol, por lo que el cultivo de colza se presenta como una interesante alternativa de producción invernal para una amplia zona. Sin embargo, el cultivo tiene problemas tecnológicos que no se han podido subsanar debido a la escasa inversión que se ha realizado en investigación y experimentación.

La tecnología que se está empleando proviene de los principales países productores, con escasa o nula adaptación local. Un primer paso sería avanzar en estudios ecofisiológicos, que permitan entender y definir la potencialidad productiva de la colza en nuestros ambientes.

En este sentido, los ensayos pertenecientes a la Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Colza, coordinados por el INTA Barrow, permiten avanzar en la generación de conocimiento de este cultivo en nuestro territorio. En los mismos, y para ciertos años particulares, los cultivares de tipo invernal presentaron diferencias en el rendimiento respecto de los primaverales. Esto mismo fue demostrado en el trabajo de Trentacoste (2007) para la localidad de Balcarce, en el cual las variedades invernales Teddy y SW Gospel tuvieron mayor producción de grano que el cultivar de tipo primaveral Eclipse. Sin embargo, no parece estar claro si estas diferencias entre los dos tipos de cultivares se deben realmente a diferencias en el potencial de rendimiento de los mismos.

Como se mencionó en párrafos anteriores, la calidad comercial del grano de colza como oleaginosa alimenticia está definida según las normas de comercialización del país e incluyen el contenido de aceite ($>43\%$), ácido erúico ($<2\%$), y glucosinolatos ($<20\ \mu\text{moles g}^{-1}$). Es decir, que el mercado bonifica, penaliza o rechaza según la calidad del grano que se recibe. Por lo tanto, es de relevancia agronómica y económica estudiar, en el presente o futuros trabajos, cómo el ambiente modifica la calidad del mismo.

1.4. Fisiología del cultivo

Los análisis filogenéticos, basados en el uso de marcadores moleculares, diferencian el germoplasma de *Brassica napus* en dos grupos principales: cultivares invernales (sembrados principalmente en casi toda Europa) y cultivares primaverales (usados en el norte de Europa y Canadá); y una tercer categoría intermedia (genotipos Austos y Asiáticos), con características de ambos grupos (Diers y Osborn, 1994).

Los cultivares de tipo invernal tienen usualmente mayor rendimiento que los de tipo primaveral, es por ello que la introgresión de germoplasma de tipo invernal, en los híbridos primaverales, ha conseguido un aumento del rendimiento de éstos (Butruille *et al.*, 1999).

El rendimiento potencial de un cultivo puede ser definido como el esperado, en un ambiente adaptado sin limitantes de nutrientes y agua, y con el control completo de cualquier tipo de adversidad o estrés (Evans y Fischer, 1999).

Distintos trabajos de investigación tratan de explicar las diferencias de rendimientos entre cultivares poniendo el acento en alguna variable en particular, por ejemplo León y Becker (1995); Diepenbrock (2000), trabajando particularmente en colzas invernales, indican que el índice de cosecha es la principal variable que limita el rendimiento. Otros trabajos, como los de Habekotté (1993), han encontrado una relación lineal entre el tamaño de la planta a floración (biomasa) y la cantidad de órganos reproductivos producidos, lo cual explicaría las diferencias de rendimiento entre cultivares.

Debido a que la producción de biomasa en antesis está principalmente asociada a la cantidad de radiación interceptada durante ese período (Evans, 1984; Gallagher y Biscoe, 1978), cambios en la duración relativa de las etapas vegetativa y reproductiva de los cultivos podrían ocasionar incrementos tanto en la producción de biomasa como en el índice de cosecha.

Habekotté (1997a) trabajando con modelos de crecimiento evaluó la posibilidad de incrementar cuantitativamente el rendimiento, como resultado de ello encontró que el atraso de la madurez del cultivo y la prolongación de la etapa de floración eran dos herramientas importantes para lograrlo; hecho explicado principalmente por un aumento de la biomasa producida en esta etapa y su relación lineal con el número de granos obtenidos.

Un modelo sencillo que expresa el rendimiento, es a través de los subcomponentes numéricos. De esta manera, el rendimiento por unidad de superficie es el producto de la densidad de plantas, el número de silícuas por planta, el número de granos por silícula, el peso individual de granos y el porcentaje de aceite contenido en los mismos (Arnoud, 1989). Las variaciones en el rendimiento son explicadas por cambios en el número de granos más que por variaciones en el peso de los mismos.

Sin bien durante todo el desarrollo fenológico del cultivo se van generando los componentes numéricos y fisiológicos del rendimiento, es posible identificar una ventana crítica para la generación del rendimiento donde una disminución de los recursos (radiación, agua y nutrientes) o algún estrés, producirá una importante reducción del rendimiento final del cultivo (Mingeau, 1974). En el caso de colza este período crítico se ubica aproximadamente en las dos semanas (Mendham *et al.*, 1981) o 350 °Cd posteriores al inicio de la floración (Olsson, 1960; Tayo y Morgan, 1975; Thurling, 1974; Morrison y Stewart, 2002; Habekotté, 1997a), equivalentes a unos 20-

30 días, cuando se define el nivel de aborto de flores y el número potencial de granos por unidad de superficie, principal componente del rendimiento (Mendham *et al.*, 1984; Tommey y Evans, 1992; Habekotté, 1993; Dreccer *et al.*, 2000a; Diepenbrock, 2000). Sin embargo, éste nunca ha sido referido al crecimiento de algún órgano reproductivo en particular, que permita de esta manera su identificación ante variaciones en la duración de la etapa de floración.

Durante la etapa de floración se produce una rápida reducción del índice de área foliar (IAF), el cual, a pesar de que es compensado en parte por el área verde de las silicuas, de menor eficiencia fotosintética, crea un déficit de asimilados para la definición del rendimiento (Gabrielle *et al.*, 1998; Diepenbrock, 2000). Posteriormente, la superficie de las silicuas alcanza los mismos niveles de intercepción que a comienzo de floración (Allen y Morgan, 1972) y la fijación neta de carbono es mayor en éstas que en el de las hojas, ya que están expuestas a mayor radiación (Gammelvind *et al.*, 1996).

El número potencial de granos decrece durante el período de dos o tres semanas después de floración (Pechan *et al.*, 1985), momento en el cual cesa el aborto de granos; para minimizar este proceso es fundamental una provisión constante de asimilados; por lo tanto la disponibilidad de fuente, en esta fase, gobierna la cantidad de los mismos (Evans, 1984; Keiller y Morgan, 1988; Leterme, 1988). Durante el período inmediatamente posterior a la floración se define el otro componente del rendimiento que es el peso de los granos, el cual generalmente presenta una menor variación que el número medio de silicuas y de granos por silicua (Mendhan *et al.*, 1981; Sierts *et al.*, 1987). Sin embargo, algunas evidencias (Léon y Becker, 1995) muestran que el peso de los granos se correlaciona negativamente con el número de granos por silicua sugiriendo una hipótesis de competencia por asimilados para explicar el menor peso de los granos ante un aumento de los destinos reproductivos.

Al tratarse de un cultivo oleaginoso, tan importante como su rendimiento en grano lo es el rendimiento en aceite.

La síntesis de los ácidos grasos, en la semilla de colza, empieza entre los 30 y 40 días posteriores a la floración, y alcanza su punto máximo en madurez fisiológica (Triboi Blondel y Renard, 1999; Si, 2007; Baux *et al.*, 2008). El contenido de aceite del grano maduro de colza puede alcanzar 50-52% del peso seco del grano. Sin embargo, este valor frecuentemente resulta menor en condiciones de producción, variando de acuerdo al genotipo, las condiciones ambientales durante el llenado de los granos y

algunas prácticas de manejo como la fecha y densidad de siembra y el nivel de fertilización (Agosti, 2011)

Sin embargo aún no está totalmente dilucidado en que etapa de desarrollo del cultivo y en que medida los factores ambientales afectan la síntesis de los ácidos grasos (Trémolières *et al.*, 1997). Según Ghobadi *et al.* (2006) la duración de la etapa pos-floración y la acumulación de agua en la misma se correlacionan de forma positiva con la concentración de aceite, como así también con el rendimiento en grano; mientras que la temperatura en la misma etapa se correlaciona en forma negativa. Altas temperatura en la etapa postfloración, además de producir una merma en el rendimiento de aceite, provoca una caída en la calidad del mismo; trabajos como los de Pritchard *et al.* (2000); Merrien *et al.* (2007) y Baux *et al.* (2008) demuestran que cuando el cultivo desarrolla la etapa de llenado de grano bajo temperaturas frescas se produce un aumento de la concentración de ácidos grasos polinsaturados, principalmente alfa-linolénico, por desaturación de los ácidos grasos saturados. Sin embargo, Si (2007) trabajando con materiales contrastantes de colza en Australia, encontró que el aumento de temperatura en la etapa pos-floración, dada principalmente por el atraso en la fecha de siembra, acortaba la duración de dicha etapa, pero aumentaba la tasa de acumulación de aceite, siempre que la disponibilidad de agua no sea limitante; por lo que la concentración final de éste en los granos aumentaba.

El efecto de la radiación sobre la calidad del grano ha sido poco estudiado, pero existen antecedentes que muestran un efecto positivo de la cantidad de radiación interceptada por el cultivo durante la etapa postfloración sobre el contenido de aceite y el perfil de ácidos grasos en colza (Izquierdo *et al.*, 2009).

En resumen, el rendimiento en grano y aceite del cultivo de colza es la consecuencia de una serie de sucesos a lo largo de todo el ciclo del cultivo. Sin embargo, no todo este periodo resulta igualmente importante en la determinación de los mismos, sino que existen periodos más críticos que otros durante los cuáles, si las condiciones no son favorables, se producirán las mayores pérdidas. Identificar cuál o cuáles son estos periodos permite determinar qué etapas del ciclo deben estar sometidas a las mejores condiciones ambientales y orientar las prácticas de manejo para que en estas etapas haya una óptima disponibilidad de recursos y una buena capacidad de las plantas para capturarlos y utilizarlos (De La Fuente *et al.*, 2006).

1.5. Hipótesis

- 1) En el sudeste bonaerense, bajo condiciones potenciales de manejo de cultivo (i.e. sin limitaciones hídricas, ni de nutrientes, ni sanitarias), los genotipos de colza invernales presentan mayor rendimiento que los genotipos primaverales.
- 2) El mayor rendimiento de los genotipos invernales se debe a una mayor duración del período crítico para la determinación del rendimiento.
- 3) El período crítico para la definición del rendimiento del cultivo se corresponde con el período de floración y para concentración de aceite con el llenado del grano.

1.6. Objetivos

- 1) Cuantificar las diferencias en el potencial de rendimiento entre genotipos primaverales e invernales.
- 2) Identificar las causas de esas diferencias.
- 3) Determinar, para las condiciones del sudeste de bonaerense, la localización del período crítico del cultivo para rendimiento y concentración de aceite.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Sitio experimental

Los ensayos fueron implantados en el año 2008, en el predio de la Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (37°45' S, 58°18' W, 130 m s.n.m.) y en la Chacra Experimental Integrada Barrow (38°19' S, 60°14' W, 120 m s.n.m.) de la provincia de Buenos Aires, Argentina, pertenecientes al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), y al Ministerio de asuntos agrarios de la provincia de buenos aires respectivamente; sobre un suelo Argiudol típico (familia fina, mixta y térmica) y Paleudol petrocálcico (familia fina, illítica y térmica), respectivamente.

El clima de Balcarce fue caracterizado por Thornthwaite (1948) como mesotermal húmedo-subhúmedo sin estación seca. Presenta una temperatura media anual de 13,8 °C (para el periodo 1970-2007), precipitación media anual de 931 mm (1970-2007) y un periodo libre de heladas de aproximadamente 160 días comprendido entre mediados de Noviembre a fines de Abril (datos aportados por la estación agrometeorológica INTA Balcarce). En Barrow, el régimen hídrico es subhúmedo, con temperatura media anual de 14.7°C (1971-2007) y precipitación media anual de 755 mm (1971-2007). El periodo libre de heladas se extiende desde inicio de Noviembre a fines de Abril con aproximadamente 172 días de duración (Estación agrometeorológica CHEI Barrow).

Las Fig. 6 a y b muestran la marcha de temperatura media, máxima y mínima decádica sucedida durante la campaña 2008/09; mientras que en las Fig. 7 a y b se presenta la precipitación acumulada en los meses de abril a diciembre de 2008 y su comparación con la precipitación acumulada histórica, para ambas localidades.

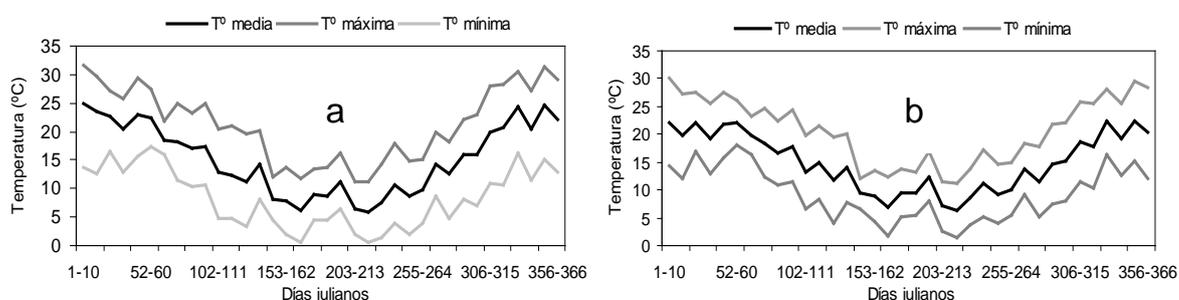


Fig. 6. Temperatura media máxima y mínima decádica observada durante la campaña 2008, para la localidad de (a) Barrow y (b) Balcarce.

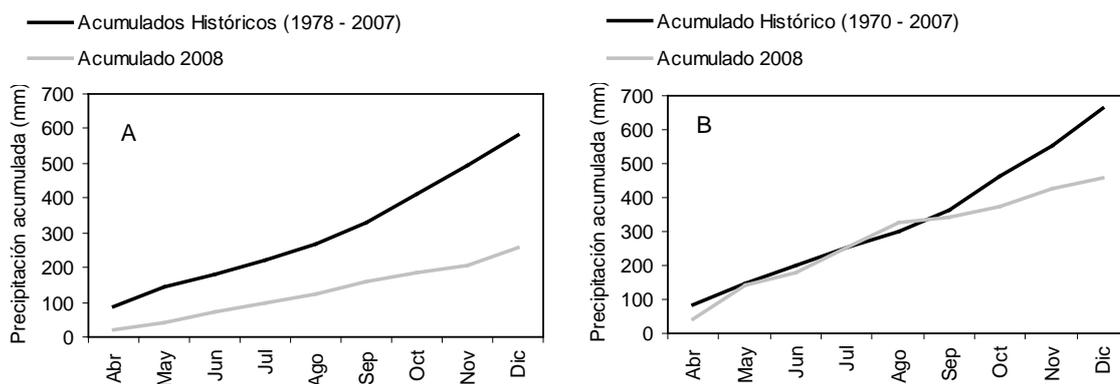


Fig. 7. Precipitaciones acumuladas en el periodo Abril – Diciembre histórica y observada durante la campaña 2008, para la localidad de (A) Barrow y (B) Balcarce.

La radiación solar incidente diaria, para el periodo mayo-diciembre de 2008, se presenta a continuación en las Fig. 8 a y b.

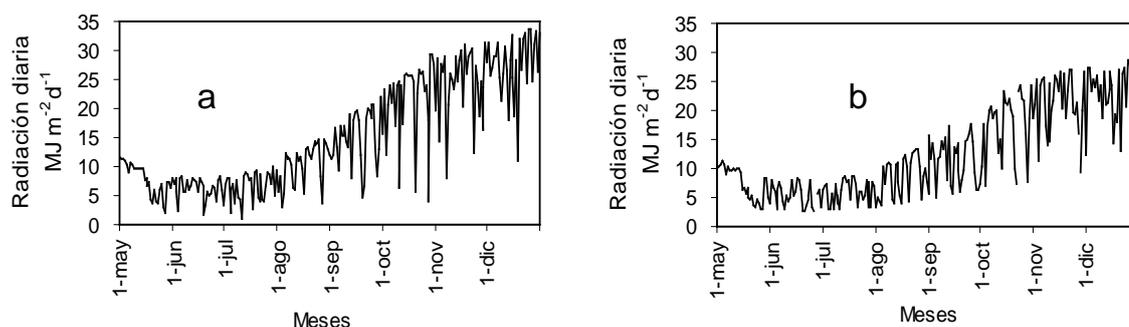


Fig. 8. Evolución de la radiación media diaria durante el ciclo de crecimiento del cultivo, para la localidad de (a) Barrow y (b) Balcarce.

2.2. Manejo de los experimentos

Para determinar el período crítico del cultivo para obtener el mayor rendimiento y concentración de aceite, se realizó un ensayo (Ensayo 1) en la Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. Para ello el día 4 de junio de 2008 se sembró el híbrido primaveral SW2797. Las pautas de manejo y de diseño experimental de este ensayo fueron similares a las que se explican en los ensayos 2 y 3.

Para determinar el período crítico, en distintos estados fenológicos del cultivo se redujo aproximadamente 60% la radiación incidente por medio de una red de media sombra, ubicada por sobre las parcelas correspondientes. En la Tabla 2 se detallan los tratamientos y su duración. Si bien, el uso de redes, no es la única metodología capaz

de generar algún tipo de estrés, se optó por esta ya que resulta sencilla, no destructiva y exacta por lo cual es ideal para trabajar en condiciones potenciales de cultivo.

Tabla 2. Periodos de sombreo, fechas de inicio y fin, y duración de los mismos para los diferentes tratamientos del ensayo 1.

Tratamientos	Sombreo desde-hasta	Inicio	Fin	Duración (d)
SO (testigo)	(sin sombreo)			
S1	C2 - F1	4-Sep	24-Sep	20
S2	F1 - F2	24-Sep	8-Oct	14
S3	F2 - G2	8-Oct	23-Oct	15
S4	G2 - G4	24-Oct	11-Nov	18

La fase de sombreo para el tratamiento S1 estuvo comprendida entre el estado de entrenudos visibles y comienzo de floración; para S2 entre comienzo de floración y plena floración; S3 entre plena floración y comienzo de llenado de granos, y para S4 entre comienzo y fin de llenado efectivo de granos.

Para cuantificar las diferencias en el potencial de rendimiento se llevaron a cabo dos ensayos (Ensayos 2 y 3) en Balcarce y Barrow respectivamente. Para la elección de los materiales participantes (tratamientos) se recurrió a los datos de la Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Colza, entre los que se eligieron por sus aptitudes productivas los cultivares de tipo invernal (inv) SW Gospel (variedad) y Pulsar (híbrido), y los de tipo primaveral (prim) Biolza440 (variedad) y SW2797 (híbrido).

En la Tabla 3 se presenta la fecha de siembra para cada cultivar según la localidad.

Tabla 3. Fechas de siembra de los diferentes cultivares en las localidades de experimentación, correspondientes a la campaña 2008.

Cultivares	Localidades	
	Balcarce	Barrow
Pulsar (inv)	03-Jun	06-May
SWGospel (inv)	03-Jun	06-May
SW2797 (prim)	10-Jul	02-Jun
Biolza440 (prim)	10-Jul	02-Jun

En principio se usó la misma fecha de siembra para ambas localidades, pero al surgir problemas de implantación en el ensayo de la localidad de Balcarce se optó por resembrarlo y de esta manera se produjo un defasaje en el tiempo respecto del ensayo de la localidad de Barrow.

La siembra de las parcelas se realizó con sembradora experimental de grano fino en ambas localidades, la densidad de siembra fue de 5 kg ha⁻¹, consiguiendo un número final de 108 (± 30) plantas m⁻² (recuento realizado en el estado B2). En Balcarce las parcelas fueron de 11 m de largo y 7 surcos, distanciados 0,20 m; en Barrow las parcelas fueron de 6 m de largo y 8 surcos distanciados 0,32 m. En ambos experimentos el diseño experimental usado fue en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones.

El plan de fertilización en ambos ensayos consistió en una fertilización inicial de 90 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico, el que fue incorporado al suelo previo a la siembra. Luego se aplicaron 170 kg ha⁻¹ de N (urea granulada) en forma fraccionada desde el estado de roseta hasta botón floral visible; la aplicación se hizo al voleo en cobertura total. Además, se incorporó 35 kg ha⁻¹ de S en forma de sulfato de calcio en coincidencia con las aplicaciones de N. Con las cantidades aplicadas no es de esperar limitaciones de nutrientes para los niveles de crecimiento y rendimiento esperados en los presentes ensayos.

Todos los tratamientos se mantuvieron libres de plagas, enfermedades y malezas usando control químico, mecánico y manual cuando este fue necesario. En el caso puntual de malezas, se uso en pre-siembra treflan a razón de 1,8lt/ha, mientras que en el estado de roseta se aplicó 0,3lt/ha de Lontrel. Se uso riego complementario en forma de aspersión para mantener el perfil edáfico con un nivel superior al 50% de agua útil. Para determinar las necesidades de riego se realizo un balance hídrico, usando el método FAO-56 (Allen et al., 1998), a partir de la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones del año, y luego se hicieron controles periódicos de la humedad del suelo.

2.3. Mediciones y análisis estadístico

2.3.1. Fenología

Los cambios fenológicos de los diferentes cultivares de colza utilizados fueron registrados periódicamente. Para ello se utilizó la escala del CETIOM (Arnoud, 1989) (Anexo A). Los estados consignados fueron: (A) cotiledones visibles; (B6) roseta de 6 hojas; (C2) Entrenudos visibles; (D2) Inflorescencias visibles; (F1) primeras flores

abierta; (G3) silicuas mayores a 4 cm; (G5) coloreado de granos. Las fechas en la que se computaron dichos estados correspondieron al momento en que el 50% de las plantas lograron los mismos.

La tasa de desarrollo (R ; d^{-1}) entre eventos fenológicos fue calculada como la inversa de la duración del tiempo calendario (d) transcurrido entre dos estados de interés.

$$\text{¡Error! Marcador no definido. } R = \frac{1}{d} \text{ Ec. [1]}$$

Para las distintas etapas de desarrollo se calculó el tiempo térmico (TT, en $^{\circ}\text{Cd}$) siguiendo la metodología general propuesta por Ritchie y Smith (1991) y Miller *et al.* (2001). El TT se calculó a partir de la temperatura media diaria (T_m), y la temperatura base por debajo de la cual el desarrollo se detendría (T_b); en este caso se utilizó como temperatura base 5°C (Morrison *et al.*, 1989).

Para el cómputo del TT se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$TT = \sum_{i=d}^{i=1} T_i \quad \text{Ec. [2]}$$

$$\text{¡Error! Marcador no definido. } T_i = T_{m_i} - T_b \quad \text{Ec. [3]}$$

Donde T_{m_i} corresponde a la temperatura media diaria el día d en que finalizó la fase estudiada.

2.3.2. *Peso seco del cultivo*

La producción de biomasa (i.e. el peso seco total producido) fue medida en diferentes estados fenológicos según se detalla en la Tabla 4. Para cada una de las parcelas se procedió al muestreo de una superficie de $0,50 \text{ m}^2$, se cortaron plantas al ras del suelo, dejando una distancia mínima entre muestreos sucesivos de $0,3 \text{ m}$ para

evitar el efecto bordura; luego las muestras se secaron en estufa a 60°C hasta peso constante.

Tabla 4. Estados fenológicos (ver Anexo A), seleccionados para realizar los diferentes muestreos de biomasa aérea, según ensayos.

Ensayo 1	Ensayos 2 y 3
C2; fin de E; F2; G2; G4; G5	C2; D2; F1; G5

En el ensayo 1 los muestreos de biomasa se realizaron al comienzo y al final de cada tratamiento de sombreo, y al momento de madurez fisiológica (G5) se procedió a muestrear todos los tratamientos. El estado G5 se determinó por medio de la coloración de los granos en las silicuas ubicadas sobre el tallo principal. El tratamiento testigo para este mismo ensayo fue muestreado cada vez que se iniciaba y terminaba cualquiera de los tratamientos con sombreo.

En cada muestreo se determinó el peso seco total y la proporción en peso de los principales órganos: tallos, hojas (incluyendo el pecíolo) y órganos reproductivos cuando éstos estaban presentes (inflorescencias y frutos).

2.3.3. Área verde e índice de área foliar

En cada muestra perteneciente a la localidad de Balcarce se determinó el área verde (fotosintética), expresada como índice de área foliar (IAF), siguiendo la metodología de Abbate *et al.* (1998). El mismo se estimó midiendo la superficie (de un solo lado) de todas las hojas presentes en una submuestra. Las áreas se midieron utilizando planímetro LI-3000 (LI-COR, Lincoln, NE, USA). A partir del área foliar (AF) y el peso seco de cada submuestra se calculó el área foliar específica (AFE) como:

$$AFE = \frac{AF}{PST} \quad \text{Ec. [4]}$$

Finalmente, el IAF se calculó como el producto entre el AFE y el peso seco total por unidad de superficie (PST):

$$IAF = AFE \cdot PST \quad \text{Ec. [5]}$$

2.3.4. Cobertura del cultivo e interceptación de la radiación

Para la localidad de Barrow, al no contar con un planímetro, a partir de los 30 días desde emergencia y hasta comienzo de llenado de granos, se midió en forma periódica el porcentaje de cobertura del cultivo por medio de imágenes digitales, ya que la estructura del canopeo en estados tempranos dificulta el uso de un radiómetro lineal. Esta técnica permite obtener valores de cobertura semejantes a los de radiación interceptada obtenidos usando el radiómetro lineal (Purcell, 2000). A tal fin se utilizó una cámara digital Olympus, modelo Stylus 740, la que se montó horizontalmente a una altura de 1.5 m por sobre la canopia del cultivo y se procedió a la captura de dos fotografías por parcela, posteriormente por medio del programa SigmaScam 6.1 se analizaron las mismas. La cobertura del cultivo fue calculada como el cociente entre el número de píxeles verdes y el total de números de píxeles para cada fotografía.

Con el porcentaje de cobertura del cultivo y la radiación incidente se procedió a calcular la RFA (radiación fotosintéticamente activa) interceptada por el cultivo.

Una vez alcanzada la floración se utilizó un radiómetro lineal cuántico (Licor LI250A, Lincoln, NE, USA) para medir la radiación incidente en dos estratos del cultivo, y con ello estimar la proporción de RFA interceptada por el cultivo (LI), según la siguiente ecuación (Abbate *et al.*, 1998):

$$LI = \frac{RFA_s}{RFA_o} \cdot 100 \quad \text{Ec. [6]}$$

donde RFA_s fue la RFA incidente justo por encima del estrato de hojas senescente, y RFA_o fue la RFA incidente por encima del cultivo. La medición fue realizada al mediodía, teniendo la precaución que el cielo se encontrara despejado, ubicando el sensor perpendicular a las hileras. Se realizaron 3 mediciones por parcela con una frecuencia de 10 a 15 d. Los valores de LI correspondientes a los días entre mediciones fueron obtenidos por interpolación lineal entre los valores medidos en función del tiempo (Abbate *et al.*, 1998). La RFA interceptada ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) para cada día fue calculada como el producto de la fracción correspondiente de la RFA interceptada diariamente y la RFA incidente diariamente. Con el porcentaje de RFA

interceptado, se procedió a calcular la RFA interceptada por el cultivo (RFAi), computando la RFA incidente como el 50% de la radiación solar total (Monteith, 1972)

$$RFAi = 0.5 \cdot LI \cdot RFA \quad \text{Ec. [7]}$$

2.3.5. Rendimiento y sus componentes

En madurez fisiológica se recolectaron dos muestras; una de 1 m² sobre la cual se determino el rendimiento (expresado en base seca) y una segunda muestra, compuesta por 5 plantas, sobre la que se calculó la partición hacia tallos y órganos reproductivos, además sobre esta misma se evaluaron los componentes de rendimiento: número de silicuas m⁻², número de granos por silicua y peso/grano granos (PG).

El peso seco por grano, fue determinado previo secado en estufa de los granos, contando y pesando 1000 granos por parcela, luego el número de granos m⁻² (NG) fue estimado a partir del rendimiento (seco) y el peso seco por grano.

El índice de cosecha (IC) se calculó como el cociente entre el peso seco del grano y el peso seco total a madurez.

El porcentaje de aceite en los granos fue determinado con el procedimiento Soxhlet y corregido al 8% de humedad, sobre una muestra de 50 g, en el Laboratorio de Calidad Industrial de Granos perteneciente a la EEI Barrow.

La tasa de crecimiento de cultivo (TCC), entre dos muestreos se calculó como el cociente entre el incremento (D) de peso seco y los días transcurridos en el periodo estudiado.

$$TCC = \frac{DBiomasa}{Dtiempo} \quad \text{Ec. [8]}$$

El periodo de crecimiento de la inflorescencia (PCI) se definió de manera equivalente a trigo (Abbate *et al.*, 1997), e.d. como el intervalo en que las inflorescencias pasaron del 5 al 100% de peso seco desde floración, exceptuando el peso seco de los granos.

La eficiencia de uso de la radiación (EUR) se calculo como el cociente entre TCC y la radiación interceptada.

2.3.6. Análisis estadístico

El efecto de los tratamientos de colza sobre el desarrollo, crecimiento, rendimiento en grano y aceite fue estudiado por análisis de la variancia (ANVA). Las medias fueron comparadas mediante el test de mínima diferencia significativa (MDS) cuando el ANVA indicó diferencias de medias significativas. Las asociaciones entre variables fueron evaluadas mediante regresiones lineales utilizando el software InfoStat versión 1.0. En todos los análisis estadísticos se utilizó un nivel de significancia de 0.05.

3. RESULTADOS

3.1. Período crítico del cultivo

3.1.1. Fenología

Los diferentes tratamientos de sombreo aplicados al material SW2797 no modificaron la fenología del cultivo, es decir, las fechas en las que se alcanzaron las principales etapas fenológicas, fueron las mismas, indistintamente a que tratamiento pertenecían. De la misma manera, la tasa de desarrollo calculada entre etapas consecutivas no presentó variación alguna entre tratamientos. En el Tabla 5 se presentan las variables fonológicas para el cultivo en general.

Tabla 5. Fecha de ocurrencia de los diferentes estados fenológicos considerados en el experimento, duración de cada etapa (d), tasa de desarrollo de las mismas (d^{-1}) y tiempo térmico acumulado ($^{\circ}Cd$, con temperatura base $5^{\circ}C$). Emergencia (E), cotiledonar (A); entrenudos visibles (C2); inicio de floración (F1); silicuas mayores a 4 cm (G3); madurez fisiológica (G5).

	E	A	C2	F1	G3	G5
Fecha	22-jun	25-Jun	04-Sep	27-Sep	25-Oct	27-Nov
Días acumulados	0	3	74	97	125	158
Tasa de desarrollo (d^{-1})		0,333	0,014	0,043	0,036	0,030
TT ($^{\circ}Cd$)		4	326	457	670	1140

3.1.2. Producción de biomasa (peso seco)

La biomasa producida por los diferentes tratamientos se presenta en la

Tabla 6. En todos los momentos de muestreo se produjo una merma en la producción de biomasa del tratamiento que finalizaba el sombreo respecto al testigo, salvo en el tratamiento S4 el cual no presentó diferencias significativas ni al inicio ni al final del sombreo.

Tabla 6. Biomasa aérea producida ($g\ m^{-2}$) por los diferentes tratamientos de sombreo en los diferentes momentos de muestreos. Dentro de una misma columna, letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($\alpha=0,05$, MDS). Entrenudos visibles (C2); inicio de floración (F1); plena floración (F2); silicuas mayores a 4 cm (G3); primeras silicuas con granos de tamaño definido (G4); madurez fisiológica (G5).

Tratamientos	C2	F1	F2	G3	G4	G5
S0	159	483 a	703 a	926 a	1187	1266
S1	166	323 b				1243
S2		448 a	516 b			1231
S3			708 a	759 b		1231
S4				943 a	1007	1212
DMS	n/s	66,9	89,6	75,9	n/s	n/s

La contribución, absoluta y porcentual, de los diferentes órganos de la planta a la biomasa total se presentan en la Tabla 7 y Fig. 9 respectivamente. El efecto de sombreo produjo disminuciones significativas en el peso seco de los diferentes órganos de la planta según el momento en que se practico éste.

En el tratamiento S1 el efecto de sombreo redujo significativamente el peso seco de hoja, y en mayor medida el de tallo ya que este tratamiento fue sombreado en plena etapa de elongación (EL). En los tratamientos S2 y S3 se redujo el peso seco de los tallos y en mayor medida el de las inflorescencias, mientras que en el tratamiento S4 al abarcar el llenado de granos sólo disminuyó significativamente el peso de las inflorescencias. No obstante, al momento de madurez fisiológica no se hallaron diferencias, tanto en la biomasa total como en la producida por los diferentes órganos, entre los tratamientos de sombreo y el testigo.

Tabla 7. Distribución de la biomasa en sus diferentes órganos aéreos según los diferentes tratamientos para cada una de los momentos de muestreo. Dentro de una misma columna, letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($\alpha=0,05$, MDS). Entrenudos visibles (C2); inicio de floración (F1); plena floración (F2); silicuas mayores a 4 cm (G3); primeras silicuas con granos de tamaño definido (G4); madurez fisiológica (G5).

Tratamientos	C2 (g m ⁻²)		F1 (g m ⁻²)			F2 (g m ⁻²)		
	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Inflorescencia	Hoja	Tallo	Inflorescencia
S0	119 a	40	207 a	262 a	14 a	173	434 a	95 a
S1	128 a	38	159 b	157 b	7 b			
S2			190 a b	246 a	12 a	147	310 b	59 b
S3						166	443 a	98 a
S4								
DMS	26,30	n/s	40	33,7	3,3	n/s	55,1	23,3

Hoja	G3 (g m ⁻²)		Hoja	G4 (g m ⁻²)		Hoja	G5 (g m ⁻²)	
	Tallo	Inflorescencia		Tallo	Inflorescencia		Tallo	Inflorescencia
131	521 a	274 a	29	482	678 a	397	868	
						407	836	
						408	823	
108	454 b	198 b				431	800	
126	522 a	296 a	28	476	502 b	462	750	
n/s	53,3	35,3	n/s	n/s	146,5	n/s	n/s	

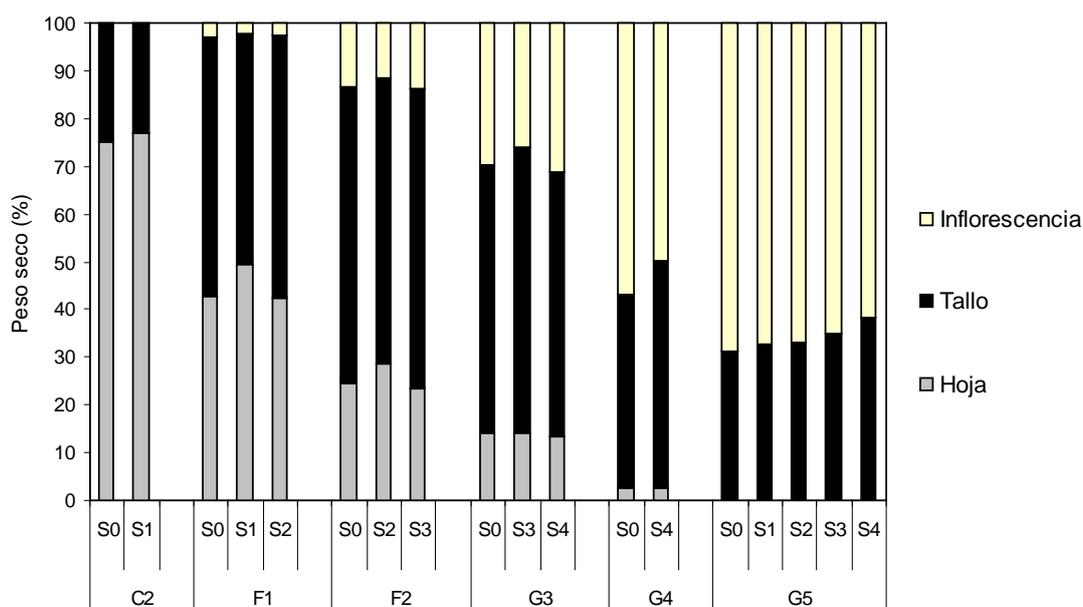


Fig. 9. Contribución porcentual de los principales órganos de la planta (hoja, tallo e inflorescencia) a la biomasa aérea seca total, a través de los diferentes muestreos de los correspondientes tratamientos de sombreado. Entrenudos visibles (C2); inicio de floración (F1); plena floración (F2); silicuas mayores a 4 cm (G3); primeras silicuas con granos de tamaño definido (G4); madurez fisiológica (G5).

3.1.3. Rendimiento y sus componentes

El rendimiento, expresado como porcentaje respecto al testigo, mostró una caída con el sombreado durante floración (S3) y el inicio del llenado del grano (S4) (Fig. 10 A), esta merma en la producción fue del 15% para ambos tratamientos, y se debió principalmente a una disminución significativa en el número de granos por unidad de superficie. (Fig. 10 B).

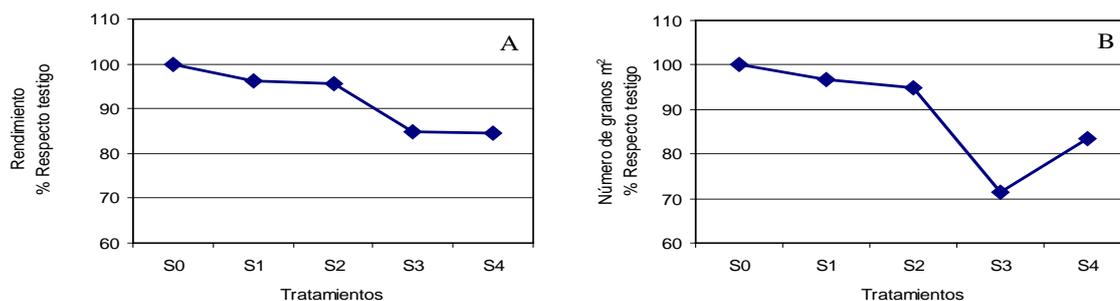


Fig. 10. (A) Rendimiento en grano y (B) número de granos por unidad de superficie, expresados en porcentaje respecto al testigo, de los diferentes tratamientos de sombreado ($\alpha=0,05$; MDS= 13 y 11 % para A y B respectivamente).

Si bien el tratamiento de sombreado aplicado en plena floración (S3) tuvo un menor número de granos m² (Fig. 10B), logró compensar parcialmente el rendimiento por medio de un mayor peso por grano (3.8 vs 3.2 mg). Sin embargo, esta compensación no pudo contrarrestar totalmente la caída en la producción de granos.

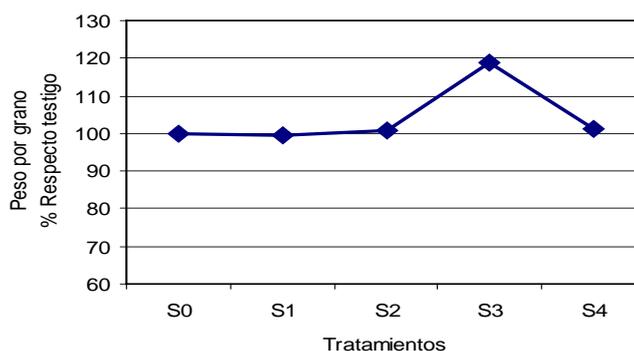


Fig. 11. Peso por grano, expresados en porcentaje respecto al testigo, de los diferentes tratamientos de sombreado. ($\alpha=0,05$; MDS= 6.3 %)

El estrés de radiación aplicado desde fines de la etapa de elongación hasta la primera semana de iniciada la floración (S2), mostró, al igual que el tratamiento S3, una reducción en el número de silicuas m² del orden del 19% respecto al tratamiento testigo (Fig. 12 A). Sin embargo, la reducción en el número de silicuas pudo compensarse con un aumento del 20% en el número de granos/silicua (Fig. 12 B).

De esta manera, los tratamientos de sombreado aplicados a partir de plena floración (S3) y comienzo de llenado de granos (S4) resultaron ser los más sensibles en cuanto a la caída de la producción de granos.

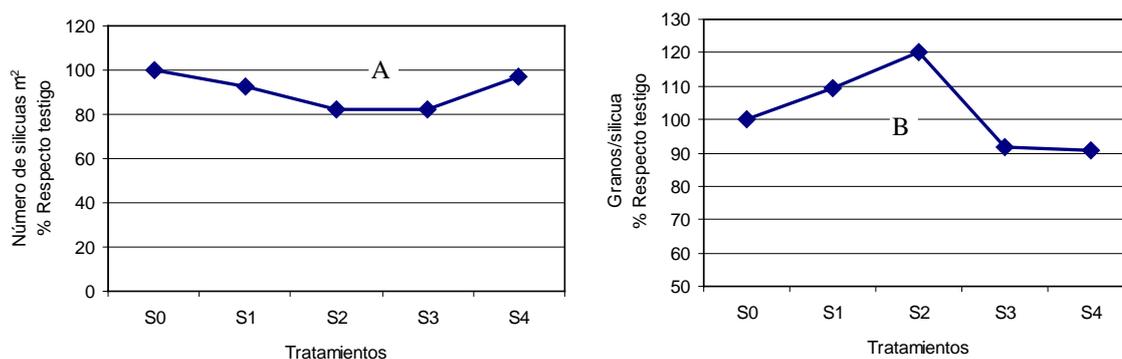


Fig. 12. (A) Número de silicuas y (B) número de granos por silicuas, expresados en porcentaje respecto al testigo, de los diferentes tratamientos de sombreo ($\alpha=0,05$; MDS= 17 y 18 % para A y B respectivamente).

La concentración de aceite mostró una disminución significativa solo en el tratamiento de sombreo realizado durante llenado de granos (S4), 37.6 g kg^{-1} vs 41.6 g kg^{-1} del testigo (Fig. 13); Esto demuestra una fuerte dependencia de las condiciones ambientales en este momento particular del ciclo del cultivo para la acumulación del aceite.

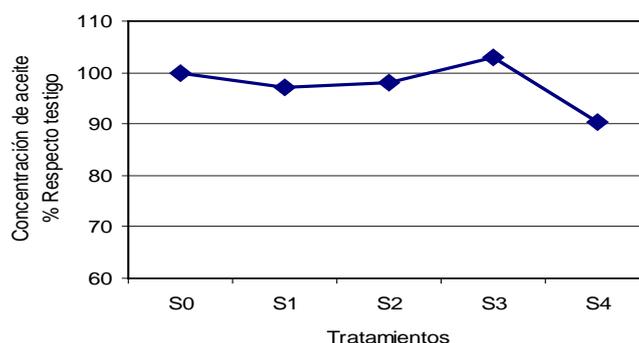


Fig. 13. Concentración de aceite, expresados en porcentaje respecto al testigo, de los diferentes tratamientos de sombreo. ($\alpha=0,05$; MDS= 4.5 %)

3.2. Rendimiento potencial de los diferentes cultivares de colza

3.2.1. Particularidades climáticas del año en estudio

El uso de riego suplementario fue de vital importancia para mantener el suelo a capacidad de campo, ya que las lluvias recibidas en ambas localidades estuvieron muy por debajo de lo requerido por el cultivo. En Balcarce, las precipitaciones sólo alcanzaron los 299 mm, durante el ciclo del cultivo, 117 mm menos que la histórica, mientras que en Barrow el panorama fue aún más desfavorable ya que recibió solo

182 mm en los meses de mayo a noviembre, siendo 407 mm la precipitación histórica para dicho período.

En ambas localidades el comportamiento de la temperatura, durante los meses de siembra, tuvo un mismo patrón, aunque para la localidad de Balcarce siempre estuvieron por encima de la temperatura media histórica (Fig. 14). Contrariamente al comportamiento normal, el mes de junio tuvo una temperatura media 1,1 °C menor que el mes de julio, en ambas localidades. Mientras que este último resultado marcadamente por encima de la histórica (Fig. 14).

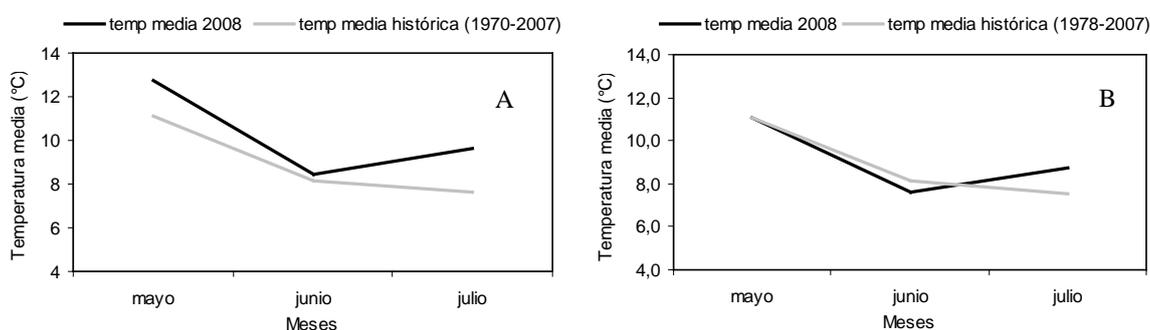


Fig. 14. Marcha de la temperatura media para la campaña de estudio y la histórica durante los meses de implantación de los cultivares invernales y primaverales en la localidad de (A) Balcarce y (B) Barrow.

Para el año en cuestión, el número e intensidad de heladas en ambas localidades no comprometieron el stand de plantas (Fig. 15), aunque para Barrow se observó un número mayor de éstas respecto a Balcarce.

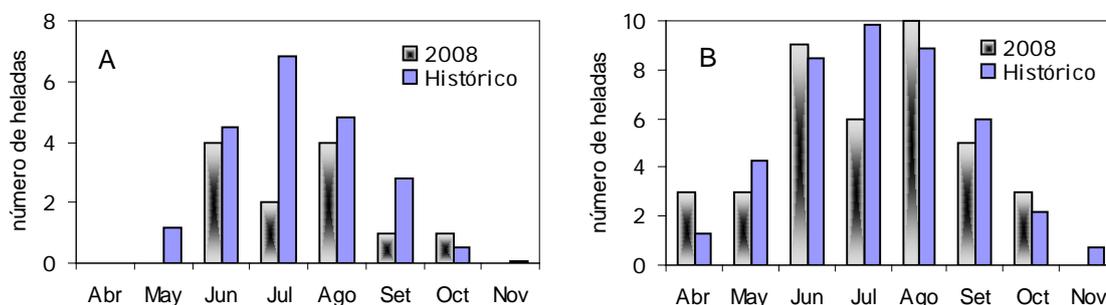


Fig. 15. Frecuencia días con heladas (temperatura mínima diaria menor a 0 °C) registradas en los meses de abril a noviembre, durante la campaña en estudio y la histórica para (A) Balcarce y (B) Barrow.

3.2.2. Fenología

La marcha de la temperatura antes descrita favoreció la rápida emergencia de las siembras de mayo y de julio respecto de las realizadas en Junio (Tabla 8).

Tabla 8. Fecha de siembra y días a emergencia de los diferentes cultivares en Balcarce y Barrow, durante la campaña 2008. MDS= 2.3 y 2.5 para Balcarce y Barrow respectivamente.

Cultivares	Balcarce		Barrow	
	Fecha de siembra	Días a emergencia	Fecha de siembra	Días a emergencia
Pulsar (inv)	03-Jun	18	06-May	11
SWGospel (inv)	03-Jun	18	06-May	11
SW2797 (prim)	10-Jul	11	10-Jun	15
Biolza440 (prim)	10-Jul	11	10-Jun	17

En la Tabla 9, se detallan, para las dos localidades, las fechas en que se alcanzan, para los diferentes cultivares, los estados fenológicos más relevantes, y en la Tabla 10 la temperatura media ocurrida entre etapas consecutivas. Queda claro que si bien hubo una diferencia de un mes en la fecha de emergencia entre los dos tipos de cultivares (invernales y primaverales), la misma se redujo cuando el cultivo alcanzó los estados fenológicos de floración y madurez fisiológica.

Tabla 9. Fechas de ocurrencia de los principales estados fenológicos; emergencia (E), cotiledonar (A); roseta (B6); botón floral visible (D2); inicio de floración (F1); silicuas mayores a 4 cm (G3); madurez fisiológica (G5), de los diferentes cultivares en Balcarce (tabla superior) y Barrow (tabla inferior).

Cultivares	E	A	B6	D2	F1	G3	G5
Pulsar (inv)	21-jun	25-Jun	22-Ago	25-Sep	08-Oct	01-Nov	14-Dic
SWGospel (inv)	21-jun	25-Jun	22-Ago	27-Sep	10-Oct	03-Nov	16-Dic
SW2797 (prim)	21-jul	25-Jul	12-Sep	08-Oct	17-Oct	07-Nov	12-Dic
Biolza440 (prim)	21-jul	25-Jul	15-Sep	10-Oct	18-Oct	08-Nov	13-Dic

Cultivares	E	A	B6	D2	F1	G3	G5
Pulsar (inv)	17-May	19-May	17-Jul	16-Sep	30-Sep	20-Oct	22-Nov
SWGospel (inv)	17-May	19-May	18-Jul	19-Sep	02-Oct	21-Oct	23-Nov
SW2797 (prim)	17-Jun	23-Jun	15-Ago	15-Sep	26-Sep	15-Oct	15-Nov
Biolza440 (prim)	19-Jun	25-Jun	17-Ago	18-Sep	29-Sep	17-Oct	17-Nov

Tabla 10. Temperatura media (°C), durante las etapas fenológicas de los diferentes cultivares en las localidades de Balcarce (tabla superior) y Barrow (tabla inferior).

Cultivares	E - A	A - B6	B6 - D2	D2 - F1	F1 - G3	G3 - G5
Pulsar (inv)	6,7	9,0	10,7	12,5	14,6	19,7
SWGospel (inv)	6,7	9,0	11,0	11,7	15,2	20,0
SW2797 (prim)	6,7	8,8	11,8	12,9	16,5	19,7
Biolza440 (prim)	6,7	8,7	12,1	14,0	16,6	19,9
DMS	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s

Cultivares	E-A	A-B6	B6-D2	D2-F1	F1-G3	G3-G5
Pulsar (inv)	16,7	8,8	7,8	13,4	14,0	19,9
SWGospel (inv)	16,7	8,8	7,9	13,4	14,3	20,1
SW2797 (prim)	5,5	8,2	9,1	12,6	13,1	20,2
Biolza440 (prim)	6,3	8,4	9,2	13,7	13,0	18,5
DMS	0,91	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s

En Barrow, la temperatura media durante la etapa emergencia-cotiledón demoró el desarrollo de los cultivares primaverales respecto de los invernales sembrados un mes antes (Fig. 16).

El ciclo ontogénico total se extendió en 32 y 38 días en los cultivares invernales respecto los primaverales para Balcarce y Barrow respectivamente. La diferencia en el ciclo total se debió principalmente a la duración de la etapa B6-D2, la cual se extendió 10 y 30 días en los cultivares invernales, en Balcarce y Barrow, respectivamente (Fig. 16); si bien todas las fases resultaron en mayor o menor medida más largas para los cultivares invernales. Todos los materiales de tipo invernal tuvieron una duración de la etapa Emergencia-Floración mayor a los de tipo primaveral, siendo esta diferencia de 21 y 34 días para las localidades de Balcarce y Barrow respectivamente (Fig. 16). La duración de la etapa de llenado de granos fue 7 y 3 días mayor nuevamente para los cultivares invernales en dichas localidades (Fig. 16).

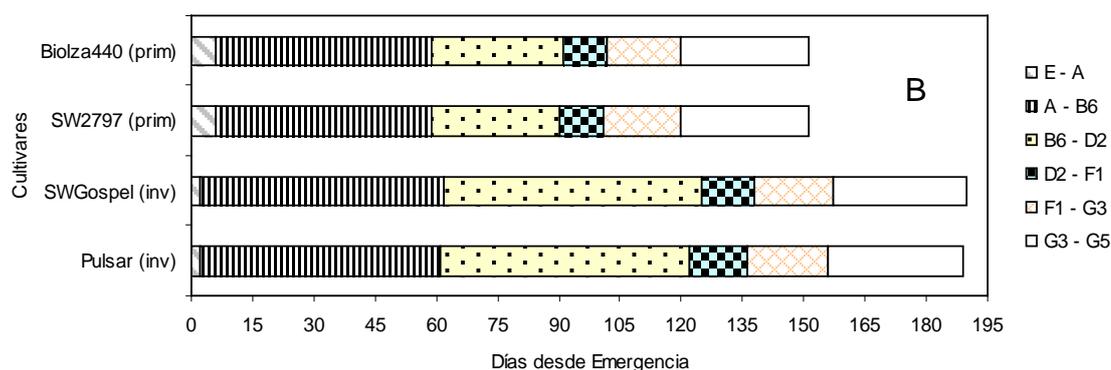
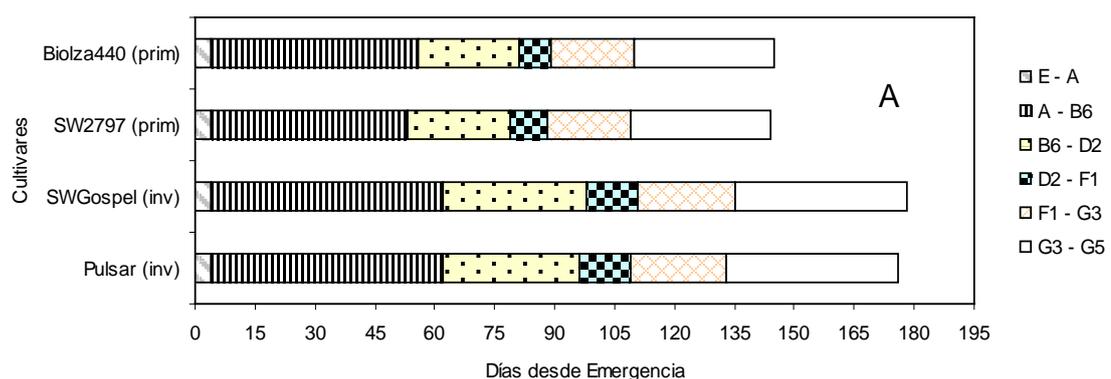


Fig. 16. Duración, expresada en días, de las diferentes etapas fenológicas de los 4 cultivares en la localidad de Balcarce (A) y Barrow (B).

En definitiva, la tasa de desarrollo (i.e, la duración de cada etapa) de los cultivares primaverales fue mayor a los invernales para casi todas las etapas de desarrollo en ambas localidades. Esta mayor tasa de desarrollo por parte de los cultivares primaverales se debió a que sus requerimientos en la acumulación de grados días (tiempo térmico), para pasar de un estado fenológico a otro, fueron menores respecto de los invernales (Tabla 11), y no a un cambio en la temperatura media experimentada (exceptuando la etapa E-A en la localidad de Barrow) (Tabla 10).

Esto queda demostrado en la fuerte asociación hallada entre el tiempo térmico y la duración de las diferentes etapas (Fig. 17).

Tabla 11. Tiempo térmico acumulado ($^{\circ}\text{Cd}$, con temperatura base 5°C) de los cuatro cultivares a través de sus diferentes estados fenológicos, en Balcarce (tabla superior) y Barrow (tabla inferior). Cotiledonar (A); roseta (B6); botón floral visible (D2); inicio de floración (F1); silicuas mayores a 4 cm (G3); madurez fisiológica (G5)

Cultivares	A	B6	D2	F1	G3	G5
Pulsar (inv)	7	247	441	539	770	1398
SWGospel (inv)	7	247	462	549	793	1437
SW2797 (prim)	7	198	375	447	687	1202
Biolza440 (prim)	7	207	385	457	700	1217
DMS	n/s	10,3	25,2	21,6	26,7	28,9

Cultivares	A	B6	D2	F1	G3	G5
Pulsar (inv)	23	254	433	551	731	1187
SWGospel (inv)	23	261	455	565	742	1208
SW2797 (prim)	5	184	316	399	552	982
Biolza440 (prim)	8	194	333	429	573	1006
DMS	2,9	10,1	22,3	20,7	23,5	26,4

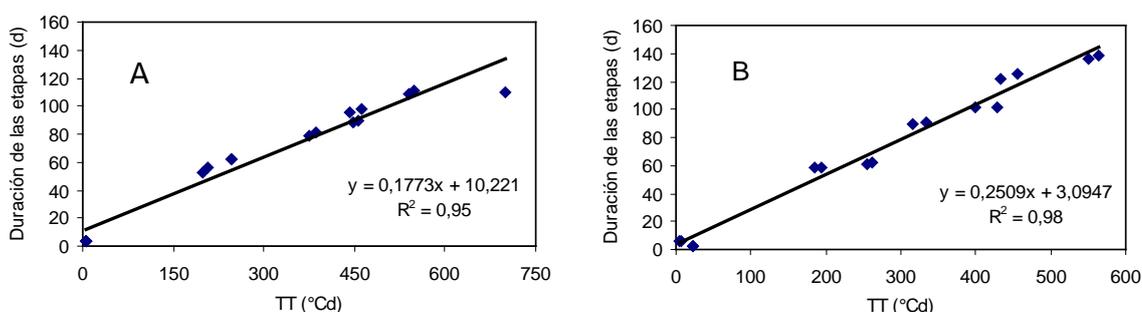


Fig. 17. Relación entre la duración de las diferentes etapas comprendidas entre emergencia y floración y el tiempo térmico acumulado (TT) en cada una de ellas, para los cuatro cultivares de colza, en las localidades de (A) Balcarce y (B) Barrow.

3.2.3. Producción de biomasa

En las Fig. 18A y Fig. 18B, correspondiente a las localidades de Balcarce y Barrow respectivamente, se observa una mayor biomasa producida por unidad de superficie a favor de los cultivares invernales, a lo largo del ciclo del cultivo. En ambas localidades, las líneas de producción de biomasa resultaron paralelas entre los dos tipos de cultivares, no hallándose diferencias significativas en la TCC, las que resultaron del orden de los $10 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en Balcarce y $7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para Barrow, para el ciclo total del cultivo.

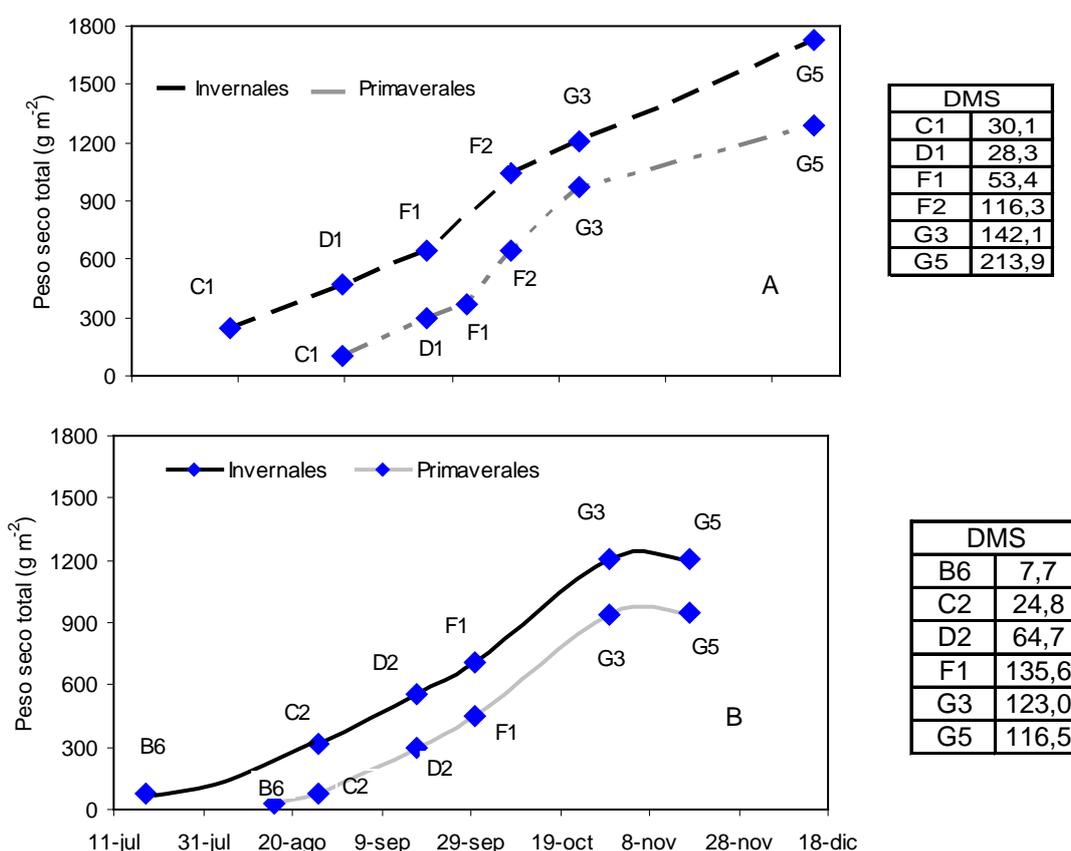


Fig. 18. Biomasa aérea producida (peso seco), a lo largo del ciclo de crecimiento, promedio de dos cultivares invernales y dos primaverales, en (A) Balcarce y (B) Barrow.

La producción de biomasa aérea puede ser desglosada en la contribución parcial de cada órgano de la planta. Durante el estado vegetativo del cultivo quedó clara la contribución que tienen las hojas en el total de biomasa producida, momento a partir

del cual los órganos reproductivos empiezan a tener mayor importancia en la contribución de la biomasa total. No se encontraron diferencias significativas, en la contribución parcial de cada órgano aéreo, entre cultivares, no obstante el cultivar invernal SW Gospel presentó, durante los diferentes estados, una mayor contribución de hojas respecto de los restantes tratamientos.

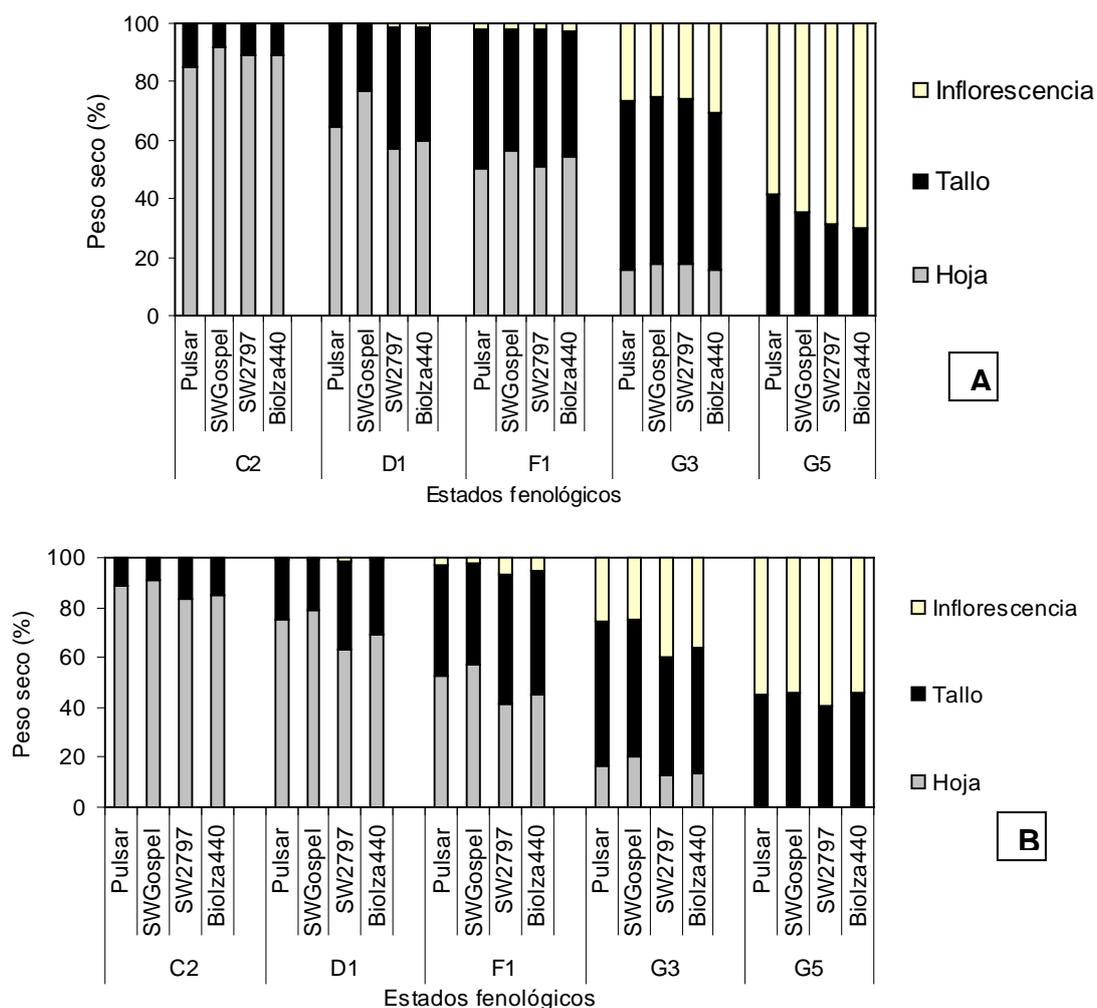


Fig. 19. Contribución porcentual de los principales órganos de la planta (hoja, tallo e inflorescencia) a la biomasa aérea seca total, a través de los diferentes estados fenológicos para los 4 cultivares en (A) Balcarce y (B) Barrow. Entrenudos visibles (C2); botón floral encerrado entre hojas terminales (D1); inicio de floración (F1); silicuas mayores a 4 cm (G3); madurez fisiológica (G5).

La mayor biomasa total de los cultivares invernales se debió a un mayor peso seco de los órganos vegetativos (hojas) y en menor medida al peso seco de los tallos (Tabla 12). En estos mismos cultivares, la mayor producción de biomasa total, de hojas y tallos se puede explicar por la mayor duración de los estados vegetativos respecto de

los cultivares primaverales, ya que no se observaron diferencias en la tasa de crecimiento del cultivo.

Tabla 12. Biomasa de diferentes órganos aéreos para los 4 cultivares de colza, en distintos estados fenológicos, en Balcarce (tabla superior) y Barrow (tabla inferior). Dentro de una misma columna, letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($\alpha=0,05$, MDS). Entrenudos visibles (C2); botón floral encerrado entre hojas terminales (D1); inicio de floración (F1); silicuas mayores a 4 cm (G3); madurez fisiológica (G5).

Cultivares	C2 (g m ⁻²)		D1 (g m ⁻²)			F1 (g m ⁻²)		
	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Inflorescencia	Hoja	Tallo	Inflorescencia
Pulsar (inv)	220,4 a	38,5 a	339,5 a	183,0 a	1,9 b c	348,0 a	325,4 a	16,0 a
SWGospel (inv)	214,5 a	18,7 b	327,3 a	96,4 c	1,4 c	336,1 a	250,5 b	11,2 b
SW2797)prim)	86,2 b	10,6 c	172,8 b	125,2 b	3,3 a b	186,3 b	172,9 c	7,1 c
Biolza440 (prim)	90,9 b	11,0 c	180,2 b	115,1 b c	4,3 a	195,0 b	155,9 c	9,4 b c
DMS	29,3	3,8	31,8	22,8	1,6	32,9	42,8	3,2

G3 (g m ⁻²)			G5 (g m ⁻²)	
Hoja	Tallo	Inflorescencia	Tallo	Inflorescencia
196,7 a	710,9 a	328,8	665,1 a	932,0
210,7 a	662,4 a b	296,9	603,4 a	1064,3
185,6 a	583,7 b c	272,4	461,1 b	891,9
139,6 b	481,4 c	278,2	399,3 b	906,5
40,3	111,6	n/s	62,2	n/s

Cultivares	C2 (g m ⁻²)		D1 (g m ⁻²)			F1 (g m ⁻²)		
	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Inflorescencia	Hoja	Tallo	Inflorescencia
Pulsar (inv)	347,8 a	44,3 a	468,8 a	152,4 a	3,1	421,8 a	356,2 a	25,0
SWGospel (inv)	222,9 b	21,7 b	385,5 b	101,7 b	2,8	353,1 b	250,8 b	14,9
SW2797)prim)	66,1 c	13,3 c	182,3 c	103,8 b	3,4	197,0 c	249,0 b	32,8
Biolza440 (prim)	68,6 c	12,1 c	206,1 c	89,9 b	2,3	187,6 c	207,7 b	20,6
DMS	21,5	3,8	45,2	24,3	n/s	47,5	90,3	n/s

G3 (g m ⁻²)			G5 (g m ⁻²)	
Hoja	Tallo	Inflorescencia	Tallo	Inflorescencia
215,2 a	735,8 a	324,9 b c	551,1 a	669,5 a
231,0 a	627,0 b	285,2 c	545,5 a	640,9 a
130,2 b	480,5 c	400,3 a	412,9 b	603,9 a
121,8 b	463,7 c	333,9 b	369,1 b	478,5 b
37,3	83,1	44,5	48,2	96,5

Si bien en la localidad de Balcarce los cultivares primaverales presentaron, durante la fase de crecimiento de las inflorescencias, una mayor tasa de crecimiento de las mismas y del cultivo, esto no se tradujo en un mayor peso seco final de dicho órgano, ya que la partición hacia inflorescencias fue semejante a la de los cultivares invernales mientras la duración de dicha etapa fue sensiblemente menor (Tabla 13).

Tabla 13. Tasa de crecimiento del cultivo y de la inflorescencia, durante el período de crecimiento de las inflorescencias (DPCI), para los 4 cultivares en Balcarce (tabla izquierda) y Barrow (tabla derecha).

Balcarce	TCC	TCI	DPCI	Barrow	TCC	TCI	DPCI
Cultivares	$g\ m^{-2}\ d^{-1}$		d	Cultivares	$g\ m^{-2}\ d^{-1}$		d
Pulsar (inv)	20,1	10,9	26,2	Pulsar (inv)	16,4	7,4	30,6
SWGospel (inv)	21,2	9,6	26,2	SWGospel (inv)	20,8	8,4	28,1
SW2797)prim)	34,9	14,0	19,6	SW2797)prim)	16,5	7,3	24,0
Biolza440 (prim)	26,9	13,9	20,2	Biolza440 (prim)	17,4	8,1	22,1
DMS	7,1	2,3	1,1	DMS	n/s	n/s	2,8

3.2.4. Índice de área foliar

La mayor biomasa de hojas de los cultivares invernales y la fuerte relación positiva entre ésta y el IAF ($r^2=0.82$), determinó un mayor IAF de estos cultivares respecto de los primaverales, llegando al estado de floración con casi $3\ m^2/m^2$ de diferencia. (Fig. 20). A partir de dicho estado, la pérdida de IAF, fue mayor en los cultivares invernales respecto de los primaverales.

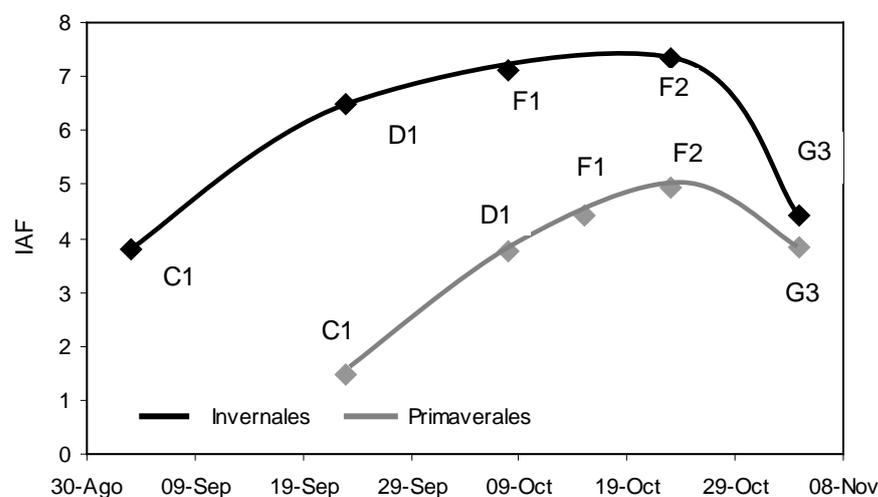


Fig. 20. Evolución del índice de área foliar (IAF) desde el estado fenológico C1 a G3 (ver Anexo A) para 2 cultivares de colza de tipo invernal y 2 cultivares de tipo primaveral, en Balcarce. MDS= 0.72 (C1); 0.71 (D1); 0.60 (F1); 1.1 (F2); 0.89 (G3).

3.2.5. Intercepción de la radiación

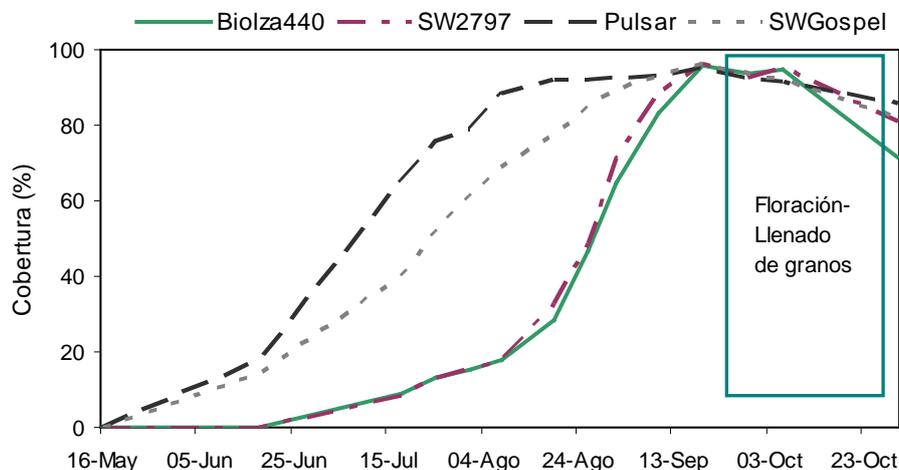


Fig. 21. Evolución del porcentaje de cobertura del cultivo desde el estado fenológico A hasta G3, para 2 cultivares de colza de tipo invernal y 2 de tipo primaveral, en Barrow.

Esta rápida y sostenida cobertura del suelo por parte de los cultivares Pulsar y SW Gospel permitió alcanzar, tempranamente en el ciclo del cultivo, niveles altos de intercepción de la RFA. Esto se tradujo en una acumulación de RFA a madurez fisiológica que alcanzó a 930 Mj m^{-2} en los cultivares invernales vs. 700 Mj m^{-2} en los primaverales (Fig. 22).

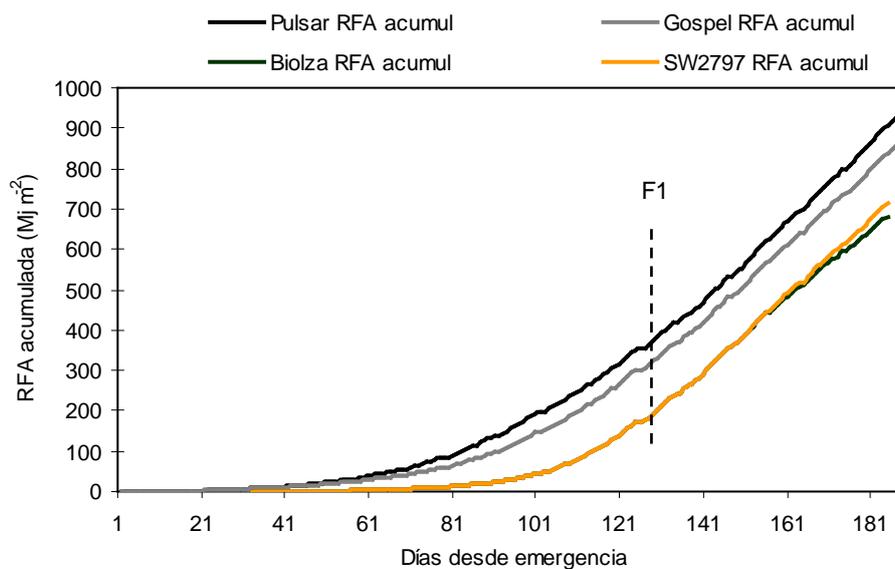


Fig. 22. Radiación fotosintéticamente activa (RFA) acumulada por los 4 cultivares de colza desde emergencia a madurez fisiológica, en Barrow. (F1=inicio de floración)

La biomasa aérea total medida en los cuatro cultivares de colza se relacionó positivamente con la RFA acumulada durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo ($r^2=0.68$; $p=0.0001$), y no con la eficiencia de uso de la radiación (EUR); ésta tomó valores de 1.8 g Mj^{-1} y 0.62 g Mj^{-1} para el estado vegetativo (hasta floración) y llenado de granos (G3-G5) respectivamente, pero no mostró diferencias importantes entre cultivares.

Cuando se analizó la RFA acumulada y la EUR durante el periodo de crecimiento de la inflorescencia (PCI), se observó una mayor RFA acumulada en Barrow. Esto se debió principalmente a una mayor oferta de radiación global en esta localidad, además de una mayor DPCI. Para ambas localidades, los cultivares de tipo invernal lograron acumular una mayor RFA a lo largo de dicho periodo (Tabla 14).

Los cultivares en Balcarce mostraron una EUR más alta que en Barrow, esto posiblemente debido a una mayor temperatura reinante en esta etapa producto del desplazamiento del ciclo de crecimiento del cultivo de Balcarce vs Barrow, y a su vez los cultivares primaverales alcanzaron una EUR superior respecto de los invernales (Tabla 14).

Tabla 14. Radiación fotosintéticamente activa (RFA) acumulada y eficiencia de uso de la radiación, durante el periodo de crecimiento de las inflorescencias, para los 4 cultivares de colza ensayados en Balcarce y Barrow. Dentro de una misma columna, letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($\alpha=0,05$, MDS).

Cultivares	RFA Acumulada (Mj m^{-2})		EUR (g Mj^{-1})	
	Balcarce	Barrow	Balcarce	Barrow
Pulsar (inv)	203,1 a	304,1 a	1,41 b	0,74
SWGospel (inv)	183,5 a	272,1 b	1,38 b	0,87
SW2797 (prim)	102,1 b	207,4 c	2,69 a	0,84
Biolza440 (prim)	111,3 b	198,3 c	2,51 a	0,90
DMS	22,3	15,7	0,36	n/s

3.2.6. Rendimiento y sus componentes

Los cultivares invernales tuvieron un rendimiento 31 ($p<0,05$) y 76% ($p<0,05$) mayores que los primaverales en Balcarce y Barrow respectivamente (Fig. 23). Estos últimos rindieron en promedio más que los primaverales en Balcarce y Barrow respectivamente. El máximo rendimiento (540 g m^{-2}) se alcanzó en la localidad de Balcarce con el cultivar invernal SW Gospel.

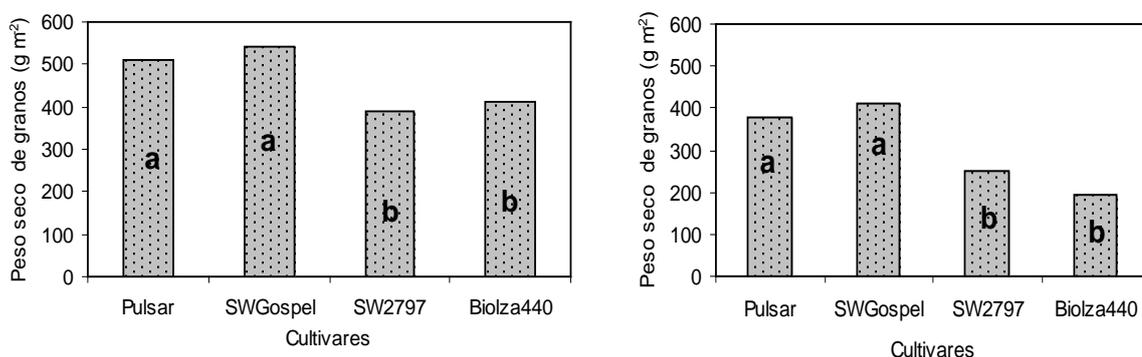


Fig. 23. Rendimiento de dos cultivares de colza invernales y dos primaverales, en la localidad de Balcarce (izquierda) y Barrow (derecha); dentro de cada localidad, letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($\alpha=0,05$). MDS=94.7 y 60.3 para Balcarce y Barrow respectivamente.

La mayor producción de granos observada en los cultivares invernales se debió en principio a un mayor número de silicuas m⁻² que se tradujo, a través de una fuerte asociación (Fig. 24), en un mayor número de granos (NG) por unidad de superficie, y no a un aumento del número de granos por silicua (Tabla 15).

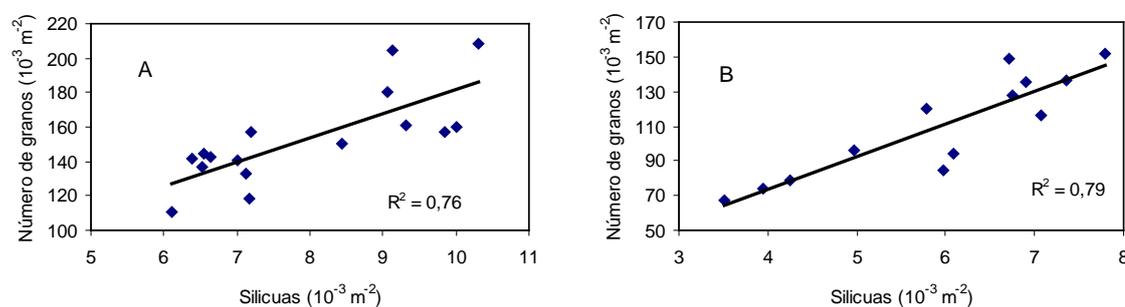


Fig. 24. Asociación entre el número de granos m⁻² y el número de silicuas m⁻², para cuatro cultivares de colza en (A) Balcarce y (B) Barrow.

Tabla 15. Principales componentes numéricos del rendimiento: número de granos (NG) m⁻² y número de silicuas m⁻² y número de granos por silicuas para cuatro cultivares de colza en la localidad de Balcarce y Barrow; dentro de una misma columna, letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($\alpha=0,05$, MDS).

Cultivares	Balcarce			Barrow		
	NG	Silicuas	Granos/Silicua	NG	Silicuas	Granos/Silicua
Pulsar (inv)	166 a	8,7 a	19,4	128 a	6,6 a	19,5
SWGospel (inv)	177 a	9,7 a	18,3	143 a	7,3 a	19,2
SW2797 (prim)	133 b	6,9 b	19,3	90 b	5,7 b	17,0
Biolza440 (prim)	134 b	6,5 b	20,6	72 b	3,9 c	18,7
DMS	32,7	1,1	n/s	16,6	0,8	n/s

Las relaciones encontradas entre el rendimiento y el número de granos m^{-2} fueron muy fuertes ($r^2=0.95$; $p<0.0001$ y $r^2=0.98$; $p<0.0001$, para Balcarce y Barrow, respectivamente) y muy débiles cuando se asoció el mismo con el peso seco de mil granos ($r^2=0.08$; $p<0.0001$ y $r^2=0.33$; $p<0.0001$, para Balcarce y Barrow respectivamente).

El mayor número de granos alcanzados por los cultivares invernales estuvo dado principalmente porque la fertilidad de la inflorescencia (i.e. número de granos producidos por unidad de peso de inflorescencia en plena floración) fue más elevada que la de los cultivares primaverales (Tabla 16).

Tabla 16. Fertilidad de la inflorescencia, expresada como número de granos obtenidos a madurez por unidad de peso de peso seco de la inflorescencia en plena floración, para dos cultivares de colza invernales y dos primaverales, en la localidad de Balcarce y Barrow; dentro de una misma columna, letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($\alpha=0,05$, MDS).

Cultivares	Fertilidad (granos/g de PS de inflorescencia)	
	Balcarce	Barrow
Pulsar (inv)	594,9 a	573,2 a
SWGospel (inv)	678,2 a	576,7 a
SW2797 (prim)	455,0 b	468,0 b
Biolza440 (prim)	465,7 b	383,1 b
DMS	106,1	95,9

Por lo tanto, el mayor rendimiento obtenido por los cultivares invernales, a través de un aumento en el número final de granos, estuvo en gran parte explicado por la asociación entre el NG y la fertilidad de la inflorescencia (Fig. 25).

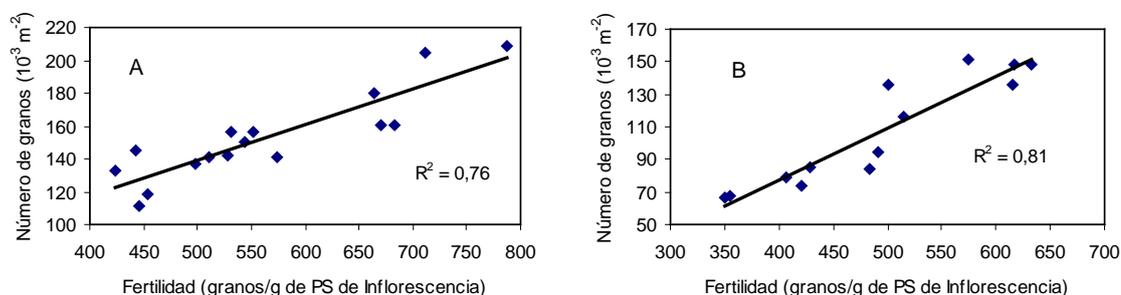


Fig. 25. Asociación entre el número de granos m^{-2} y la fertilidad de la inflorescencia, para los cuatro cultivares de colza en (A) Balcarce y (B) Barrow.

No se encontraron diferencias significativas en el peso por grano, ni en el IC, ni tampoco en la concentración de ácidos grasos entre cultivares, aunque sí se apreció un mayor IC y contenido de aceite en los cultivares en la localidad de Balcarce respecto a Barrow (Tabla 17). Podrían esperarse diferencias en el IC entre los tipos de cultivares, ya que los invernales presentaron un mejor índice de fertilidad, sin embargo la mayor producción de biomasa de estos, sobre todo vegetativa, diluyó dicho efecto.

Tabla 17. Variables de producción y calidad: peso por grano (PG), índice de cosecha y concentración de aceite en el grano a madurez, para 2 cultivares de colza invernales y 2 primaverales en la localidad de Balcarce y Barrow.

Cultivares	Balcarce			Barrow		
	PG (10^{-3} g)	IC	Aceite (%)	PG (10^{-3} g)	IC	Aceite (%)
Pulsar (inv)	3,05	0,30	45,0	3,04	0,26	38,5
SWGospel (inv)	3,04	0,31	44,2	2,86	0,24	37,1
SW2797 (prim)	2,91	0,30	46,9	2,76	0,25	39,8
Biolza440 (prim)	3,11	0,32	44,5	2,73	0,26	36,5
DMS	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s

4. DISCUSIÓN

4.1. Período crítico para la determinación del rendimiento en grano y aceite

A partir de experimentos que incluyeron estreses de diferente índole, concentrados éstos en diferentes etapas de desarrollo del cultivo, se estudió en qué medida las modificaciones del crecimiento repercutían sobre el rendimiento de grano y aceite. De esta manera, a través de la comparación de las mismas, se conjeturó que la etapa más sensible era la reproductiva, y que dentro de ésta, los resultados eran variables. El efecto de cualquier estrés abiótico es función del genotipo, la intensidad y la duración del estrés y de los estados de desarrollo y crecimiento del cultivo (Robertson *et al.*, 2004). Según Korte *et al.* (1983) el momento de ocurrencia y la duración del estrés son más importantes que la intensidad del mismo.

Los resultados de nuestros ensayos demuestran en primera instancia que un estrés en la etapa anterior a floración no repercute de forma significativa en el rendimiento final de cultivo (Fig. 10), esto mismo fue demostrado en los trabajos de Mailer y Cornish (1987). Un estrés durante la emisión de los primordios florales disminuyó el número final de silicuas, aunque, no se tradujo en una caída en el rendimiento ya que esta caída fue compensada por un mayor número de granos por silicuas (Fig. 12). Este mismo comportamiento fue demostrado por Champolivier y Merrien, (1995) y Ghobadi *et al.* (2006).

Durante la floración, Lardon y Triboui-Blondel (1995) indican que este cultivo tiene una alta compensación ante estreses ambientales; esto se debe al tipo y duración de la etapa de floración, la cual permite, en caso de aborto de los primeros racimos florales, un desarrollo compensatorio por aquellos ubicados en las ramas laterales y en la mitad superior del tallo principal, que de otra manera quedarían relegados o directamente no desarrollarían. Este efecto compensatorio del cultivo se diluye con el progreso de dicha etapa, y así se evidenció en nuestros ensayos, ya que al igual que lo demostrado por Champolivier y Merrien, (1995); Gan *et al.* (2004); Tesfamariam (2010); Sinaki *et al.* (2007), entre otros, las máximas caídas del rendimiento se encontraron entre plena floración y llenado de grano (Fig. 10). En el primer caso se debió principalmente a una menor producción de silicuas, que fue sólo parcialmente compensada por el peso de los granos, mientras que en el segundo caso fue producto de un menor número de granos por silicuas, y no por un menor peso de los mismos

como encontraron Ghobadi *et al.* (2006). Esta estabilidad en peso por grano determina que el componente de rendimiento más sensible a la reducción del crecimiento sea el número de granos por unidad de superficie (Krogman y Hobbs, 1975; Clarke y Simpson, 1978; Richards y Thurling, 1978).

El atributo de mayor valor del grano de colza es su contenido de aceite. La síntesis se produce en la semilla y su composición esta determinada genéticamente. La acumulación de aceite se incrementa a partir del llenado efectivo del grano, para alcanzar su punto máximo alrededor de madurez fisiológica (Baux *et al.*, 2008). Nuestros resultados muestran que la concentración de aceite en los granos de colza, disminuyó significativamente cuando se redujo la radiación interceptada en un 60% durante la etapa de llenado de granos. Estos mismos resultados fueron hallados con anterioridad por Izquierdo *et al.* (2006), en la localidad de Balcarce, donde se aplicaron tratamientos para modificar la cantidad de radiación interceptada por planta durante el llenado de granos (desde 15 días después de floración). En girasol Aguirrezabal *et al.*, (2003), reportan similar comportamiento durante la etapa posterior a R6, donde la concentración de aceite era drásticamente afectada cuando se reducía la RFA acumulada en dicha etapa.

4.2. Rendimiento potencial de los diferentes cultivares de colza

4.2.1. Desarrollo

4.2.1.1. Duración del período Emergencia – Floración

En colza, como en otros cultivos invernales (ej. trigo) existen especies de hábito de crecimiento primaveral e invernal el cual se asocia a la respuesta a la vernalización (Jedel *et al.*, 1986). Aunque hay distinta sensibilidad entre cultivares, los cultivares invernales requieren ser expuestos a una cantidad de horas de frío para no demorar la floración, mientras que los de tipo primaveral poseen bajo o nulo requerimiento de este estímulo (Murphy y Pascale, 1991).

Tomme y Evans (1992) determinaron que las temperaturas entre 6 y 9 grados centígrados aceleraban la tasa de desarrollo del cultivo por lo que resultaban ser las temperaturas vernalizantes más eficaces.

En nuestros ensayos, durante la etapa vegetativa, se registraron 35 y 45 días con temperaturas óptimas de vernalización, para Balcarce y Barrow respectivamente; si bien no existe información sobre los posibles requerimientos de este factor para los cultivares usados en nuestros ensayos, es altamente probable que hallan cumplido con el mismo.

La temperatura media durante la etapa vegetativa del cultivo no influyó de forma significativa en la duración (en días) de la misma, ya que ésta, exceptuando la etapa emergencia-cotiledón en la localidad de Barrow, fue la misma para todos los tratamientos dentro de una misma etapa y localidad; en cambio la acumulación de grados días fue la variable más robusta para explicar la duración de la etapa emergencia–floración (Fig. 17); de esta manera los cultivares primaverales tuvieron un tiempo térmico acumulado para dicha etapa 17% inferior a los invernales, acortando notablemente la duración de dicha etapa (Tabla 11).

Si bien durante esta etapa (emergencia – floración) no se define ningún otro componente del rendimiento más que el número de plantas m^{-2} , autores como Sidlauskas y Bernotas (2003) han encontrado una correlación positiva entre la duración de esta etapa y el número de granos m^{-2} . Para nuestro ensayo hallamos la

misma interacción ($r^2=0.98$; $p=0.02$) y ($r^2=0.96$; $p=0.04$) en Balcarce y Barrow, respectivamente.

Por lo tanto, el momento en que los distintos cultivares registraron floración estuvo fuertemente relacionado con el requerimiento en tiempo térmico intrínseco de cada cultivar (Tabla 11) más que con la temperatura media de dicha etapa, como también por el requerimiento de vernalización en los cultivares invernales o de floración tardía (Habekotté, 1997a; Miralles *et al.*, 2001) durante la fase inicial de desarrollo.

4.2.1.2. Duración del período Floración – Madurez Fisiológica

Una vez iniciada la floración se inicia también el periodo crítico para el rendimiento definido en la Sección 5.1. Al igual que en la etapa anterior, los cultivares invernales Pulsar y SW Gospel mostraron un mayor ciclo total y una mayor duración de la etapa crítica para la determinación del rendimiento. La prolongación de esta etapa, fue del orden de los 6 días a favor de los cultivares invernales respecto de los primaverales en ambas localidades.

En colza, altas temperaturas durante floración no son favorables porque aumentan el grado de aborto floral (Jonhston *et al.*, 2002) y disminuyen la producción de aceites (Taylor y Smith, 1992; Hocking *et al.*, 1997a; Pritchard, 2000). Morrison y Stewart (2002) determinaron que la temperatura umbral, a partir de la cual se afectaba el rendimiento, para la etapa de floración era de 30 °C, y que temperaturas superiores afectaban principalmente el número de flores desarrolladas como así también el número y tamaño final de granos. La temperatura promedio de esta etapa de desarrollo estuvo en el rango adecuado (12 a 30 °C).

Como fue mencionado anteriormente, el periodo crítico para la determinación del rendimiento abarca parte de la etapa de floración y llenado de grano; la duración del mismo esta íntimamente relacionado con la producción futura de granos (Habekotté, 1997a). Para nuestros ensayos se observó que los cultivares invernales tuvieron una duración de dicho período del orden del 32% mayor a los de primaverales y que efectivamente la correlación entre esta y el rendimiento en grano era muy fuerte ($r^2=0.76$; $p<0.0001$) y ($r^2=0.82$; $p<0.0001$), para las localidades de Balcarce y Barrow respectivamente.

Como era de esperar, el ciclo total de los cultivares de tipo invernal, medido en días ó en tiempo térmico, para ambas localidades, fue significativamente más largo que el

de los tipo primaveral. Nuestros resultados concuerdan con lo propuesto por Habekotté (1997a) quien propone entre varias opciones para aumentar el rendimiento de semillas en este cultivo en condiciones óptimas de crecimiento, un retraso de la madurez, lo que demuestra la importancia de la duración del ciclo de crecimiento.

4.2.2. Producción de biomasa

La producción total de biomasa aérea, al momento de floración fue significativamente mayor en los cultivares de tipo invernal, 59 y 77% respecto de los primaverales para Balcarce y Barrow respectivamente, hecho explicado por la diferencia de la duración de la etapa de crecimiento entre los cultivares y no a una mayor TCC, que resultó semejante para los diferentes cultivares en cada localidad.

La comparación entre localidades demuestra que en Barrow, con siembra un mes anterior a la de Balcarce, la acumulación de biomasa a floración fue mayor (en todos los cultivares), mientras que al llegar a madurez fisiológica los cultivares ensayados en Balcarce tuvieron mejores valores que los de Barrow.

Mendham *et al.* (1981 y 1984) mostraron que, en Inglaterra y Australia, los rendimientos potenciales en cultivares de colza están relacionados al peso seco a floración, a similares conclusiones arribaron Wright *et al.* (1995) en Australia y Diepenbrock (2000) en Alemania. Sin embargo, nuestros resultados muestran una mejor correlación con el peso seco a madurez fisiológica, ($r^2=0.87$; $p<0.0001$ y $r^2=0.96$; $p<0.0001$, para las localidades de Balcarce y Barrow, respectivamente). Esto resalta la importancia que tiene la etapa reproductiva en el rendimiento final del cultivo, siendo en la cual se definen los principales componentes del rendimiento, número de grano m^{-2} y peso unitario de los mismos.

En esta última etapa, los cultivares ensayados en Balcarce tuvieron un crecimiento mayor respecto de los mismos en Barrow, dado principalmente por una mayor TCC. No obstante, no se encontraron diferencias significativas entre cultivares, dentro de una misma localidad.

En el análisis global de la biomasa producida por los 4 cultivares, observamos que los invernales, Pulsar y SW Gospel, lograron mayor peso seco a madurez, principalmente porque la duración de la etapa vegetativa fue significativamente mayor que SW2797 y Biolza440, y porque el período de llenado de granos también se

extendió más en aquellos tipos de cultivares, con tasas de crecimiento semejantes entre ellos.

Si bien la biomasa radicular no fue medida, no hay motivo para suponer que bajo las condiciones de cultivo de los ensayos aquí presentados, el crecimiento de las raíces pueda haber limitar el crecimiento aéreo. El suelo donde se realizaron los experimentos no presentan limitaciones para el crecimiento radicular. Por otra parte, según la teoría del Balance Funcional de Brouwer (1983), es de esperar que cuando los recursos edáficos son abundantes, como lo fueron en este estudio, una mayor proporción de hidratos de carbono se destinen hacia la parte aérea favoreciendo su crecimiento.

4.2.3. Intercepción y eficiencia de uso de la radiación

En colza la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa desde emergencia hasta floración estuvo relacionada a la dinámica del área foliar y a la duración de la fase. De esta manera los cultivares invernales Pulsar y SW Gospel mostraron una mayor intercepción y acumulación de RFA en dicha etapa. En numerosas especies la relación entre el IAV y la intercepción de la RFA ha sido verificada (Abbate *et al.*, 1998 en trigo; Ayaz *et al.*, 2004 en trigo, girasol y leguminosas; Kemanian *et al.*, 2004 en cebada).

Los cultivares invernales y primaveral registraron la máxima cobertura del terreno alrededor de los 5 días anteriores a la floración, i.e. inmediatamente antes del inicio del período crítico para el rendimiento (Fig. 21). Mendham *et al.* (1990) y Habekotté (1997b) determinaron que es fundamental en colza realizar prácticas de manejo que tiendan a maximizar la intercepción de la RFA durante la fase de floración para lograr altos rendimientos.

Al momento de floración la captación de la radiación incidente para ambos tipos de materiales era la adecuada (>90%), con un IAF superior a 3. Este valor de IAF es citado por Hay y Walker (1989) como el valor crítico del cultivo. Sin embargo, los tratamientos Pulsar y SW Gospel mostraron valores de IAF muy por encima de los obtenidos con los de tipo primaveral. Tesfamariam *et al.* (2010) trabajando con la variedad Hyola60, sin limitantes hídricas, obtuvo valores de IAF cercanos a 8 al igual que los encontrados para los tratamientos Pulsar y SW Gospel en nuestras condiciones de ensayo.

Una vez iniciada la floración se inicia el proceso más limitante para la captación de la radiación, cuando la disminución del área foliar total se acelera debido al sombreado, en un principio de las flores y más tarde de las vainas (Gabrielle *et al.*, 1998).

La RFA acumulada durante el periodo antes descrito fue, en promedio, de $86 \text{ MJ}^{-1} \text{ m}^{-2}$ mayor en los cultivares invernales Pulsar y SW Gospel respecto de los primaverales; los que a su vez tuvieron una acumulación durante todo el ciclo del cultivo 33% mayor.

La eficiencia del uso de la radiación (EUR) durante de llenado de granos, medida en nuestros ensayos, fue de 0.62 g MJ^{-1} , valor que se encuentra dentro de los hallados por otros autores: 0.4 g MJ^{-1} (Habekotte, 1997c) y 0.75 g MJ^{-1} (Dreccer *et al.*, 2000b). Al comparar estos valores con la EUR antes de la floración de 1.2 g MJ^{-1} (Mendham *et al.*, 1981), 1.35 g MJ^{-1} (Habekotte, 1997c; Justes *et al.*, 2000), $1.7 \text{ g MJ}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (Rao *et al.*, 1991) y 1.78 g MJ^{-1} (este estudio), se observa que la EUR es menor durante la etapa de llenado del grano y esto se debería a dos razones. En primer lugar, se requiere 45% más de asimilados para producir cada gramo de aceite en comparación con la biomasa producida en antesis (Sinclair y de Wir, 1975). Segundo, las vainas tienen una capacidad fotosintética que se estima entre 0,50 y 0,70 del de las hojas (Major, 1977; Gammelvind *et al.*, 1996). Por lo tanto, está claro que la EUR durante el llenado de semillas no puede alcanzar los valores registrados antes de la floración.

4.2.4. Rendimientos y sus componentes

En búsqueda de aumentar la producción de granos del cultivo se hace cada día más notorio el uso de Híbridos de colza. Becker (1987) informó que en estos, la heterosis varía de 4 a 63% en el rendimiento promedio respecto los progenitores y es relativamente grande en condiciones desfavorables, lo que sugiere que los híbridos de mayor rendimiento muestran mayor estabilidad que sus padres (León, 1991).

En experimentos a campo, Schuster *et al.* (1999) demostraron un aumento del rendimiento de hasta un 20% en comparación con la media del rendimiento de los cultivares de prueba estándar; mientras que en lotes de producción esta diferencia se redujo a un 5-12% (Sauermann y Finck, 1998). Sin embargo, los resultados de nuestros ensayos muestran una paridad total entre los dos híbridos y las dos variedades evaluadas. Este mismo comportamiento es observado en la red de evaluación de cultivares de colza de nuestro país (www.inta.gov.ar/barrow).

El rendimiento máximo en ambas localidades fue obtenido con la variedad invernal SW Gospel, seguido por el híbrido invernal Pulsar y luego, con rendimientos notablemente menores a estos se ubicaron los cultivares de tipo primaveral SW2797 y Biolza. Los rendimientos obtenidos en este cultivo, según la literatura internacional, son sumamente diversos, con rendimientos potenciales para los materiales de tipo invernal de 5.8 t ha⁻¹ (Habekotté, 1997d) a 6.5 t ha⁻¹ (Berry y Spink, 2006).

Según Mendham *et al.* (1981) y Leterme (1988), el número final de silicuas y semillas se determina durante un período de cuatro semanas a partir de floración y es muy dependiente de un suministro continuo de asimilados. Según nuestros ensayos el período crítico para la determinación del rendimiento tiene una demora en su inicio de 13 días a partir de floración.

La relación entre fuente y destinos en esta fase regula la disponibilidad de asimilados (Evans, 1984; Keiller y Morgan, 1988; Leterme, 1988). En este sentido la alta capacidad de fuente, de los cultivares de tipo invernal Pulsar y SWGospel, estimada como PS en plena floración fue traducida, en nuestras condiciones de estudio, en altos rendimientos; aunque encontramos mejor ajuste con el PS a madurez fisiológica ($r^2=0,47$ y $0,54$ vs $0,76$ y $0,91$ para floración y madurez fisiológica en Balcarce y Barrow respectivamente).

El rendimiento de semillas de plantas individuales está estrechamente relacionado con el número de vainas por planta. Éste es determinado en última instancia por la reducción en el número de ramas, brotes, flores y frutos pequeños, ya sea por insuficiente capacidad de fuente, limitado suministro de nutrientes y agua (Allen y Morgan, 1972; Tayo y Morgan, 1979; Rood y Major, 1984) ó por factores hormonales (De Bouille *et al.*, 1989; Zanewich y Rood, 1993) y no por el número potencial de flores y vainas, ya que sólo alrededor del 50% de las flores abiertas desarrollan a silicuas productivas (Tayo y Morgan, 1975; Habekotté, 1997a). Efectivamente, para nuestros resultados encontramos una fuerte correlación entre el número de silicuas m⁻² y el rendimiento.

No obstante, el número de granos m⁻² ha demostrado ser el componente de rendimiento más importante. En nuestro estudio la correlación entre éste y el rendimiento fue del orden del 0.98, esto condice con lo hallado por Wrigth *et al.* (1995) en Australia quienes encontraron que el 99% de la variación de los rendimientos dentro de un amplio rango de disponibilidad hídrica de suelo fue explicado por el número de granos.

El número de granos m^{-2} se determina durante la fase crítica para rendimiento (ver Sección 5.1) y el aborto de semillas se extiende hasta cerca de los 300 grados días desde plena floración (Mendham *et al.* 1981; Leterme, 1988).

Como fue mencionado en párrafos anteriores la supervivencia de las semillas ha demostrado estar relacionada con la cantidad de radiación interceptada por el cultivo durante este período crítico (Mendham *et al.* 1981; Leterme, 1988). Se ha demostrado que en ciertas circunstancias, la redistribución de los carbohidratos de reserva de las raíces, tallos, hojas y paredes de las silicuas contribuyen en un 12 a 18% a la producción final de granos (Quillere y Triboui, 1987; Habekotté, 1993). De una u otra manera, queda bien claro que esto se traduce en un mayor número de granos por planta, y así quedó plasmado en nuestro estudio con un mayor índice de fertilidad de las inflorescencias dando como resultado final un rendimiento superior en los cultivares invernales SW Gospel y Pulsar.

El IC no presentó diferencias dentro de cada localidad, pero si se observaron diferencias entre localidades, esto se debió a un menor crecimiento reproductivo de los cultivares en la localidad de Barrow. No obstante, los valores hallados en nuestro experimento se encuentran dentro del rango observado para este cultivo (0,18-0,38) (Degenhard y Kondra, 1981; Mendham *et al.*, 1981; Robertson *et al.*, 2004).

El IC de colza es relativamente bajo si se compara con otros cultivos de invierno como el trigo, que presenta valores de IC en el rango de 0.45-0.50 (Austin *et al.*, 1980; Boons-Prins *et al.*, 1993; Ellen, 1993). Sin embargo, esto resulta engañoso, ya que el contenido energético de la semilla de colza es superior a la de trigo, por lo que las diferencias antes presentadas no serían tan apreciables.

El contenido de aceite en granos no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, para ambas localidades, pero, al igual que el IC fue superior en Balcarce respecto a Barrow. La síntesis de ácidos grasos en las semillas de colza se inicia alrededor de los 30 días posteriores al inicio de floración (Triboui-Blondel y Renards, 1999; Si, 2007; Baux *et al.*, 2008), y está fuertemente relacionada a la duración de la etapa de llenado de grano (Si y Walton, 2004). Los cultivares ensayados en la localidad de Balcarce tuvieron una duración del 34% mayor del período de llenado de granos respecto de los mismos en Barrow, lo que explicaría la mayor concentración de aceite. También se pudo corroborar el efecto genético en la determinación de esta variable, ya que la tasa de llenado de aceite fue superior en los materiales SW2797 y Biolza440 respecto Pulsar y SW Gospel, en ambas localidades.

5. CONCLUSIONES

Los cultivares de tipo invernal, como lo fueron en nuestro caso de estudio Pulsar y SW Gospel, presentaron una duración del ciclo total de crecimiento mayor a los materiales de tipo primaveral, SW2797 y Biolza440. Esta mayor duración se debió principalmente a que la etapa comprendida entre emergencia y floración, como así también el periodo crítico para la determinación del rendimiento, fueron más largos.

La duración de estas etapas estuvo gobernada por los requerimientos en la acumulación de tiempo térmico intrínseco de cada tipo de material en cada localidad, más que por la diferencia de temperatura media de dichas etapas.

Esta prolongación del ciclo total de crecimiento por parte de Pulsar y SW Gospel propició una mayor acumulación de RFA, la cual se tradujo en una mayor acumulación de biomasa, en floración y en madurez fisiológica.

La EUR no mostró grandes diferencias entre los cultivares de tipo invernal y primaveral, por lo cual la biomasa total acumulada fue una función directa de la radiación interceptada acumulada.

Estas características de desarrollo y crecimiento de los cultivares de tipo invernal no explican la superioridad en su potencial de rendimiento, hallado en nuestros ensayos, respecto los materiales de tipo primaveral SW2797 y Biolza440.

El aumento en el número de granos por unidad de superficie en los cultivares Pulsar y SW Gospel se debió, en principio a un mayor Índice de fertilidad de la inflorescencia, lo que permitió a igual peso de inflorescencia desarrollar más estructuras productivas (granos), y a una duración mayor del periodo crítico para la determinación del mismo.

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos 2 y 3 no permiten rechazar la hipótesis 1, ya que se encontraron diferencias en la potencialidad de rendimiento entre los cultivares invernales (SW Gospel y Pulsar) y los primaverales (SW2797 y Biolza440) a favor de los primeros. La hipótesis 2 no es rechazada, pero tan importante como la duración del período crítico para rendimiento, fue el índice de fertilidad de la inflorescencia.

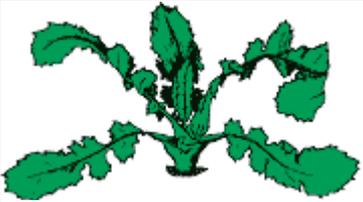
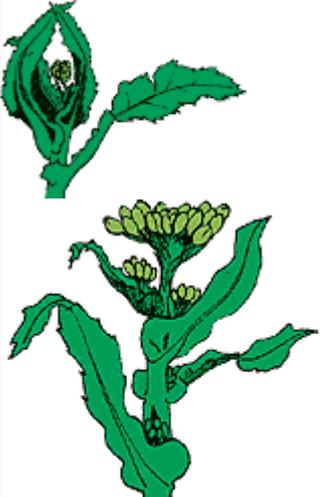
El periodo crítico para la determinación del rendimiento y del número de granos, se ubico entre plena floración y fin del llenado efectivo de granos. Mientras que para la determinación de la concentración de aceite el mismo se ubico en la etapa de llenado.

Estos resultados permiten rechazar la hipótesis 3, aunque la segunda parte de la misma sea valedera.

6. Anexo A

Escala fenológica de colza (CETIOM)

Se considera en un estado cuando el 50% de las plantas alcanzan el mismo

 <p><i>Estado A</i></p>	<p>A- Estado cotiledonal</p> <p>Estado A: Cotiledones visibles.</p>
 <p><i>Estados B1 a B4</i></p>	<p>B- Formación de la roseta</p> <p>Estado B: aparición de las hojas. Estado B1: 1 hoja totalmente desplegada Estado B2: 2 hojas totalmente desplegadas. Estado B3: 3 hojas totalmente desplegadas. Estado B4: 4 hojas totalmente desplegadas Estado Bn: n hojas totalmente desplegadas.</p>
 <p><i>Estado C2</i></p>	<p>C- Entrenudos visibles</p> <p>Estado C1: aparición de hojas jóvenes. Estado C2: entrenudos visibles.</p>
 <p><i>Estados D1 a D2.</i></p>	<p>D- Aparición de botones florales</p> <p>Estado D1: botón floral encerrado entre las hojas terminales. Estado D2: aparición de la inflorescencia principal. Inflorescencias secundarias visibles. Durante esta etapa se produce un alargamiento de los entrenudos, alcanzando la planta una altura aproximada de 20 cm.</p>

 <p>Estado E</p>	<p>E- Separación de botones florales</p> <p>Estado E: elongación de los pedúnculos florales, comenzando por los de la periferia.</p>
 <p>Estado F1</p>	<p>F- Floración</p> <p>Estado F1: primeras flores abiertas. Estado F2: alargamiento de la vara floral. Numerosas flores abiertas.</p>
 <p>Estado G1 a G4.</p>	<p>G- Formación de silicuas</p> <p>Estado G1: caída de los primeros pétalos. Las 10 primeras silicuas tienen un largo menor a 10 cm.. Comienza la floración de las inflorescencias secundarias. Estado G2: las 10 primeras silicuas tienen un largo entre 2 y 4 cm. Estado G3: las 10 primeras silicuas tienen un largo superior a 4 cm. Estado G4: las 10 primeras silicuas contienen granos del tamaño definitivo. Estado G5: granos coloreados</p>

7. BIBLIOGRAFIA

- ABBATE, P.E., ANDRADE, F.H., CULOT, J.P. and BINDRABAN, P.S. 1997. Grain yield in wheat: Effect of radiation during spike growth period. *Field Crops Res.* 54: 245-257.
- ABBATE, P.E., ANDRADE, F.H., LÁZARO L., BERARDOCCO, H.G., INZA, V.H.; MARTURANO, F. 1998. Grain yield increase in recent argentine wheat cultivars. *Crops Sci.* 38: 1203-1209.
- AGOSTI, M. B. 2011. Fertilización nitrogeno-azufrada y variabilidad genotípica en el rendimiento y la calidad de grano en colza-canola (*Brassica napus* L). Tesis *Magister Scientiae*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Buenos Aires. pp148.
- AGUIRREZÁBAL, L. A. N.; LAVAUD, Y.; DOSSIO, G. A. A.; IZQUIERDO, N. G.; ANDRADE, F. H.; GONZÁLEZ, L. M. 2003. Intercepted solar radiation during seed filling determines sunflower weight per seed and oil concentration. *Crop Sci.* 43: 152-161.
- ALLEN, E. J.; MORGAN, D. G. 1972. A quantitative analysis of the effects on the growth, development and yield of oilseed rape. *J. Agr.Sci. Camb.* 78: 315-324.
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D and SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irr. and drain. Paper 56. Rome, Italy. 300 p.
- ANDERSON, G. 1981. The growing of rapeseed in Europe. *Proc. Congress of Int. Assoc. of Seed Crushers*, pp. 2-7.
- ARNOUD, F. 1989. Colza: selection, variétés. *Cahier technique*. C.E.T.I.O.M. París, Francia. 28 p.
- AUSTIN, R. B.; BINGHMAN, J.; BLACKWELL, R. D.; EVANS, L. T.; FORD, M. A.; MORGAN, C. L.; TAYLOR, M. 1980. Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci. Camb.* 94: 675-689.
- AYAZ, S., MCKENZIE, B.A., McNEIL D.L.; HILL, G.D. 2004. Light interception and utilization of four grain legumes sown at different plant populations and depths. *J. agric. Sci. Camb.* 142: 297-308.
- BAUX, A.; HEBEISEN, T; PELLET, D. 2008. Effects of minimal temperatures on low-linolenic rapeseed oil fatty-acid composition. *Europ. J. Agron.* 29: 102-107.
- BECKER, H. C. 1987. Quantitative Zuchtmethodick bei Raps-Versuch einer Literaturübersicht. Bericht über die Arbeitstagung der Saatzuchtleiter in Gumpenstein. Verlag der Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft. Gumpenstein, Austria. pp. 67-82.

- BECKIE, H. J.; WARWICK, S. I.; NAIR, H.; SEGUIN-SWATZ, G. 2003. Gene flow in commercial fields of herbicide-resistant canola (*Brassica napus*). *Ecol. Appl.* 13: 1276-1294.
- BERRY, P.M.; SPINK, J. H. 2006. A physiological analysis of oilseed rape yields: Past and future. *J. Agr.Sci.* 144: 381-392.
- BOONS-PRINS, E. R.; DE KONING, G. H. J.; VAN DIEPEN, C. S.; PENNING DE VRIES, F. W. T. 1993. Crop specific simulation parameters for yield forecasting across the European Community. *Simulation Reports CABO-TT.* 32, Wageningen.
- BROUWER, R. 1983. Functional equilibrium: sense or nonsense. *Neth. J. Agric. Sci.* 31(4): 335-348.
- BUTRUILLE, D.V.; GURIES, R.P.; OSBORN, T.C. 1999. Increasing yield of spring oilseed rape hybrids through introgression of winter germplasm. *Crop Sci.* 39: 1491-1496.
- CANOLA COUNCIL. 2005. (En línea) < www.canola-council.org > (consulta: Sep. 2009)
- CHAMPOLIEVIER, L. ; MERRIEN, A. 1995. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. var. *olifera* on yield, yield components and seed quality. *European J. Agron.* 5 : 153-160.
- CLARKE, J. M. ; SIMPSON, G. M. 1978. Influence of irrigation and seeding rates on yield and yield components of *Brassica napus* cv. Tower. *Can. J. Plant. Sci.* 58 : 731-737.
- DE BOUILLE, P.; SOLTA, b.; MIGINIAC, E.; MERRIEN, A. 1989. Hormones and pod development in oilseed rape (*Brassica napus*). *Plant Phisiol.* 90: 876-880.
- DEGENHARDT, D.F; KONDRÁ, Z.P. 1981. The influence of seeding date ad seeding rate on seed yield and yield components of five genotypes of *Brassica napus*. *Can. J. Plant Sci.* 61: 175-183.
- DE LA FUENTE, E. B.; GIL, A.; GIMENEZ, P. I.; KANTOLIC, A. G.; LOPEZ PEREIRA, M.; PLOCHUK, E. L.; SORLINO, D. M.; VILARIÑO, M. P.; WASSNER, D. F.; WINDAUER, L. B. 2006. *Cultivos Industriales.* Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 800 p.
- DEMEKE, T.; ADAMS, R. P.; CHIBBAR, R. 1992. Potencial taxonomy use of random amplified polymorphic DNA (RAPD): a case study in Brassica. *Theor. Appl. Genet.* 84: 990-994.
- DIEPENBROCK, W. 2000. Yield análisis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. *Fields Crops Res.* 67: 35-49.
- DIERS, B.W; OSBORN, T.C. 1994. Genetic diversity of oilseed *Brassica Napus* germplasm based on restriction fragment length polymorphisms. *Theor. Appl. Genet.* 88: 662-668.

- DONATO, L. D.; HUERGA, I. R.; HILBERT, J. A. 2008. Balance energetico de la producción de biodiesel a partir de soja en la Republica Argentina. Informe INTA N° Doc IIR-BC-Inf-08-08. 26 p.
- DRECCER, M.F., SCHAPENDONK, H.C.M., van OIJEN, M., SANDER POT, C. and RABBINGE, R. 2000a. Radiation and nitrogen use at the leaf and canopy level by wheat and oilseed rape during the critical period for grain number definition. *Aust. J. Plant Physiol.* 27: 899-910.
- DRECCER, M.F.; SCHAPENDONK, H.C.M.; SLAFER, G.A. and RABBINGE, R. 2000b. Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: absorption and utilisation efficiency of radiation and nitrogen during the reproductive stages determining yield. *Plant and Soil* 220: 189-205.
- DRONNE, Y.; GOHIN, A. 2005. Le développement des utilisations non alimentaires de l'huile de colza dans l'UE: quels impacts sur les marches et prix mondia. *Oléagineux, Corps gras, lipids.* 12: 344-357.
- ELLEN, J. 1993. Growth, yield and composition of four winter cereals. I. Biomass, grain yield and yield formation. *Neth. J. Agric. Sci.* 41: 153-165.
- EVANS, E. J. 1984. Pre-anthesis growth and its influence on seed yield in winter oilseed rape. *Aspects Appl. Biol.*, 6: 81-90.
- EVANS, L; FISCHER, R. 1999. Yield Potential: Its Definition, Measurement, and Significance. *Crop Sci.* 39:1544–1551.
- FAO/OMS. 1977. Las grasas y aceites en la nutrición humana, Estudio FAO: Alimentación y nutrición. Número 3. FAO. Roma.
- FAOSTAT. 2007. Food and Agricul. Organization of the United Nations Agr. Database. (En línea) < <http://apps.fao.org/faostat/>> (consulta: Feb. 2010).
- FAOSTAT. 2010. Food and Agricul. Organization of the United Nations Agr. Database. (En línea) < <http://apps.fao.org/faostat/>> (consulta: Mar. 2010)
- GALLAGHER, J. N; BISCOE. P. V. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. *J. Agric. Sci. Camb.*, 91: 47-60.
- GABRIELLE, B.; DENOROY, P.; GOSSE, G.; JUSTES, E.; ANDERSEN, M. N. 1998. A modelo of leaf area development and senescent of winter oilseed rape. *Field Crops Res.* 57: 209-222.
- GAMMELVIND, L.H., SCHJOERRING, J.K., MOGENSEN, V.O., JENSEN, C.R. and BOCK, J.G.H. 1996. Photosynthesis in leaves and siliques of winter rape (*Brassica napus* L.). *Plant and Soil* 186: 227-236.
- GAN, Y.; ANGADI, S. V.; CUTFORTH, H.; POTTS, D.; ANGADI, V. V.; McDONALD, C. L. 2004. Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. *Can. J. Plant. Sci.* 84: 697-704.
- GHOBADI, M.; BAKHSHANDEH, M.; FATHI, G.; GHARINEH, M. H.; ALAMI-SAID, K.; NADERI, A.; GHOBADI, M. E. 2006. Short and long periods of water stress

- during different growth stages of Canola (*Brassica napus* L.): Effect on yield, yield components, seed oil and protein contents. *J. Agron. J. Agron.* 5(2): 336-341.
- GOFFMAN, F. 2000. introducción. In: Cuvillier Verlag Göttingen (eds). *Chemical Analysis, Genetic Variability and Inheritance of Tocopherol Contents in Seeds of Oilseed Rape (Brassica napus L.)*. 103 p.
- HABEKOTTÉ B. 1993. Quantitative analysis of pod formation, seed set and seed filling in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) under field condition. *Field Crops Res* 35: 119-124.
- HABEKOTTÉ, B. 1997 a. Options for increasing seed yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a simulation study. *Field Crops Res* 54: 127-136.
- HABEKOTTÉ, B. 1997 b. A model of the phenological development of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Field Crops Res* 54: 127-136.
- HABEKOTTÉ, B. 1997 c. Description, parameterization and user guide of LINTUL-BRASNAP 1.1. A crop growth model of winter oilseed rape. Wageningen. 66 p.
- HABEKOTTÉ, B. 1997 d. Identification of strong and weak yield determining components of winter oilseed rape compared with winter wheat. *European J. Agron.* 7: 315-321.
- HAY, R. K. M.; WALKER, A. J. 1989. *An Introduction to the Physiology of Crop Yield, Part one*. Longman, Harlow, UK.
- HOCKING, P.J., KIRKEGAARD, J.F., ANGUS, A.H., GIBSON, E.A.; KOETZ, E.A. 1997 a. Comparison of Canola, Indian mustard and Linola in two contrasting environments. I. Effects of nitrogen fertilizer on dry-matter production, seed yield and seed quality. *Field Crops Res* 49: 107-125.
- IASCAV. 1993. Colza "00" Canola Recopilación Informativa y Parámetros de calidad. Instituto Argentino de Sanidad y Calidad Vegetal. 46 p.
- IENICA. 2000. Summery Report for the European Union. 22 p.
- IRIARTE, L.; VALETTI, O. 2008. Cultivo de Colza. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) 156 p.
- IZQUIERDO, N.; M. PEREYRA IRAOLA; S. NOLASCO; L. AGUIRREZÁBAL. 2006. Porcentaje y calidad de aceite en canola. Efecto de la radiación solar interceptada por planta. *11º Congreso Latinoamericano de Grasas y Aceites*. Rosario, Argentina.
- IZQUIERDO, N.G.; L.A.N. AGUIRREZÁBAL; F.H. ANDRADE; C. GEROUDET; O. VALENTINUZ; M. PEREYRA IRAOLA. 2009. Intercepted solar radiation affects oil fatty acid composition in crop species. *Field Crops Res* 114: 66–74.

- JEDEL, P. E.; EVANS, L. E.; SCARTH, R. 1986. Vernalization responses of a selected group of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Can. J. Plant. Sci.* 66: 1-9.
- JOHNSTON, A.M., DONALD, L.T., PERRY, R.M., BRANDT, S.A., NIELSEN, D.C., LAFOND G.P.; RIVELAND, N.R. 2002. Oilseed crops for semiarid cropping systems in the northern Great Plains. *Crop Sci.* 94: 213-240.
- JUSTES, E., DENOROY, P., GRABRIELLE, B.; GOSSE, G. 2000. Effect of crop nitrogen status and temperature on radiation use efficiency of winter oilseed rape. *European J. Agron.* 13: 165-177.
- KEILLER, D. R., MORGAN, D. G. 1988. Effect of pod removal and plant growth regulators on the growth, development and carbon assimilate distribution in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *J. Agric. Sci., Camb.* 111: 357-362.
- KEMANIAN, A.R., STÖCKLE, C.O.; HUGGINS, D.R. 2004. Variability of barley radiation-use efficiency. *Crop Sci.* 44: 1662-1672.
- KIMBER, D.; MCGREGOR, D. I. 1995. The species and their origin, cultivation and world production. In: D. Kimber and D.I. McGregor (eds) *Brassica Oilseeds. Production and Utilization.* 394 p.
- KORTE, L. L.; WILLIAMS, J. H.; SPECHT, J. E.; SORENSON, R. C. 1983. Irrigation of soybean genotypes during reproductive otogeny: II Yield component responses. *Crop Sci.* 23: 528-533.
- KROGMAN, K.K. and HOBBS, E.H. 1975. Yield and morphological response of rape (*Brassica campestris* L cv Span) to irrigation and fertilizer treatments. *Can. J. Plant Sci.* 55: 903-909.
- LARDON, A.; TRIBOI-BLONDEL, A. M. 1995. Cold and freeze stress at flowering effects on seed yields in winter rapessed. *Field Crops Res* 44: 95-101.
- LEÓN, J. 1991. Heterosis and mixing effects in winter oilseed rape. *Crop. Sci.* 31: 281-284.
- LEÓN, J.; BECKER, H. 1995. Rapeseed (*Brassica napus* L.) genetics. In: W. Diepenbrock y H. Becker (eds). *Physiological Potentials for Yield Improvement of Annual Oil and Protein Crops.* *Advances en Plant Breeding* 17: 54-81.
- LETERME, P. H. 1988. Croissance et développement du colza d'hiver: Les principales étapes. *Physiologie et elaboration du rendement du colza d'hiver.* Centre Technique Interprofessionel des Oleagineux Metropolitains (CETIOM). Pp 23-33.
- LINDEMANS, P. 1952. *Geschiedenis van de landbouw in Belgie.* Nijhof, Den Haag, volume 2, 541 p.
- MAILER, R. J.; CORNISH, P. S. 1987. Effects of water stress on glicosinolate and oil contents in the rape (*Brassica napus* L.) and turnip rape (*B. rapa* L.). *Aust. J. Exp. Agric.*, 27: 707-711.

- MAJOR, D. J. 1977. Influence of seed size on yield and yield components of rape. *Agron. Journal*. 69: 541:543.
- MENDHAM, N.J., SHIPWAY, P.A. and SCOTT, R.K. 1981. The effects of delayed sowing and weather on growth, development and yield of winter oil-seed rape (*Brassica napus*). *J. agric. Sci. Camb.* 96: 389-416.
- MENDHAM, N.J., RUSSELL, J. and BUZZA, G.C. 1984. The contribution of seed survival to yield in new Aust cultivars of oil-seed rape (*Brassica napus*). *J. agric. Sci. Camb.* 103: 303-316.
- MENDHAM, N.J., RUSSELL, J.; JAROSZ, N.K. 1990. Response to sowing time of three contrasting Aust cultivars of oilseed rape (*Brassica napus*). *J. agric. Sci. Camb.* 114: 275-283.
- MERRIEN, A.; KROUTI, M.; DECHAMBRE, J.; GARNON, V.; EVRARD, J. 2007. Contribution to understand the fluctuation of linolénico acid profile in winter oilseed rape grown in France. In: Proceedings of the 12th International Rapeseed Congress on Quality, Nutrition and Processing, Wuhan, China, March 26-30, 2007, pp. 92-95.
- MILLER, P., LANIER, W. and BRANDT, S. 2001. Using growing degree days to predict plant stages. Montana State University MT200103 AG 7/2001.
- MINGEAU, M. 1974. Comportement du colza e printemps a la sécheresse. *Informations. Techniques*, Paris, France. 36:1-11.
- MIRALLES, D.J.; FERRO, B. C.; SLAFER, G. A. 2001. Developmental responses to sowing date in wheat, barley and rapeseed. *Field Crops Res* 71: 211-223.
- MONTEITH, J. L. 1972. Solar Radiation and Productivity in Tropical Ecosystems. *J. Appli. Ecol.* 9: 747-766.
- MORRISON, M. J.; MCVETTY, P. B. E.; SHAYKEWICH, C. F. 1989. The determination and verification of a baseline temperature for the growth of Westar summer rape. *Can. J. Plant Sci.* 69: 455-464.
- MORRISON, J; STEWART, D. 2002. Heat stress during flowering in summer Brassica. *Crop Sci.* 42: 797-803.
- MURPHY, G.; PASCALE, N. 1991. Cultivation areas of winter and spring rapeseed in Argentina. : Proceedings 8^o International Rapeseed Congress, Saskatoon, Canadá. pp. 1764-1768.
- OLSSON, G. 1960. Some relations between number of seeds per pod, seed size and oil content and the effects of selection for these characters in *Brassica* and *Sinapsis*. *Hereditas* 46: 27-70.
- PATERSON, A.H.; BOWERS, J.E.; ESTILL, J.C.; OSBORN, T.C.; PIRES, J.C.; AMASINO, R.; QUIROS, C.F.; FARNHAM, M. 2006. Evolutionary history of the angiosperms and its relevance to Brassica. *Acta Hort. (ISHS)* 706: 49-54.
- PECHAN, P.A.; MORGAN, D.G. 1985. Defoliation and its effects on pod and seed development in oil seed rape (*Brassica napus* L). *J. Exp. Bot.* 36 (164): 458-468.

- PRITCHARD, F.; EAGLES, H.; NORTON, R.; SALISBURY, P.; NICOLAS, M. 2000. Environmental effects on seed composition of Victorian canola. *Australisn J. Exp. Agr.*40: 679-685.
- PURCELL, L. C. 2000. Soybean canopy coverage and light interception measurements using digital imagery. *Crop Sci.* 40: 834-837.
- QUILLERE, I.; TRIBOI, A. M. 1987. Dynamique des reserves carbonée chez le colza d'hiver: impacts sur la croissance. : Proceedings of the International Rapeseed Conference. Vol. 7, pp. 219-223.
- RAO, M. S. S.; MENDHAM, N. J.; BUZZA, G. C. 1991. Effect of the apetalous flower character on radiation distribution in the crop canopy, yield and its components in oilseed rape (*Brassica napus*). *J. Agric. Sci., Cambridge.* 117: 189:196.
- RED NACIONAL DE EVALUACIÓN DE CULTIVARES DE COLZA. 2008. (En línea) www.inta.gov.ar/barrow/info/indices/tematica/colza.htm (consulta: Feb. 2009)
- RICHARDS, R.A.; THURLING, N. 1978. Variation between and within species of rapeseed (*Brassica campestris* and *B. napus*) in response to drought stress. I sensitivity at different stages of development. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 469-477.
- RITCHIE, J. T., NE SMITH, D.S., 1991. Temperature and crop development. In: Hanks J., Ritchie, J. T. (Eds.), *Modeling Plant and Soil Systems*, Agron. monograph 31, ASA, CSSA, and SSSA; Madison, Wisconsin, pp. 5-29.
- ROBERTSON, M.J., HOLLAND, J.F. and BAMBACH, R. 2004. Response of canola and Indian mustard to sowing date in the grain belt of north –eastern Australia. *Aust J. Exp. Agri.* 44: 43-52.
- ROOD, S. B.; MAJOR, D. J. 1984. Influence of plant density, nitrogen, water supply and pod or leaf removal on growth of oilseed rape. *Field Crops Res.* 8: 323:331.
- SABHARWAL, V.; NEGI, M. S.; WILSON, N.; LAKSHMIKUMARNA, M. 2006. Analysis of the 5S RDNA non-transcribed spacer region fo Brassica and allied genera. 4^o International Symposium on Brassicas and 14^o Crucifer Genetic Workshop. *Acta Hort* 706: 83-98.
- SAUERMAN, W.; FINCK, M. 1998. Bundes und EU-Sortenversuch Winterraps 1996/97. *UFOP-Schriften* 7: 9-44.
- SCHUSTER, C.; SAUERMAN, W.; DIEPENBROCK, W. 1999. Ertragsleistung und Unkrautkontrolle beim Anbau von transgenem herbizidtoleranten Hybridraps (*Brassica napus* L.). *Pflanzenbauwissenschaften.* 3: 73-81.
- SI, P.; WALTON, G. H. 2004. Determinants of oil concentration and seed yield in canola and Indian mustard in the lower rainfall areas of Western Australia. *Aust J. Agr. Res* 55(3): 367-377.
- SI, P. 2007. Accumulation of oil and protein in seeds of canola (*Brassica napus* L.) varieties at different sowing dates. The 12th International Rapeseed Congress, United States of America. III, pp. 15-17.

- SIDLAUSKAS, G; BERNOTAS, S. 2003. Some factors affecting seed yields of spring oilseed rape. *Agron. Res.* 12: 229-243.
- SIERTS, H. P.; GEISLER, G.; LEON, J.; DIEPENBROCK, W. 1987. Stability of yield components from winter oil-seed rape (*Brassica napus* L.). *J. Agron. Crop Sci.* 158: 107-113.
- SINAKI, J. M.; HERAVAN, E. M.; SHIRANI RAD, A. H.; NOORMOHAMMADI, G.; ZAREI, G. 2007. The Effects of wather deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). *American-Eurasian J. Agricul. Enviroment Sci.*, 2 (4): 417-422.
- SINCLAIR, T. R.; WIR, C. T. 1975. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. *Crops Sci.* 189: 565-567.
- SONG, K.; OSBORN, T. C.; WILLIAM, P. H. 1990. Brassica taxonomy based on nuclear restriction fragment length polymorphisms (RFLPs). *Theor. Appl. Genet.* 79: 497-506.
- TAYLOR, A.J.; SMITH, C.J. 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. J. Agric. Res.* 43: 1629-1641.
- TAYO, T.O., MORGAN, D. G. 1975. Quantitative analysis of the growth, development and distribution of flowers and pods in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 85: 103–110.
- TAYO, T.O.; MORGAN, D.G. 1979. Factors influencing flower and pod development in oil seed rape (*Brassica napus* L.). *J. Agr. Sci., Cambridge* 92: 363-373.
- TESFAMARIAM, E. H.; ANNANDALE, J. G.; STEYN, J. M. 2010. Water stress effects on winter canola growth and yield. *Agron. J.* 102: 658-666.
- THOMPSON, K. F. 1983. Breeding winter oilseed rape *Brassica napus*. In: T.H. Coaker (Editor), *Advances in Applied Biology*, Vol. VII, Academic Press, London, pp. 2-86.
- THORNTHWAITE, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38 (1): 55-94
- THURLING, N. 1974. Morphophysiological determinants of yield in rape-seed (*Brassica campestris* and *Brassica napus*). II. Yield compodetermination. *Aust. J. Agric. Res.* 25: 711–721.
- TOMMEY, A.; EVANS, E. 1992. The influence of pre-floral growth and development, dry matter distribution and seed yield in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Am Appl. Biol.* 121: 687-696.
- TRÉMOLIÈRES, H.; TRÉMOLIÈRES, A.; MAZLIAK, P. 1997. Effects of Light and temperature on fatty acid desaturation Turing the maturation of rapessed. *Phytochemistry* 17: 685-687.

- TRENTACOSTE, E. R. 2007. Doble cultivo colza-soja: Evaluación y modelización del sistema. Tesis *Magister Scientiae*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce. Argentina. 96 p.
- TRIBOI-BLONDEL, A.; RENARD, M. 1999. Effects of temperature and water stress on fatty acid composition of rapeseed oil. In: Proceedings of the Eighth International Rapeseed Congress, Saskatoon, Canadá. pp. 665-670.
- U, N. 1935. Genome-analysis in *Brassica* with special reference to the experimental of *B. napus* and peculiar mode of fertilization. Japanese J. Bot. 7: 389-452.
- UPPSTRÖM, B.; JOHANSSON. 1991. Amino acid composition of protein fractions in rapeseed. In: Proceedings of the 8^o International Rapeseed Congress, Saskatoon, Canadá pp 1377-1379.
- VAISEY-GENSER, M. and ESKIN, M. 1987. Introduction. In: F.G. Dawn and P.Ag. Harris (eds) Canola Oil. Properties and Performance. 51 p.
- WEISS, E. A. 1983. Oilseed Crops. Longman, London, 660 p.
- WRIGHT, P.R., MORGAN, J.M., JESSOP, R.S.; CASS, A. 1995. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits: yield and yield components. Field Crops Res. 42:1-3.
- ZANEWICH, K. P.; ROOD, S. B. 1993. Distribution of endogenous gobberellins in vegetative and reproductive organs of *Brassica*. J. Plant Growth Reg. 12: 41-46.