UNIVERSIDAD NACIONAL DE ENTRE RÍOS

FCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Titulo:

Efecto de la fecha de siembra sobre los componentes del rendimiento en cultivares de colza

Alumno: Larrosa Luciano Mauricio

Oro verde, diciembre de 2009

CONSEJEROS

Ing. Agr. Leonardo Coll

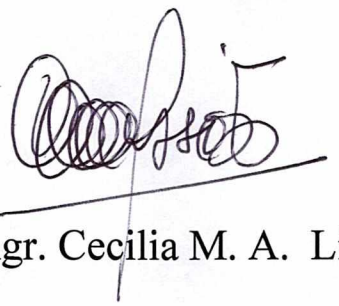


Ing. Agr. Dr. Octavio P. Caviglia

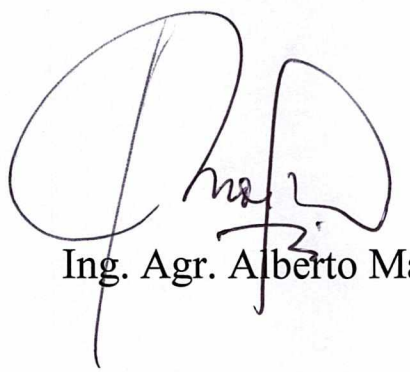
TRIBUNAL EXAMINADOR



Ing. Agr. Dr. Octavio P. Caviglia



Ing. Agr. Cecilia M. A. Lissaso



Ing. Agr. Alberto Maidana

INDICE

Pág.

RESUMEN..... 1

INTRODUCCIÓN..... 2

HIPÓTESIS..... 6

OBJETIVOS..... 7

MATERIALES Y MÉTODOS..... 7

RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 11

Caracterización climática..... 11

Fenología y desarrollo del cultivo..... 13

Intercepción de radiación..... 16

Eficiencia de conversión de la radiación..... 19

Biomasa aérea..... 21

Altura de planta..... 23

Indice de cosecha..... 24

Componentes numéricos del rendimiento..... 26

Número de silicuas por m^2 y de granos por silicua..... 26

Numero de granos por m^2..... 32

Peso de los granos..... 36

Rendimiento en grano..... 39

Asociación entre el rendimiento y sus componentes numéricos..... 42

Contenido y rendimiento de aceite..... 45

Integración de los resultados, aportes y perspectiva para futuros estudios..... 49

CONCLUSIONES..... 54

BIBLIOGRAFÍA..... 55

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo exclusivamente a mi familia.

A mi mamá Alejandra que incondicionalmente siempre me apoyo en todas mis decisiones.

A mi papá, que ya no está presente.

A mis hermanas, Celina, Mariana y Eugenia.

A mis sobrinos, Julieta y Gino.

A mi tía Claudia.

A mis cuñados, Bocha, Gringo y Javier.

Agradecimientos

A mis amigos y compañeros de siempre.

A la escuela Alberdi, en mis primeros años de facultad.

A mis consejeros de tesis, Leonardo y Octavio.

Resumen

Durante la campaña 2008 se realizó un ensayo en la EEA Paraná del INTA, con el objetivo de determinar el efecto de la fecha de siembra sobre el desarrollo, crecimiento, rendimiento y sus componentes numéricos y concentración de aceite de grano en tres variedades de colza contrastantes en la duración del ciclo. Además, se evaluaron los componentes ecofisiológicos que determinan el rendimiento en grano, i.e. eficiencia de intercepción de la radiación (e_i), eficiencia de conversión de la radiación en biomasa (e_c) y la eficiencia de partición de la biomasa a granos (e_p). Se utilizó un diseño experimental en parcelas divididas. Se evaluaron 5 fechas de siembra (8 de abril, 23 de abril, 8 de mayo, 23 de mayo y 23 de junio) y 3 variedades de colza, 2 de tipo primaveral (ciclo corto y largo) y una invernal. Las variedades respondieron diferencialmente a las distintas fechas de siembra en cuanto al rendimiento en grano y sus componentes numéricos, la e_i, e_p, biomasa aérea total, altura de planta y concentración de aceite. Las variedades primaverales, tanto de ciclo corto como de ciclo largo, en las siembras más tempranas produjeron los mayores rendimientos de granos (2018 y 2187 kg/ha, respectivamente). Asimismo, las siembras tempranas produjeron las mayores concentraciones de aceite de grano. Temperaturas más favorables para la fijación y llenado de los granos permitieron la obtención de mayores rendimientos en grano y concentración de aceite. El déficit hídrico severo, sumado a las altas temperaturas registradas en la estación primaveral redujeron significativamente la e_i, la e_c y la e_p afectando mayormente las siembras tardías. En el conjunto de los datos, las variedades primaverales produjeron mayor rendimiento y un mayor porcentaje de aceite, comparado con la variedad invernal. En las fechas de siembra más tardías la variedad primaveral de ciclo más corto produjo mayor rendimiento.

1. Introducción

La colza (*Brassica napus* L.) es una oleaginosa perteneciente a la familia de las crucíferas muy difundida en el mundo. En un principio el aceite que se obtenía de ésta especie era para uso industrial debido a que poseía compuestos tóxicos, como el ácido erúcico, que limitaban su utilización para consumo humano. Por otra parte, la harina que se obtenía a pesar de su alto valor proteico presentaba glucosinolatos, responsables de problemas nutricionales en los animales. En la década del 60 el Canola Council de Canadá logró obtener variedades con bajo contenido de ácido erúcico y glucosinolatos denominándola CANOLA (Canadian Oil Low Acid), nombre comercial que identifica a estas variedades (Iriarte y Valetti, 2008).

El principal productor es la Unión Europea con 10,5 millones de toneladas, seguido por China y Canadá. En Argentina se conoce desde la década del 40 y en el año 1990 se llegó a sembrar una superficie de 51000 has, para luego decrecer por problemas en el acopio y comercialización (Iriarte y Valetti, 2008). Dentro de las principales limitantes por las cuales el cultivo no ha adquirido aún mayor desarrollo en el país se pueden mencionar, su comercialización limitada por falta de sitios de recepción y acondicionamiento, dificultades en la cosecha, desconocimiento del manejo del cultivo y falta de incentivo de precios (Pozzolo *et al.*, 2004; Iriarte y Valetti, 2008). Actualmente, existe un incremento de la demanda originada en las perspectivas de la industria del biodiesel de la Unión Europea que ha provocado un nuevo aumento en el área sembrada con colza (Macret, 2007).

La incorporación de nuevos cultivos requiere del estudio del ajuste entre los factores ambientales y de manejo agronómico. La fecha de siembra y el ciclo de la variedad suelen ser los factores más importantes que definen un adecuado acoplamiento del ciclo del cultivo en una determinada región (Connor y Loomis, 1991).

La incorporación de colza en los esquemas de producción argentinos presentaría numerosas ventajas, entre las que se pueden mencionar, la producción de una

oleaginosa en invierno, la diversificación de la rotación agrícola mejorando el control de malezas e interrumpiendo el ciclo de enfermedades del cultivo de trigo, una cosecha anticipada que favorece la realización de cultivos de segunda en fechas más tempranas y menores riesgos debidos a variaciones en el mercado o en las condiciones climáticas (Iriarte, 2002).

Los regímenes de temperatura, radiación y la disponibilidad de agua y nutrientes afectan la variabilidad de los rendimientos de los cultivos. La fecha de siembra determina cambios en esos regímenes a los que quedará expuesto el cultivo, particularmente en el período crítico para la determinación del rendimiento (Otegui y López Pereira, 2003). En el cultivo de colza, la etapa entre el inicio de la floración y el comienzo del crecimiento de silicuas es particularmente importante a los fines de establecer el número de silicuas por unidad de superficie y de granos por silicua que la planta puede sostener; esta etapa es considerada como el período crítico para la definición del rendimiento en colza (Morrison and Stewart, 2002; Gómez *et al*, 2007).

Para determinar la fecha de siembra óptima se debe tener en cuenta cuales son los requerimientos del cultivo y las restricciones que el ambiente de la zona de producción van a ejercer sobre el mismo (Iriarte y Valetti, 2008). El crecimiento de un cultivo depende de la radiación solar incidente, de la capacidad del canopeo para interceptarla y de la eficiencia con que el cultivo transforma la radiación interceptada en materia seca. El rendimiento, por su parte, queda determinado por la manera con que el cultivo particiona la biomasa acumulada durante su crecimiento, entre los órganos de cosecha y el resto de la planta (Andrade *et al*, 1996).

Por otro lado, el desarrollo fenológico de los cultivos tiene una respuesta universal a la temperatura. Esta respuesta es la responsable de la aceleración del desarrollo cuando las plantas son expuestas a temperaturas mas elevadas, por lo que la duración de cualquier fase transcurre más rápidamente dentro de ciertos umbrales de temperatura (Miralles *et al*, 2003). Con respecto a la duración del día (fotoperíodo), la colza puede ser clasificada como cuantitativa de día largo (Iriarte y Valetti, 2008). Cuando diferentes variedades de colza, invernales o primaverales, son sembrados en

diferentes fechas, se producen variaciones substanciales en el patrón de desarrollo, que modifican la duración de las etapas fenológicas que finalmente impactan sobre el número de granos y el rendimiento final del cultivo (Miralles *et al*, 2001).

En general, en latitudes intermedias se ha reportado que las siembras otoñales tempranas son las que producen los mayores rendimientos de granos y aceite de colza, mientras que en zonas más frías tanto las siembras al principio del otoño como al principio de la primavera se asocian con mayores rendimientos (Auld *et al*, 1984; Ozer, 2003; Upadhyay *et al*, 2004; Adamsen and Coffelt, 2005). Además la elección correcta del momento de siembra es particularmente crítica en climas fríos debido al potencial daño por heladas en los estadios iniciales del cultivo (Gross, 1964).

Siembras mas tardías resultan en un acortamiento del periodo a floración y entre esta última etapa y la madurez del cultivo (Adamsen and Coffelt, 2005; Bhuiyan *et al,* 2008). Esta disminución en los días a floración no puede ser explicada sólo por la temperatura, ya que en general el tiempo térmico acumulado (°C día) entre la emergencia del cultivo y la floración también disminuyó al atrasar la siembra, indicando que otros factores podrían ser responsables del inicio de la floración, como el fotoperiodo (Adamsen and Coffelt, 2005) y el requerimiento de horas de frió (Gómez *et al*, 2007).

En siembras de fines de mayo, Coll y Peltzer (2009) reportaron que las variedades primaverales de ciclo más largo tuvieron periodos emergencia-floración más prolongados que las de ciclo más corto y que los menores rendimientos correspondieron a las variedades más largas, argumentando que la sequía progresiva registrada en esa experiencia y las temperaturas excesivas en los momentos de determinación del número de granos y durante el llenado de los mismos afectó más a las variedades de ciclo largo en siembras tardías. Otras investigaciones también demostraron que altas temperaturas en estadios reproductivos redujeron los rendimientos de colza (Morrison and Stewart, 2002; Adamsen and Coffelt, 2005).

Otros autores encontraron que las siembras tardías disminuyeron el número de granos por silicua y el índice de cosecha, y por lo tanto también los rendimientos

(Johnson *et al,* 1995; Bhuiyan *et al*, 2008). De la misma manera, Hocking and Stapper (2001) indicaron que el contenido de aceite generalmente se redujo al atrasar la fecha de siembra. Adjudicaron que mayores temperaturas durante la etapa de llenado de granos fue la causa de la reducción en la concentración de aceite debido a un atraso en la siembra.

Resultados obtenidos en la Estación Experimental de Barrow (sur de la Provincia de Buenos Aires; latitud 38° 20' S) señalan que materiales primaverales de ciclo intermedio y corto no deberían sembrarse muy temprano (marzo o abril) ya que pueden llegar a la etapa reproductiva en un período en que las condiciones ambientales, principalmente de temperatura, no son favorables (Iriarte y Valetti, 2008). Para esta misma localidad el rendimiento de materiales de ciclo corto se va incrementando a medida que se atrasa la fecha de siembra y por el contrario, el peso de 1000 granos acusa los valores más altos en fechas tempranas y va disminuyendo hacia las tardías. Este aumento en el peso del grano se explicaría porque hay un menor número de granos por unidad de superficie. En cambio en las fechas mas tardías, el número de granos aumenta considerablemente generando mayor rendimiento, mientras que el peso individual de los granos disminuye (Iriarte y Valetti, 2008). Sin embargo, a menores latitudes el atraso de la fecha de siembra reduciría el rendimiento, el peso de 1000 granos y el contenido de aceite de los granos (Ozer, 2003).

Actualmente, se encuentran disponibles en el mercado variedades invernales y primaverales de colza. Los primeros exigen la acumulación de una determinada cantidad de horas de frío en su estado vegetativo para florecer (vernalización). Esta cantidad es variable según la variedad, ya que existen materiales con alto y bajo requerimiento de vernalización. Las variedades invernales disponibles en el mercado argentino poseen bajo requerimiento de vernalización. Estas variedades deberían sembrarse en zonas donde haya garantía de lograr esas sumas térmicas, como por ejemplo en el sur del país o si se trata de zonas de temperatura templada, la fecha de siembra debería adelantarse a principios de otoño para que el cultivo tenga la posibilidad de acumular las horas de frío necesarias (Iriarte y Valetti, 2008). En la

mayoría de las variedades que requieren vernalización la tasa de desarrollo es incrementada por temperaturas en el rango de 4 a 9 °C, considerando 12 a 13 °C el límite máximo de temperaturas vernalizantes efectivas. Teniendo en cuenta que las condiciones térmicas del invierno en Argentina son benignas, un atraso en la fecha de siembra podría ubicar al cultivo en condiciones desfavorables durante el periodo crítico, debido a la escasa o nula acumulación de horas de frió (Gómez *et al*, 2007).

Debido a que no existe información local referida al efecto de la fecha de siembra sobre el desarrollo, crecimiento, rendimiento en granos y sus componentes y calidad de granos, como así tampoco acerca del comportamiento de las variedades invernales, es importante su evaluación con el fin de obtener resultados que aporten información y conocimientos para decidir la fecha de siembra más apropiada para cada tipo de variedad.

2. Hipótesis

1. La fecha de siembra afecta la producción de biomasa aérea y el rendimiento en grano de las diferentes variedades de colza.
2. Las variedades primaverales de colza, en comparación con una variedad invernal, presentan mayor rendimiento en grano en las condiciones ambientales de la región oeste de la provincia de E. Ríos en fechas de siembra tempranas.
3. Las fechas de siembra tempranas producen un mayor número de granos por unidad de superficie, un mayor peso de granos e incrementan el contenido de aceite en comparación con las fechas tardías en variedades de colza con diferente longitud de ciclo.
4. Las variedades primaverales de colza de ciclo corto sembradas en fecha tardía presentan mayor rendimiento en grano que las de ciclo largo, debido a mejores condiciones ambientales durante la fijación y llenado de los granos.

5. En la localidad de Paraná se logra la inducción floral en variedades invernales de colza con bajos requerimientos de vernalización en fechas de siembra tempranas.

3. Objetivos

- Evaluar el comportamiento de variedades de colza con diferente longitud de ciclo a medida que la fecha de siembra se retrasa.

- Comparar el comportamiento de los componentes ecofisiológicos que determinan el rendimiento en las distintas fechas de siembra evaluadas en variedades de colza con diferente longitud de ciclo.

- Determinar el efecto de la fecha de siembra sobre el desarrollo, crecimiento, rendimiento y sus componentes, como así también sobre la concentración de aceite en variedades primaverales e invernales de colza en la localidad de Paraná.

4. Materiales y métodos

El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Paraná (31° 50' latitud S y 60° 31' longitud O; 110 msnm), en la campaña agrícola 2008/09, sobre un suelo Argiudol ácuico perteneciente a la serie Tezanos Pinto con varios años de historia agrícola. Los registros climáticos se obtuvieron del observatorio agrometeorológico ubicado a 150 m del ensayo.

Los tratamientos consistieron en la combinación de 3 variedades de colza, 2 de tipo primaveral y 1 de tipo invernal (Tabla 1), y 5 fechas de siembra diferentes

(Tabla 2). La siembra se realizó en forma directa sobre rastrojo de soja, con máquina experimental cuyo distanciamiento entre surcos es de 22 cm. y una densidad de siembra de 7 kg/ha sobre parcelas de 13,2m^2 (1.32m x 10m). Se efectúo una fertilización al voleo en el estado de roseta (formación de hojas) con un equivalente a 300 kg/ha de urea (46-0-0) y 100 kg/ha de fosfato diamónico (18-46-0) con el objetivo de que la disponibilidad de N y P no sea limitante.

Tabla 1: Variedades de colza

Nombre	Tipo	Ciclo
Nexera 8300	Primaveral-alto oleico	largo
Legacy	Primaveral	corto
Lilian	Invernal	largo

Tabla 2: Fechas de siembra

1° Fs	08 de abril
2° Fs	23 de abril
3° Fs	08 de mayo
4° Fs	23 de mayo
5° Fs	23 de junio

Las plagas como el pulgón ceniciento *(Brevycorine brassicae)*, se controlaron con pirimicarb y para los ataques de la polilla de las coles (*Plutella xilostella*) se utilizó lufenuron. Las malezas se controlaron en forma manual.

Se utilizó un diseño experimental en Parcelas Divididas con la parcela mayor dispuesta en bloques completos al azar con 4 repeticiones. El factor "fecha de siembra" fue asignado a la parcela mayor y las variedades a las sub-parcelas (unidad experimental).

Con una frecuencia de 7 a 10 días se realizó un seguimiento fenológico utilizando la escala BBCH (Bleiholder, 1996). Con estos datos se determinaron los días entre la emergencia (E; estadio 09)- inicio de floración (FL; estadio 61), FL- madurez fisiológica (MF) y ciclo total para cada variedad. El momento de inicio del período de llenado de los granos se tomó a partir del momento en que el cultivo alcanzó la etapa de plena floración (estadio 65). Además, para cada variedad se determinó el tiempo térmico entre los estadios fenológicos nombrados anteriormente, mediante la sumatoria

de la diferencia entre la temperatura media diaria del aire (Ta) y la temperatura base (Tb= 0°C).

La radiación fotosintéticamente activa incidente (RFA inc) se midió en días despejados con un sensor lineal (Cavadevices, Buenos Aires, Argentina). La fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFA int) por el cultivo se calculó a partir de mediciones de RFA inc por encima del canopeo (Io) y por debajo de la última hoja verde (It), calculándose el porcentaje de intercepción mediante la fórmula (Io-It/Io) x100.

Se calculó la eficiencia de conversión de la radiación (EUR) mediante el cociente entre la biomasa aérea total producida y la radiación interceptada acumulada por el cultivo. Para estimar la cobertura del cultivo en los primeros estadios se utilizaron fotografías digitales (Behrens and Diepenbrock, 2006). En la variedad invernal, la última medición del porcentaje de radiación interceptada en la 4° y 5° fecha de siembra correspondió con los 145 y 112 días desde la emergencia, respectivamente. Se midió hasta ese momento del ciclo ya que no produjeron granos y las plantas comenzaron a senescer, coincidiendo con la última medición realizada en las variedades primaverales.

Para determinar la producción de biomasa aérea total (materia seca) se tomaron muestras de 0.25 m^2 en madurez fisiológica y se colocaron en estufa a una temperatura de 60 °C hasta peso constante. El número de silicuas por planta se cuantificó sobre la misma muestra para determinación de biomasa antes de colocarla en estufa. Se determinó el número total de silicuas en la muestra y se dividió por el número de plantas (n° de silicuas/planta) presentes en la muestra. Una vez obtenido el peso de la biomasa aérea, la muestra se trilló con máquina experimental estática. Se pesó el grano y se calculó el índice de cosecha (IC) a partir del cociente entre peso de los granos y la biomasa total en la muestra. Cabe aclarar, que si bien botánicamente es una semilla y no un grano, comúnmente en las oleaginosas se utiliza el término grano cuando se habla de rendimiento y los componentes que lo determinan. Por tal motivo se utilizará el término grano en vez de semilla.

Para la determinación del rendimiento de cosecharon en forma manual con tijera de podar 4 surcos de 7,5 m por parcela (4 surcos centrales), descartando las plantas de los extremos. En la elección del momento de cosecha se consideró el método descripto por el Canola Council de Canadá. Este consiste en la observación del color de los granos sobre la rama principal de plantas ubicadas en diferentes sectores de la parcela. El tallo principal se divide en 3 partes. En el tercio inferior las semillas deben tener un color marrón-oscuro a negro y presentar un contenido de humedad del 20 al 30 %. En el tercio medio el 90 % de las semillas deben ser de color verde, el resto presentar un color marrón claro. Estas presentan entre 30 a 40 % de humedad. En el tercio superior la mayoría de las semillas serán de color verde y se presentaran firmes al hacerlas rodar entre los dedos con un contenido de humedad aproximado de 40 a 45 % (Iriarte y Valetti, 2008). El material cosechado se colocó en estufa a 60° C por 72 hs para posteriormente trillarse con máquina experimental estática. Finalmente se pesó y se estimó el rendimiento corregido a 8,5 % de humedad (humedad de comercialización). Para la obtención del peso de 1000 granos (PG) se pesaron 3 muestras de 100 semillas por repetición, dando por finalizado el cálculo cuando el coeficiente de variación no superó el 6 %. El número de granos por unidad de superficie (NG) se estimó a partir del cociente entre el rendimiento en grano de las parcelas y el peso de 1000. El número de granos por silicua fue estimado como el cociente entre el NG y el número total de silicuas en 1 m^2. Previo a la cosecha se tomaron 10 plantas al azar y se midió la altura de planta.

En la variedad invernal, no se midió el valor de la biomasa ni la altura de planta en las 2 últimas fechas de siembra.

El análisis del porcentaje de materia grasa se determinó en el Laboratorio de Calidad de Granos y Aceites del INTA Balcarce utilizando Resonancia Magnética Nuclear con un equipo Spinlock (Spinlock, S.R.L., Córdoba, Argentina).

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) para establecer la existencia de diferencias estadísticamente significativas y las medias se compararon mediante el test de diferencias mínimas significativas (LSD) con un coeficiente de confianza del 95 %

(nivel de significación α =0,05). Para el análisis de la información se utilizó el programa estadístico SAS Versión 8 (SAS Institute). Se realizaron análisis de correlación y regresión lineal simple para evaluar las asociaciones entre variables.

5. Resultados y discusión

5.1 Caracterización climática

Los registros térmicos promedios mensuales de 2008 siguieron una tendencia similar a los promedios normales históricos (Tabla 3), tanto en las temperaturas medias, mínimas y máximas hasta el mes de junio. A partir del mes de julio las temperaturas máximas registradas fueron superiores a los promedios normales, presentando las mayores diferencias el mes de julio (+3,2 °C) y noviembre (+3,3 °C).

Tabla 3: Promedios mensuales de temperaturas (°C) medias, mínimas y máximas de la campaña 2008 y Normales Históricas (período 1934-2008) registrados en el Observatorio Agrometeorológico de la EEA Paraná del INTA.

	Temperatura (C °)					
Meses	**Media-2008**	**Media-Normal**	**Min-2008**	**Min-Normal**	**Max-2008**	**Max-Normal**
Enero	25,3	24,8	19,1	18,8	31,5	30,8
Febrero	24,6	23,8	19,3	18,1	29,8	29,6
Marzo	22,3	21,8	16,7	16,6	28	27,4
Abril	18,9	18,1	12,3	12,6	25,6	25,6
Mayo	16,4	15,4	10,8	10,6	22,1	20,4
Junio	11,2	12,4	5,9	8,0	16,5	17,0
Julio	15,5	11,9	10,9	7,1	20	16,8
Agosto	13,5	13,4	6,5	7,9	20,6	18,8
Septiembre	15,7	15,1	8,6	9,5	22,8	20,9
Octubre	19,0	18,0	12,3	12,4	25,6	23,7
Noviembre	23,1	20,8	16,1	14,8	30,1	26,8
Diciembre	24,7	23,4	17,8	17,3	31,7	29,4

Además en esos dos meses se registraron temperaturas mínimas medias por encima de lo normal, +3,2 °C y + 1,3 °C para julio y noviembre, respectivamente. Por lo tanto, en estos meses se observaron los mayores aumentos en las temperaturas medias mensuales, siendo esta diferencia de mayor magnitud en el mes de julio (+3,6 °C).

Las precipitaciones totales ocurridas en la campaña 2008 fueron un 37 % inferior a las normales. En todos los meses de dicho año, a excepción del mes de mayo, las lluvias fueron inferiores a las normales (Gráfico 1). Los mayores porcentajes de variación se dieron en los meses de marzo, junio, agosto y diciembre, siendo la cantidad de este último mes de escasa importancia desde el punto de vista del cultivo de colza por presentarse fuera de la estación de crecimiento. Por el contrario, las lluvias al inicio del otoño son necesarias para la germinación y emergencia del cultivo.

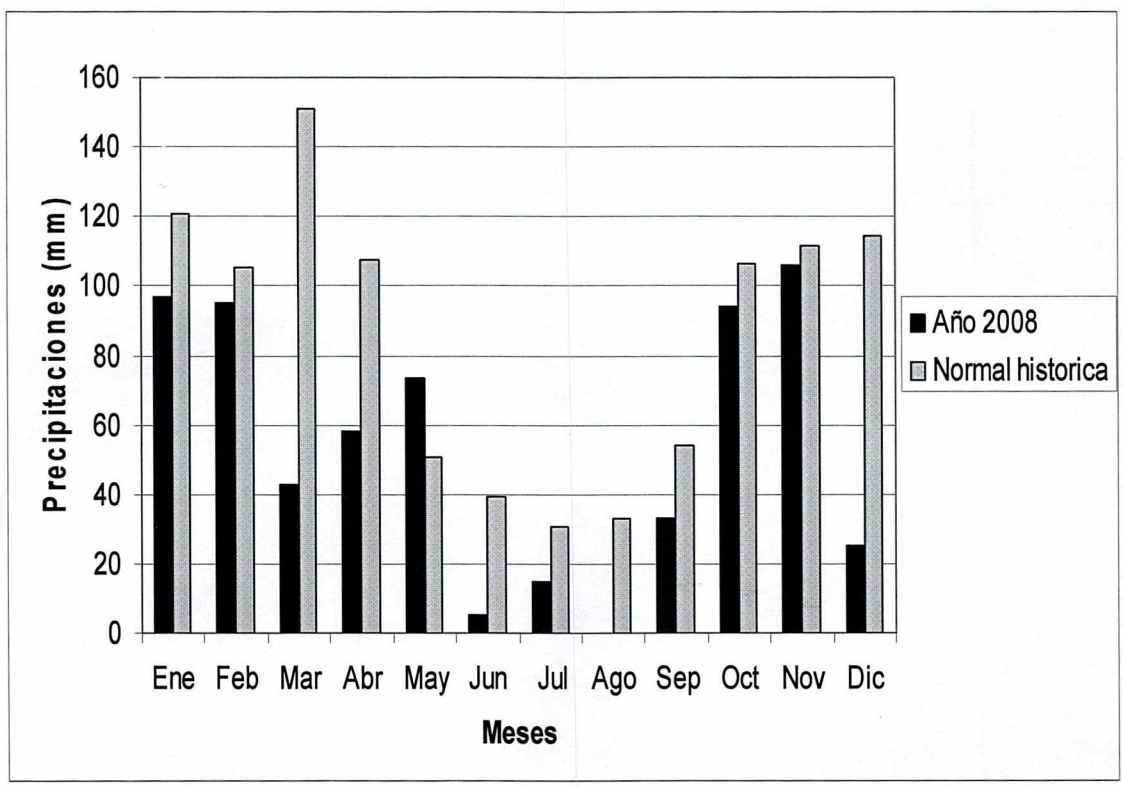


Gráfico 1: precipitaciones mensuales (mm) Normales Históricas (período 1934-2008) y de 2008 para la localidad de Paraná. Fuente: Observatorio Agrometeorológico de la EEA Paraná del INTA.

5.2 Fenología y desarrollo del cultivo

5.2.1 Duración en días de las distintas etapas fenológicas

A medida que la siembra se retrasó, el ciclo total del cultivo se redujo en las 3 variedades (Tabla 4). Entre la primera y la tercera fecha de siembra (Fs), se observó una reducción de 15, 18 y 15 días en la variedad primaveral de ciclo corto (PC), la primaveral de ciclo largo (PL) y la invernal, respectivamente. En esta última variedad sólo se comparan las 3 primeras Fs, ya que las dos últimas no produjeron granos. La reducción de la duración del ciclo fue de 42 días en la variedad PC y de 54 días en la variedad PL entre la primera y la quinta fecha de siembra.

Tabla 4: Duración en días de las etapas fenológicas de cada variedad en función de la fecha de siembra en la localidad de Paraná. E= emergencia. FL= inicio de floración. MF= madurez fisiológica (escala BBCH extendida. Bleiholder, 1996). PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. Inv: variedad invernal.

Fecha de siembra	Variedad	E-FL	FL-MF	Total ciclo
8 de abril	PC	98	74	172
	PL	124	62	186
	Inv	142	54	196
23 de abril	PC	103	62	165
	PL	120	58	178
	Inv	136	50	186
8 de mayo	PC	100	57	157
	PL	107	61	168
	Inv	135	46	181
23 de mayo	PC	97	53	150
	PL	108	51	159
23 de junio	PC	85	45	130
	PL	95	37	132

Este acortamiento de la etapa emergencia- madurez fisiológica (E-MF) en cada variedad se debió a reducciones tanto de la etapa de E-FL, como de inicio de floración-madurez fisiológica (FL-MF). En la variedad PC un atraso de la siembra desde el 08 de abril al 23 de junio redujo la etapa E-FL en 13 días y entre FL-MF en 29 días. En la variedad PL la tendencia fue reducir de manera similar la etapa de E-FL, con una

disminución de 29 días, como la etapa entre FL-MF en 25 días. Similarmente, en la variedad invernal la duración de ambas etapas (E-FL y FL-MF) tendió a reducirse al atrasar la Fs.

Cabe destacar que a medida que la siembra se retrasó la proporción del periodo vegetativo respecto del reproductivo presentó una tendencia a aumentar entre la primer y tercera fecha de siembra en la variedad PC, manteniéndose estable en las siguientes Fs. En cambio, en la variedad PL y la invernal dicha proporción se mantuvo estable.

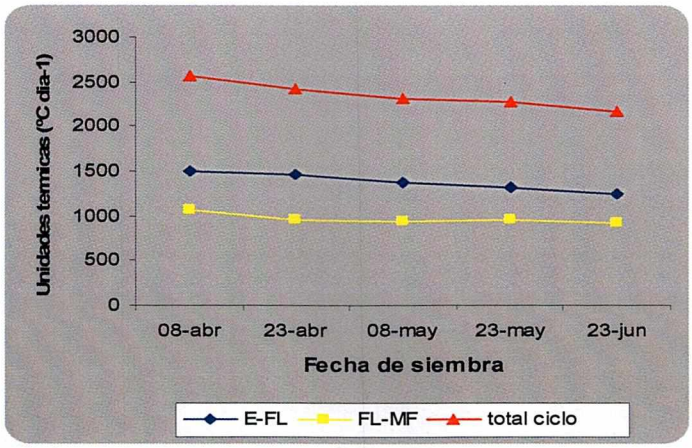
Considerando el ciclo total del cultivo, otros autores encontraron también que un atraso de la siembra redujo la duración del ciclo total de la colza (Villar 1995; Ozer 2003). Hocking and Stapper (2001) trabajando en siembras de otoño, indicaron que cuando la siembra se retrasó de abril a julio el período entre la siembra y el inicio de la floración se redujo. En cambio, el efecto del atraso de la siembra sobre la duración del período de llenado de los granos fue menos importante. Los autores señalan que las fechas tardías acortaron las fases vegetativas y reproductivas por efectos de la temperatura y el fotoperíodo.

5.2.2 Duración en unidades térmicas de las etapas fenológicas

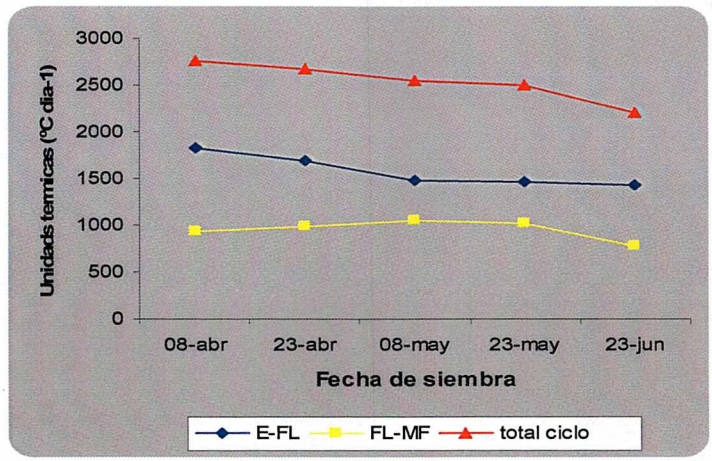
En el Gráfico 2 se observa que las distintas variedades tendieron a comportarse de manera diferente respecto de las unidades térmicas acumuladas.

Para el caso de la variedad PC, el tiempo térmico (TT) acumulado entre la E-FL tendió a disminuir entre la primer y última Fs. Esto determinó una disminución de las unidades térmicas acumuladas cuando se comparó el ciclo total, ya que el efecto del atraso en la siembra fue menor en la etapa de FL-MF (Gráfico 2a). En la variedad PL, el tiempo térmico acumulado entre la E-FL comenzó a disminuir desde la 1° Fs hasta la 3° Fs y por el contrario entre la FL-MF comenzó a aumentar, pero este aumento fue proporcionalmente menor. Esto determinó que en el ciclo total, el TT sea levemente menor entre la 1° y 3° Fs. Entre la tercer y última Fs el tiempo térmico entre la E-FL tendió a ser similar y disminuyó entre la FL-MF en la siembra mas tardía (Gráfico 2b).

a)



b)



c)

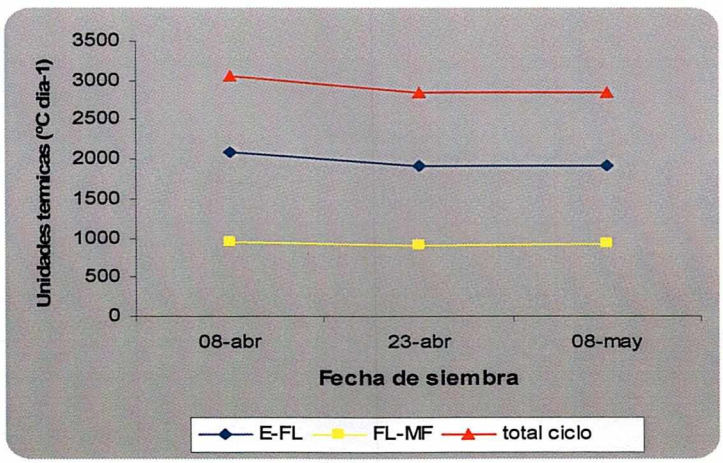


Gráfico 2: Duración en unidades térmicas acumuladas (ºC día) entre la emergencia-inicio de floración (E-FL), inicio de floración-madurez fisiológica (FL-MF) y total del ciclo en la localidad de Paraná para las 3 variedades de colza a) Variedad primaveral de ciclo corto b) variedad primaveral de ciclo largo c) variedad invernal.

En la variedad invernal, solamente entre la primer y segunda fecha de siembra el TT disminuyó entre la E-FL. En las 3 fechas de siembra el TT entre FL-MF tuvo una tendencia a ser similar. Por lo tanto, en la 1° Fs se encontró el valor mayor de TT acumulado en el ciclo total y aparentemente entre la 2° y 3° Fs no se observó diferencia en el ciclo total (Gráfico 2c).

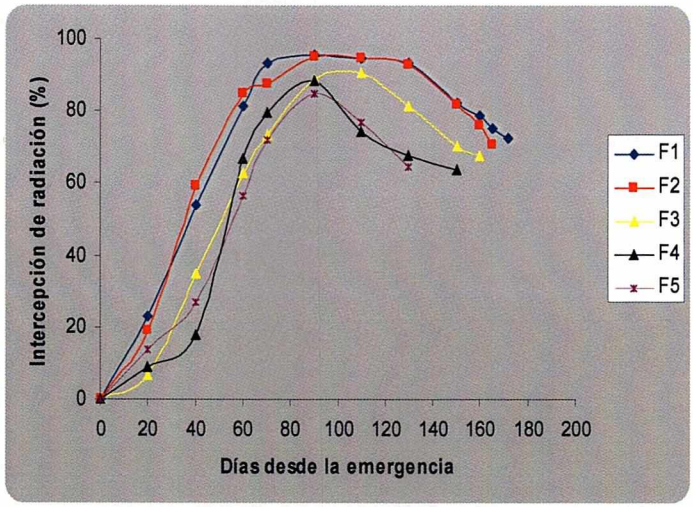
En general, el tiempo térmico acumulado entre la emergencia y la floración disminuyó al atrasar la siembra, indicando que otros factores como el fotoperiodo podrían ser responsables del inicio de la floración (Adamsen and Coffelt, 2005). A medida que la siembra se retrasa de abril a junio es probable que el período entre la emergencia (E) y la iniciación floral (IF) (medido en °C día) aumente, ya que el fotoperíodo se acorta hacia el 21 de junio. No obstante, la colza presenta sensibilidad a dicho factor entre IF y la floración (fase reproductiva). Entonces, como después del 21 de junio el fotoperíodo comienza a alargarse, esta última fase se reduce y por lo tanto también la duración total entre la emergencia y la floración (Miralles *et al*, 2001).

5.3 Intercepción de radiación

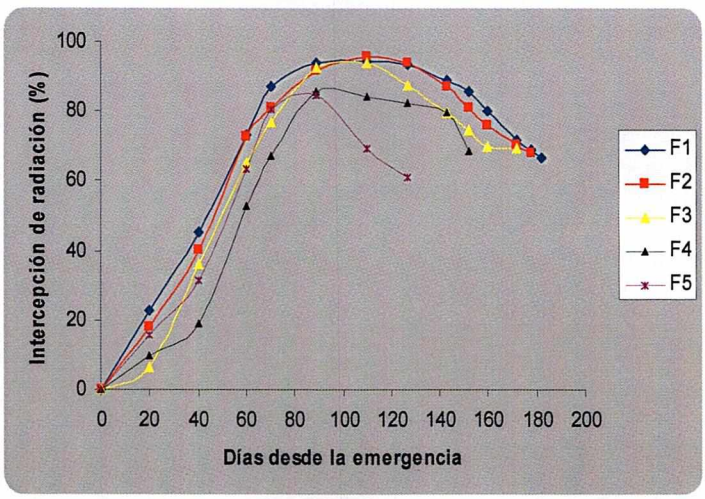
El gráfico 3 muestra la evolución de la intercepción de radiación fotosinteticamente activa (RFA) expresada como porcentaje de la RFA incidente, en función de los días a partir de la emergencia de cada variedad para las 5 fechas de siembra. Únicamente las fechas de siembra tempranas lograron interceptar el 95 % de la radiación incidente al inicio de floración. Al mismo tiempo, las siembras tempranas mantuvieron mayores porcentajes de radiación interceptada por más tiempo.

Además, las siembras más tempranas permitieron una más rápida cobertura del suelo en estadíos iniciales del cultivo, por las mayores temperaturas registradas luego de la emergencia del cultivo y posiblemente en ese momento todavía el efecto de la sequía no fue tan acentuado, como sucedería luego en las siembras más tardías.

a)



b)



c)

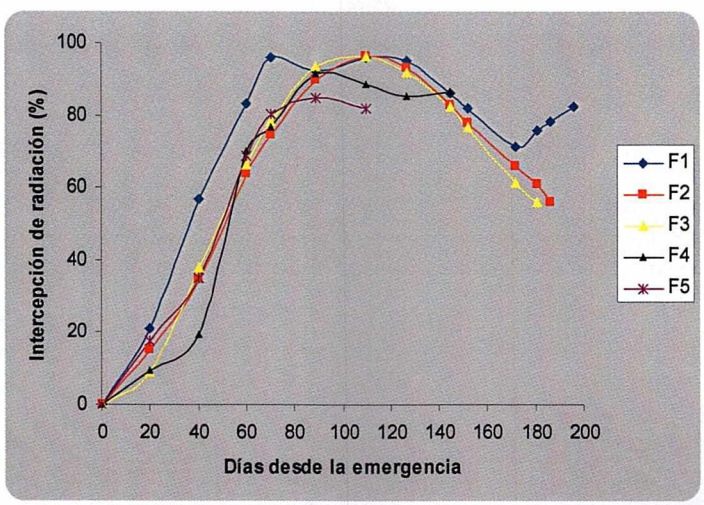


Gráfico 3: porcentaje interceptado de radiación fotosinteticamente activa incidente en función de los días después de la emergencia (DDE) en las 5 fechas de siembra para las 3 variedades de colza. F: fecha de siembra a) primaveral corta F1:98 F2:103 F3:100 F4:97 F5:85 DDE en que se alcanzó el inicio de floración b) primaveral larga F1:124 F2:120 F3:107 F4:108 F5:95, DDE c) invernal. F1:142 F2:136 F3:135 DDE.

Andrade *et al* (1996) reportan que la eficiencia de intercepción de la radiación (e_i) fue afectada por la disponibilidad de agua y señalan que gran parte del efecto depresivo que experimentan los cultivos frente a deficiencias hídricas, se explica a través de la reducción en el crecimiento foliar y/o de la aceleración de la senescencia, y por lo tanto, en una reducción en la e_i. En referencia a la senescencia foliar, dicho efecto se visualizó en las siembras más tardías. Esto podría explicar en parte, la caída en la intercepción de radiación en estas fechas de siembra (Gráfico 3).

Comparando la radiación fotosinteticamente activa interceptada acumulada (RFA int. acum.) se observó tanto un efecto de fecha de siembra ($p<0,0001$) como de la variedad ($p<0,0001$) y la interacción fecha x variedad fue significativa ($p<0,0001$) (Gráfico 4).

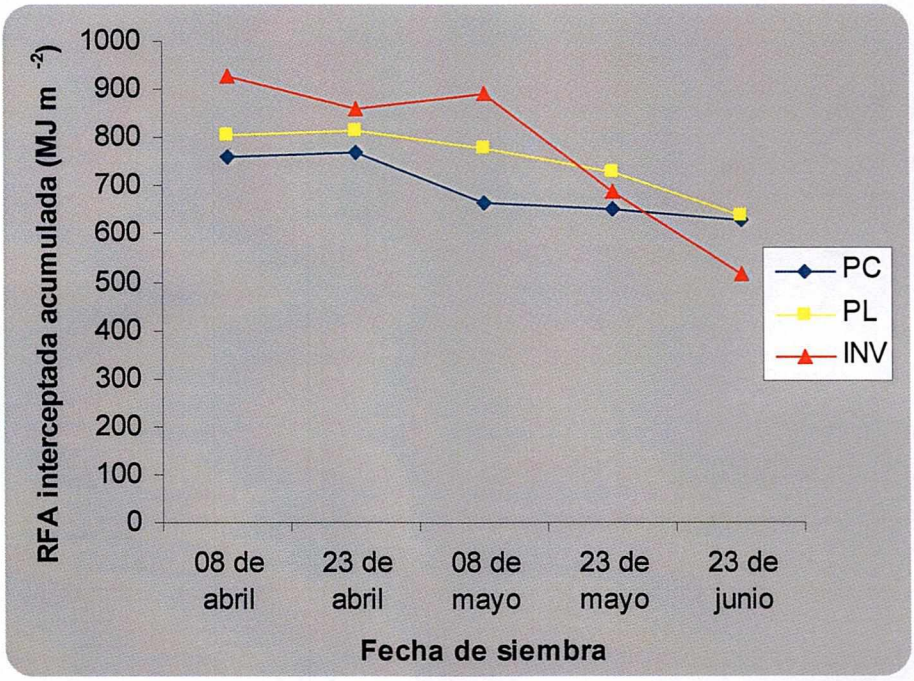


Gráfico 4: radiación fotosinteticamente activa (RFA) interceptada acumulada en función de la fecha de siembra en la localidad de Paraná para las 3 variedades de colza. PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. INV: variedad invernal.

En las primeras 4 fechas de siembra las 3 variedades difirieron en el total de RFA int., siendo mayores en la variedad invernal y menor en la variedad PC en las primeras 3 Fs. Esto se debió fundamentalmente a las diferencias en la duración del ciclo de cada variedad como a los mayores porcentajes interceptados durante la estación de crecimiento. En cambio, en la 4° Fs la variedad PL superó a la variedad invernal y la PC presentó el valor más bajo ($p<0,0001$). En la siembra más tardía las 3 variedades presentaron similares valores acumulados de RFA int. ($p=0,0641$).

Analizando las variedades, se observó que la variedad PC interceptó mayor cantidad de RFA en las primeras 2 Fs y en las 3 últimas presentó los menores valores, siendo a su vez estos últimos similares entre sí ($p<0,0001$).

Por el contrario, en la variedad PL en las primeras 3 fechas de siembra la cantidad de RFA int fue similar, aunque a diferencia de la PC, entre la 3° y 4° Fs no hubo diferencias significativas y el menor valor correspondió a la fecha más tardía ($p=0,0002$).

En la variedad invernal se observó una reducción de la RFA int. en la 2° Fs comparada con la primera. De todas maneras, esta reducción en la intercepción de radiación no fue tan marcada, ya que entre la 2° y 3° Fs, como entre la 1° y 3° no hubo diferencias. En las dos últimas fechas de siembra la radiación interceptada se redujo significativamente, siendo a su vez menor en la siembra más tardía ($p<0,0001$).

5.4 Eficiencia de conversión de la radiación

Con respecto a la eficiencia de conversión de la radiación interceptada en biomasa (e_c) se encontró tanto un efecto de fecha de siembra ($p<0,0001$) como de la variedad ($p<0,0001$) y la interacción fecha x variedad no fue significativa ($p= 0,1239$) (Gráfico 5).

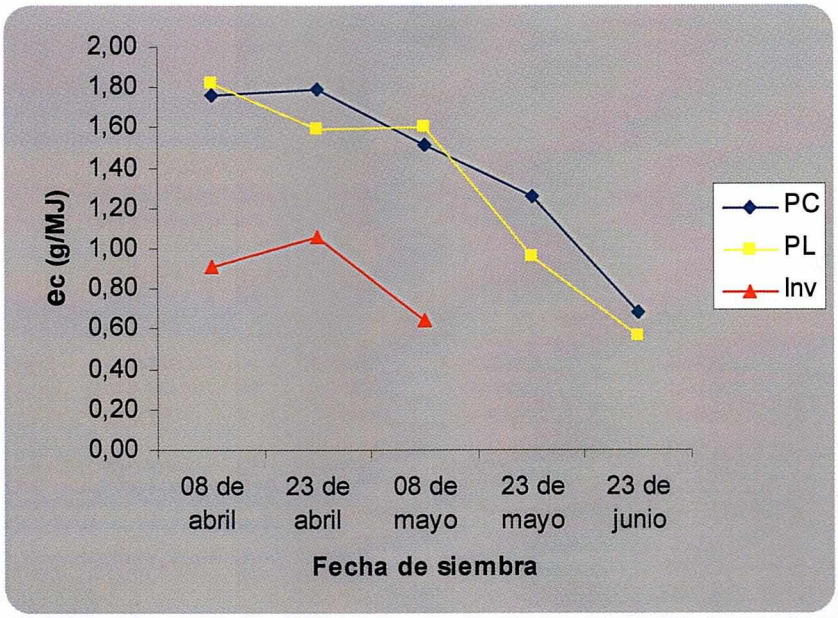


Gráfico 5: eficiencia de conversión (ec) de cada variedad de colza en función de la fecha de siembra. PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. INV: variedad invernal.

Se observó que a medida que la siembra se retrasó la eficiencia de conversión presentó una tendencia decreciente, obteniéndose los menores valores en las 2 últimas Fs en las variedades primaverales. La variedad invernal presentó una menor e_c, comparada con las variedades primaverales.

Estas menores e_c no pudieron ser explicadas por una reducción en la proporción del período vegetativo (menor costo energético) respecto del reproductivo (mayor costo energético), ya que a medida que la siembra se retrasó se observó el efecto inverso en la variedad PC, siendo el mismo más estable en la variedad PL y la variedad invernal.

Es probable que el estrés hídrico haya acelerado la senescencia foliar, y por lo tanto, disminuido la capacidad fotosintética del canopeo para transformar la radiación interceptada en biomasa, afectando mayormente las siembras más tardías en las variedades primaverales y a la variedad invernal en las primeras 3 fechas de siembra (Gráfico 5). Para los cultivos de maíz y soja, Andrade y Sadras (2000) reportan caídas en la e_c por efecto del estrés hídrico. Además, el aumento de las temperaturas durante

el período reproductivo pudo haber aumentado la tasa de respiración, reduciendo la tasa de fotosíntesis por unidad de área foliar, y por lo tanto, la e_c.

En la variedad invernal, sumado a lo discutido anteriormente, el atraso en la inducción floral, y por lo tanto, del alargamiento de sus entrenudos no permitió una distribución pareja de la radiación en el perfil del canopeo. Cuando las plantas comienzan a alargar sus entrenudos, la mayor separación vertical entre hojas posibilitaría una mayor penetración y distribución más uniforme de la luz en el perfil del canopeo, mejorando por lo tanto el intercambio neto de carbono y la e_c.

5.5 Biomasa aérea

Analizando la biomasa total producida en las primeras 3 fechas no se observó efecto de la fecha de siembra ni interacción entre la Fs y la variedad. La variedad invernal produjo menores biomasas que las variedades primaverales (p=0,0102). Los valores de biomasa total producida por las variedades primaverales en las 2 últimas fechas de siembra fueron similares (p=0,2138) (Gráfico 6).

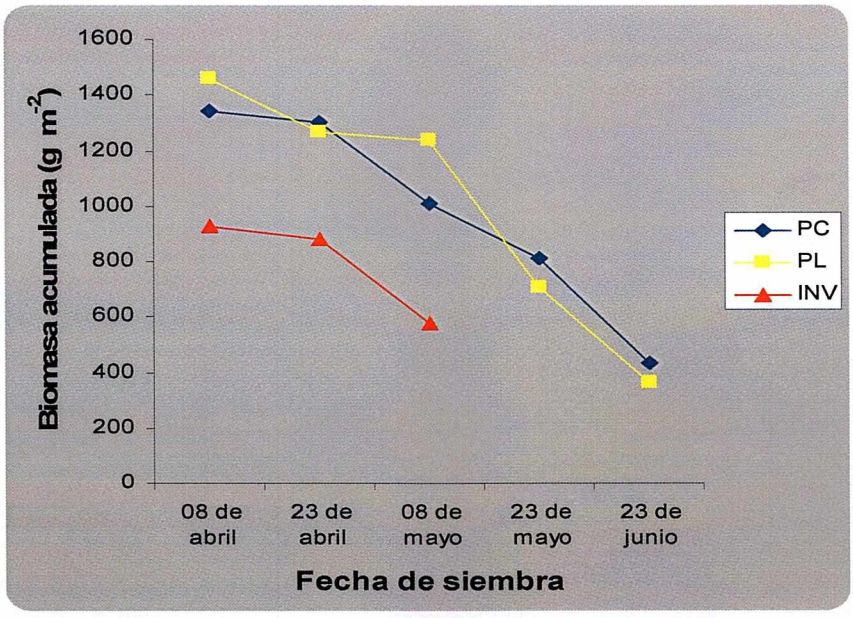


Gráfico 6: biomasa aérea acumulada por cada variedad de colza en función de la fecha de siembra. PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. INV: variedad invernal.

En la variedad PC la menor biomasa se obtuvo en la 5° Fs (p=0,0019), mientras que en la variedad PL las 2 últimas Fs produjeron las menores biomasas, siendo menor en la última Fs (p< 0,0001).

La menor biomasa producida a medida que la siembra se retrasó se debió fundamentalmente a la menor eficiencia de conversión de la radiación (r= 0,97; p< 0,001; n= 45) (Gráfico 7), ya que la biomasa producida no correlacionó con la RFA int acumulada (p=0,06). Esta falta de asociación entre la biomasa total producida y la intercepción total de radiación se debió a que las variedades invernales interceptaron una mayor cantidad de radiación y produjeron una menor biomasa. Cuando se excluyó del análisis a la variedad invernal, la asociación entre ambas variables fue estrecha (r= 0,75; p< 0,001; n= 35).

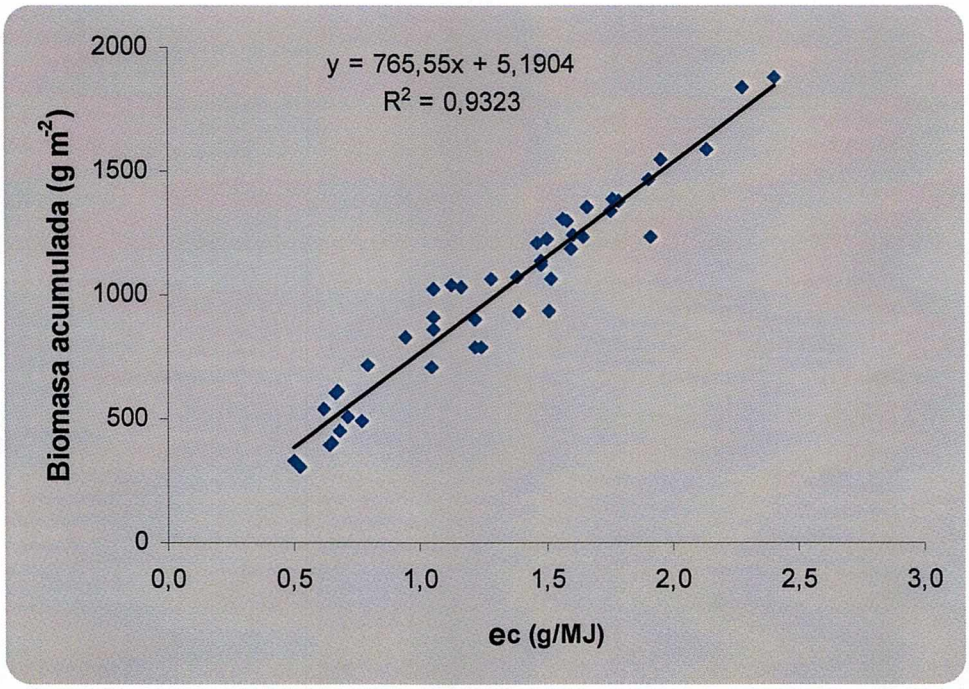


Gráfico 7: relación entre la eficiencia de conversión (e_c) de la radiación en biomasa (g/MJ) y la biomasa aérea acumula (g m^{-2}) (r=0,97; p<0,0001 n=45).

En coincidencia con los resultados encontrados en esta tesis, Hocking and Stapper (2001) trabajando en siembras de otoño, señalaron que cuando la siembra se retraso de abril a julio la producción de materia seca a madurez se redujo

significativamente. Señalaron que el acortamiento del período siembra-floración por efectos del fotoperíodo y la temperatura, como la reducción del período floración-madurez fisiológica, redujeron la biomasa acumulada a madurez.

5.6 Altura de planta

Con respecto a la altura, en las 3 primeras Fs se observó que las variedades respondieron diferencialmente al atraso de la Fs, i.e. se registró interacción variedad x Fs (p=0,0058) (Gráfico 8).

En la 1° Fs la mayor altura de planta correspondió a la variedad PL, mientras la invernal presentó la menor altura (p=0,0072). En cambio, en la 2° Fs la altura más baja correspondió a la PC (p=0,0034). Por el contrario, en la 3° Fs las alturas fueron similares en las 3 variedades (p=0,4062).

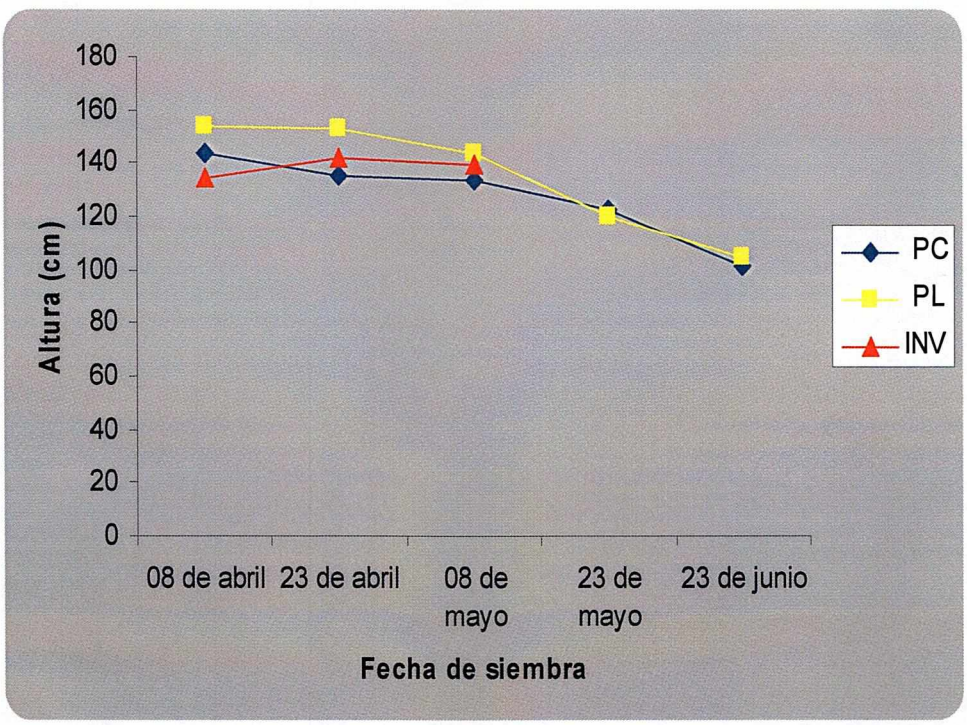


Gráfico 8: altura de planta en centímetros (cm.) de cada variedad de colza en función de la fecha de siembra. PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. INV: variedad invernal.

En la variedad PC la mayor altura correspondió a la 1° fecha de siembra, mientras que en la 2° y 3° fueron similares. En la última Fs se obtuvo el menor valor ($p<0,0001$). En cambio, las mayores alturas en la variedad PL correspondieron a las 2 primeras Fs y al igual que en la PC, el menor valor se obtuvo en la fecha más tardía ($p<0,0001$).

Ozer (2003), trabajando con 2 variedades primaverales de colza en siembras de primavera, encontró diferencias entre variedades para altura de plantas y reportó que un atraso de la siembra causó una reducción en la altura en uno de los dos años de estudio. Además no encontró interacción fecha de siembra x variedad. Similares resultados fueron reportados por otros autores con respecto a la reducción en la altura de plantas para siembras de otoño con variedades primaverales (Auld *et al*, 1984; Adamsen and Coffelt, 2005; Bhuiyan *et a,* 2008).

Si bien en esta tesis no se observó tendencia al vuelco de plantas, otros autores señalaron que plantas más altas presentaron mayor tendencia al vuelco y fue una de las causas de reducciones en los rendimientos (Adamsen and Coffelt, 2005). Por otro lado, incluso con alturas de plantas menores a las encontradas en esta tesis, se reportó la presencia de vuelco (Ozer, 2003). También, las siembras donde se aumentó la competencia intraespecífica (mayor distanciamiento entre surcos a la misma densidad siembra) mostraron plantas de tallos más finos y débiles con mayor tendencia al vuelco (Iriarte y Valetti, 2008).

Es probable que en años con presencia de lluvias y vientos fuertes hacia el final de la estación de crecimiento dicho efecto se presente en las siembras más tempranas, donde las plantas presentaron mayor altura. Entonces, es posible que la utilización de variedades que presenten menor altura expresen una menor tendencia al vuelco.

5.7 Indice de cosecha

El índice de cosecha (IC) fue afectado tanto por la fecha de siembra ($p<0,0001$), como por la variedad ($p<0,0001$). La interacción fecha x variedad fue significativa ($p<0,0001$), es decir que las variedades se comportaron en forma diferente frente al atraso de la fecha de siembra (Gráfico 9).

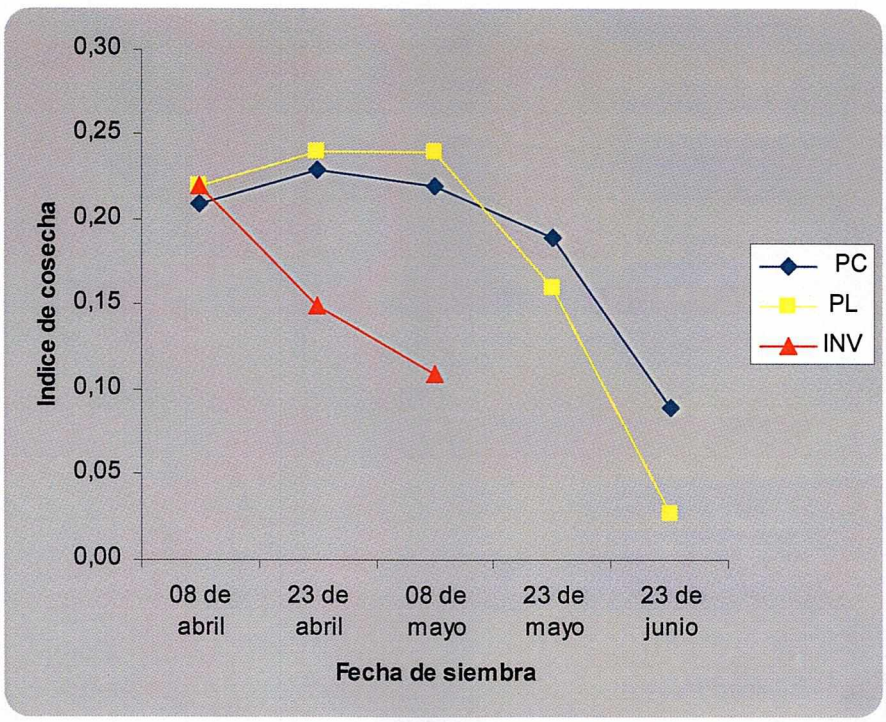


Gráfico 9: índice de cosecha de cada variedad de colza en función de la fecha de siembra. PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. INV: variedad invernal.

Para la variedad PC no hubo diferencias en el índice de cosecha en las primeras 4 Fs ($p=0,0029$). En la variedad PL, en las 3 primeras Fs los IC fueron superiores a los de las 2 últimas ($p=0,002$). En la invernal el mayor valor del IC se obtuvo en la 1° Fs ($p<0,001$).

En la 1° Fs no se encontraron deferencias entre variedades para el IC ($p=0,3961$). En la 2°, 3° y 4° fecha de siembra no hubo diferencias entre las variedades primaverales. La variedad invernal presentó valores inferiores en la 2° y 3°.

El atraso de las etapas de fijación y llenado de los granos hacia peores condiciones ambientales puede haber reducido el índice de cosecha. En un ensayo realizado en la localidad de Balcarce, se encontró que a medida que la siembra se retrasó de mayo a junio, el IC disminuyó en las variedades invernales. La falta de inducción floral debido a un incumplimiento de los requerimientos de vernalización retraso la floración hacia condiciones de temperaturas más calidas, afectando el rendimiento de grano y el IC. En cambio, en variedades primaverales, este índice se mantuvo relativamente estable y fue mayor con respecto a las de tipo invernal (Ross, 2008).

En coincidencia con los resultados encontrados en esta tesis, Hocking and Stapper (2001) indicaron que el retraso de la siembra redujo substancialmente el índice de cosecha de colza, ya que tanto la floración como el período de llenado de los granos se estableció bajo condiciones ambientales más desfavorables, principalmente por temperaturas más cálidas.

5.8 Componentes numéricos del rendimiento

5.8.1 Número de silicuas por m^2 y de granos por silicua

El número de silicuas por m^2 fue afectado tanto por la fecha de siembra ($p<0,0001$) como por la variedad ($p<0,0001$), sin interacción entre ambos factores ($p=0,1195$) (Gráfico 10).

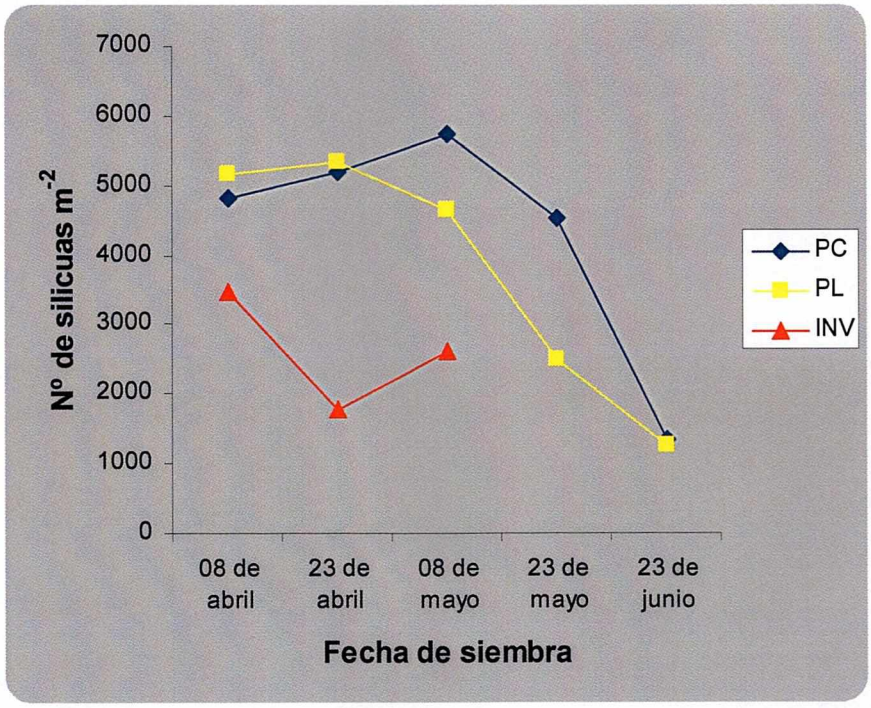


Gráfico 10: nº de silicuas por m^2 para las 3 variedades de colza en función de la fecha de siembra en la localidad de Paraná. PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. INV: variedad invernal.

En las primeras 3 fechas de siembra se obtuvieron los mayores valores de número de silicuas por m^2 y los menores en las dos últimas. A su vez, en las variedades primaverales, entre la 4° y 5° fecha de siembra el nº de silicuas por m^2 fue similar ($p<0,0001$).

Con respecto a las variedades, no se encontraron diferencias en el nº de silicuas por m^2 entre las 2 primaverales. Por el contrario, en la variedad invernal se obtuvo el valor más bajo ($p<0,0001$).

En la 4° Fs, la mayoría de las plantas de la variedad invernal alcanzaron a inducirse para florecer, pero desarrollaron muy pocas flores y silicuas. Las silicuas formadas tuvieron un escaso desarrollo y no produjeron semillas. En esta fecha de siembra el inicio de floración de la variedad invernal ocurrió a partir de mediados del mes de octubre, donde las temperaturas superaron en algunos casos los 30 °C. En las fotografías 1 y 2 se puede observar el efecto de las altas temperaturas en el período de floración (tomado del Canola Council de Canadá, 2006).



Fotografía 1: Silicuas estériles como resultado de flores dañadas por el calor (Canola Council de Canadá)



Fotografía 2: Efecto del calor en un grupo de flores (Canola Council de Canadá)

En la variedad invernal muy pocas plantas elongaron los entrenudos del tallo en la última Fs, aunque un alto porcentaje de estas alcanzó el estadio de botón floral (estadios 50 a 59). El resto de las plantas sólo alcanzó el estado de diferenciación de entrenudos, con hasta 10 entrenudos formados (estadio 39). De todas maneras las 2 últimas fechas de siembra no produjeron granos.

Si bien la inducción floral se logró en todas las fechas de siembra, el atraso de la misma desde la siembra del 08 de abril a la del 23 de junio provocó un efecto variable sobre la floración. En coincidencia con lo reportado por Ross (2008) se observó una considerable heterogeneidad de estadios fenológicos dentro de una misma fecha de siembra durante la floración. En el estudio de Ross (2008) este efecto se visualizó al atrasar la siembra hacia finales del otoño y sugirió que dicha heterogeneidad fue consecuencia de una insuficiente inducción floral. Por el contrario, en esta tesis dicho efecto en la variedad invernal se observó a partir de la 1° Fs, encontrándose en un mismo momento plantas en el estadio 59 ("botón amarillo") hasta el estadio 65 (plena floración). Este efecto fue cada vez más notorio a medida que la fecha de siembra se retrasó, a tal punto que en la siembra más tardía no se produjo la floración. Al respecto, Gómez *et al* (2007) mencionan que un desplazamiento del cultivo hacia fechas tardías, podrían ubicar el cultivo en condiciones desfavorables durante el período crítico, debido a la escasa o nula acumulación de horas de frió. Sin embargo, dicha heterogeneidad en la floración también comenzó a visualizarse en la 4° y 5° fecha de siembra en las variedades primaverales, que a su vez tuvo como consecuencia una maduración desuniforme de los granos. Este aspecto es de importancia, ya que tiene implicancia en la decisión del momento oportuno y método de cosecha a utilizar (cosecha directa o corte e hilerado). Cuanto más desuniforme sea la maduración de los granos, se han reportado mayores pérdidas de cosecha, tanto de granos maduros como de frutos inmaduros utilizando el método de cosecha directa (Coll *et al*, 2008).

El n° de granos por silicua fue afectado tanto por la Fs (p<0,0001) como por la variedad (p<0,0001), y por la interacción entre ambos (p=0.0023) (Gráfico 11).

En la variedad PC el n° de granos por silicua no difirió en las 5 Fs, mientras que en la PL el menor valor se obtuvo en la Fs más tardía (p=0.0045). La variedad invernal por su parte, presentó el mayor valor en la 1° Fs (p<0,001).

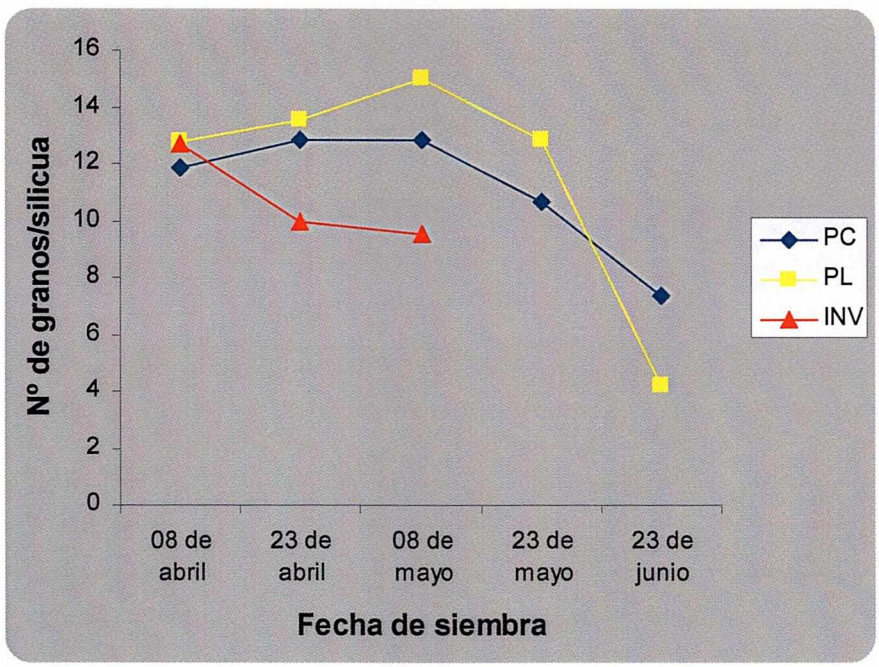


Gráfico 11: número de granos por silicua de las 3 variedades de colza en función de la fecha de siembra en la localidad de Paraná. PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. INV: variedad invernal.

En la 1° y 2° Fs el n° de granos por silicua no difirió entre las variedades. Por el contrario, en la 3° Fs las tres variedades se diferenciaron, presentando el valor mas alto la PL, seguido de la PC (p=0,0127). En la 4° y 5° Fs los valores fueron similares entre las variedades primaverales.

El número potencial de silicuas por planta y de semillas por silicua queda establecido en floración. La temperatura óptima que favorece el proceso de floración se encuentra alrededor de los 20 °C, con un rango entre 12 °C como mínimo y 30 °C como

máximo. Temperaturas por debajo del mínimo o por encima del máximo disminuyen el ritmo de floración y la polinización puede llegar a detenerse. En estas condiciones tanto el tiempo de receptividad de las flores, como la viabilidad del polen pueden ser afectados (Iriarte y Valetti, 2008). Morrison and Stewart (2002), en un ensayo realizado en cámaras de crecimiento, reportaron que temperaturas superiores a 27 °C, produjeron esterilidad floral. En cambio, en condiciones de campo, determinaron que las temperaturas que provocaron un estrés en el periodo de floración fueron aquellas superiores a 29,5 °C.

En este ensayo, el momento en que ocurrió la floración de las variedades primaverales en las primeras 3 Fs fue entre fines del mes de julio y durante el mes de agosto (Tabla 5). En el mes de agosto se produjeron 5 heladas, de las cuales 4 de ellas ocurrieron en la primera quincena, momento en el cual la variedad PC estaba en plena floración en la 1° Fs y en inicio de floración en la 2°. Iriarte y Valetti (2008) reportaron que las heladas no producen gran merma en los rendimientos porque mueren las flores abiertas al momento de producirse la helada, pero no se dañan las flores ya cuajadas ni los primordios que permanezcan cerrados. Si bien Iriarte y Valetti (2008) mencionan dicho efecto en el período de floración, no existen reportes acerca del efecto de las heladas en el n° de granos por silicua.

Tabla 5: Fecha de inicio de floración en función de la fecha de siembra en las 3 variedades de colza (Inicio de floración; estadio 61; Escala BBCH). PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. INV: variedad invernal.

Variedad	Fecha de siembra				
	8 de abril	23 de abril	8 de mayo	23 de mayo	23 de junio
PC	24-jul	10-ago	24-ago	10-sep	01-oct
PL	19-ago	27-ago	31-ago	21-sep	11-oct
Inv	06-sep	12-sep	28-sep	16-oct	

A mediados del mes de septiembre se produjo la floración de la variedad PC y PL de la 4° Fs y de la invernal de la 2° Fs. Hacia fines del mismo mes floreció la invernal de la 3° Fs. A fines de septiembre se registraron temperaturas superiores a los 27 °C que probablemente podrían explicar la disminución del número de silicuas por m^2, afectando más a la PL y a la invernal (Gráfico 11).

En el mes de octubre florecieron la PC y PL de la siembra más tardía. En este mes se registró una mayor cantidad de días con temperaturas superiores a los 27 °C, comparado con el mes anterior y es en esta fecha de siembra donde se obtuvieron los menores valores tanto de número de silicuas por unidad de superficie, como de granos por silicua (variedad PL).

Morrison and Stewart (2002) reportaron que un estrés por altas temperaturas en el periodo de floración redujo significativamente el n° de granos por silicua. Además, Young *et al*, (2004) mencionan que en condiciones de estrés térmico se genera un desacople entre la formación del fruto y el desarrollo de los granos en silicuas partenocárpicas de aspecto más corto que las normales debido a los bajos niveles de hormonas de crecimiento ocasionados por la ausencia de semillas. En esta tesis se observaron silicuas con el aspecto mencionado sobre todo en la última fecha de siembra.

5.8.2 Número de granos por m^2

El número de granos por m^2 (NG) fue afectado tanto por la fecha de siembra ($p<0,0001$) como por la variedad ($p<0,0001$) y la interacción entre ambos factores fue significativa ($p<0,0002$) (Gráfico 12).

En la variedad PC los mayores valores de NG se obtuvieron en las primeras 4 Fs ($p=0,0003$), mientras en la variedad PL se obtuvieron en las primeras 3 Fs y en la siembra más tardía el más bajo ($p<0,0001$). En la variedad invernal el NG fue mayor en la 1° Fs ($p=0,0006$) y entre la 2° y 3° Fs no hubo diferencias.

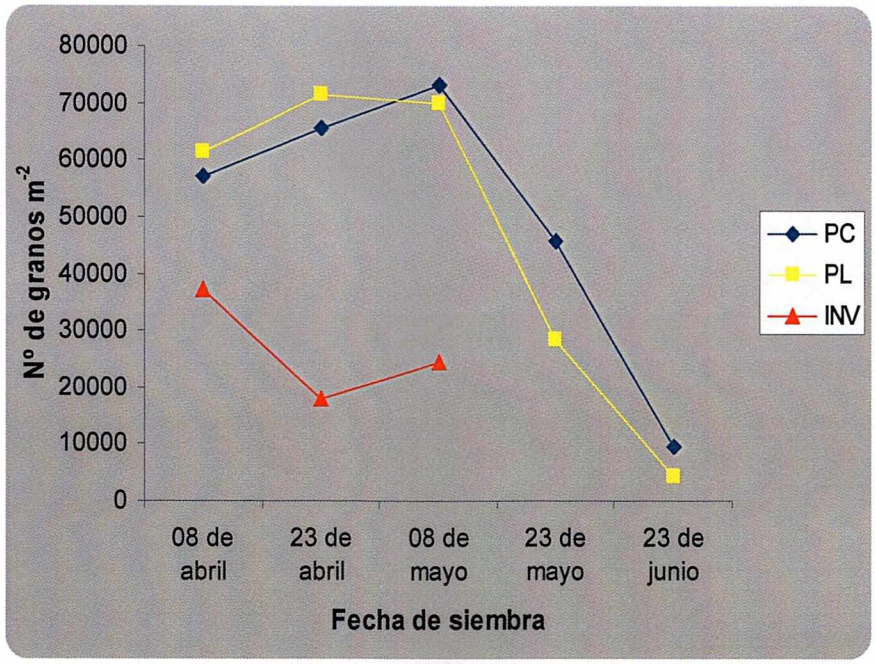


Gráfico 12: n° de granos por m^2 de las 3 variedades de colza en función de la fecha de siembra en la localidad de Paraná. PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. INV: variedad invernal.

Por otro lado, al comparar las primeras 3 fechas de siembra únicamente en la 2° la variedad invernal produjo un menor NG con respecto de las primaverales (p=0,0005). Es probable que debido al alto coeficiente de variación encontrado (19%), las diferencias observadas en el NG en la 3° fecha de siembra, no permitieron alcanzar un grado de significación estadística respecto de la variedad invernal.

El n° de granos por m^2 es una variable que depende tanto del n° de silicuas por m2, como del n° de granos por silicua producidos. En base a los resultados obtenidos en el ANOVA respecto del n° de silicuas por m^2 y del n° de granos por silicua, se encontró que en la variedad PC la disminución del NG en la fecha de siembra más tardía se debió a una disminución del n° de silicuas por m^2 (p=0,0090), ya que el n° de granos por silicua fue similar en las 5 Fs (p=0,0933). En la variedad PL la disminución del NG en la 4° Fs se debió a una reducción del n° de silicuas por m^2 (p=0,0255) y en la Fs más tardía a una reducción tanto del n° de silicuas por m2, como del n° de granos por silicua. Esta reducción de ambos componentes determinó que en la siembra más tardía se obtenga el menor NG. En la variedad invernal se redujo tanto el n° de silicuas

por m2, como el nº de granos por silicua en la 2º y 3º Fs, lo que provocó la disminución del NG en ambas fechas de siembra.

La variable que mejor explicó las variaciones en el NG en cada variedad fue el nº de silicuas por m^2 (r=0,93; p<0,001; n=18; r=0,89; p<0,001; n=17; r=0,88; p<0,001; n=10) para la variedad PC, PL e invernal, respectivamente. Al respecto, el grado de asociación encontrado entre el NG y el nº de granos por silicua fue menos estrecho (r=0,70; p<0,001; n=18; r=0,69; p<0,001; n=17; r=0,75; p<0,01; n=10) para la variedad PC, PL e invernal, respectivamente.

En el gráfico 13 se muestra el total de radiación fotosinteticamente activa interceptada (RFA int.) durante el período de floración.

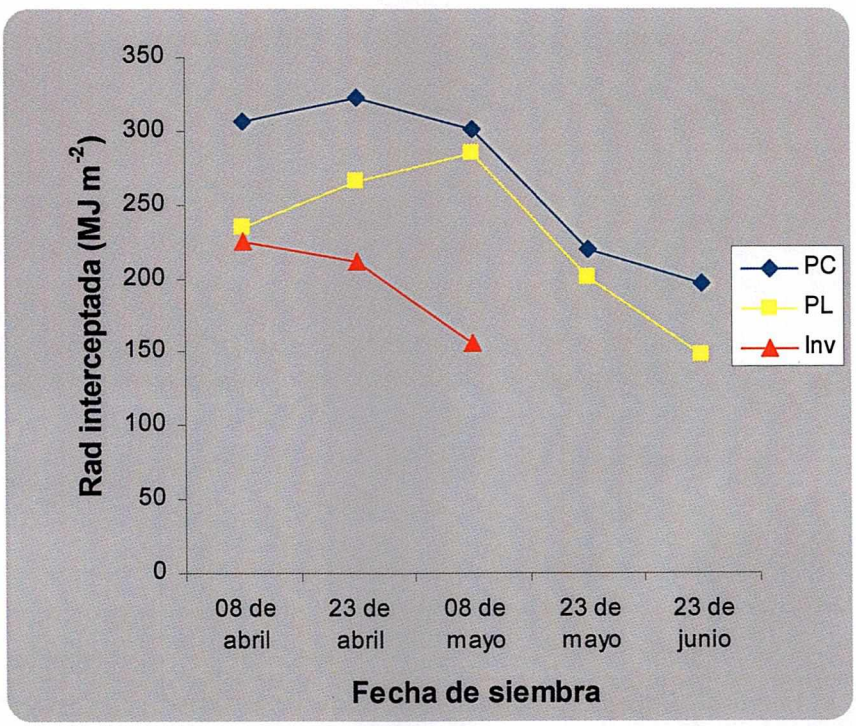


Gráfico 13: total de radiación fotosinteticamente activa interceptada durante el período de floración de las 3 variedades de colza en función de la fecha de siembra. PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. INV: variedad invernal.

Alcanzar altos porcentajes de intercepción es primordial para lograr altas tasas de crecimiento del cultivo en los momentos claves donde se define el rendimiento (Andrade *et al,* 1996). De esta manera, un incremento de la acumulación de biomasa durante esta etapa debido a un aumento en la tasa de crecimiento del cultivo y/o una mayor duración de la etapa que permita aumentar la biomasa acumulada, manteniendo la tasa de incremento, resultaría en un mayor número de flores y de silicuas por planta y finalmente en un mayor número de granos y mayor rendimiento final (Gómez *et al*, 2007). En relación con esto, Habekotté (1996) encontró una relación lineal entre el total de materia seca producida durante el período de floración y NG producidos.

En esta tesis en las siembras más tardías los porcentajes interceptados cayeron bruscamente durante el periodo de floración provocando reducciones en el número de granos fijados.

Habekotté (1996) trabajando con cultivares invernales de colza encontró una disminución del nº de silicuas por m^2 en fechas de siembra tardía. No obstante, esta reducción fue parcialmente compensada por un aumento en el nº de granos por silicua y por lo tanto el NG se mantuvo estable. Probablemente en la experiencia de Habekotté (1996) este efecto se debió a que en zonas de clima frió el atraso de la siembra permite que la floración se produzca bajo condiciones de temperaturas más favorables. En esta tesis, cuando el nº de silicuas por m^2 se redujo, nunca fue compensado por un aumento en el nº de granos por silicua, efecto aún más notorio en fechas tardías.

Se encontró una estrecha asociación positiva ($r=0,80$; $p<0,0001$; $n=45$) entre la RFA int por el cultivo durante período de floración y el número de granos fijados (Gráfico 14).

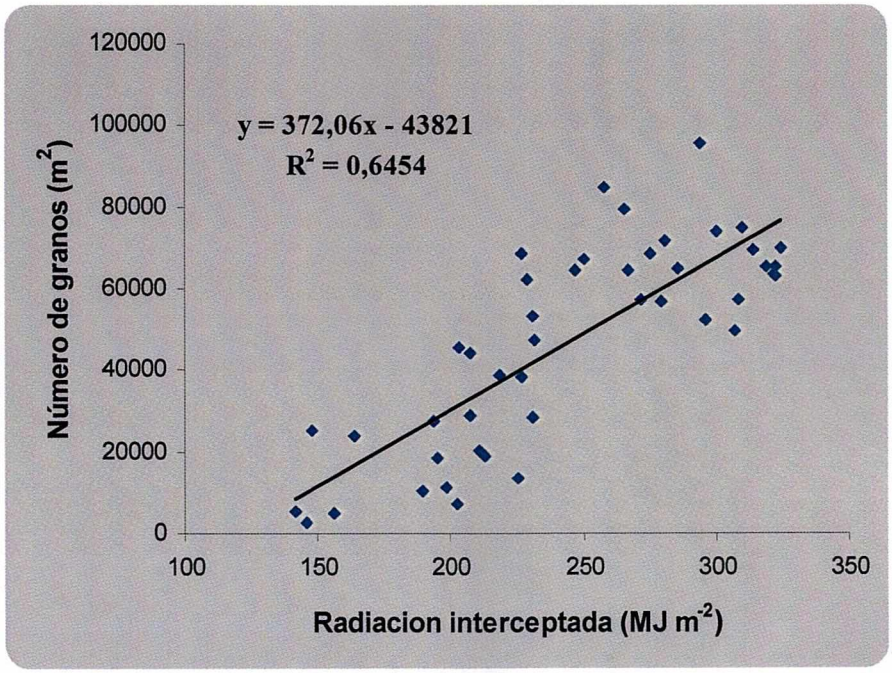


Gráfico 14: relación entre el total radiación fotosinteticamte activa interceptada (MJ m^{-2}) durante el periodo de floración y el n° de granos producidos por unidad de superficie (m^2) (r=0,80; p<0,0001 n=45).

5.8.3 Peso de los granos

El peso de los granos (PG) fue afectado tanto por la fecha de siembra (p<0,0001), como por las variedades (p<0,0001) y la interacción fecha x variedad (p<0.0001) (Gráfico 15).

En las primeras 3 Fs no hubo diferencias significativas de la variable en estudio entre las variedades. Sólo en la 4° fecha el peso de los granos de la PC superó al de la PL (p=0,0005).

La variedad PC presentó el mayor de sus PG en la 1° Fs, mientras que en la última Fs se obtuvo el menor valor (p=0,0001). Entre la 2°, 3° y 4° Fs las diferencias en el PG no fueron significativas para esta variedad.

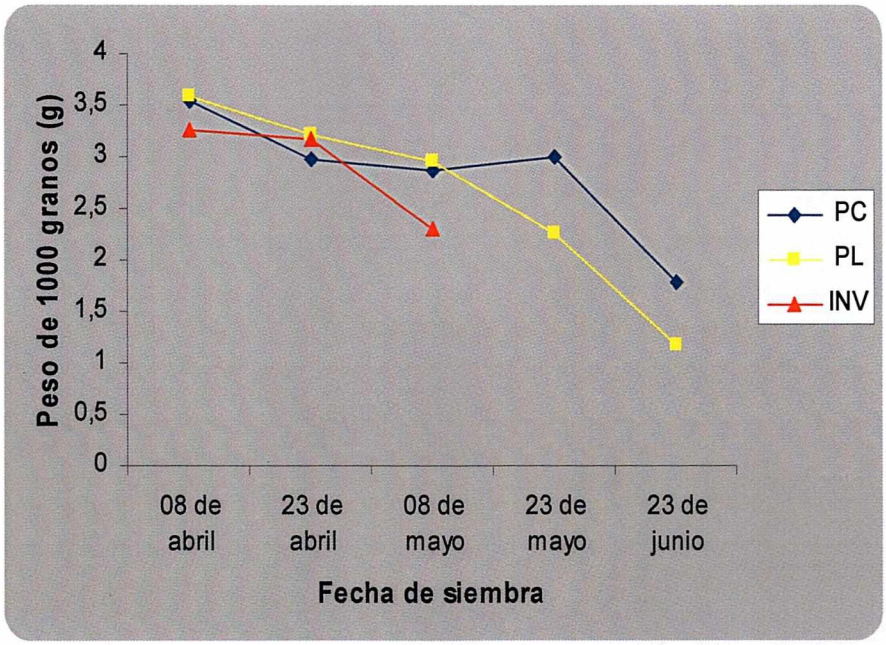


Gráfico 15: peso de 1000 granos de cada variedad de colza en función de la fecha de siembra. PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. INV: variedad invernal.

En la variedad PL, el PG de las primeras 3 fechas de siembra fue similar y superior a las 2 últimas (p=0,0003). Además, el peso de los granos de la PL difirió estadísticamente entre la 4° y 5° fecha de siembra. No se encontraron diferencias en el PG entre la 1° y 2° Fs en la variedad invernal. En la 3° Fs se obtuvo el valor mas bajo del PG (p=0,0001).

Los factores ambientales con mayor incidencia sobre el período de llenado de los granos son la disponibilidad hídrica y la temperatura. La falta de humedad edáfica reduce la duración del período de llenado de los granos, especialmente cuando se combina con altas temperaturas (Iriarte y Valetti, 2008). En esta tesis el PG disminuyó progresivamente a medida que la siembra se retrasó, probablemente por un incremento de la temperatura durante el período de llenado de granos (Ozer, 2003; Adamsen and Coffelt, 2005).

En la tabla 6 se muestra el momento de inicio de llenado de los granos de cada variedad, como así también la fecha en que los mismos alcanzaron la madurez fisiológica. En la misma tabla también se presenta la duración del período de llenado

de granos, calculado a partir de la sumatoria de los días entre el inicio del período y la madurez fisiológica.

Tabla 6: Fecha de inicio del período de llenado de granos, madurez fisiológica y duración en días del período de cada variedad de colza en función de la fecha de siembra. PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. Inv: variedad invernal.

Fecha de siembra	Variedad	Inicio de llenado de granos	Madurez fisiológica	duración del llenado (días)
8 de abril	PC	05-ago	06-oct	62
	PL	28-ago	16-oct	49
	Inv	19-sep	30-oct	41
23 de abril	PC	15-ago	11-oct	57
	PL	02-sep	24-oct	52
	Inv	19-sep	01-nov	43
8 de mayo	PC	02-sep	20-oct	48
	PL	10-sep	31-oct	51
	Inv	06-oct	13-nov	38
23 de mayo	PC	14-sep	02-nov	49
	PL	26-sep	11-nov	46
23 de junio	PC	06-oct	15-nov	40
	PL	16-oct	17-nov	32

A fines del mes de septiembre comenzaron a registrarse temperaturas más elevadas que eventualmente afectaron en mayor medida a la variedad PL de la 4° siembra, ya que la misma redujo su PG significativamente (Gráfico 15). En el mes de octubre comenzaron el llenado la invernal de la 3° Fs, como así también la PC y PL de la última fecha de siembra. En noviembre, las temperaturas registradas superaron los 30 °C y probablemente afectaron en mayor medida a las siembras más tardías, donde se obtuvieron los menores PG. Si bien se registraron precipitaciones a fines del mes de septiembre y durante el mes de octubre, probablemente las mayores temperaturas medias registradas acortaron la duración del período de llenado, disminuyendo el PG. Se encontró una estrecha asociación negativa entre el PG y la temperatura media promedio registrada durante el período de llenado ($r = -0,73$; $p=0,0001$; $n=44$).

Cabe aclarar además que, en todas las Fs se registró la presencia del pulgón ceniciento *(Brevycorine brassicae)*, con mayores niveles de incidencia en las siembras más tardías. Sgarbanti (1982) encontró que el PG se redujo significativamente ante el aumento en el nivel de incidencia de este pulgón. Probablemente esta fue una de las causas, sumado al registro de temperaturas más altas, de la reducción del PG en las Fs más tardías.

5.9 Rendimiento en grano

El rendimiento de grano fue afectado tanto por la fecha de siembra ($p<0,0001$) como por la variedad ($p<0,0001$). La interacción entre ambos fue significativa ($p=0,0009$), lo cual demostró que la respuesta del rendimiento de colza a las distintas Fs fue variable dependiendo de la variedad utilizada (Gráfico 16).

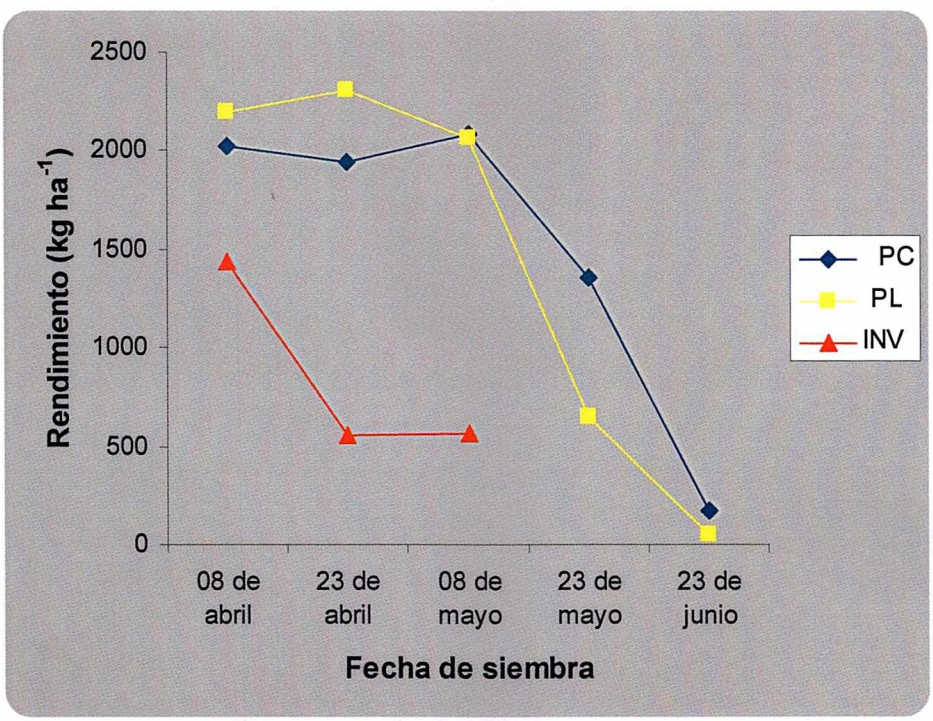


Gráfico 16: rendimiento de granos de las 3 variedades de colza en función de la fecha de siembra en la localidad de Paraná. PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. INV: variedad invernal.

Los mayores rendimientos de granos se obtuvieron con las variedades primaverales, tanto de ciclo corto como de ciclo largo en las 2 fechas de siembra de abril y la temprana de mayo (1°, 2° y 3°) ($p<0,0001$). En las dos últimas fechas de siembra el mayor rendimiento correspondió a la variedad de ciclo más corto.

Para la variedad PC el rendimiento comenzó a disminuir a partir de la 4° Fs. Lo mismo ocurrió con la variedad PL, pero el porcentaje de disminución del rendimiento fue mayor que en la variedad PC.

Si se promedian las primeras 3 fechas de siembra de cada variedad primaveral, en la 4° Fs se observó una caída de los rendimientos del 32,5 % y 70 % en la PC y PL, respectivamente. En la última Fs, las dos variedades presentaron una notable disminución de los rendimientos (91 % en la PC y de 97,5 % para PL).

En la variedad invernal, sólo el rendimiento de la 1° Fs fue similar al de las primaverales ($p=0,2359$). Posteriormente el rendimiento disminuyó un 61 % y 60 % para la 2° y 3° Fs, respectivamente.

Los mayores rendimientos obtenidos con las variedades primaverales en las fechas de siembra más tempranas, fueron resultado tanto de la producción de un mayor n° de granos por unidad de superficie, como por el mayor peso medio de los mismos. Si bien, en la 4° fecha de siembra el PG de la variedad PC fue igual al de las siembras más tempranas, la disminución del NG provocó una reducción del rendimiento. En la variedad PL, el rendimiento se redujo por una disminución tanto del peso de grano como del número de granos. En la fecha de siembra más tardía, el rendimiento de grano se redujo por una disminución en el PG y NG en ambas variedades primaverales.

La caída del rendimiento de la variedad invernal en la 2° Fs fue producto de los menores valores en el NG, ya que el PG fue similar al de la 1° fecha de siembra. En cambio, en la 3° Fs la reducción del rendimiento se debió tanto al menor número de granos, como al menor peso de los mismos.

En siembras de primavera, Ozer (2003) encontró que el rendimiento de colza se redujo al atrasar la siembra y esta reducción fue atribuida a un menor n° de silicuas por planta y PG. Chen *et al.* (2005) en un estudio realizado en zonas de altas latitudes (47°

N) y elevada altitud (+ de 1000 msnm) trabajando en siembras de primavera encontraron que los rendimientos de colza se redujeron al retrasar la siembra. En estas circunstancias el período reproductivo ocurría bajo temperaturas de 30 °C aproximadamente. Otros autores reportaron que las siembras tempranas de otoño produjeron los mayores rendimientos de colza (Adamsen and Coffelt., 2005).

En latitudes más altas que las de ésta tesis, Iriarte y Valetti (2008) indicaron que los mayores rendimientos de variedades primaverales de colza, independientemente de su ciclo, se obtuvieron en siembras de mediados de mayo a mediados de junio. Los autores señalaron que en las siembras tempranas de otoño (marzo-abril) el período reproductivo se establece bajo condiciones de temperaturas menores a la óptima para la fijación de granos. Auld *et al* (1984) trabajando con variedades invernales de colza, reportaron que los mayores rendimientos fueron obtenidos en siembras tempranas, debido a que las heladas severas ocurridas en las siembras tardías afectaron la supervivencia de plantas en estadios iniciales del cultivo.

Los efectos del atraso de la siembra parecen ser en gran medida debido a dos factores. Primero, una reducción del período a floración tuvo como resultado la producción de una menor biomasa y por lo tanto una menor cobertura de suelo en floración. Segundo, el periodo de fijación de granos fue retrasado hacia condiciones de temperaturas más elevadas que afectaron negativamente los rendimientos.

En consecuencia, aquellas combinaciones de ciclo y fecha de siembra que difirieron los períodos de fijación y llenado de granos hacia condiciones ambientales más adversas (temperaturas altas) produjeron menores rendimientos debido a un menor número de granos fijados, una reducción del peso final de los mismos ó una conjunción de los dos efectos.

Cabe aclarar que si bien en nuestra zona la estación invernal se caracteriza por las escasas precipitaciones, las lluvias registradas durante el otoño y el invierno fueron inferiores a los promedios normales. Por consiguiente, tanto el inicio de floración, como el principio del período de llenado de los granos de las primeras 3 fechas de

siembra (excepto la invernal de la 3° Fs) se produjeron bajo condiciones de deficiencias hídricas severas.

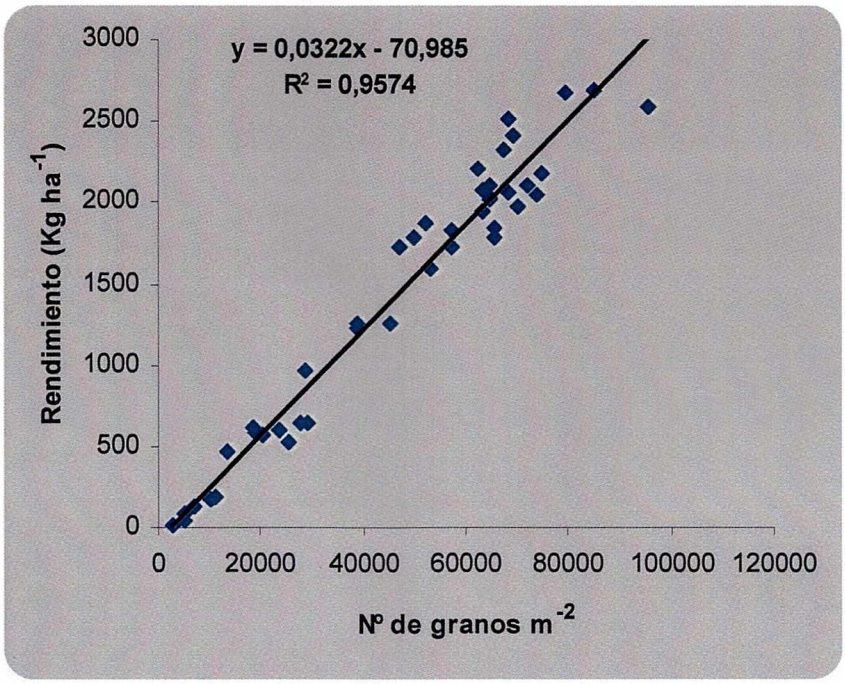
Si bien hacia fines del mes de septiembre y durante el mes de octubre se registraron lluvias, las mismas fueron inferiores al promedio normal, lo cual sumado a la sequía progresiva de los meses previos y las mayores temperaturas produjo una recarga insuficiente del perfil del suelo afectando también las fechas tardías.

Posiblemente en años de precipitaciones normales las fechas de siembra más tempranas produzcan un mayor n° de granos por unidad de superficie, como así también mayor peso de sus granos y por lo tanto mayores rendimientos a los encontrados en esta tesis. Para un año de precipitaciones normales (año 2007) la red de evaluación de cultivares de colza de INTA reporta rendimientos comprendidos entre un rango de 2600 a 3650 kg/ha para siembras realizadas a fines del mes de abril en la localidad de Paraná (Iriarte *et al*, 2008).

5.10 Asociación entre el rendimiento y sus componentes numéricos

Se observó una estrecha asociación positiva entre el rendimiento y el NG ($r=0,98$; $p<0,001$; $n=43$) (Grafico 17a), el número de silicuas por m^2 ($r=0,82$; $p<0,001$; $n=43$), el número de granos por silicua ($r=0,73$; $p<0,001$; $n=43$) y PG ($r=0,68$; $p<0,001$; $n=43$) (Grafico 17b). Al igual que en otros cultivos como maíz (Andrade *et al*, 1996), soja (Kantolic *et al*, 2003) y trigo (Slafer *et al*, 2003), las variaciones en el rendimiento de grano en colza estuvieron más estrechamente asociadas con el NG ($r=0,98$) que con su peso final ($r=0,68$). Gomez *el al* (2007) también reportaron que el rendimiento de grano en colza se asoció más estrechamente con el NG que con el PG.

a)



b)

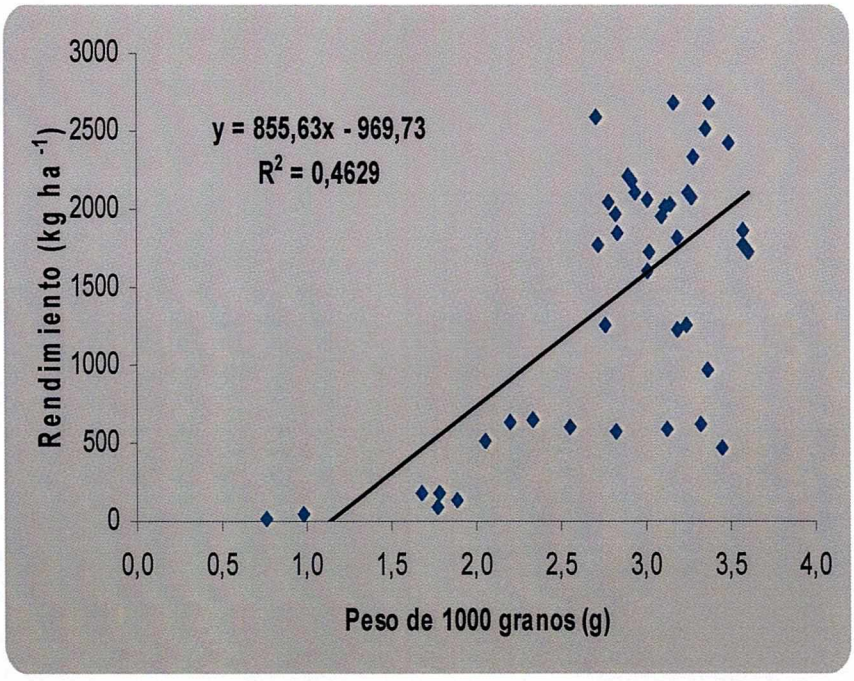


Gráfico 17: relaciones entre el rendimiento y sus componentes. a) rendimiento y nº de granos por unidad de superficie (r=0,98; p<0,001; n=43). a) rendimiento y peso de mil granos (r=0,68; p<0,001; n=43).

Por otra parte, se encontró una asociación positiva entre el PG y NG (r=0,44; p<0,0001 n=45) (Gráfico 18). Si bien la relación encontrada no fue tan estrecha, sugiere que a medida que la siembra se retrasó de abril a junio existió una limitación conjunta, tanto de la fuente fotosintética como de los destinos reproductivos.

Posiblemente, las condiciones térmicas e hídricas más desfavorables en las siembras tardías no permitieron compensar el menor NG fijados (destinos reproductivos) con un mayor peso medio de los mismos, debido a una limitación por fuente (fotosíntesis actual y/o removilización de carbohidratos).

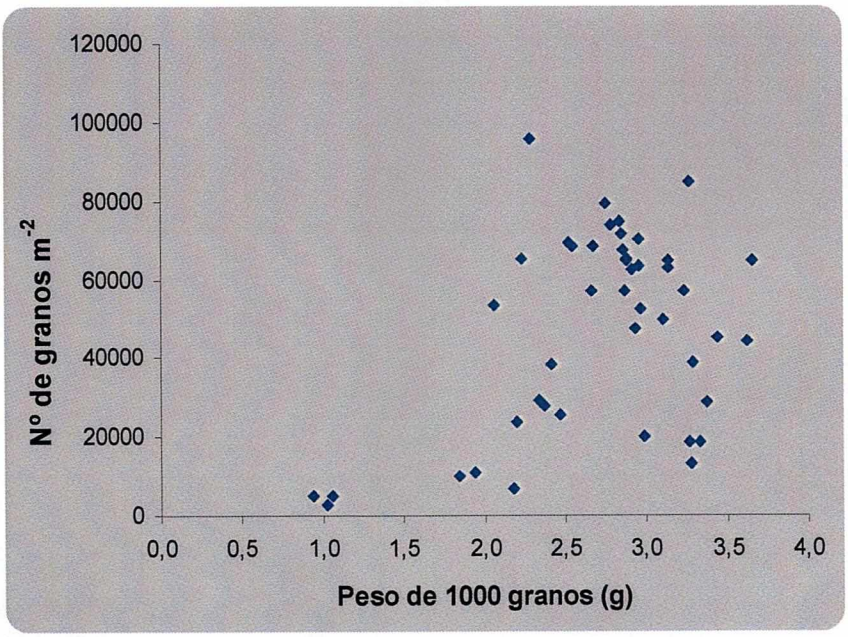


Gráfico 18: relación entre el peso de mil granos (g) y el número de granos por unidad de superficie (m^2) (r=0,44; p<0,0001 n=45).

Por el contrario, en latitudes más altas que la de esta experiencia, Iriarte y Valetti (2008) trabajando con cultivares primaverales de ciclo intermedio-corto, encontraron una relación negativa entre el NG y el PG. Los autores señalan que las bajas temperaturas durante la floración redujeron el NG fijados y la mejora en las condiciones térmicas e hídricas durante el llenado de los mismos permitieron un aumento en el PG.

5.11 Contenido y rendimiento de aceite

Con respecto a la concentración de aceite, en las primeras 3 fechas de siembra se encontró tanto un efecto de la variedad ($p<0,0001$), como de la fecha de siembra ($p=0,0003$) y la interacción entre ambos factores no fue significativa ($p=0,0875$). La concentración de aceite de la variedad invernal fue inferior comparada con las variedades primaverales ($p<0,0001$) (Tabla 7).

Analizando sólo las variedades primaverales, se observó que estas respondieron diferencialmente al atraso de la fecha de siembra ($p=0,0008$). En la variedad PC, la concentración de aceite comenzó a disminuir progresivamente a medida que la siembra se retrasó, obteniéndose el mayor valor en la 1° Fs y el menor en la última Fs ($p<0,0001$). En la variedad PL, se observó que entre fechas de siembras sucesivas los valores de porcentaje de aceite fueron similares entre sí. Esto no ocurrió entre la 4° y 5° fecha, presentando el valor más bajo la Fs mas tardía ($p<0,0001$) (Tabla 7).

Tabla 7: Concentración de aceite en grano de las 3 variedades de colza en función de la fecha de siembra. PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. Inv: variedad invernal.

Fecha de siembra	Concentración de aceite (%)		
	Variedad		
	PC	PL	Inv
08 de abril	47,9 a *	44,8 a	38,3
23 de abril	44,8 b	42,7 ab	37,7
08 de mayo	39,0 c	40,0 bc	34,4
23 de mayo	36,9 d	36,6 cd	-
23 de junio	28,0 e	17,7 e	-

* Medias seguidas de letras distintas en columna en la variedad PC y en la variedad PL indican diferencias significativas (LSD, $p<0.05$).

A medida que la siembra se retrasó, el momento en que se inició el período de llenado de granos se fue difiriendo hacia condiciones de temperaturas más elevadas (Tabla 6). Consecuentemente la duración de dicho período también se redujo.

En el mes de octubre comenzaron a registrarse temperaturas mayores que en el mes anterior. En noviembre, las temperaturas registradas superaron los 30 °C y probablemente afectaron en mayor medida a las siembras más tardías, donde se obtuvieron los menores porcentajes de aceite. Si bien se registraron lluvias importantes a partir del 10 de octubre, probablemente las mayores temperaturas medias registradas acortaron la duración del período de llenado, disminuyendo la concentración de aceite del grano.

Al igual que en los demás cultivos oleaginosos, la concentración de aceite del grano se define durante el período de llenado de los mismos. Como ya se dijo anteriormente (sección peso de los granos) los factores ambientales con mayor incidencia sobre el período de llenado son la temperatura y disponibilidad hídrica.

Probablemente el acortamiento del período de llenado de granos afectó mayormente a la variedad PC, ya que dicha reducción fue progresiva desde la 1° a la 5° fecha de siembra (Tabla 6). La concentración de aceite siguió una tendencia similar al acortamiento de la duración del periodo de llenado a medida que la siembra se retrasó.

En cambio, en la variedad PL no hubo tendencia a reducir el período de llenado en las primeras 4 Fs (Tabla 6) y la concentración de aceite presentó menor variabilidad entre fechas de siembra sucesivas. No obstante, en la fecha de siembra más tardía, el período de llenado fue el más corto y la concentración de aceite la más baja.

Lo que se observó en la variedad invernal fue similar a lo que ocurrió con la PL, ya que el atraso de la Fs no produjo una variación sustancial en la duración del llenado (Tabla 6) y únicamente en la 3° Fs redujo su concentración de aceite.

Entonces, es probable que los aumentos progresivos de las temperaturas a partir del mes de agosto hayan provocado el acortamiento de la duración del llenado de los granos, con un efecto más acentuado en la variedad PC. Por otro lado, en las siembras más tardías los mayores registros térmicos pudieron haber provocado tanto una

reducción del período de llenado, como un estrés térmico. Por lo tanto, este doble efecto causó una marcada disminución en la concentración de aceite.

En el cultivo de girasol, un acortamiento del período de llenado, ya sea por un estrés biótico o abiótico, provoca una reducción (en términos relativos) en la concentración del compuesto que se acumula más tardíamente, en este caso la concentración de aceite (Trápani *et al*, 2003). Posiblemente, en el cultivo de colza el aceite también sea el compuesto que se acumule más tardíamente, por lo que un acortamiento del llenado provocaría una reducción en su concentración.

La concentración de aceite de los granos correlacionó positivamente con la duración del período de llenado de los mismos ($r = 0,79$; $p < 0,001$ $n = 43$).

Por otro lado, la relación entre la concentración de aceite y la temperatura media durante el período de llenado se ajusto a un modelo de respuesta lineal y meseta (Gráfico 19). El mismo demostró que la concentración de aceite se redujo 2,5 % por °C de aumento en temperatura, hasta alcanzar un plateau a los 21,2 °C. Cuando se alcanzó dicho valor de temperatura, la concentración de aceite presentó una alta variabilidad, posiblemente por efecto del estrés térmico e hídrico.

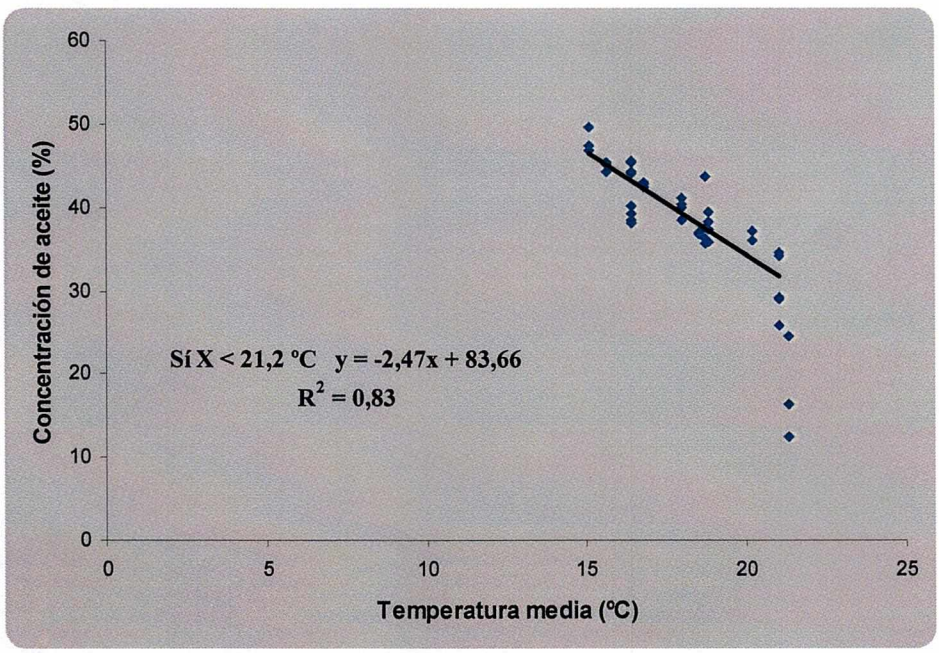


Gráfico 19: relación entre la temperatura media diaria promedio durante el periodo de llenado de los granos y la concentración de aceite del grano (%) de las distintas variedades de colza.

A diferencia de los resultados reportados en esta tesis, Hocking and Stapper (2001) encontraron una relación lineal simple negativa entre la temperatura media durante el llenado de los granos y la concentración de aceite.

Ozer (2003) reportó que la concentración de aceite disminuyó por el atraso de la siembra, por un incremento de la temperatura y el estrés hídrico durante el llenado de los granos. En coincidencia con los resultados encontrados en esta tesis, Adamsen and Coffelt (2005) encontraron que las siembras realizadas desde principios a mediados de otoño produjeron las mayores concentraciones de aceite, ya que en estas condiciones el período de llenado de granos fue más extenso.

Por el contrario Auld *et al,* (1984), trabajando con cultivares invernales de colza en Idaho, demostraron que la fecha de siembra no afectó la concentración de aceite. Probablemente en estas zonas de clima muy frió las condiciones térmicas durante el período de llenado de los granos fueron similares en las distintas fechas de siembra y por lo tanto no se afectó el contenido de aceite de grano.

El rendimiento de aceite fue afectado tanto por la fecha de siembra ($p<0,0001$) como por la variedad ($p<0,0001$) y la interacción fecha de siembra x variedad (Gráfico 20).

En la 1° fecha de siembra los valores encontrados fueron similares para las 3 variedades ($p=0,0655$). En cambio, en la 2° y 3° Fs la variedad invernal presentó los valores menores ($p=0,0014$ y $p=0,0058$ para la 2° y 3° Fs, respectivamente). En las 2 últimas Fs el rendimiento de aceite de la variedad PC fue superior al de la variedad PL.

Los mayores rendimientos de aceite en la variedad PC se obtuvieron en las primeras 3 fechas de siembra y en la Fs más tardía el valor menor ($p<0,0001$). En cambio, en la variedad PL los mayores rendimientos se obtuvieron en las 2 primeras Fs y luego comenzaron a disminuir hasta la fecha más tardía ($p<0,0001$). En la variedad invernal la 1° Fs produjo el mayor rendimiento de aceite y entre la 1° y 2° fecha no hubo diferencias ($p=0,0005$).

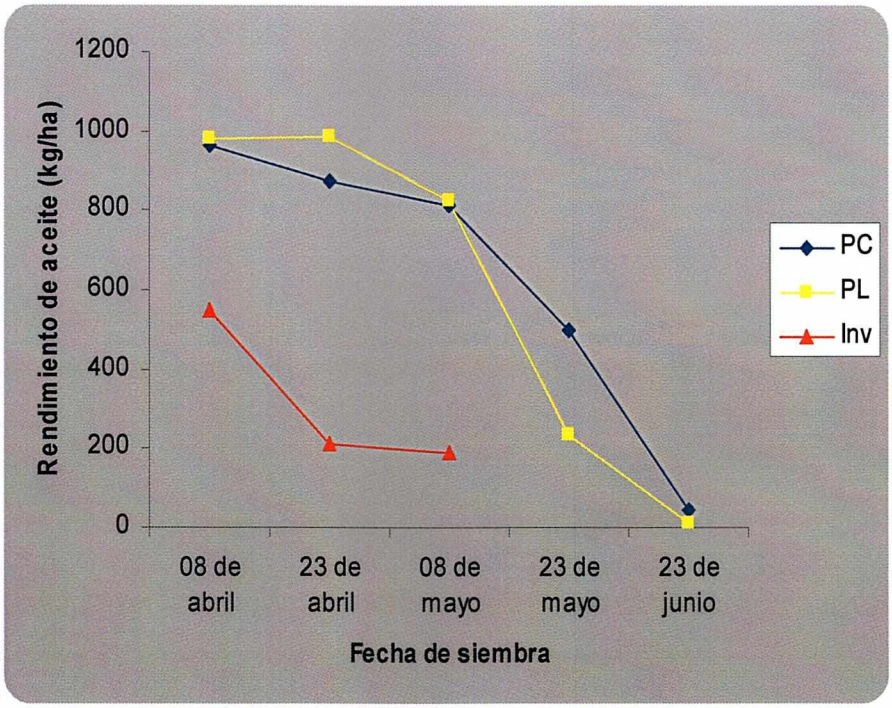


Gráfico 20: rendimiento de aceite de las 3 variedades de colza en función de la fecha de siembra. PC: variedad primaveral de ciclo corto. PL: variedad primaveral de ciclo largo. Inv: variedad invernal.

5.12 Integración de los resultados, aportes y perspectiva para futuros estudios

Hasta el momento no existía información local referida al efecto de la fecha de siembra sobre el rendimiento de colza y sus componentes, como así tampoco acerca del comportamiento de los cultivares invernales. Por lo tanto, su evaluación permitiría decidir cual es la fecha de siembra más apropiada para cada tipo de cultivar, teniendo en cuenta que la elección correcta de la misma, como del ciclo de cultivar permitiría ubicar el período crítico del cultivo en las mejores condiciones hídricas y térmicas.

La fecha de siembra afectó tanto la producción de biomasa aérea, como los rendimientos de colza. Las mayores producciones de biomasa aérea total se obtuvieron cuando las siembras se realizaron en el mes de abril y a principios del mes de mayo. En efecto, tanto la mayor eficiencia de intercepción de la radiación (e_i), como de conversión de la radiación en biomasa (e_c) permitió la obtención de los mayores

valores de biomasa aérea acumulada. A su vez, la mayor eficiencia de partición de materia seca a grano (e_p= IC) permitió la obtención de mayores rendimientos.

Las variedades primaverales produjeron mayor rendimiento de grano comparado con la variedad invernal. Solamente en la fecha más temprana la variedad invernal produjo un rendimiento estadísticamente similar al de las primaverales. Además, en las dos últimas siembras la variedad invernal no produjo granos. Teniendo en cuenta estos resultados, no sería recomendable la siembra de este tipo de variedades en la región oeste de la provincia de Entre Ríos.

Las fechas de siembra del mes de abril y principio de mayo son las que produjeron mayor número de granos por unidad de superficie (NG). A su vez, dicho componente del rendimiento dependió tanto del n° de silicuas por m2, como del n° de granos por silicuas producidos. Ambos sub-componentes del NG quedan definidos en el período de floración. Las fechas de siembras tempranas posibilitaron que la floración se produzca bajo condiciones térmicas más favorables para la fijación de granos. Además permitieron una mayor intercepción de radiación durante la floración, debido a la mayor duración del período y por lo tanto una mayor disponibilidad de asimilados para la fijación de estructuras reproductivas. Al mismo tiempo se encontró que el NG correlacionó positivamente con el total de radiación interceptada durante la floración.

Las fechas de siembra tempranas produjeron los mayores pesos de granos (PG) e incrementaron el contenido de aceite. No obstante, cada variedad respondió de manera diferencial a la fecha de siembra, lo que se evidenció por la interacción encontrada. De todas maneras las tres variedades presentaron su mayor PG y contenido de aceite en las fechas de siembra más tempranas. A su vez los mayores rendimientos de granos de las siembras tempranas permitieron que el rendimiento en aceite no disminuya a igual tasa que el porcentaje de aceite frente al atraso de la fecha de siembra. Al mismo tiempo, únicamente las primeras fechas de siembra en ambas variedades primaverales produjeron porcentajes de aceite por encima de la base de comercialización (base 43%).

Por otra parte, las siembras tempranas permitieron que la cosecha se realice en el mes de octubre y por lo tanto posibilitaría la realización de la siembra de soja en fecha óptima. Además, se ha demostrado que el agua almacenada en el suelo luego de la cosecha de los cultivos invernales, entre ellos colza, no difirió de la situación que permaneció en barbecho, con excepción del cultivo de lino (Caviglia *et al*, 2008). Este aspecto es de importancia en los casos que el cultivo de colza quiera ser integrado a la rotación como antecesor a la soja. Asimismo, sugiere que no sólo puede incorporarse a la secuencia como alternativa al trigo, sino también al cultivo de lino.

Otro aspecto relacionado al momento adecuado de siembra es el período de ocurrencia de heladas extremas. En la localidad de Paraná dicho período comprende desde el 30 de mayo al 16 de septiembre (serie histórica 1963-1997). Teniendo en cuenta que la etapa más susceptible del cultivo frente a la ocurrencia de heladas esta comprendido entre la emergencia y el inicio del estado de roseta, las siembras tempranas permitirían alcanzar dicho estado (6-8 hojas) antes del 30 de mayo. Además, se han reportado pérdidas de plantas en lotes comerciales de colza que habían sido implantados a principios de mayo por efecto de las heladas ocurridas hacia fines del mismo mes (Coll y Peltzer, 2009).

La variedad primaveral de ciclo corto en las fechas de siembra más tardías produjo mayor rendimiento de grano comparada con la primaveral de ciclo más largo. Temperaturas más favorables tanto para la fijación, como para el llenado de los granos probablemente permitieron obtener estos mayores rendimientos. De todos modos, para el año en que se realizó esta experiencia, sólo la variedad PC de la 4° fecha de siembra (23 de mayo) alcanzó un rendimiento que permitiría obtener un margen bruto positivo según estimaciones del Grupo de Sistemas de Producción y Economía del INTA Paraná (Engler *et al*, 2008). En la fecha de siembra más tardía los rendimientos obtenidos fueron muy bajos. Es necesario dejar en claro, que los efectos de la extrema sequía registradas en esta experiencia pudieron haber incrementado las diferencias en los rendimientos de granos obtenidos en las siembras más tardías, en favor de la variedad primaveral de ciclo corto. Por lo tanto, sería recomendable la repetición de

dicha experiencia en años de precipitaciones normales o bajo riego artificial, con el objetivo de tener un conocimiento más concluyente del efecto de la fecha de siembra sobre las distintas variables evaluadas y permita tomar una decisión con mayor fundamento.

En la localidad de Paraná se logró la inducción floral de la variedad invernal con bajos requerimientos de vernalización. No obstante, se observó una notable heterogeneidad de estadios fonológicos, fundamentalmente en el período de floración. Este fenómeno, atribuido a un incumplimiento de los requerimientos de vernalización, tuvo como consecuencia una disminución de los rendimientos de granos y de aceite comparada con las variedades primaverales en las siembras más tempranas. En las siembras más tardías provocó que el período de floración se produzca bajo condiciones de temperaturas muy estresantes y en consecuencia no produjo granos.

Las interacciones encontradas entre la fecha de siembra y las variedades evaluadas tanto para rendimiento en grano, como para los distintos componentes que lo determinan, sugiere que una mayor cantidad de genotipos (variedades e híbridos) podrían ser evaluados para determinar la fecha de siembra más apropiada a nivel local. Además, la continuidad de las evaluaciones permitirá conocer la adaptabilidad y estabilidad de los diferentes genotipos. Por ejemplo, la inclusión de una variedad primaveral de ciclo más corto que la evaluada en esta tesis, probablemente ubicaría su período crítico en condiciones térmicas favorables en las siembras más tardías.

Por otro lado, la menor intercepción de radiación en las siembras más tardías sugeriría la necesidad de investigación de prácticas agronómicas tendientes a mejorar dicha intercepción. Una posibilidad sería la evaluación de mayores densidades de siembra a medida que la misma se retrasa, con el fin de alcanzar una mayor cobertura del cultivo en los momentos claves para la definición del rendimiento.

En esta tesis se utilizó la misma dosis de fertilización en todas las fechas de siembra. Por lo tanto, sería conveniente evaluar la respuesta a distintas dosis de fertilización que maximice el rendimiento en grano y aceite. Es probable que a medida que la siembra se retrase, dentro de ciertos límites, el mayor periodo de barbecho

permitiría un aumento de la disponibilidad de N y S mediante el proceso de mineralización de la materia orgánica. Esto es importante desde un punto de vista tanto económico como ambiental. Respecto del primero, permitiría utilizar una menor dosis de fertilizante (generalmente insumo de alto costo) por el aumento de la disponibilidad de N y S por parte del suelo. Respecto de lo ambiental, el uso de menores dosis de fertilizante reduciría los riesgos asociados a la contaminación de acuíferos, tema de gran debate en el contexto actual de agricultura sustentable.

6. Conclusiones

1. La fecha de siembra afectó tanto la producción de biomasa aérea, como el rendimiento en grano de las diferentes variedades de colza.

2. Las variedades primaverales de colza presentaron mayor rendimiento en grano en comparación con la variedad invernal en la región oeste de la provincia de Entre Ríos.

3. Las fechas de siembra tempranas produjeron un mayor número de granos por unidad de superficie, un mayor peso de granos e incrementaron el contenido de aceite en las distintas variedades de colza

4. La variedad de colza primaveral de ciclo corto sembrada en fecha tardía presentó mayor rendimiento en grano que la variedad de ciclo largo.

5. En la localidad de Paraná se logró la inducción floral en variedades invernales de colza con bajos requerimientos de vernalización.

Bibliografía

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

Andrade, F; Cirilo, A; Uhart, S y Otegui, M. 1996. Ecofisiologia del cultivo de maiz. EEA Balcarce. INTA y Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. pp 47-79

Andrade, F.H.; Sadras, V.O. 2000. Bases para el manejo del maíz, girasol y soja. Unidad Integrada FCA-INTA Balcarce. Editorial Médica Panamericana S.A. 443

Auld D. L., B. L. Bettis and M. J. Dial. 1984. Planting Date and Cultivar Effect on Winter Rape Production. Agron J. 76:197-200.

Behrens, T. and W. Diepenbrock. 2006. Using Digital Image Analysis to Describe Canopies of Winter Oilseed Rape (Brassica napus L.) during Vegetative Developmental Stages. J of Agronomy & Crop Science 192: 295-302.

Bleiholder, H. 1996. Escala BBCH extendida. Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono y dicotiledóneas cultivadas. Eds. H. Bleiholder, Limburgerhof.

Bhuiyan, M.S; Mondol M.R.I.; Rahaman M.A.; Alam M.S. and Faisal A.H.M.A. 2008. Yield and Yield Attributes of Rapeseed as Influencedby Date of Planting. Int. J. Sustain. Crop Prod. 3(3):25-29

Caviglia O. P; Melchiori R.J.M; Brach, A. 2006. Factores ambientales y fisiológicos que determinan el rendimiento potencial del trigo. Trigo en el Norte Santafesino: Campaña 2005. 5ta. Jornada de Actualización Técnica INTA EEA Reconquista Información para extensión N° 85.

Caviglia, O.P; Van Opstal, N.V; Gregorutti, V.C; Melchiori, R.J.M y Blanzaco, E. 2008. El invierno: estación clave para la intensificación sustentable de la agricultura. Agricultura sustentable. Actualizacion técnica. Serie de extensión nº 51. pp 7-13

Chen, C.; Jackson, G.; Neill, K.;Wichman, D.; Johnson, G and Johnson D. Determining the Feasibility of Early Seeding Canola in the Northern Great Plains. Published in Agron. J. 97:1252–1262 (2005).

Coll, L; Peltzer, H y Arener, H. 2008. Madurez y cosecha de colza. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Paraná. En: http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccionvegetal/colza/evaluación- manejo/

Coll, L y Peltzer, H. 2009. Evaluación de cultivares de colza. Campaña 2008. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Paraná. En: http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccionvegetal/colza.

Connor, D.J., Loomis, R.S., 1991. Strategies and tactics for water limited agriculture in low rainfall mediterranean climates. In: Acevedo, E., Fereres, E., Gimenez, C., Srivastrava, J.P. (Eds.), Improvement and management of winter cereals under temperature, drought and salinity stresses. October 26–29, 1987, Cordoba,Spain, INIA, Madrid, pp. 441–465.

Engler, P; Vicente, R y Cancio, R. 2008. La colza dentro de los sistemas agrícolas entrerrianos: una oportunidad como cultivo de invierno. Cuadernillo temático de colza y lino. Revista Agromercado. Abril de 2008. pp 23-27.

Gómez Nora; M. Belén Agosti y D. Miralles. 2007. Fenología y generación del rendimiento del cultivo de colza-canola. XV Congreso de AAPRESID

Gross, A. T. H. 1964. Effect of Date of Planting on Yield, Plant Height, Flowering, and Maturity of Rape and Turnip Rape. Agron J 56:76-78.

Habekotté, B. 1996. Winter oilseed rape. Analysis of yield formation and crop type design for higher yield potencial. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands. 156 pp.

Hocking, P.J; Stapper, M. 2001. Effect of sowing time and nitrogen fertilizer on canola and wheat, and nitrogenfertiliser on Indian mustard. I. Dry matter production,grain yield, and yield components. Aust. J. Agric. Res. 52,623-634.

Iriarte, L. y O. Valetti. 2008. Cultivo de Colza. Chacra Experimental Integrada Barrow. Convenio MAAyP-INTA.156 p.

Iriarte, L. B. 2002. Colza: cultivares, fecha de siembra y fertilización. INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow. En http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agricultura/colza.

Iriarte, L; López, Z y Appella, C. 2008. Red nacional de evaluación de cultivares de colza campaña 2007. Chacra Experimental Integrada Barrow. En: www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agricultura/colza/red colza 2007

Johnson, B.L., K.R. McKay, A.A. Schneiter, B.K. Hanson, and B.G. Schatz. 1995. Influence of planting date on canola and crambe production. J. Prod. Agric. 8:594–599.

Macret, H. 2007. Bio Energy, present situation in the EU27 and the effect on the grain market for the coming years. Disponible en: http://www.globalgrain2007.com/ Verificación: 15/10/08.

Miralles, D.J; Ferro, B.C; Slafer, G.A. 2001. Developmental responses to sowing date in wheat, barley and rapeseed. Field crops research 71 (2001) 211-223.

Miralles, D.J; Windauer, L.B y Gómez Nora. 2003. Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de granos. En: Satorre, E.H.; Benech, R.L.; Slafer, G.A.; De la Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E. y R. Savin. "Producción de cultivos de grano: bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía, U.B.A. pp 59-71.

Morrison, M.J; Stewart, D.W. 2002. Heat stress during flowering in summer brassica. Crop Sci. 42, 797–803.

Otegui, M.E. y M. López Pereira. 2003. Fecha de siembra. En: Satorre, E.H.; Benech, R.L.; Slafer, G.A.; De la Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E. y R. Savin. "Producción de cultivos de grano: bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía, U.B.A. pp 259-275.

Slafer, G.A; Miralles, D.J; Savin, R; Whitechurch, E.M y Gonzalez, F.G. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad en trigo. En: Satorre, E.H.; Benech, R.L.; Slafer, G.A.; De la Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E. y R. Savin. Ed. Facultad de Agronomía, U.B.A. pp 99-129.

Kantolic, A.G; Giménez, P.A; B de la Fuente, E. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad en soja. En: Satorre, E.H.; Benech, R.L.; Slafer, G.A.; De la Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E. y R. Savin. Ed. Facultad de Agronomía, U.B.A. pp 165-195.

Ozer H. 2003. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapeseed cultivars. Europ. J. Agronomy 19: 453-463.

Pozzolo, O.R; Ferrari, H.J; Bruno, J.J; Gerber, D. N; Glagovsky, P y Rusinek, J. 2004. El cultivo de colza en siembra directa como alternativa al trigo en rotación con soja en la provincia de E. Ríos. Año 2004. Disponible en http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/varios.

Ross, F.2008. Evaluación del comportamiento agronómico de variedades de colza según fechas de siembra. Campaña 2007. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. En http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/oleag/colzaRoss.htm

Sgarbanti, C. A. 1982. Incidencia del *Brevycorine brassicae* en los distintos períodos fonológicos del cultivo de colza. Trabajo final de graduación. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos.

Trápani, N; López Pereira, M; Sadras, V.O y Hall, A.J. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad en girasol. En: Satorre, E.H.; Benech, R.L.; Slafer, G.A.; De la Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E. y R. Savin. Ed. Facultad de Agronomía, U.B.A. pp 203-237.

Upadhyay, B., E. G. Smith, G. Clayton and N. Harker. 2004. Risk efficiency of alternate canola management decisions. Canadian Agricultural Economics Society NAREA-CAES Conference, June 20-23, 2004, Halifax, Nova Scotia

Villar, J.L. 1995. Época de siembra de colza "canola" o "doble cero". Información técnica Nº 186. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Rafaela.