

VARIABILIDAD GENOTÍPICA EN ATRIBUTOS ECOFISIOLÓGICOS DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD INDUSTRIAL DE CANOLA

Genotypic Variability in Physiological and Numerical Attributes of Yield and Industrial Quality of Canola

Mario A. Quintana-Chimal¹, Gaspar Estrada-Campuzano^{1*}, Carlos G. Martínez-Rueda¹,
Edgar J. Morales-Rosales¹ y Aurelio Domínguez-López¹

RESUMEN

El objetivo del presente experimento fue analizar el comportamiento fenológico, rendimiento y calidad de la semilla de siete cultivares de canola (Hyola-61, Bio-Aureo, Gladiator, Inifap-2, Inifap-3, Inifap-4 e Inifap-5). El experimento se llevó a cabo en el ciclo invierno-primavera, bajo condiciones de riego, con un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se observó variación significativa entre cultivares ($P < 0.05$) para el periodo de emergencia a dos hojas verdaderas (A-B2) y altamente significativa ($P < 0.01$) para los periodos fenológicos: dos hojas verdaderas a cambio de ápice (B2-C2), cambio de ápice a botón floral visible (C2-D1), botón floral visible a inicio de la floración (D1-F1) e inicio de la floración a inicio de la fructificación (F1-G3), de los cuales sobresalieron Hyola-61 e Inifap-2 (1100 °Cd y 1143 °Cd a G3, respectivamente) por su precocidad, siendo los cultivares más tardíos Gladiator (1354 °Cd a G3), Inifap-3 (1293.3 °Cd) e Inifap-4 (1293 °Cd). En las variables de biomasa (Biom), rendimiento (Rend), número de silicuas (NSilicuas), número de granos (NGranos), peso individual de grano (PIG), existieron diferencias altamente significativas entre cultivares, sobresaliendo por su producción de biomasa y rendimiento de grano: Inifap-2 (1618 g m⁻²) y Hyola-61 (1480 g m⁻²). El número de silicuas se correlacionó positivamente con el rendimiento de semilla siendo nuevamente los cultivares sobresalientes: Inifap-2 (7661 silicuas m⁻²) y Hyola-61 (7193 silicuas m⁻²); no se observó relación entre el rendimiento de semilla y el peso individual de grano (PIG). En cuanto a las variables porcentaje de proteína

(% proteína) y porcentaje de aceite (% aceite) existieron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre cultivares, los cultivares sobresalientes en contenido de proteína fueron: Gladiator (22%), Inifap-2 (21.8%) e Inifap-3 (21.2%), para el porcentaje de aceite sobresalieron: Bio-Aureo (45.1%), Inifap-4 (44%) y Hyola-61 (40.7%). Los cultivares Inifap-2 y Hyola-61 son cultivares que pueden ser prometedores en siembras comerciales de este cultivo en el valle Toluca-Atlaconulco por su alto rendimiento.

Palabras clave: *Brassica napus L., fenología, producción de biomasa, aceite.*

SUMMARY

The aim of this experiment was to analyze the phenology, yield and seed quality of seven cultivars (Hyola-61, Bio-Aureo, Gladiator, Inifap-2, Inifap-3, Inifap-4 and Inifap-5) of canola. The experiment was carried out in the winter-spring cycle, under irrigated conditions, in a complete block design with four replicates. Significant variation was observed among cultivars ($P < 0.05$) for the period emergence to two true leaves (A B2) and highly significant ($P < 0.01$) for the phenological periods two true leaves to apex change (B2-C2), apex change to visible flower bud (C2-D1), visible flower bud to beginning of flowering (D1-F1) and beginning of flowering to fruiting initiation (F1-G3). The cultivars Hyola-61 and Inifap-2 (1100 °Cd and 1143 °Cd to G3, respectively) were outstanding for their precocity, while the cultivars Gladiator (1354 °Cd to G3), Inifap-3 (1293.3 °Cd) and Inifap-4 (1293 °Cd) were late. The variables biomass, yield (Yield), number of pods, number of grains, and individual grain weight showed highly significant differences among cultivars. Inifap-2 (1618 g m⁻²) and Hyola-61 (1480 g m⁻²) excelled in biomass production and grain yield. The number of pods was positively correlated with seed yield; again, the outstanding the cultivars were Inifap-2 (7661 pods m⁻²)

¹ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario "El Cerrillo" 50200 Toluca, México.

* Autor responsable (gestradac@uaemex.mx)

Recibido: septiembre de 2012. Aceptado: enero de 2013.

Publicado en Terra Latinoamericana 31: 47-56.

and Hyola-61 (7193 pods m⁻²). No relationship was found between seed yield and individual grain weight. As for the variables percentage protein (% protein) and percentage oil (% oil), there were highly significant differences ($P < 0.01$) between cultivars. Gladiator (22%), Inifap-2 (21.8%) and Inifap-3 (21.2%) were outstanding for high protein content, and Bio-Aureo (45.1%), Inifap-4 (44%) and Hyola-61 (40.7%) excelled in percent oil. Because of their high performance, the cultivars Hyola-61 and Inifap-2 are promising for commercial plantings of this crop in the Toluca-Atlacomulco Valley.

Indexwords: *Brassica napus* L., phenology, biomass production, oil rape.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de canola (*Brassica napus* L.) representa la tercera fuente más importante de aceite vegetal en el mundo (Reyes, 2007) después de la soya (*Glycine max* L.), debido a su amplia adaptación a diversas condiciones ambientales (Peltonen-Sainio *et al.*, 2011). Lo anterior, hace posible que sea cultivada bajo condiciones de temporal en ciclo verano-otoño o en ciclo invierno-primavera bajo condiciones de riego, debido a la tolerancia por parte del cultivo a las bajas temperaturas durante las etapas previas a la floración (formación de la roseta). En los valles altos de México representa una de las pocas alternativas para la producción de aceite. Esta especie se cultiva principalmente para obtener aceite y como resultado del proceso de extracción, se obtiene proteína de buena calidad. En este sentido, se estima que la harina del grano de canola una vez que se ha extraído el aceite, contiene un 36% de proteína cruda y un 3.5% de aceite remanente, la cual es utilizada para la alimentación de animales en muchas partes del mundo y es fuente de proteína en las dietas elaboradas para el ganado después de la harina de soya (Howell, 2001).

Dentro de los factores que determinan el rendimiento de grano y la calidad del aceite en el cultivo de canola se encuentran el genotipo (Peltonen-Sainio y Jauhiainen, 2008), las condiciones de crecimiento como disponibilidad de humedad y tipo de suelo, entre otras (Tsfamariam *et al.*, 2010), así como las prácticas relacionadas con el manejo del cultivo (Rathke *et al.*, 2006). Dentro de las prácticas de manejo que modifican el contenido de aceite en este cultivo se encuentran

el tipo de cultivar, fecha de siembra y fertilización nitrogenada (Barlóg y Grzebisz, 2004). Los rendimientos de aceite pueden oscilar entre 80 y 220 g m⁻² dependiendo de la disponibilidad de agua y nitrógeno (Taylor *et al.*, 1991) y de 60 a 114 dependiendo del tipo de suelo (Jensen *et al.*, 1997). Dado que la escasez de agua disponible para el riego es cada vez mayor y considerando que la canola tiene bajos requerimientos hídricos (Ortegón *et al.*, 2006), se plantea su cultivo como una alternativa en zonas tradicionalmente productoras de trigo (Hernández *et al.*, 2008).

Los ensayos de rendimiento que consideran un gran número de cultivares permiten seleccionar uno con buen potencial de rendimiento y establecer las estrategias a seguir para potencializar su rendimiento final. En este sentido, los estudios realizados en otras partes del mundo indican que los rendimientos de canola pueden ser más elevados cuando se incrementa el número de semillas por planta y la capacidad de fuente durante el llenado de los granos, esto último logrado con cultivares de maduración tardía (Habekotté, 1997). Los rendimientos de grano en canola están relacionados con características de la planta, tales como, los componentes del rendimiento (número y peso de semilla) y parámetros de crecimiento de la planta (Yasari y Patwardhan, 2006). A pesar de que en la actualidad existen evidencias del comportamiento de este cultivo ante cambios en las prácticas de manejo, se hace necesario generar información relevante sobre el comportamiento del cultivo en el valle de Toluca, México.

Actualmente la explotación comercial de canola se cubre principalmente con las especies *B. napus* L. y *B. rapa* L. En ambas especies se dispone de dos grupos de cultivares, uno adaptado para el ciclo invernal y el otro para las siembras de verano (Downey y Rimmer, 1993). Los cultivares invernales exigen la acumulación de bajas temperaturas para inducir la floración. Esta etapa se induce cuando durante el crecimiento vegetativo se acumula una determinada cantidad de horas frío, que puede ser variable según el cultivar, ya que existen cultivares con bajos y altos requerimientos de temperatura (Valetti, 1996). Los híbridos de canola han mostrado un potencial de rendimiento mayor que el de los cultivares; sin embargo, el costo de la semilla para siembra es superior entre un 15 y 20% al de los cultivares (Ortegón *et al.*, 2006). De acuerdo con lo anterior, la selección de cultivares adaptados a las condiciones agroclimáticas prevalecientes en cada región es de suma importancia en el cultivo de canola. En el valle de Toluca

no existe información sobre el efecto que tienen los factores mencionados anteriormente sobre el rendimiento y la calidad del grano, es por ello que la evaluación genotípica representa una de las primeras aproximaciones hacia el mejor entendimiento del cultivo, debido a que proporciona información sobre el grado de adaptabilidad que manifiestan los cultivares actuales. Por lo anterior, en el presente trabajo se evaluaron: i) la variabilidad genotípica en la duración de las diferentes etapas que componen el ciclo del cultivo de canola y ii) la variabilidad en los componentes fisiológicos y numéricos que determinan el rendimiento y la calidad del grano de canola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones Generales del Área de Estudio

El presente trabajo se llevó a cabo bajo condiciones de riego durante el ciclo agrícola invierno-primavera del año 2010 en los terrenos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), dentro del campus Universitario “El Cerrillo”, ubicado en la comunidad del Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México. Este lugar se localiza entre los 19° 24' 03"-19° 25' 11" N y 99° 41' 01"-9° 41' 53" O, a una altitud promedio de 2600 m.

El clima predominante es del tipo C(w₂)(w)b(i), que de acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por García (1988), corresponde al clima templado subhúmedo con lluvias en verano y escasa precipitación pluvial durante el invierno (5%) y con poca oscilación térmica. La precipitación media anual es de 900 mm y la temperatura media anual es de 14 °C.

La clasificación taxonómica del suelo corresponde a un vertisol pélico de origen volcánico. Presenta un horizonte mineral con un bajo contenido de materia orgánica que va del 1.01 a 2.36%. El color del horizonte superficial en seco es café grisáceo oscuro o gris oscuro con contenidos de arcilla de 20 a 36.4%. En el perfil del suelo se puede distinguir un horizonte con disturbios de labranza presentando compactaciones por piso de arado, la cantidad de materia orgánica es muy baja va desde 0.07 a 1.01% (Contreras *et al.*, 2012).

Manejo del Experimento

La siembra de la semilla se realizó los primeros días del mes de diciembre en parcelas de 4 surcos de 5 m de

longitud y una distancia entre surcos de 0.30 m, con una densidad de siembra de 62.5 semillas por m². Para garantizar una buena uniformidad de plantas, las semillas se colocaron a una distancia de 4 cm en cintas adhesivas de papel biodegradable, y posteriormente fueron colocadas en el surco y cubiertas con 2 cm de suelo compactándose ligeramente para garantizar una buena emergencia de plantas. Una vez que las cintas adhesivas con las semillas fueron colocadas en los surcos y cubiertas en su totalidad se instaló un sistema de riego por goteo procurando tener el suelo durante el desarrollo del experimento cerca de capacidad de campo. La fertilización consistió de 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno (urea) aplicándolo en dos momentos del cultivo; la primera se realizó a los 45 días después de la emergencia consistente en 50 kg ha⁻¹, mientras que la segunda fertilización se realizó en la etapa de botón floral visible, aplicando 50 kg ha⁻¹ de N; 60 kg ha⁻¹ de P (superfosfato de calcio triple) y 30 kg ha⁻¹ de K (cloruro de potasio). El control de malezas se efectuó en forma manual, realizando cinco deshierbes durante la etapa de crecimiento del cultivo. Los problemas de plagas fueron controlados con dos aplicaciones de zeta cipermetrina 12%, a una dosis de 500 mL ha⁻¹ de producto comercial (Arrivo Plus; FMC). La primera aplicación se realizó cuando el cultivo presentaba tres hojas verdaderas para controlar *Diabrotica* spp, mientras que la segunda se realizó en botón floral visible para controlar pulgón (*Brevicoryne brassicae*).

Material Genético y Diseño Experimental

Los cultivares (Inifap-2, Inifap-3, Inifap-4, Inifap-5) fueron proporcionados por el Programa de Oleaginosas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) campo Valle de Toluca, mientras que los cultivares Hyola-61, Bio-Aureo (2486) y Gladiator fueron proporcionados por la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA). Los siete cultivares fueron establecidos bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió de 4 surcos de 5 m de longitud y una distancia entre surcos de 0.30 m.

Variables de Desarrollo

Durante todo el ciclo se registraron las principales etapas fenológicas del cultivo mediante la escala

CETIOM (CETIOM, 1978) generada por el Centro Técnico Interprofesional de las Oleaginosas Metropolitanas de Francia, como se muestra en el Cuadro 1.

El ciclo del cultivo fue dividido en periodos de desarrollo de acuerdo a la escala mostrada anteriormente, los cuales fueron: desde emergencia a dos hojas verdaderas (A-B2), desde B2 a cambio de ápice (B2-C2), desde C2 a botón floral visible (C2-D1), a partir de D1 a inicio de la floración (D1-F1) y desde F1 a inicio de fructificación (F1-G3), estos periodos fueron expresados en tiempo térmico ($^{\circ}\text{Cd}$).

Producción de Biomasa, Rendimiento y sus Componentes

Cuando el cultivo alcanzó la madurez fisiológica, se realizó la cosecha en forma manual, cortando todas las plantas en cada parcela y posteriormente se procedió a separar las silicuas en cada una de las ramas de las plantas, las cuales fueron puestas a secar para posteriormente trillarlas manualmente. Con la semilla cosechada se determinó el rendimiento de semilla (g m^{-2}), el número de granos por unidad de superficie y el peso individual de grano. Asimismo, a una muestra aleatoria de semillas de cada una de las parcelas se les determinaron los porcentajes de aceite y proteína. El rendimiento de aceite por hectárea, se obtuvo del producto entre el rendimiento de semilla y el porcentaje de aceite en cada una de las parcelas.

Determinación de Aceite

La semilla de canola fue sometida a extracción para la separación cuantitativa de aceite mediante éter etílico anhidro en un Extractor Micro Soxhlet SER 148/6 de Velp Científica, usando 2 g de muestra de grano molido. El porcentaje de aceite se determinó directamente por la relación entre el peso de la muestra y el peso del aceite obtenido en la extracción.

Determinación de Proteína

Inicialmente se determinó el contenido de nitrógeno por el método micro-Kjeldahl, usando 0.2 g de muestra de grano de canola molido. El contenido de nitrógeno y el contenido de proteína se obtuvo de multiplicar el porcentaje de N por 6.25 (Rathke *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Estadios de desarrollo registrados en el cultivo de canola.

Descripción	Clasificación	Denominación
Cotiledones visibles	A	Cotiledonar
Una hoja verdadera desarrollada	B1	Plántula
Dos hojas verdaderas desarrolladas	B2	
Hasta seis hojas verdaderas desarrolladas	B3 a B6	Roseta
Aparición de hojas jóvenes	C1	
Entrenudos visibles	C2	Elongación
Vestigios de ramificaciones principales		
Inflorescencia visible	D1	
Botón cubierto	D2	
Inflorescencias secundarias visibles		
Botón separado	E	
Primeras flores abiertas	F1	Floración
Alargamiento rama floral	F2	
Numerosas flores abiertas		
Caída de pétalos	G1	
Diez primeras silicuas de 2 cm de largo		
Silicuas de más de 4 cm	G3	Maduración
Coloreado de granos	G4	
Coloreado de granos	G5	

Fuente: CETIOM, 1978.

Análisis Estadístico

A cada una de las variables registradas en el experimento se le realizó un análisis de varianza de acuerdo al modelo lineal utilizado y cuando las pruebas de F resultaron significativas se procedió a realizar la comparación de medias, utilizando para ello la Diferencia Mínima Significativa Honesta de Tukey al 5%. Las relaciones entre variables fueron hechas utilizando modelos de regresión lineales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran que no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) entre bloques para ninguna de las variables estudiadas, mientras que si se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre cultivares para el periodo emergencia-2 hojas verdaderas visibles (A-B2) y altamente significativas ($P < 0.01$) en el resto

Cuadro 2. Valores de F y su significancia estadística para los periodos de desarrollo de siete cultivares de canola en Toluca, México.

Fuente de variación	gl	Tiempo térmico				
		A-B2	B2-C2	C2-D1	D1-F1	F1-G3
----- °Cd -----						
Bloques	3	2.5NS	0.32NS	0.11NS	1.24NS	1.02NS
Cultivares	6	2.8*	30.89**	925.47**	137.72**	39.81**
Error (CM)	18	174	199.73	55.25	83.87	110.58
CV		6.77	4.66	2.09	3.62	7.73

NS = no significativo; *, **, ** = significativo ($P \leq 0.05, \leq 0.01, \leq 0.001$); °Cd = grados día desarrollo; A-B2 = emergencia a dos hojas verdaderas visibles; B2-C2 = dos hojas verdaderas visibles a cambio de ápice; C2-D1 = cambio de ápice a botón floral visible; D1-F1 = botón floral visible a inicio de floración; F1-G3 = inicio de floración a inicio de fructificación.

de los periodos estudiados (Cuadro 2). Los coeficientes de variación oscilaron entre 2.0 y 7.7% para los periodos cambio de ápice a botón floral visible (C2-D1) y desde inicio de la floración a inicio de la fructificación (F1-G3), respectivamente.

Para las variables de biomasa, índice de cosecha, rendimiento y sus componentes se observa que no existieron diferencias significativas entre bloques para ninguna de las variables, mientras que contrariamente se observaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre cultivares para todas las variables estudiadas (Cuadro 3). Los coeficientes de variación fluctuaron entre 5.9 y 24.4% para peso individual de grano (PIG) y número de silicuas m² (NSilicuas), respectivamente.

Respecto a los periodos de desarrollo expresados en tiempo térmico (°Cd), los cultivares evaluados mostraron una amplia variabilidad (Figura 1), lo cual coincide con lo reportado en otras partes del mundo (Jullien *et al.*, 2009; Berry *et al.*, 2010), al evaluar diferentes cultivares de canola encontraron variabilidad en la duración de los diferentes periodos evaluados. Asimismo, se observó que existen cultivares con duración similar para el periodo comprendido de A hasta D1 pero con diferente duración relativa de los periodos

que lo componen. Por ejemplo, los cultivares Inifap-2 e Inifap-4, presentaron una duración total desde A a D1 de 765 °Cd y 807 °Cd, respectivamente; mientras que Inifap-3 y Bio-Aureo tuvieron una acumulación de 871 °Cd y 855 °Cd, respectivamente (Figura 1). En estos pares de cultivares, la duración relativa de los periodos que conforman la duración total a D1 fueron diferentes. En el caso de los cereales de grano es de gran relevancia contar con cultivares con similar ciclo a floración pero con duración de los periodos previos diferente (Slafer, 2003; García *et al.*, 2011), dado que en los periodos previos se lleva a cabo la diferenciación de estructuras (flores) que determinarán el rendimiento final del cultivo. En este sentido, para el caso de la canola puede tener la misma relevancia contar con genotipos que presenten estas características que son relevantes en los cereales, con el objeto de incrementar los rendimientos potenciales. Sin embargo, a la fecha este tema en canola sigue siendo una incógnita, en trabajos futuros deberá ser estudiado.

Con respecto a los atributos fisiológicos que determinan el rendimiento en los cultivos de grano (biomasa e índice de cosecha), los resultados de la presente investigación mostraron que la variabilidad observada en rendimiento de grano fue atribuible principalmente a las diferencias en producción de

Cuadro 3. Valores de F y su significancia estadística para las variables bajo estudio de siete cultivares de canola en Toluca, México.

Fuente de variación	gl	Biomasa	Rendimiento de grano	Índice de cosecha	Número de silicuas	Número de granos	Peso individual de grano
		g m ²			m ² × 10 ⁻³		mg
Bloques	3	1.73NS	1.92NS	2.06NS	0.0046*	1.19NS	0.04NS
Cultivares	6	49.8**	54.96**	1.88NS	0.03**	65.25**	11.95**
Error (CM)	18	9798.42	2451.89	13.51	328.54	131698.8	0.05
CV (%)		9.2	10.5	0.003	10.61	9.98	5.91

gl = grados de libertad; NS = no significativo; *, **, ** = significativo ($P \leq 0.05, \leq 0.01, \leq 0.001$).

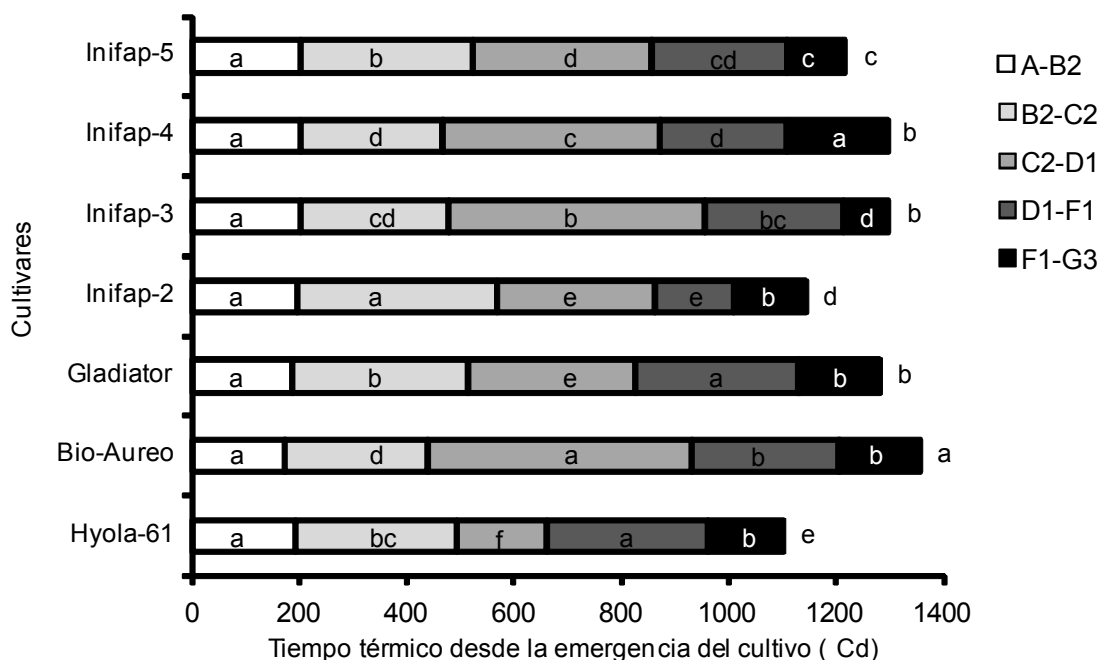


Figura 1. Tiempo térmico para los periodos de desarrollo de siete cultivares de canola en Toluca, México. Valores correspondientes a cada periodo de desarrollo con letras distintas son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). Las letras distintas fuera de columnas indican diferencias estadísticas en el ciclo total entre cultivares.

biomasa entre los diferentes genotipos, dado el índice de cosecha tuvo poco impacto sobre el rendimiento final de grano (Cuadro 4). Estos resultados son congruentes con evidencias en la literatura sobre el cultivo de canola (Taylor *et al.*, 1991; Schjoerring *et al.*, 1995) y en otros cultivos como maíz (Otegui *et al.*, 1995; Earl y Davis, 2003) y cebada (Kemanian *et al.*, 2004), entre otros. De acuerdo con lo anterior, es evidente que la selección en los programas de mejoramiento genético en el cultivo de canola deberá ser orientada a la identificación de cultivares con una mayor producción de biomasa. Sin embargo, determinar la variación existente entre

los componentes fisiológicos que determinan la producción de biomasa como la radiación interceptada y eficiencia de uso de la radiación, aún sigue siendo uno de los aspectos que se tendrán que abordar en futuras investigaciones.

El rendimiento de grano fue muy variable entre los cultivares de canola evaluados, de tal forma que dos de los cultivares introducidos (Gladiator y Bio-Aureo) mostraron rendimientos de grano muy bajos comparados con aquellos obtenidos con cultivares más adaptados a la región. Los cultivares Inifap-2 y Hyola-61 sobresalieron por su alto rendimiento (1643 y 1625 g m⁻²,

Cuadro 4. Valores medios para las variables bajo estudio de siete cultivares de canola en Toluca, México.

Cultivar	Biomasa	Rendimiento de grano	Índice de cosecha	Número de silicuas	Número de granos	Peso individual de grano
	g m ²			m ²		mg
Hyola-61	1479.9 a [†]	677.2 a	0.45 a	7193.3 a	169259 a	3.9 bcd
Bio-Aureo	838.8 c	374.3 bc	0.45 a	5422.7 b	109703 b	3.5 cd
Gladiator	814.0 c	302.7 c	0.37 a	5118.7 b	85921 bc	3.4 d
Inifap-2	1617.5 a	773.7 a	0.47 a	7661.1 a	187899 a	4.0 abc
Inifap-3	848.1 c	331.6 c	0.40 a	3536.5 c	84886 bc	3.9 bcd
Inifap-4	1110.3 b	474.6 b	0.40 a	5223.3 b	103959 b	4.5 a
Inifap-5	762.9 c	366.6 bc	0.47 a	3634.3 c	62750 c	4.4 ab

[†]Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

respectivamente), superando en promedio en 58% al cultivar Gladiator, la cual presentó los rendimientos de semilla más bajos (Cuadro 4). En este sentido, la evaluación de cultivares es una herramienta que permite identificar genotipos de canola sobresalientes en cuanto a rendimiento de grano, como lo muestran diferentes estudios en la literatura (Tamagno *et al.*, 1999; Brennan y Bolland, 2009; Hernández *et al.*, 2008). El número de silicuas m² no difirió entre los cultivares Inifap-2 y Hyola-61, los cuales los superaron en un 44 y 42%, respectivamente, al promedio del resto de los cultivares (Cuadro 4). En cuanto al peso individual de grano (PIG) los cultivares proporcionados por el INIFAP mostraron los granos más pesados (4.57-4.09 mg), siendo los cultivares introducidos los de menor peso individual de grano (Cuadro 4).

Las variaciones en rendimiento de grano observadas en el presente experimento fueron debidas principalmente a las diferencias en producción de biomasa (Figura 2), dado que la relación entre el rendimiento y el índice de cosecha no fue significativa. Los cultivares Hyola-61 e Inifap-2 sobresalieron por su alto rendimiento debido a su mayor producción de biomasa y valores de índice de cosecha también altos (0.45 a 0.47); mientras que, los genotipos Bio-Aureo e Inifap-5, a pesar de que tienen un alto índice de cosecha, no obtuvieron rendimientos altos debido a que su producción de biomasa también fue menor (Figura 2).

Las variaciones observadas en rendimiento de grano estuvieron asociadas principalmente con cambios en

el número de granos por unidad de superficie más que por el peso individual de los mismos (Figura 3). Lo anterior es coincidente con resultados de otros experimentos en los que se muestra que el rendimiento de grano en canola está estrechamente relacionado con el número de granos por unidad de superficie. Por ejemplo, Coll (2010) al estudiar el efecto de diferentes densidades de población (alta, media y baja) encontró que las diferencias observadas en rendimiento de grano fueron debidas a cambios en el número de granos por unidad de área. Mientras que Peltonen-Sainio *et al.* (2011) al evaluar un conjunto de líneas avanzadas de canola en el norte de Europa, observaron que el número de granos fue el principal determinante del rendimiento de éstas. Por otro lado, al evaluar el efecto de la fecha de siembra, densidad de siembra y genotipos sobre los componentes del rendimiento de canola en Canadá, Degenhardt y Kondra (1981) y Coll (2010), encontraron que independientemente de la condición ambiental generada por la densidad y/o por la fecha de siembra, los cambios en el rendimiento de grano entre los diferentes genotipos estuvieron asociados principalmente a los cambios en el número de granos más que en el peso individual de grano.

En este mismo sentido, las variaciones observadas en el número de granos por unidad de superficie estuvieron estrechamente relacionadas con el número de silicuas por m² (Cuadro 4), en coincidencia con los resultados reportados por Taylor *et al.* (1991), Tamagno *et al.* (1999) y Yasari y Patwardhan (2006). El número

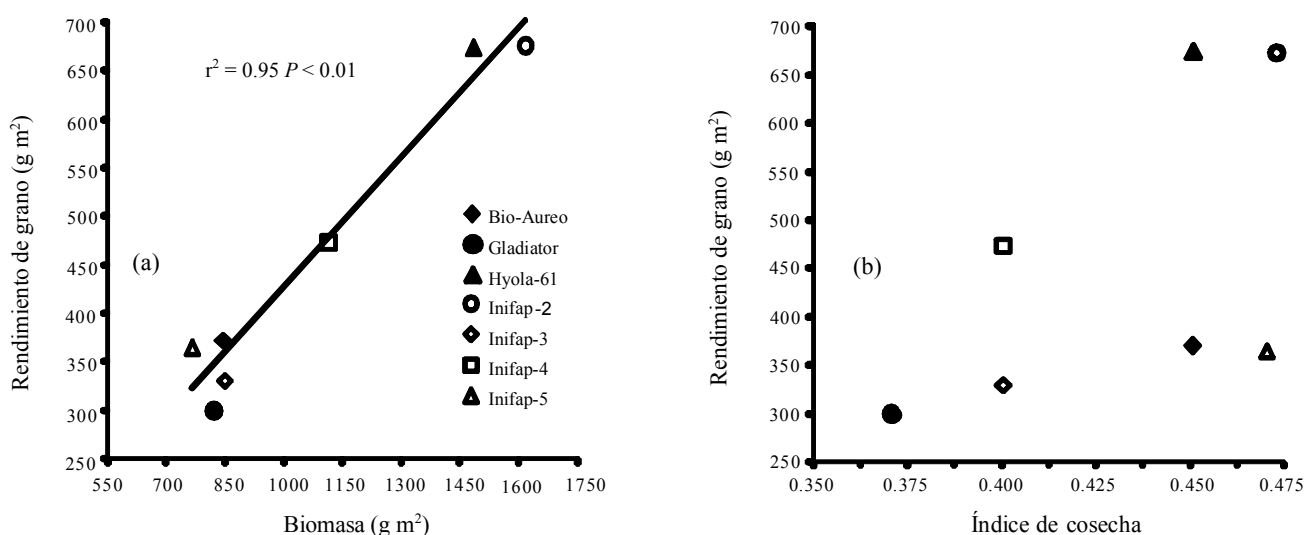


Figura 2. Relaciones entre el rendimiento de grano y la biomasa producida por unidad de superficie (a) y el índice de cosecha (b), para siete cultivares de canola, en Toluca, México.

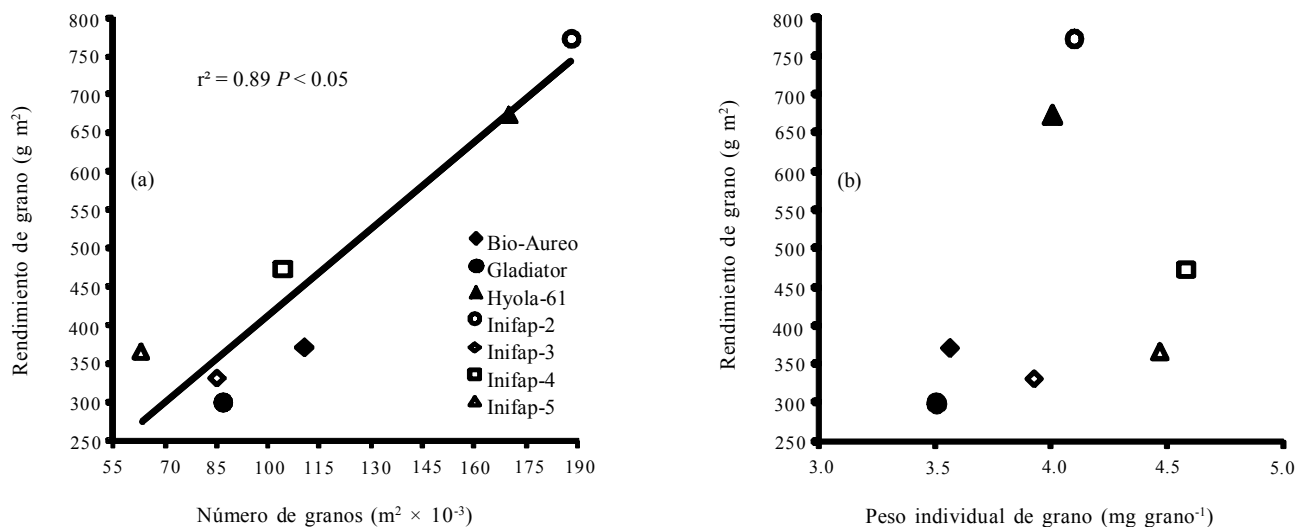


Figura 3. Relaciones entre el rendimiento de grano y el número de granos por unidad de superficie (a) y el peso individual de grano (b), para siete cultivares de canola, en Toluca, México.

de silicuas por unidad de superficie depende en gran medida de la duración del periodo de tiempo en el cual estas estructuras se están diferenciando (Ortegón *et al.*, 2006). En este sentido, al diferir los cultivares en la duración de los periodos en los cuales se están diferenciando las silicuas provocó cambios en esta variable al final del ciclo, lo cual también originó cambios en la duración total del ciclo a madurez (Ahmad *et al.*, 2006).

La etapa crítica en la determinación del rendimiento, comienza entre dos y tres semanas antes de la floración (Tayo y Morgan, 1975) entre los estados de fin de roseta

(B6) e inicios de floración (F1) de la escala CETION. En este sentido, las prácticas de manejo tendientes a mejorar la condición del cultivo tendrán que ir encaminadas a maximizar la cantidad de recursos que el cultivo requiere para una óptima producción. De acuerdo a lo anterior la elección del genotipo juega un papel preponderante en el éxito que se tenga del sistema de producción, de ahí la importancia de la evaluación genotípica.

Por otro lado, la calidad del grano de canola está definida por las características que la industria aceitera requiere, parámetros que se encuentran definidos en

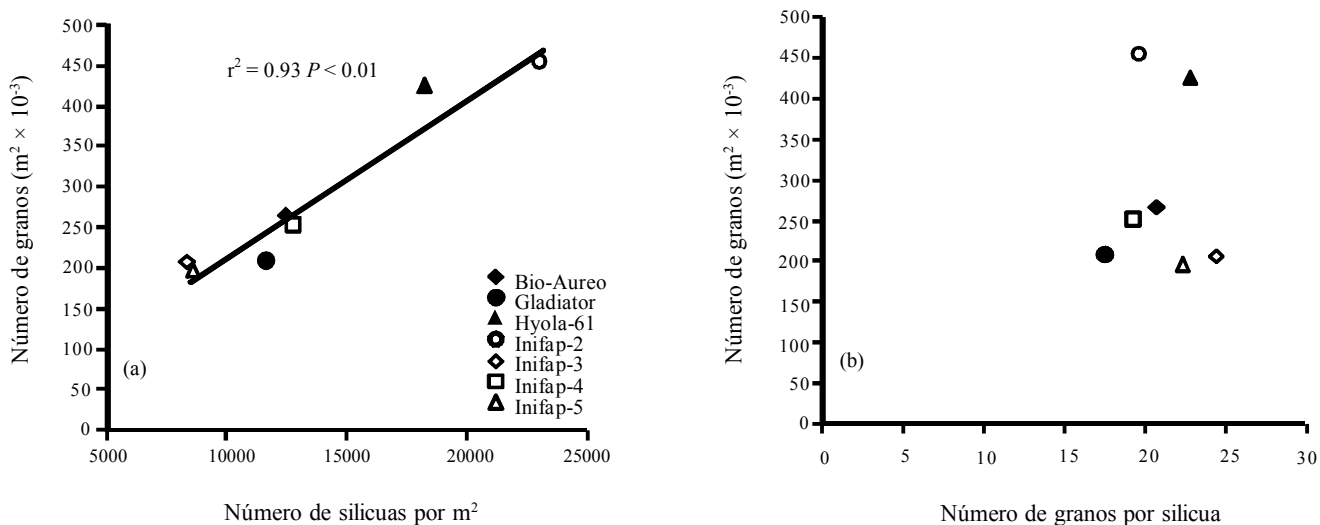


Figura 4. Relaciones entre el número de granos por unidad de superficie y el número de silicuas por m² (a) y el número de granos por silique (b), para siete cultivares de canola en Toluca, México.

la norma oficial mexicana NMX-FF-111-SCFI-2008 (Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas, 2011), entre los cuales el porcentaje de aceite en el grano es el principal parámetro utilizado por dicha norma para evaluar su calidad. La cantidad de proteína y aceite obtenida en la presente investigación mostró una gran variabilidad entre los cultivares evaluados (Cuadro 5) y son congruentes con los resultados reportados por Tamagno *et al.* (1999) y Brennan y Bolland (2009). En porcentaje de proteína los cultivares Gladiator, Inifap-2 e Hyola-61 superaron al resto de los cultivares y al mismo tiempo forman parte de los cultivares con menor porcentaje de aceite, lo cual indica una correlación negativa entre ambas variables.

Finalmente, cabe mencionar que se han realizado estudios sobre los factores que afectan la calidad y el rendimiento del grano, por ejemplo: fertilización azufrada y nitrogenada (Abdallah *et al.*, 2010; Tamagno *et al.*, 1999), genotipos (Hernández *et al.*, 2008; Tamagno *et al.*, 1999), fechas de siembra (Clayton *et al.*, 2009; Ortigón *et al.*, 2007) y métodos de siembra (Ortigón *et al.*, 2007) en diferentes partes del mundo o de la República Mexicana, sin embargo, se hace necesario establecer experimentos en el valle Toluca-Atlaconulco en los que dichos factores, que afectan el rendimiento y la calidad del grano de canola, sean estudiados para poder definir la magnitud del cambio en los componentes del rendimiento y la calidad industrial del cultivo, de tal forma poder mejorar las prácticas de manejo tendientes a maximizar los rendimientos potenciales en este cultivo. En este sentido, la fecha de siembra, localidades, densidad de población y fertilización serían factores que deberán estudiarse en futuras investigaciones para medir su impacto en el rendimiento y la calidad de este cultivo.

Cuadro 5. Valores medios de proteína y grasa, de siete cultivares de canola en Toluca, México.

Cultivar	Proteína	Grasa
	- - - - - % - - - - -	
Hyola-61	21.5abc [†]	40.7abc
Bio-Aureo	21.0bc	45.1a
Gladiator	22.0a	40.6bc
Inifap-2	21.8ab	37.4cd
Inifap-3	21.2abc	35.8d
Inifap-4	20.7c	44.0ab
Inifap-5	21.5abc	36.4cd

[†]Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

Se apreció una amplia variabilidad en parámetros de desarrollo entre los genotipos de canola estudiados. La duración de los periodos de desarrollo que componen el ciclo del cultivo permitieron clasificar a los cultivares en precoces y tardíos. Existieron cultivares (Inifap-4, Inifap-2, Inifap-3 y Bio-Aureo) que tuvieron duración similar del periodo cambio de ápice a botón floral visible (C2-D1), pero diferente duración de los periodos que lo componen, lo cual puede representar una ventaja en programas de mejoramiento con fines de incrementar el rendimiento. Los cultivares que presentaron un ciclo más corto fueron los que mostraron los rendimientos más altos. Por otro lado, las variaciones en el rendimiento de grano fueron explicados por cambios en la producción de biomasa, más que por la partición hacia los órganos reproductivos. Del mismo modo, la variabilidad observada en rendimiento de grano fue mejor explicada por los cambios en el número de granos por unidad de superficie que por el peso individual de grano. El contenido de proteína y aceite fueron variables que también mostraron cambios entre los cultivares, lo que pone de manifiesto que existen cultivares de canola con potencial productivo en términos de rendimiento de grano y la calidad de este en el valle de Toluca. Finalmente se concluye que los cultivares Inifap-2 e Hyola 61 son cultivares prometedores para la producción de canola en la región Toluca-Atlaconulco porque presentaron los rendimientos más altos.

LITERATURA CITADA

- Abdallah, M., L. Dubousset, F. Meuriot, P. Etienne, J-C. Avicé, and A. Ourry. 2010. Effect of mineral sulphur availability on nitrogen and sulphur uptake and remobilization during the vegetative growth of *Brassica napus* L. *J. Exp. Bot.* 61: 2635-2646.
- Ahmad, G., A. Jan, I. Arif, and M. Arif. 2006. Phenology and physiology of canola as affected by nitrogen and sulphur fertilization. *J. Agron.* 5: 555-562.
- Barlóg, P. and W. Grzebisz. 2004. Effect of timing and nitrogen fertilizer application on winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). I. Growth dynamics and seed yield. *J. Agron. Crop Sci.* 190: 305-313.
- Berry, P. M., J. Spink, M. J. Foulkes, and P. J. White. 2010. The physiological basis of genotypic differences in nitrogen use efficiency in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Field Crops Res.* 119: 365-373.
- Brennan, R. F. and M. D. A. Bolland. 2009. Comparing the nitrogen and phosphorus requirements of canola and wheat for grain yield and quality. *Crop Pasture Sci.* 60: 566-577.

- CETIOM (Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains). 1978. Colza d'hiver. Cahier Technique. CETIOM. Paris, France.
- Clayton, G. W., S. Brandt, E. N. Johnson, J. T. O'Donovan, K. N. Harker, R. E. Blackshaw, E. G. Smith, H. R. Kutcher, C. Vera, and M. Hartman. 2009. Comparison of certified and farm-saved seed on yield and quality characteristics of canola. *Agron. J.* 101: 1581-1588.
- Coll, L. 2010. Efecto de la densidad de plantas en el rendimiento de colza. Grupo de ecofisiología vegetal y manejo de cultivos. INTA EEA Paraná. http://www.inta.gov.ar/parana/info/biblioteca/publicaciones/ActTec/ActTec_N001_07.pdf (Consulta: septiembre 29, 2011).
- Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas. 2011. Normas oficiales mexicanas para oleaginosas. (http://www.oleaginosas.org/cat_70.shtml) (Consulta: octubre 14, 2011).
- Contreras R., A., C. G. Martínez R. y G. Estrada C. 2012. Eficiencia en el uso de la radiación por híbridos de maíz de valles altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35: 161-169.
- Degenhardt, D. F. and Z. P. Kondra. 1981. The influence of seeding date and seeding rate on seed yield and yield components of five genotypes of *Brassica napus*. *Can. J. Plant Sci.* 61: 175-183.
- Downey, R. K. and S. R. Rimmer. 1993. Agronomic improvement in oilseed brassicas. *Adv. Agron.* 50: 1-66.
- Earl, H. J. and R. F. Davis. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield maize. *Agron. J.* 95: 688-696.
- García, A. G., R. A. Serrago, M. L. Appendino, L. A. Lombardo, L. S. Vanzetti, M. Helguera, and D. J. Miralles. 2011. Variability of duration of pre-anthesis phases as a strategy for increasing wheat grain yield. *Field Crops Res.* 124: 408-416.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Habekotté, B. 1997. A model of phenological development of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Field Crops Res.* 54: 127-136.
- Hernández, R., A. González y P. Rivera. 2008. El cultivo de canola (*Brassica napus* y *B. Rapa*) en el estado de Jalisco, México: I. Características agronómicas. *Bioagro* 20: 185-191.
- Howell, T. A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agron. J.* 93: 281-289.
- Jensen, L. S., T. Mueller, J. Magid, and N. E. Nielsen. 1997. Temporal variation of C and N mineralization, microbial biomass and extractable organic pools in soil after oilseed rape straw incorporation in the field. *Soil Biol. Biochem.* 29: 1043-1055.
- Jullien, A., J. M. Allirand, A. Mathieu, B. Andrieu, and B. Ney. 2009. Variations in leaf mass per area according to N nutrition, plant age, and leaf position reflect ontogenetic plasticity in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Field Crops Res.* 114: 188-197.
- Kemarian, A. R., C. O. Stöckle, and D. R. Huggins. 2004. Variability of barley radiation-use efficiency. *Crop Sci.* 44: 1662-1672.
- Ortegón M., A. S., A. Díaz F. y J. González Q. 2007. Cultivares de canola y su interacción con el ambiente y el método de siembra. *Univ. Cienc.* 23: 21-27.
- Ortegón M., A. S., A. Díaz F., and A. Ramírez L. 2006. Rendimiento y calidad de semilla de variedades e híbridos de canola en el norte de Tamaulipas, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 181-186.
- Otegui, M. E., F. H. Andrade, and E. E. Suero. 1995. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Res.* 40: 87-94.
- Peltonen-Sainio, P. and L. Jauhiainen. 2008. Association of growth dynamics, yield components and seed quality in long-term trials covering rapeseed cultivation history at high latitudes. *Field Crops Res.* 108: 101-108.
- Peltonen-Sainio, P., L. Jauhiainen, M. Hyövelä, and E. Nissilä. 2011. Trade-off between oil and protein in rapeseed at high latitudes: Means to consolidate protein crop status? *Field Crops Res.* 121: 248-255.
- Rathke, G. W., T. Behrens, and W. Diepenbrock. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 117: 80-108.
- Rathke, G. W., O. Christen, and W. Diepenbrock. 2005. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Res.* 94: 103-113.
- Reyes, S.U. 2007. Canola oil. (http://www.ats.agr.gc.ca/asean/4359_e.htm) (Consulta: octubre 11, 2011).
- Schjoerring, J. K., J. G. H. Bock, L. Gammelvind, C. R. Jensen, and V. O. Mogensen. 1995. Nitrogen incorporation and remobilization in different shoot components of field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) as affected by rate of nitrogen application and irrigation. *Plant Soil* 177: 255-264.
- Slafer, G. A. 2003. Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. *Ann. Appl. Biol.* 142: 117-128.
- Tamagno, L. N., A. M. Chamorro, y S. J. Sarandón. 1999. Aplicación fraccionada de nitrógeno en colza (*Brassica napus* L. ssp. oleifera forna annua): efectos sobre el rendimiento y la calidad de semilla. *Rev. Fac. Agron. (La Plata)*. 104: 25-34.
- Taylor, A. J., C. J. Smith, and I. B. Wilson. 1991. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on yield, oil content, nitrogen accumulation and water use of canola (*Brassica napus* L.). *Fertilizer Res.* 29: 249-260.
- Tayo, T. O. and D. G. Morgan. 1975. Quantitative analysis of the growth, development and distribution of flowers and pods in oil seed rape (*Brassica napus* L.). *J. Agric. Sci.* 85: 103-110.
- Tesfamariam, E. H., J. G. Annandale, and J. M. Steyn. 2010. Water stress effects on winter canola growth and yield. *Agron. J.* 102: 658-666.
- Valetti, O. 1996. El cultivo de colza canola. Informe Técnico. Chacra Experimental Integrada Barrow. Tres Arroyos, Argentina.
- Yasari, E. and A. M. Patwardhan. 2006. Physiological analysis of the growth and development of canola (*Brassica napus* L.) under different chemical fertilizers application. *Asian J. Plant Sci.* 5:745-752.