

Rendimiento, eficiencia en uso del agua en canola en función del nitrógeno y distancia entre hileras*

Yield, water use efficiency in canola based on nitrogen and distance between rows

José Alberto Salvador Escalante-Estrada^{1§}, María Teresa Rodríguez-González¹ y Yolanda Isabel Escalante-Estrada²

¹Campus Montecillo-Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México C. P. 56230. (jasee@colpos.mx; mate@colpos.mx). ²Instituto de Investigación Científica área de Ciencias Naturales-Universidad Autónoma de Guerrero. Chilpancingo, Guerrero México. §Autor para correspondencia: y_escalante@yahoo.com.mx.

Resumen

La canola (*Brassica napus* L.) produce aceite comestible que ayuda a prevenir enfermedades del corazón y artritis reumatoide. Así, los temas de investigación sobre este cultivo son justificados, sobre todo en la búsqueda de estrategias para elevar la productividad del agua. El objetivo del estudio fue determinar en genotipos de canola, el efecto de la distancia entre hileras de plantas y la fertilización nitrogenada sobre: la eficiencia en el uso del agua (EUA), biomasa (BT), índice de cosecha (IC), rendimiento en grano (RG) y de aceite (RA). Los tratamientos consistieron en la siembra el 20 de junio de 2011, de los genotipos Canadá I, Canadá II y Westar, con suministro de 0 y 100 kg de nitrógeno (N) y distancia entre hileras (DH) de 0.40 m (DC) y 0.80 m (DA) que generó una densidad de 25 y 12.5 plantas m⁻². El diseño experimental fue bloques al azar con arreglo en parcelas subdivididas y cuatro repeticiones. El genotipo Canadá II presentó una EUA, BT, RG y RA superior a Westar y Canadá I. Dicha tendencia se observó con la aplicación de N y la siembra a DC. Mientras que el genotipo Canadá II en siembras a DC con N, presentó la EUA, BT, RG y RA más altos. El contenido de aceite del grano no fue afectado por los tratamientos. Estos resultados indican que mediante la reducción de la distancia entre hileras y la fertilización nitrogenada puede lograrse una mayor productividad del agua y en consecuencia mayor producción de canola.

Abstract

Canola (*Brassica napus* L.) produces edible oil that helps prevent heart disease and rheumatoid arthritis. Thus, the research topics on this crop are justified, especially in the search for strategies to increase water productivity. The aim of the study was to determine in canola genotypes, the effect of the distance between rows and nitrogen fertilization on: water use efficiency (EUA), biomass (BT), harvest index (IC), yield grain (RG) and oil (RA). Treatments consisted of planting on June 20, 2011, Canada I, Canada II and Westar genotypes, with supply of 0 and 100 kg of nitrogen (N) and distance between rows (DH) of 0.40 m (DC) and 0.80 m (DA) which generated a density of 25 and 12.5 plants m⁻². The experimental design was randomized blocks in split plots and four replications. Canada II genotype had EUA, BT, RG and RA higher than Westar and Canada I. This trend was observed with application of N and DC planting. While Canada II genotype in DC plantings with N, had EUA, BT, RG and RA higher. The grain oil content was not affected by treatments. These results indicate that by reducing the distance between rows and nitrogen fertilization can achieve increased water productivity and consequently greater production of canola.

Keywords: *Brassica napus*, heat units, oil content, oil yield, phenology.

* Recibido: junio de 2016
Aceptado: agosto de 2016

Palabras clave: *Brassica napus*, contenido de aceite, fenología, rendimiento de aceite, unidades calor.

Introducción

La canola (*Brassica napus* L.) es una oleaginosa de la cual se obtiene un aceite comestible de excelente calidad que contiene ácidos grasos esenciales que pueden ayudar a prevenir enfermedades del corazón y algunas autoinmunes como la artritis reumatoide (Morris, 2004). Además, es una alternativa para producción de biodiesel (Panozzo *et al.*, 2014). El término canola se utilizó para diferenciarla de variedades de colza que contiene de 20 a 55% de ácido erúxico que es tóxico para humanos así como de glucosinolatos, que son compuestos que causan efectos perjudiciales al organismo, al reducir el nivel de hormonas y ocasionar anomalías en el desarrollo del hígado, riñones y tiroides (Pass y Pierce, 2002).

La canola contiene menos de 2% de ácido erúxico en su aceite y cantidades no significativas de glucosinolatos (Starter *et al.*, 1999). Datos del SIAP (2011) señalan que en México, la producción de temporal de canola fue de 3 146 t, siendo los principales estados en orden de producción Tamaulipas (1,402 ha), Estado de México (1 023 ha), Hidalgo (319 ha), Tlaxcala (283 ha), Durango (142 ha) y Puebla (130 ha). En Tamaulipas se han realizado estudios con híbridos como el Hyola 401, Hyola 308 y Hyola 330 y la variedad ICM204, con un promedio de 1.613 t ha⁻¹, en siembras de humedad residual en otoño con un riego de auxilio, patrón de siembra de 0.80 m * 0.05 m y con 100-60-00 de N, P y K (Ortegón *et al.*, 2006a).

Hernández *et al.* (2008) señalan para la región tropical de Jalisco, un rendimiento de 3.223 t ha⁻¹ bajo riego con Hyola 401 (53 días a floración) y 1.445 t ha⁻¹ con Westar (67 días a floración) en siembras otoñales con patrón de siembra de 0.76 m * 0.05 m y 110-55-00 kg ha⁻¹ de N, P y K. En el Estado de México, la canola se siembra en temporal, con una producción media de 1.6 t ha⁻¹ (SIAP, 2011). El principal municipio productor es Juchitepec (415 ha), seguido de Villa de Allende (190 ha), Villa Victoria (170 ha), Ixtapaluca y Rayón con 60 ha y Tenango del Valle (55 ha).

Con menos de 50 ha, Almoloya de Juárez, Axapusco, San Antonio Isla, Hueypoxtla, Cocotitlán, Nopaltepec, Temascalapa y Tlamanalco. Resultados obtenidos en estudios anteriores (Ortegón *et al.* 2002), comprueban que

Introduction

Canola (*Brassica napus* L.) is an oilseed from which a high quality edible oil is obtained which contains essential fatty acids and can help prevent heart diseases and some autoimmune such as rheumatoid arthritis (Morris, 2004). It is also an alternative for biodiesel production (Panozzo *et al.*, 2014). The term canola was used to differentiate rapeseed varieties containing from 20 to 55% erucic acid that is toxic for humans as well as glucosinolates, which are compounds that cause harmful effects to the body, by reducing the level of hormones and causes abnormalities in the development of liver, kidney and thyroid (Pass and Pierce, 2002).

Canola contains less than 2% of erucic acid and no significant amounts of glucosinolates (Starter *et al.*, 1999). Data from SIAP (2011) show that in Mexico, rainfed production of canola was 3 146 t, being the leading states in production order Tamaulipas (1 402 ha), State of Mexico (1 023 ha), Hidalgo (319 ha), Tlaxcala (283 ha), Durango (142 ha) and Puebla (130 ha). In Tamaulipas have been conducted studies with hybrids like Hyola 401, Hyola 308 and Hyola 330 and variety ICM 204, with an average of 1.613 t ha⁻¹, under plantings with residual moisture in autumn with one auxiliary irrigation, planting pattern of 0.80 m * 0.05 m and 100-60-00 of N, P and K (Ortegón *et al.*, 2006a).

Hernandez *et al.* (2008) mention that for the tropical region of Jalisco, a yield of 3.223 t ha⁻¹ under irrigation with Hyola 401 (53 days to flowering) and 1.445 t ha⁻¹ with Westar (67 days to flowering) in autumn planting with planting pattern 0.76 m * 0.05 m and 110-55-00 kg ha⁻¹ of N-P-K. In the State of Mexico, canola is planted under rainfed, with an average yield of 1.6 t ha⁻¹ (SIAP, 2011). The main producing municipality is Juchitepec (415 ha), followed by Villa de Allende (190 ha), Villa Victoria (170 ha), Ixtapaluca, Rayon (60 ha) and Tenango del Valle (55 ha).

With less than 50 ha, Almoloya de Juárez, Axapusco, San Antonio Island, Hueypoxtla, Cocotitlán, Nopaltepec, Temascalapa and Tlamanalco. Results obtained in previous studies (Ortegón *et al.*, 2002) prove that canola seeding at distance of 80 cm between rows is the most efficient method in Tamaulipas and other regions of the country (Muñoz *et al.*, 2002). However, such production of canola and domestic do not cover the requirements to meet

la siembra de canola a distancia de 80 cm entre surcos es el método más eficiente en Tamaulipas y en otras regiones del país (Muñoz *et al.*, 2002). No obstante, dicha producción de canola y la nacional no cubre el requerimiento para satisfacer las necesidades de consumo de la población, por lo que se recurre a la importación. Una alternativa para reducir dicha compra al exterior, es elevar el rendimiento por unidad de superficie, mediante la incorporación de genotipos y la aplicación de prácticas de manejo más apropiadas para cada región.

Dentro de éstas últimas la siembra a corta distancia entre hileras que conduce a incremento en la densidad de población (DP) y la fertilización nitrogenada puede ser una alternativa, como se ha reportado en girasol por Aguilar *et al.* (2005). Así, el objetivo del estudio fue determinar el efecto de la distancia entre hileras de plantas o surcos y la fertilización nitrogenada en cultivares de canola bajo condiciones de lluvia en Valles Altos sobre: a) los días a ocurrencia a fases fenológicas; b) la biomasa, el índice de cosecha, el rendimiento en grano y de aceite; c) los componentes del rendimiento y el contenido de aceite del grano; y d) la eficiencia en el uso del agua.

Materiales y métodos

El estudio se realizó bajo condiciones de lluvia en Montecillo, México, de clima templado durante el verano, en un vertisol, pH 7.7, 2% de materia orgánica y 40 kg de nitrógeno inorgánico por ha. La siembra se realizó el 20 de junio de 2011. Los tratamientos consistieron en la siembra de tres genotipos (G) de canola: Canadá I (CI), Canadá II (CII) y Westar (W); el suministro de 0 (N0) y 100 kg (N+) de nitrógeno (N), distancia entre hileras (DH) de 0.40 m (DC) y 0.80 m (DA) y entre plantas de 0.10 m, que generó una densidad de 25 y 12.5 plantas m⁻², respectivamente. En todo el cultivo se aplicó 100 kg de fósforo por ha. El diseño experimental fue bloques al azar con arreglo en parcelas subdivididas y cuatro repeticiones.

Se registraron los días a ocurrencia a fases fenológicas del cultivo como: días a emergencia (E), a crecimiento de tallo (CT), a inicio de floración (IF), a final de floración (FF), a 50% de silicuas maduras (MS50), a 80% de silicuas maduras (MS80) y a madurez fisiológica total (MT), el criterio fue cuando el 80% de las plantas presentaba estas características. A la MT se determinó: el rendimiento en grano (RG, 10% de humedad), el contenido de aceite (CA) en el grano, mediante la técnica de resonancia magnética nuclear, el rendimiento

consumption needs of the population, therefore the need to import. An alternative to reduce such purchase abroad is to increase the yield per unit area, by incorporating genotypes and implementation of appropriate management practices for each region.

Within the last, planting at short distance between rows lead to increased population density (DP) and nitrogen fertilization can be an alternative, as has been reported in sunflower by Aguilar *et al.* (2005). Thus, the aim of the study was to determine the effect of the distance between rows or grooves and nitrogen fertilization in canola under rainfed conditions in Valles Altos on: a) days to phenological stages; b) biomass, harvest index, grain yield and oil; c) yield components and oil content of the grain; and d) water use efficiency.

Materials and methods

The study was conducted under rainfed conditions in Montecillo, Mexico, with temperate climate during the summer, in a vertisol, pH 7.7, 2% organic matter and 40 kg of inorganic nitrogen per hectare. Sowing was carried out on June 20, 2011. The treatments consisted of planting three Canola genotypes (G): Canada I (CI), Canada II (CII) and Westar (W); supplying 0 (N0) and 100 kg (N+) of nitrogen (N), distance between rows (DH) of 0.40 m (DC) and 0.80 m (DA) and between plants of 0.10 m, generating a density of 25 and 12.5 plants m⁻², respectively. 100 kg of phosphorus per was applied to the crop. The experimental design was randomized blocks in split plots and four replications.

Days to phenological stages like: emergence (E), stem growth (CT), flowering initiation (IF), end of flowering (FF), 50% of mature siliques (MS50), 80% of mature siliques (MS80) and full physiological maturity (MT), the criterion was when 80% of the plants showed these characteristics. At MT was determined: grain yield (RG, 10% moisture), oil content (CA) in the grain, using the technique of nuclear magnetic resonance, oil yield (RA) was calculated by the following equation: $RA = (CA * RG) / 100$; thousand grain weight (PMG), number of grains m⁻² (NG), number of fruits or siliques m⁻² (NF), number of stems m⁻² (NT), biomass (BT, g m⁻²) and harvest index ($IC = [RG / BT] * 100$).

In addition, during crop development average maximum (Tmax) and average minimum (Tmin) temperature, evaporation (EV) and precipitation (PP) was recorded. Crop

de aceite (RA) se calculó mediante la ecuación siguiente: $RA = (CA * RG) / 100$; el peso de mil granos (PMG), el número de granos m^{-2} (NG), número de frutos o silicuas m^{-2} (NF), número de tallos m^{-2} (NT), la biomasa (BT, $g m^{-2}$) y el índice de cosecha ($IC = [RG/BT] * 100$).

Además, durante el desarrollo del cultivo se registró la media de la temperatura máxima ($T_{máx}$) y la media de la mínima ($T_{mín}$), la evaporación (EV) y precipitación pluvial (PP). Se calculó la evapotranspiración del cultivo (ET_c) mediante la ecuación: $ET_c = E_v * K * K_c$; donde E_v = evaporación del tanque tipo "A", K = coeficiente de tanque (0.7) y K_c = coeficiente del cultivo (0.6) de acuerdo con Doorenbos y Pruitt (1986). La acumulación de calor se determinó mediante las unidades calor (UC, °C días) con la ecuación $UC = T_{media} - T_b$ (Snyder, 1985), donde T_b es la temperatura base. Aquí se consideró una $T_b = 5$ °C (Morrison *et al.*, 1989).

La relación ET_c/PP se calculó para determinar el grado de severidad del déficit hídrico (SDH) a que estuvo sujeto el cultivo, considerando que, un valor menor o igual a 1, el cultivo no está bajo SDH, puesto que el agua disponible es mayor o igual que la cantidad de agua utilizada por ET_c . El grado de SDH es más alto cuando los valores son superiores a 1. Se calculó la eficiencia en el uso del agua (EUA, $g m^{-2} mm^{-1}$) mediante el planteamiento: $EUA = BT, RG$ y RA / ET_c ; donde BT, RG y RA es la biomasa total, rendimiento en grano y rendimiento en aceite, respectivamente; ET_c es la evapotranspiración estacional del cultivo. A las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Resultados y discusión

Fenología y elementos del clima

La Figura 1 presenta la dinámica de elementos del clima, se observa que durante la etapa vegetativa y reproductiva, la $T_{máx}$ osciló entre 22 °C-25 °C y 23 °C- 25 °C y la $T_{mín}$ entre 7°C-12°C y 1.5°C-10°C, respectivamente. Morrison y Stewart (2002), mencionan que bajo condiciones controladas en invernadero, la temperatura superior a 27 °C incrementa la esterilidad de flores, mientras que la temperatura inferior afecta negativamente el RG debido a la reducción del número y tamaño de semilla por silicua (Ortegón *et al.*, 2006b). La precipitación pluvial estacional (PP) y la evaporación (EV) fue de 326 mm y 408 mm, respectivamente.

evapotranspiration (ET_c) was calculated by the equation: $ET_c = E_v * K * K_c$; where E_v = evaporation from tank type "A", K = coefficient tank (0.7) and K_c = crop coefficient (0.6) according to Doorenbos and Pruitt (1986). Heat accumulation was determined by heat units (UC, °C day) with equation $UC = T_{average} - T_b$ (Snyder, 1985), where T_b is the base temperature. For study purposes was considered a $T_b = 5$ °C (Morrison *et al.*, 1989).

ET_c / PP ratio was calculated to determine the degree of severity of water deficit (SDH) to which the crop was subjected, considering that a value lower than or equal to 1, the crop is not under SDH, since available water is greater or equal to the amount of water used by ET_c . The degree of SDH is higher when the values are greater than 1. Water use efficiency (EUA, $g m^{-2} mm^{-1}$) was calculated using the approach: $EUA = BT, RG$ and RA / ET_c ; where BT, RG and RA are total biomass, grain yield and oil yield, respectively; ET_c is seasonal crop evapotranspiration. The variables under study were subject to an analysis of variance (ANOVA) and comparison test of Tukey ($\alpha = 0.05$).

Results and discussion

Phenology and climate elements

Figure 1 presents the dynamics of climate elements, it is noted that during the vegetative and reproductive stage, T_{max} ranged from 22 °C to 25 °C and T_{min} between 7 °C - 12 °C and 1.5 °C - 10 °C, respectively. Morrison and Stewart (2002) mention that under controlled greenhouse conditions, at temperatures greater than 27 °C flower sterility increases, while lower temperature adversely affects RG due to a reduction in the number and size of seed per silique (Ortegón *et al.*, 2006b). Seasonal rainfall (PP) and evaporation (EV) was 326 mm and 408 mm, respectively.

Seasonal ET_c was 163 mm of which 69 mm occurred during the vegetative stage and 94 mm during reproductive stage. This indicates that evaporative demand was higher than the available water. As shown in Figure 2, the crop was under severe water deficit (higher SDH), particularly during the reproductive stage of siliques filling (period from MS80 to MT), limiting a higher expression of canola field, as has been reported by Olsson (1960) and Seyedmohammadi *et al.* (2011).

La ET_c estacional fue de 163 mm de los cuales 69 mm ocurrieron en la etapa vegetativa y 94 mm en la reproductiva. Esto indica que la demanda evaporativa fue superior a la disponibilidad de agua. Así como se observa en la Figura 2, el cultivo estuvo bajo déficit hídrico severo (SDH más alto), particularmente en la etapa reproductiva de llenado de silicuas (período de MS80 a MT), lo que limitó una mayor expresión del rendimiento de la canola, como ha sido reportado por Olsson (1960) y Seyedmohammadi *et al.* (2011).

El tiempo a ocurrencia de las fases fenológicas, el calor acumulado (UC, $^{\circ}Cd^{-1}$), y la evapotranspiración estacional del cultivo (ET_c , mm) fue similar entre tratamientos. La emergencia (E) del cultivo ocurrió a los 8 días después de la siembra (dds), el inicio del crecimiento del tallo (CT) a los 30 dds, el inicio de floración (IF) a los 47 dds, final de floración (FF) 67 dds, 50% a silicuas maduras (MS50) a los 84 dds, el 80% de las silicuas maduras a los 102 dds y la madurez total de silicuas (MT) o madurez fisiológica del cultivo (MF) a los 115 dds. En cada fase, las UC fueron de 107 a la E, 338 a CT, 517 a IF, 727 a FF, 905 a MS50, 1 094 a MS80 y 1 231 $^{\circ}Cd^{-1}$ a la MF.

Biomasa e índice de cosecha

Para la biomasa total (BT) y el índice de cosecha (IC) el ANDEVA presentó cambios significativos por efecto de G, N, DH y la interacción $G*N*DH$ (Cuadro 1). La mayor producción de BT correspondió a CII con 469 gm^{-2} , que superó a Westar y CI en 29% y 43%, respectivamente. Respecto al N, la canola con N presentó una BT más alta (508 gm^{-2}) y superó 92% al testigo (sin N). Tendencias semejantes se observaron al acortar la DH y consecuente aumento en DP, puesto que de ésta manera se cubre el suelo desde etapas tempranas de crecimiento, con la consecuente mayor radiación interceptada y mayor producción de BT. Esto ha sido reportado también en girasol por Escalante (1995) y frijol por Escalante *et al.* (2011). Por otra parte, en relación a la interacción $G*N*DH$, la BT más alta (920 gm^{-2}), se logró con la combinación CIIN+DC, seguido de WN+DC y CIN+DC con 713 gm^{-2} y 518 gm^{-2} , respectivamente (Cuadro 2). Esto indica que CII al sembrarlo con DC y N fue más eficiente en el uso del espacio, agua, nutrientes y radiación solar.

En cuanto al IC, el genotipo CI fue más eficiente en distribuir mayor cantidad de MS hacia el grano y mostró el IC más alto (24%) que fue superior en 20% y 33% al IC de CII y West, respectivamente (Cuadro 1). Sin embargo, como se presentará más adelante, esto no se reflejó en mayor RG. Por otra parte,

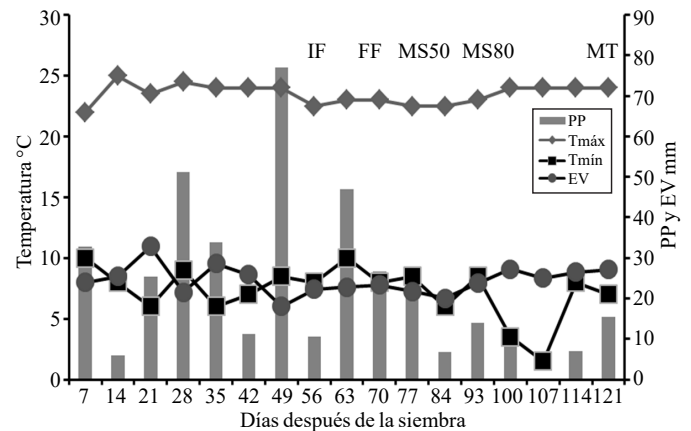


Figura 1. Dinámica de la media semanal de la temperatura máxima (Tmáx) y mínima (Tmín), suma semanal de la precipitación pluvial (PP,mm) y evaporación (EV,mm) durante el desarrollo del cultivo de canola. Montecillo, Estado de México. Verano 2011.

Figure 1. Dynamics of the weekly average maximum (Tmax) and minimum (Tmin) temperature, weekly amount of rainfall (PP, mm) and evaporation (EV, mm) during canola crop development. Montecillo, State of Mexico. Summer 2011.

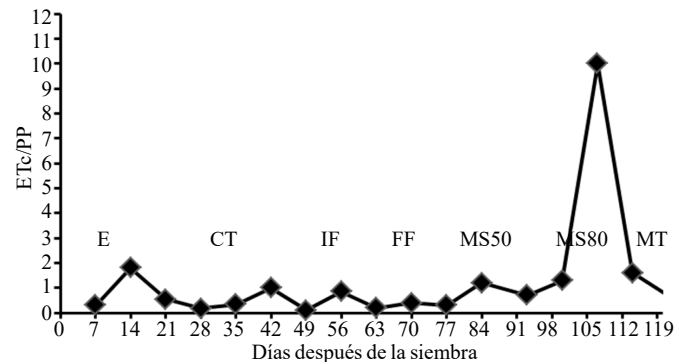


Figura 2. Dinámica del grado de severidad del déficit hídrico (SDH= ET_c/PP) durante el desarrollo del cultivo de canola. Montecillo, Estado de México. Verano 2011.

Figure 2. Dynamics of severe water deficit (SDH= ET_c / PP) during canola crop development. Montecillo, State of Mexico. Summer 2011.

The time to occurrence of phenological stages, accumulated heat (UC, $^{\circ}Cd^{-1}$), and seasonal crop evapotranspiration (ET_c , mm) was similar between treatments. Crop emergence (E) occurred 8 days after sowing (dds), beginning of stem growth (CT) at 30 dds, flowering initiation (IF) at 47 dds, end of flowering (FF) at 67 dds, 50% to mature siliques (MS50) at 84 dds, 80% of mature siliques at 102 dds and full maturity of siliques (MT) or physiological crop maturity (FM) at 115 dds. At each stage, UC were 107 at E, 338 at CT, 517 at IF, 727 at FF, 905 at MS50, 1094 at MS80 and 1231 $^{\circ}Cd^{-1}$ at MF.

el N influyó para que la canola mostrara IC más altos que el testigo. Respuesta semejante ha sido reportada en frijol (Escalante y Rodríguez, 2010) y haba (Escalante y Rodríguez, 2011). Dicho comportamiento posiblemente se debe a la formación de más órganos de demanda (silicuas y grano), los cuales manejan la distribución de MS hacia el grano.

Biomass and harvest index

For total biomass (BT) and harvest index (CI), ANOVA showed significant changes by effect of G, N, DH and interaction G*N*DH (Table 1). The highest BT production corresponded to CII with 469 gm⁻², which outperformed

Cuadro 1. Análisis de varianza en genotipos de Canola (*B.napus* L.) en función del nitrógeno y distancia entre hileras. Montecillo, Estado de México. Verano 2011.

Table 1. Analysis of variance in Canola genotypes (*B. napus* L.) in function of nitrogen and row spacing. Montecillo, State of Mexico. Summer 2011.

Factor	BT (gm ⁻²)	IC (%)	RG (gm ⁻²)	NG (m ⁻²)	PMG (g)	NT (m ⁻²)	CA (%)	RA (gm ⁻²)
G	*	*	**	**	NS	*	NS	**
N	***	NS	**	**	NS	*	NS	**
G*N	NS	NS	*	**	NS	NS	NS	*
DH	***	***	**	**	NS	***	NS	***
G*DH	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N*DH	*	NS	*	*	NS	NS	NS	*
G*N*DH	*	*	*	NS	NS	NS	NS	*

*, **, *** Diferencias significativas $p > 0.05, 0.01$ y 0.001 , respectivamente. NS= diferencias no significativas $p > 0.05$. G= genotipo; N= nitrógeno; DH= distancia entre hileras; BT= biomasa; IC= índice de cosecha; RG= rendimiento en grano; NG= número de granos m⁻²; PMG= peso de mil granos; NT= número de tallos m⁻²; CA= contenido de aceite en grano; y RA= rendimiento de aceite.

Cuadro 2. Biomasa, rendimiento y componentes de genotipos de canola en función de la distancia entre hileras de siembra y el nitrógeno (efectos principales). Montecillo, Estado de México. Verano 2011.

Table 2. Biomass, yield and yield components of canola genotypes in function of distance between sowing rows and nitrogen (main effects). Montecillo, State of Mexico. Summer 2011.

Trat	BT gm ⁻²	IC (%)	RG (gm ⁻²)	NG m ⁻² (miles)	PMG (g)	NG (m ⁻²)	NT (m ⁻²)	CA (%)	RA (gm ⁻²)
CII	469 a	20	107 a	26.7 a	4.0	1068 a	65 a	47	50 a
West	363 b	18	73 ab	19.7 b	3.7	788 b	44 b	48	35 ab
CI	327 b	24	62 b	15.9 c	3.9	636 c	58 a	47	29 b
Tukey $\alpha=0.05$	105	8	43	3	NS	98	10	2	18
N10	508 a	19 b	101 a	26.6 a	3.8	1064 a	65 a	47	48 a
N0	265 b	22 a	61 b	15.6 b	3.9	624 b	46 b	47	29 b
Tukey $\alpha=0.05$	57	2	11	5	NS	150	9	0.7	5
DC	558 a	23 a	121 a	31.0 a	3.9	1240 a	80 a	47	58 a
DA	215 b	18 b	40 b	10.5 b	3.8	420 b	31 b	47	19 b
Tukey $\alpha=0.05$	57	2	11	7	NS	162	9	0.7	5
Media general	387	21	81	20.8	3.9	832	56	47	38
CV (%)	24	16	23	10	12	15	28	2	23

Trat= tratamiento; BT= biomasa; IC= índice de cosecha; RG= rendimiento en grano; NG= número de granos m⁻²; PMG= peso de mil granos; NT= número de tallos m⁻²; CA= contenido de aceite en grano; y RA= rendimiento de aceite. CII, West y CI son los genotipos Canadá II, Wester y Canadá I; N0 y N10 sin y suministro de N de 100 kg ha⁻¹; DC y DA siembra a distancias entre hileras de 40 cm y 80 cm, respectivamente. En columnas valores con letra similar son estadísticamente iguales.

Así mismo, el acortamiento de la DH condujo a que la canola mostrara un IC más alto en relación a la siembra en DH amplia. Respecto a la interacción, el tratamiento CIIN0DC presentó el IC más alto con 30%, seguido del WN0DC con

Westar and CI by 29% and 43%, respectively. Regarding N, canola with N showed higher BT (508 gm⁻²) and exceeded by 92% the control (without N). Similar trends were observed by shortening DH and consequent increase in DP, as in

IC de 24% y CIN+DC con 22% y CIIN+DC con 21%. El IC más bajo (15%-18%) correspondió al tratamiento CIN+DA, WN+DA, CINODA, en general los G y N que se combinaron con DA (Cuadro 2).

Rendimiento en grano, rendimiento de aceite y sus componentes

El RG y NT mostraron diferencias significativas debido a G, N, DH y la interacción N*DH, G*N*DH (Cuadro 1). El genotipo CII fue el de mayor RG con 107 g m⁻² y superó 46% y 72% a West y CI, respectivamente. Con N, la canola presentó el RG más alto, posiblemente debido a la mayor demanda generada por el mayor número de granos y frutos (Escalante y Rodríguez, 2010). La canola sembrada a DC con el consecuente incremento en DP, presentó un RG más alto. Dichos resultados contrastan con los reportados por Díaz *et al.* (2011), quienes reportan que el RG del cv Monty, disminuyó conforme se incrementó la DP de 3 a 10 plantas m⁻², debido en primer instancia al diferente patrón de siembra que fue solamente de 0.80 m entre hileras y al material genético.

Cabe señalar que el efecto de la interacción G*N*DH fue determinado en mayor parte por la interacción N*DH dentro de cada genotipo. Así, el RG y RA más altos correspondieron a la combinación CIIN+DC con 197 gm⁻² y 92 gm⁻², que fue superior en 45 y 44%; y 74 y 73% a WN+DC y CIN+DC, respectivamente. Los valores más bajos (<40 gm⁻²) correspondieron a las siembras en DA, y las combinaciones CIN+DA, CIIN0DA, WN0DA, WN+DA y CIN0DA (Cuadro 3). Dichos incrementos en el RG y RA se relacionaron con incrementos en la BT, NG, NF y NT. El tamaño del grano (PMG) y el CA no fueron afectados por la interacción (Cuadro 3).

Relaciones entre el rendimiento y sus componentes

En el Cuadro 4, se observa que el RG y RA mostraron una relación alta con el NG, NF, NT y la BT. En contraste, la relación entre el RG con el tamaño del grano (representado aquí por PMG) y el CA fue baja y no significativa, esto indica que ambos componentes del RG presentan estabilidad ante cambios en la FN y DH. Así, para lograr incrementos en el RG de la canola, debe buscarse plantas con mayor tamaño del dosel (BT), mayor NT, NF y NG. Cabe señalar que al aplicar el procedimiento Stepwise, la variable que mejor explicó los cambios en el RG y RA fue el NF. Así, el modelo fue $RG = -0.49 + 0.098 NF$; con $R^2 = 0.99^{**}$; y la ecuación $RA = 0.25 + 0.046 NF$ con $R^2 = 0.99^{**}$ fue el mejor modelo para estimar el RG.

this way the soil is covered from early growth stages, with consequent higher intercepted radiation and increased BT production. This has also been reported for sunflower by Escalante (1995) and in beans by Escalante *et al.* (2011). Moreover, in relation to the interaction G*N*DH, the highest BT (920 gm⁻²) was achieved with the combination CIIN + DC, followed by WN + DC and CIN + DC with 713 gm⁻² and 518 gm⁻², respectively (Table 2). This indicates that by sowing CII with DC and N was more efficient in the use of space, water, nutrients and sunlight.

As for IC, genotype CI was more efficient in distributing larger amount of MS towards the grain and showed the highest IC (24%) which was higher by 20% and 33% to IC of CII and West, respectively (Table 1). However, as will be seen later, this was not reflected in higher RG. Moreover, N influenced canola to show higher IC than control. Similar response has been reported in beans (Escalante and Rodríguez, 2010) and broad bean (Escalante and Rodríguez, 2011). Such behavior is probably due to the formation of more demand organs (siliques and grain), which manage the distribution of MS towards grain.

Also, shortening DH led canola to show higher IC regarding planting under wide DH. Regarding the interaction, treatment CIIN0DC showed the highest IC with 30%, followed by WN0DC with IC of 24% and CIN + DC with 22% and CIIN + DC with 21%. The lowest IC (15% -18%) corresponded to treatment CIN+DA, WN+DA, CINODA, overall G and N that combined with DA (Table 2).

Grain yield, oil yield and its components

RG and NT showed significant differences due to G, N, DH and interaction N *DH, G*N*DH (Table 1). CII genotype had the highest RG with 107 g m⁻² and exceeded by 46% and 72% to West and CI, respectively. With N, canola had the highest RG, possibly due to increased demand generated by the larger number of grains and fruits (Escalante and Rodríguez, 2010). Canola planted at DC with consequent increase in DP, showed higher RG. These results contrast with those reported by Díaz *et al.* (2011), who report that RG from cv Monty, decreased as DP was increased from 3 to 10 plants m⁻², due in first instance to different planting pattern that was only 0.80 m between rows and genetic material.

Note that the effect of the interaction G*N*DH was determined mostly by the interaction N*DH within each genotype. Thus, the highest RG and RA corresponded to the

Cuadro 3. Biomasa, rendimiento y componentes en canola en función de la interacción genotipo, nitrógeno y distancia entre hileras de siembra. Montecillo, Estado de México. Verano 2011.

Table 3. Biomass yield and yield components of canola in function of genotype, nitrogen and distance between sowing rows interaction. Montecillo, State of Mexico. Summer 2011.

Trat	BT (gm ⁻²)	IC (%)	RG (gm ⁻²)	NG m ⁻² (miles)	PMG (g)	NF (m ⁻²)	NT(m ⁻²)	CA (%)	RA (gm ⁻²)
CIIN+DC	920 a	21 bc	197 a	49.2 a	4.1	1968a	111 a	47	92 a
WN+DC	713 ab	19 bc	136 b	36.7b	3.7	1468b	85 ab	48	65 b
CIN+DC	518 bc	22 abc	113 bc	28.9bc	3.9	1156bc	86 ab	47	53 bc
WN0DC	457 cd	24 ab	109 bc	29.4bc	3.7	1176bc	60 bcd	48	53 bc
CIIN+DA	494 cd	21 bc	103 bc	25.1bc	4.1	1004bc	54 cde	47	48 bc
CIIN0DC	310 cde	30a	93 bc	24.5bc	3.8	980bc	63 bcd	47	44 bc
CIN0DC	432 cd	19 bc	81 cd	19.3bc	4.2	772bc	77 abc	48	39 cd
CIN+DA	262 de	15 c	38 de	9.7de	3.9	388cd	40 cde	47	18 e
CIIN0DA	154 e	22 abc	34 de	8.3de	4.1	332cd	33 de	47	16 e
WN0DA	142 e	19 bc	27 e	7.9e	3.4	316d	18 e	48	13 e
WN+DA	142 e	16 bc	22 e	5.8e	3.8	232d	15 e	48	11 e
CIN0DA	98 e	18 bc	18 e	4.9e	3.7	196d	27 de	47	9 e
CV (%)	24	16	23	10	12	15	28	2	23
Media general	387	21	81	20.8	3.9	832	56	47	38
G*N*D	234	8	47	8	0.4	350	40	2.7	22

Tukey α = 0.05

G= genotipo; N= nitrógeno; DH= distancia entre hileras; Trat = tratamiento; BT= biomasa; IC= índice de cosecha; RG= rendimiento en grano; NG= número de granos m⁻²; PMG= peso de mil granos; NF= número de frutos o silicuas; NT= número de tallos m⁻²; CA= contenido de aceite en grano; y RA= rendimiento de aceite. CII, West y CI son los genotipos Canadá II, Wester y Canadá I; N0 y N+ sin y con suministro de N de 100 kg ha⁻¹; DC y DA siembra a distancias entre hileras de 40 cm y 80 cm, respectivamente. En columnas valores con letra similar son estadísticamente iguales.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación Pearson (r) entre el rendimiento en grano, rendimiento de aceite, biomasa, índice de cosecha y sus componentes en canola en función del genotipo, nitrógeno y distancia entre hileras. Montecillo, Estado de México. Verano 2011.

Table 4. Pearson correlation coefficients (r) between grain yield, oil yield, biomass, harvest index and its components in canola in function of the genotype, nitrogen and row spacing. Montecillo, State of Mexico. Summer 2011.

	BT	IC	RG	NG	PMG	NF	NT	CA	RA
BT		0.12NS	0.97**	0.97**	0.30NS	0.96**	0.92**	-0.13NS	0.97**
IC			0.34NS	0.34NS	-0.006NS	0.36NS	0.29NS	-0.31NS	0.34NS
RG				0.97**	0.27NS	0.97**	0.93**	-0.21NS	0.99**
NG					0.21NS	0.99**	0.92**	-0.17NS	0.99**
PMG						0.2NS	0.4NS	-0.49NS	0.26NS
NF								-0.17NS	0.98**
NT								-0.23NS	0.93**
CA									-0.85NS

BT= biomasa (gm⁻²); IC= índice de cosecha; RG= rendimiento en grano (gm⁻²); NG= número de granos m⁻²; PMG= peso de mil granos (g); NF= número de frutos o silicuas; NT= número de tallos m⁻²; CA= contenido de aceite en grano (%); y RA= rendimiento de aceite (gm⁻²). **, *** Diferencias significativas $p > 0.05$, 0.01 y 0.001, respectivamente. NS= diferencias no significativas $p > 0.05$.

Eficiencia en el uso del agua (EUA)

Para la eficiencia en el uso del agua (EUA) para RG (EUARG), RA (EUARA) y BT (EUAB), el ANDEVA mostró diferencias significativas entre genotipos (G),

combination CIIN+DC with 197 gm⁻² and 92 gm⁻², which was higher by 45 and 44%; and 74 and 73% to WN+DC and CIN+DC, respectively. The lowest values (<40 gm⁻²) corresponded to plantings in DA and combinations CIN+DA, CIIN0DA, WN0DA, WN+DA and CIN0DA

niveles de N, DH y por la interacción entre estos factores (Cuadro 5). En el Cuadro 6, se observa que CII fue el que presentó una EUA para RG, RA y BT, superior a West y CI que presentaron eficiencia similar. Así mismo, con N y la siembra a DC la EUA fue más alta. Dicha mayor EUA puede estar relacionada con el tamaño del dosel del cultivar, inducido además de la fertilización nitrogenada, por la siembra a distancias cortas, como también fue demostrado por Escalante (1995) en girasol. En cuanto a la interacción G*N*DH; el tratamiento que presentó la más alta EUA para RG, RA y BT fue CIIN+DC, seguida de WN+DC y CIN+DC. Los valores más bajos correspondieron a WN0DA, WN+DA y CIN0DA (Figuras 3). Cabe señalar que en general la EUA más alta se encontró en los genotipos con N y DC (Cuadro 6).

(Table 3). Such increases in RG and RA were associated with increases in BT, NG, NF and NT. Grain size (PMG) and CA were not affected by the interaction (Table 3).

Relations between yield and its components

Table 4 shows that RG and RA showed high relationship with NG, NF, NT and BT. In contrast, the relationship between RG with grain size (represented here by PMG) and CA was low and not significant, this indicates that both RG components exhibit stability to changes in FN and DH. Thus, to achieve increases in RG of canola, must seek plants with larger canopy (BT), higher NT, NF and NG. Note that by applying the Stepwise procedure, the variable that best

Cuadro 5. Análisis de varianza de la eficiencia en el uso del agua para biomasa, rendimiento en grano y aceite en genotipos de Canola (*B. napus* L.) en función del nitrógeno y distancia entre hileras. Montecillo, Estado de México. Verano 2011.

Table 5. Analysis of variance for water use efficiency in biomass, grain yield and oil in Canola genotypes (*B. napus* L.) in function of nitrogen and row spacing. Montecillo, State of Mexico. Summer 2011.

Factor	EUARG ($\text{gm}^{-2}\text{mm}^{-1}$)	EUARA ($\text{gm}^{-2}\text{mm}^{-1}$)	EUAB ($\text{gm}^{-2}\text{mm}^{-1}$)
G	***	***	**
N	**	**	***
G*N	NS	NS	*
DH	***	***	***
G*DH	***	***	***
N*DH	**	*	**
G*N*DH	**	*	**

*, **, *** Diferencias significativas $p > 0.05, 0.01$ y 0.001 , respectivamente. NS= diferencias no significativas $p > 0.05$. G= genotipo; N= nitrógeno; DH= distancia entre hileras. EUARG, EUARA y EUAB es la eficiencia en el uso del agua para rendimiento en grano, de aceite y biomasa, respectivamente.

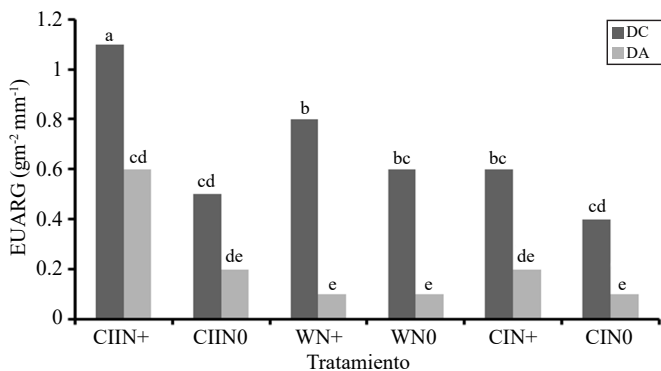


Figura 3. Eficiencia en el uso del agua para rendimiento de grano (EUARG, $\text{g m}^{-2}\text{mm}^{-1}$) en genotipos de canola en función del nitrógeno y distancia entre hileras de siembra. Montecillo, Estado de México. Verano 2011.

Figure 3. Water use efficiency for grain yield (EUARG, $\text{g m}^{-2}\text{mm}^{-1}$) of canola genotypes in function of nitrogen and planting distance between rows. Montecillo, State of Mexico. Summer 2011.

explained the changes in RG and RA was NF. Thus, the model was $\text{RG} = -0.49 + 0.098 \text{ NF}$; with $R^2 = 0.99^{**}$; and the equation $\text{RA} = 0.25 + 0.046 \text{ NF}$ with $R^2 = 0.99 \text{ NF}^{**}$ was the best model to estimate RG.

Water use efficiency (EUA)

Water use efficiency (EUA) for RG (EUARG), RA (EUARA) and BT (EUAB), ANOVA showed significant differences between genotypes (G), N levels, DH and by the interaction between these factors (Table 5). Table 6 shows that CII had a EUA for RG, RA and BT, higher than West and CI showing similar efficiency. Also, with N and planting at DC, EUA was higher. Such increased EUA may be related to the size of the canopy, also induced by nitrogen fertilization and by planting short distances, as was also demonstrated by Escalante (1995) in sunflower. As for the interaction G*N*DH; the treatment with highest EUA for RG, RA and

Finalmente, para la región de estudio, la mayor RG y RA del CII se relacionó con un mayor número de granos, silicuas, tallos y mayor eficiencia en el uso del agua y de la radiación generado por un mayor tamaño del dosel, como lo demuestra la BT más alta. Así mismo, con N y la siembra a DC se logró una EUA más alta, debido al incremento en el tamaño del dosel, como lo indica la BT más alta, lo que pudo conducir a una mayor cobertura del suelo desde las primeras etapas de desarrollo y en consecuencia mayor radiación interceptada como fue demostrado en girasol (Escalante, 2001) y frijol (Escalante y Rodríguez, 2011).

Conclusiones

Los días a ocurrencia para fases fenológicas no fueron afectados por la aplicación de nitrógeno y los cambios en distancia entre hileras de siembra, en los genotipos de canola estudiados. El genotipo Canadá II presenta una eficiencia en el uso del agua, biomasa, rendimiento de grano y aceite superior a Westar y Canadá I. Con la aplicación de nitrógeno y la siembra a distancias cortas entre hileras se logra mayor eficiencia en el uso del agua, biomasa, rendimiento tanto de grano y aceite. El genotipo Canadá II en siembras a distancias cortas con nitrógeno presenta la eficiencia en el uso del agua, biomasa, rendimiento de grano y aceite más altos. El número de silicuas fue el componente que mostró una mayor relación con el rendimiento. El contenido de aceite del grano no fue afectado por los tratamientos.

Literatura citada

- Aguilar, G. L.; Escalante, E. J. A.; Tijerina, Ch. L.; Engleman, E. M. y Fucikovsky, L. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra Latinoamericana*. 23(3):303-310.
- Díaz, H. R.; Jiménez, L. A. y González, H. A. 2011. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y usos en canola cultivar Monty. *Ciencias Agrícolas Informa*. 20(2):73-86.
- Doorenbos, J. y Pruiitt, W. O. 1986. Las necesidades del agua para los cultivos. Estudio FAO. Riego y drenaje. Manual 24. 194 p.
- Escalante, E. J. A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad*. 3:28-32.
- Escalante, E. J. A. 2001. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y nitrógeno en girasol de humedad residual. *Terra*. 19(1):19-27.
- Escalante, E. J. A. y Rodríguez, G. Ma. T. 2010. Biomasa, índice de cosecha y componentes del rendimiento en frijol y nitrógeno. *Revista Ciencias Agrícolas Informa*. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). 19(1):5-11.

BT was CIIN + DC, followed by WN+DC and CIN + DC. The lowest values corresponded to WN0DA, WN+DA and CIN0DA (Figure 3). It should be noted that overall the highest EUA was found in genotypes with N and DC (Table 6).

Finally, for the study region, the highest RG and RA from CII was associated with a greater number of grains, siliques, stems and greater water use efficiency and radiation generated by a larger canopy, as evidenced by the highest BT. Also, with N and planting at DC achieved higher EUA due to the increase in the size of the canopy, as indicated by the highest BT, which could lead to increased soil cover from early growth stages and as consequence higher intercepted radiation as demonstrated in sunflower (Escalante, 2001) and beans (Escalante and Rodríguez, 2011).

Conclusions

Days to occurrence of phenological stages were not affected by the nitrogen application and changes in distance between rows for canola genotypes under study. Canada II genotype showed a water use efficiency, biomass, grain yield and oil higher than Westar and Canada I. With nitrogen application and planting at short distances between rows achieves greater water use efficiency, biomass, both grain and oil yield. Canada II in plantings at short distances with nitrogen had the highest water use efficiency, biomass, grain yield and oil. The number of siliques was the component that showed greater relationship with yield. Grain oil content was not affected by treatments.

End of the English version



- Escalante, E. J. A. S. y Rodríguez, G. Ma. T. 2011. Biomasa y rendimiento en haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. *Ciencias Agrícolas Informa*. 20(1):16-25.
- Hernández, R.; González, A. y Rivera, P. 2008. El cultivo de la canola (*Brassica napus* y *B. rapa*) en el estado de Jalisco, México. I. Características Agronómicas. *Bioagro*. 20(3):185-191.
- Morris, H. D. 2004. Diet and risk of ischemic heart disease in India: *J. Clinic Nutr*. 79:582-592.
- Morriso, M. J.; McVetty, P. B. and Shaykewick C. F. 1989. The determination and verification of a baseline temperature for the growth of Westar summer rape. *Can. J. Plant Sci*. 69:455-464.
- Morrison, M. J. and Stewart, D. W. 2002. Heat stress during flowering in summer *Brassica*. *Crop Sci*. 42:797-803.
- Muñoz, V. S.; Buzza, G. and Avalos, P. R. 2002. Performance of canola in southern Sonora, Mexico. *In: Janick, J. and Whipkey, A. (Eds). Trends in new crops and new uses*. ASHS Press. Alexandria, VA. 131-134 pp.

- Olsson, G. 1960. Some relations between number seeds per pod, seed size and oil content and the effects of selection for these characters in *Brassica* and *Sinapsis*. *Hereditas*. 46:27-70.
- Ortegón, M. A.; Díaz F. A. y Rodríguez, C. A. 2002. Rendimiento de híbridos de canola (*Brassica napus* L.) en diferentes métodos de siembra. *Agr. Téc. Méx.* 28:151-158.
- Ortegón, M. A. S.; Díaz F. A. y Ramírez, de L. A. 2006a. Rendimiento y calidad de semilla de variedades e híbridos de canola en el norte de Tamaulipas, México. *Rev. Fitotec. Méx.* 29(2):181-186.
- Ortegón, M. A. S.; Díaz F. A.; González, Q. J. y Garza, C. 2006b. La temperatura en la etapa reproductiva del cultivo de canola (*Brassica napus* L.). *Agric. Téc. Méx.* 32(3):259-265.
- Panozzo, L. E.; Zuchi, J.; da Silva, F. D.; Barros, P. L.; Fernandes dos Santos, D. F. C.; Silva, B. W. and Omar, T. G. 2014. Evaluation of some hybrids of canola in function of sowing dates in Viçosa, MG, Brazil. *Afric. J. Agric. Res.* 9. (32):2488-2494.
- Pass, E. and Pierce, G. 2002. Canola oil national centre for agri- food research in medicine. St. Boniface General Hospital Research. Winnipeg, Manitoba, Canada. 1-18 pp.
- Seyedmohammadi, N. S.; Allahdadi, I.; Seyedmohammadi, S. A. and Sarafraz E. 2011. Effect of different amounts and irrigation intervals on some agronomic characteristics of spring canola varieties (*Brassica napus* L.). *Int. J. AgriSci.* 1(1):26-31.
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agric. Forest Meteorol.* 35:353-358.
- Starner, D. E.; Hamama, A. A. and Bhardwaj, H. I. 1999. Canola oil yield and quality as affected by production practices in Virginia. *In: Perspectives on New Crop and New Uses*. J. Janick (Ed). ASHS Press, Alexandria; VA: 254-256.
- Servicio de Alimentación Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2011. http://www.siap.gob.mx/aagricola_siap/ientidad/index.jsp.