Producción de girasol (*Helianthus annuus* L.) en valles altos de México

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) production at México highlands

J. Alberto Escalante-Estrada, M^a Teresa Rodríguez-González.

Postgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo Méx. Mpio de Texcoco 56230. Méx. México. E-mail: jasee@colpos; mate @colpos.mx

RESUMEN

El girasol (*Helianthus annuus* L.), por su uso integral, es un recurso genético potencial para valles altos, donde los cambios en la producción están ligados al manejo del cultivo y las condiciones ambientales. El objetivo de este estudio fue determinar la variación de la fenología, biomasa total, rendimiento de aceite y semilla, contenido de aceite de la semilla y su relación con factores e índices climáticos durante 1992 a 2001. El cv. Victoria de girasol se sembró en Montecillo México (clima BS1 y 2240 m de altitud) bajo condiciones de temporal, a la densidad de 5 plantas m⁻² en surcos a 80 cm y con orientación este-oeste en las fechas siguientes: (I) 20/5/1992; (II) 01/5/1995; (III) 18/5/1996 ; (IV) 13/5/1997; (V) 01/6/1998; (VI) 26/5/1999; y (VII) 22/5/2001. La fenología mostró cambios debidos a fecha de siembra. El rendimiento de aceite mostró mayor variabilidad (cv=45%), seguido del de semilla (cv=40%), la biomasa total (cv=20%), el contenido de aceite de la semilla (6%) y la radiación fotosintéticamente activa (RFA, cv=8%), la evapotranspiración de cultivo (ETc, cv=6%) y las unidades calor (cv=4%), siendo en promedio de 100 g m⁻², 256 g m⁻², 1,224 g m⁻², 38%, 1,111 MJ m⁻², 360 mm, y 1402 UC, respectivamente. Los cambios en la biomasa total pueden estimarse mediante la ETc, y el rendimiento de semilla mediante la ETc, RFA y la humedad relativa mínima.

Palabras clave: biomasa – contenido de aceite - evapotranspiración - rendimiento - unidades calor.

ABSTRACT

The integral use of the sunflower (*Helianthus annuus* L.) is an important potential genetic resource for the highlands, where crop production changes are linked to management practices and environmental conditions. The aim of this study was to determine the phenology, total biomass, seed yield, oil yield and seed oil content of sunflower and their relation with climate factors and indices from 1992 to 2001. The sunflower cv. Victoria was sown in Montecillo Méx (climate BS1 and 2240 m of altitude) in the following dates: (I) 20/5/1992; (II) 01/5/1995; (III) 18/5/1996; (IV) 13/5/1997; (V) 01/6/1998; (VI) 26/5/1999; y (VII) 22/5/2001. The phenology was affected by sowing date. The oil yield variability was the highest (cv=45%), followed by seed yield (cv=40%), total biomass (cv=20%), oil seed (cv=6%), the radiation photosynthetically active (PAR, cv=8%), heat units (cv=4%) and the evapotranspiration (ETc, cv=6%) with mean values of 100 g m⁻², 256 g m⁻², 1224 g m⁻², 38% , 1111 MJ m⁻², 1402 UC and 360 mm, respectively. Total biomass changes can be estimated by the ETc, and seed yield by the ETc, PAR and minimum relative humidity.

Key words: biomass – evapotranspiration – heat units – oil seed - yield.

INTRODUCCIÓN

El girasol (*Helianthus annuus* L.) es un recurso genético cuyas semillas son ricas en aceite para consumo humano (como aceites para usos culinarios, elaboración de margarinas y confitería). Tiene también usos industriales (producción de ceras, fosfatina, lecitinas y tocoferoles), ornamentales y para alimento del ganado (Alba y Llanos, 1990) y aves. Además de uso potencial como biocombustible. Se estima que por hectárea se pueden producir 890 L de biodiesel, (Biodiesel Uruguay, 2007; Kavalov y Jensen, 2000). Rodríguez et al. (1998) mencionan el uso de los residuos de girasol aplicados al suelo para el control de la maleza que de manera natural emergen en los cultivos. No obstante el uso integral de la planta y de que las condiciones de clima y suelo no parecen ser limitantes para el girasol en México, su cultivo no es muy extensivo y solo se siembra en algunos estados del país (Baja California, Tamaulipas, Nayarit, Jalisco y Durango) con un rendimiento medio de semilla de 0.8 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2000), donde el manejo del

cultivo y las condiciones del clima son cruciales para determinar la producción de girasol. Así, el objetivo del presente estudio fue determinar el grado de variación de la fenología, biomasa total, rendimiento de semilla, contenido de aceite y rendimiento de aceite del girasol de temporal en valles altos y su relación con factores e índices del clima durante el período 1992-2001.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Montecillo Méx., (clima BS1, el menos seco de los áridos y 2,240 m de altitud) donde una reproducción del cv. Victoria se sembró bajo condiciones de temporal, a la densidad de 5 plantas m⁻² en surcos a 80 cm con orientación este-oeste y fertilización de 100-100-00 de NPK en las fechas siguientes: (I) 20/5/1992; (II) 01/5/1995; (III) 18/5/1996 ; (IV) 13/5/1997; (V) 01/6/1998; (VI) 26/5/1999; y (VII) 22/5/2001 en un suelo Fluvisol mólico (Flm) de textura arcillosa, 2% de materia orgánica, pH 7.5-8.0 y sin problemas de salinidad. En cada año se evaluó la fenología de acuerdo con el criterio de Schneiter y Miller (1981), biomasa total (materia seca, g m⁻²), rendimiento de semilla (materia seca, g m⁻²), el índice de cosecha (IC) como una medida de eficiencia de la acumulación de materia seca en la semilla en relación a la total, el contenido de aceite en la semilla (%) mediante resonancia magnética nuclear (Granlund y Zimmerman, 1975), utilizando un analizador modelo MKTIIA (Newport Instruments Bucks G. B.). El rendimiento de aceite se calculó mediante el rendimiento de semilla y el contenido de aceite de la semilla (%), la evapotranspiración del cultivo (ETc) como una medida que estima el requerimiento hídrico para el crecimiento, mediante la evaporación del tanque de tipo A (Ev), utilizando 0.6 como coeficiente de tanque (Kt) y 0.8 como coeficiente de cultivo (Kc) y el planteamiento: Etc= Ev*Kt*Kc (Doorenbos y Pruitt, 1986). Las unidades calor (UC) se calcularon mediante el método residual (Snyder, 1985) tomando como temperatura base 6 °C. La radiación fotosintéticamente activa (RFA, MJ m⁻²), la evaporación del tanque tipo A, la temperatura media máxima (Tmáx) y mínima (Tmín), y la humedad relativa máxima (HR máx) y mínima (HR mín) fueron proporcionadas por la estación agrometeorológica del Colegio de Postgraduados. A cada variable en estudio se le determinó la media y el coeficiente de variación (cv %) y un análisis de correlación entre las variables en estudio y regresión múltiple procedimiento paso a paso para determinar el mejor modelo que estime la producción de biomasa y el rendimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Factores e índices climáticos

En los años de estudio la oscilación de la media estacional de la Tmáx fue de 27.3 y 29.3 °C; la T mín entre 6.6 y 9.4 °C; la HR máx entre 93 y 98%, la HRmín entre 32.9 y 44.8%; la ETc fluctuó entre 329 y 393 mm, las UC entre 1353 y 1503 °C y la RFA entre 1017 y 1259 MJ m⁻² (Tabla 1).

Tabla 1. Factores e índices del clima durante el desarrollo del girasol (*Helianthus annuus* L.) cv. Victoria durante 1992-2001. Suma y promedio estacional

Experimento	ETc mm	UC °C	RFA MJm ⁻²	Tmáx °C	Tmín °C	HRmáx %	HRmín %
	Σ	Σ	Σ				
I) 1992	329	1353	1017	28.2	8.4	96.8	41.2
II) 1995	380	1450	1168	28.5	8.5	97.2	40.4
III) 1996	393	1371	1259	27.3	7.5	96.4	34.3
IV) 1997	367	1379	1143	28.5	7.9	95.3	32.9
V) 1998	331	1503	1036	29.3	9.4	93.0	37.5
VI) 1999	358	1374	1076	28.0	6.6	93.5	39.0
VII) 2001	362	1488	1079	28.8	8.0	98.0	44.8
Media	360	1417	1111	28.4	8.0	95.7	38.6
S	24	62	84	0.63	0.87	1.9	4.1
CV (%)	6	4	8	2.2	10.8	2.0	10.6

S=desviación estándar; cv (%)= coeficiente de variación

Fenología, biomasa, índice de cosecha, rendimiento de aceite y sus componentes

La fenología del girasol cv. Victoria mostró cambios entre años de estudio. Así, la emergencia (Ve) ocurrió entre los 7 a 12 días después de la siembra (dds), el inicio de floración (R5) entre los 77 y 84 dds y la madurez fisiológica (R9) entre los 113 y 120 dds (Ve, R5 y R9 son etapas fenológicas; Schneiter y Miller, 1981). En la Tabla 2 se observa que durante el período de estudio, el rendimiento de aceite mostró mayor variabilidad (cv=45%), seguida del rendimiento de semilla (cv=40%), la biomasa (cv=20%) y el contenido de aceite de la semilla (cv=6%). El índice de cosecha (IC) mostró valores entre 11 y 23% (cv=23%), donde los valores más bajos de IC son indicativos de una posible limitada disponibilidad de agua durante el período reproductivo que generó una menor acumulación de materia seca en la semilla (Escalante, 1999). El promedio de biomasa total, rendimiento de semilla, de aceite y contenido de aceite durante el período de estudio fueron de 1,430 g m⁻², 256 g m⁻², 100 g m⁻² y 38%, respectivamente. La más baja variabilidad en el contenido de aceite en la semilla, sugiere que para lograr incrementos en la producción de aceite a nivel de superficie, se requiere buscar incrementos en la acumulación de materia seca en la semilla.

Tabla 2. Biomasa total (g m⁻²), índice de cosecha (IC), rendimiento de semilla (g m⁻²), contenido de aceite (%) y rendimiento de aceite (g m⁻²) en girasol, cv. Victoria, en Montecillo Méx. de 1992 a 2001.

Experimento	Biomasa g m ⁻²	Rendimiento de semilla g m ⁻²	IC (%)	Aceite semilla (%)	Rendimiento de aceite g m ⁻²
(I) 1992	1,050	120	11	36	43
(II) 1995	1,675	336	20	42	141
(III) 1996	1,840	370	20	41	152
(IV) 1997	1,511	352	23	39	137
(V) 1998	1,075	151	14	36	54
(VI) 1999	1,403	271	19	37	100
(VII) 2001	1,456	191	13	37	71
Media	1,430	256	17	38	100
S ¹	290	102	4	2	44
cv (%)	20	40	23	6	45

¹S=desviación estándar; cv= coeficiente de variación.

Relaciones entre la biomasa, el rendimiento y la ETc, UC y RFA

Los resultados del análisis de correlación presentados en la Tabla 3, indican que la biomasa, el rendimiento de aceite y de semilla presentaron una correlación alta con la ETc y la RFA. Asimismo, el contenido de aceite en la semilla está altamente asociado con los cambios en la producción de biomasa y el rendimiento de semilla, lo que sugiere que la mayor producción de materia seca y de aceite en girasol cv. Victoria estuvieron afectados por la disponibilidad de agua y la capacidad del dosel en la intercepción de la radiación solar (Escalante, 1992).

Tabla 3. Coeficiente de correlación (r) entre la biomasa (Bio), índice de cosecha (IC), rendimiento de semilla (Ren) y aceite (RA), contenido de aceite en la semilla (aceite), evapotranspiración (ETc) y la radiación fotosintéticamente activa (RFA) estacional en girasol cv. Victoria. 1992-2001.

	Bio	Ren	IC	aceite	RA	ETc	RFA
Bio	-----	0.90***	0.73*	0.88**	0.92***	0.99***	0.94***
Ren	0.90**	-----	0.94**	0.86*	0.99***	0.91**	0.91***
IC	0.72*	0.94***	-----	0.72*	0.92***	0.73*	0.73*
aceite	0.88***	0.87*	0.72*	-----	0.91**	0.89**	0.89**
RA	0.92***	0.99***	0.92***	0.91***	-----	0.92***	0.92**
ETc	0.99***	0.91***	0.73*	0.89**	0.89**	-----	0.94**
RFA	0.95***	0.90**	0.73*	0.89**	0.89**	0.94***	-----

*, **, *** Prob <0.05, 0.01, 0.001, respectivamente.

Por otra parte, la acumulación de calor estacional y la producción de biomasa y el rendimiento mostraron una relación cuadrática. Las ecuaciones que describen dichas relaciones son: Biomasa= -25254+356.8 UC-0.125 UC²; R²=0.63*; y el Rendimiento=-90898+128.3UC-0.045UC²; R²=0.73**.

Dicha relación también fue encontrada en frijol por Escalante et al. (2001) y sugiere la existencia de uno o más factores que limitan una mayor respuesta del girasol al calor acumulado, donde deben de considerarse en primera instancia ajustes en las prácticas de manejo del cultivo.

Modelo para estimar la biomasa, rendimiento de aceite y sus componentes en función de los índices y factores del clima

De los índices y factores del clima que mejor estiman la biomasa y el rendimiento de aceite y sus componentes tenemos a la ETc, RFA y HRmín. Las ecuaciones que mostraron un coeficiente de determinación (R²) superior a 0.80 se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Modelo para estimar la biomasa, rendimiento de aceite y sus componentes en función de los índices y factores del clima. Selección con base al procedimiento “paso a paso”.

Variable	Ecuación	R ²
Biomasa (g m ⁻²)	Biomasa=-2997.74+12.29 ETc	0.99***
Rendimiento de semilla (g m ⁻²)	Ren= - 428.2+6.6ETc-1.039RFA-14.38HRmín	0.97***
Índice de cosecha	IC=20.48+0.40ETc-0.95RFA-1.08HRmín	0.95***
Aceite en la semilla (%)	Aceite=9.68+0.025RFA	0.80**
Rendimiento de aceite (g m ⁻²)	RA=-441.01+0.4869RFA	0.85**

,* P<0.01, 0.001, respectivamente; Ren= rendimiento de semilla; ETc= evapotranspiración estacional; RFA=radiación fotosintéticamente activa; HRmín= humedad relativa mínima; IC=índice de cosecha; RA=rendimiento de aceite.

Finalmente, en concordancia con Dirks y Bolton (1981), este tipo de estudios pueden contribuir al conocimiento de los principales factores ambientales de riesgo para la producción en cada región agrícola, así como apoyar a la generación de modelos de predicción de rendimiento.

CONCLUSIONES

Durante el período de 1992 a 2001 en la región de influencia de Montecillo Méx., la ocurrencia de las etapas fenológicas es variable. Asimismo, la variabilidad del rendimiento de aceite y de semilla es mayor que la de la biomasa. El contenido de aceite de la semilla muestra mayor estabilidad. Los cambios en la biomasa presentan una relación alta con la evapotranspiración, de manera que éste índice puede considerarse como un estimador apropiado de la producción de materia seca total. El rendimiento del girasol cv Victoria puede estimarse en función de la evapotranspiración, radiación fotosintéticamente activa y la humedad relativa mínima.

REFERENCIAS

- Alba, O.J., and M. Llanos. 1990. El cultivo del girasol. Agroguias Mundiprensa, Ediciones Mundiprensa. Madrid, Spain. 160 p.
- Biodiesel Uruguay. 2007. Rendimiento de cultivos oleaginosos por hectárea aptos para biodiesel (en línea). Consultado 27 octubre 2007. www.ergomix.com.
- Dirks, V.A., and E.F. Bolton. 1981. Climatic factors contributing to year to year variation in grain yield of corn on Brookston clay. Can. J. Plant Sci. 61:293-305.
- Doorenbos, J., and W.O. Pruitt. 1986. Las necesidades de agua por los cultivos. FAO: Riego y Drenaje. Manual 24. Roma, Italy.
- Escalante Estrada, J. 1992. Interacciones entre el nitrógeno y densidad de siembra en el cultivo del girasol (*Helianthus annuus* L.) bajo suministro limitado de agua. Tesis de Doctor Ingeniero agrónomo. Universidad de Córdoba. Córdoba, Spain.
- Escalante Estrada, J.A. 1999. Área foliar, senescencia, y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. TERRA 17(2):149-157.
- Escalante-Estrada, J.A., L.E. Escalante-E. y M.T. Rodríguez. 2001. Producción de frijol en dos épocas de siembra: su relación con la evapotranspiración, unidades calor y radiación solar en clima cálido. TERRA 19(4):309-315.

- Granlund, M., and D.C. Zimmerman. 1975. Oil content of sunflower seeds as determined by wide-line nuclear magnetic resonance (NMR). *Proc. ND Acad. Sci.* 27:128-133.
- Kavalov, B., and P. Jensen. 2000. Potencial de producción de biocombustibles en los países candidatos a la Unión Europea (en línea). Consultado el 27 octubre 2007. www.jrc.es.
- Rodríguez, M.T., J.A. Escalante-E., and L. Aguilar. 1998. Control de maleza con productos de girasol (*Helianthus annuus* L.). p:24-26. In: Memorias del XIX Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza. Mexicali BC. México.
- SAGARPA 2000. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. p. 358-359.
- Schneiter, A.A., and J. Miller. 1981. Description of sunflower stages. *Crop Sci.* 21:901-903.
- Snyder, R.I. 1985. Hand calculating degree days. *Agric For. Meteorol.* 35:353-358.