



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN BOTÁNICA

**CALIDAD DE RENDIMIENTO DE GIRASOL EN
FUNCIÓN DEL MANEJO Y POTENCIAL PRODUCTIVO
DEL SUELO**

YASMANI RAFAEL ARENAS JULIO

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

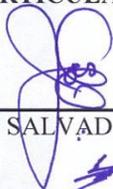
2015

La presente tesis titulada “**Calidad de rendimiento de girasol en función del manejo y potencial productivo del suelo**”, realizada por el alumno **Yasmani Rafael Arenas Julio**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
BOTÁNICA**

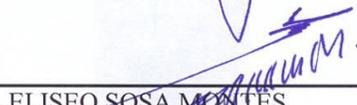
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



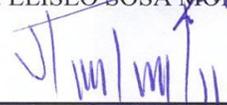
DR. JOSÉ ALBERTO SALVADOR ESCALANTE ESTRADA

ASESOR



DR. ELISEO SOSA MONTES

ASESOR



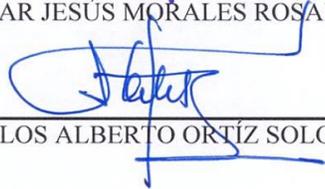
DR. VÍCTOR HUGO VOLKE HALLER

ASESOR



DR. EDGAR JESÚS MORALES ROSALES

ASESOR



DR. CARLOS ALBERTO ORTÍZ SOLORIO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo de 2015

CALIDAD DE RENDIMIENTO DE GIRASOL EN FUNCIÓN DEL MANEJO Y POTENCIAL PRODUCTIVO DEL SUELO

Yasmani Rafael Arenas Julio, Dr.

Colegio de postgraduados, 2015

El estudio se desarrolló en los ciclos de producción 2011 y 2012, en Montecillo Texcoco, Estado de México. En 2011 se evaluó el efecto del tipo de suelo (S), nitrógeno (N) y densidad de población (DP) sobre el rendimiento de grano (RG), biomasa total (BT) y calidad nutrimental en girasol. Para 2012 se evaluó el efecto de S, biofertilización (BIO) y N. Los resultados indican que en suelo con textura franco arenosa, pH de 7.1 y una conductividad eléctrica (CE) de 0.49 dS m^{-1} , con $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ y a una DP de 12 plantas m^{-2} , se logró el mayor RG (437 g^{-2}) y BT (2173 g m^{-2}), esto como consecuencia de aumentos en el tamaño del dosel vegetal, mayor tasa de asimilación neta y tasa de crecimiento absoluto. Con el BIO y N en un suelo de textura franco arenoso, pH de 7.1 y CE de 0.49 dS m^{-1} , se logró un RG de 425 g m^{-2} y BT de 1453 g m^{-2} , superior a la siembra sin BIO, sin N y en un suelo con textura franco arcilloso limoso, pH de 7.8 y CE de 1.75 dS m^{-1} . Con N y DP baja, se observó mayor concentración de proteína, minerales y menor contenido de fibras en semillas de girasol. En 2011, se estudió la aplicación de N, DP y su combinación sobre el crecimiento, RG, BT y calidad nutrimental del grano del girasol. En 2012, se evaluó el efecto del BIO (con y sin) y dosis de N (N_0 y $\text{N}_{100} \text{ kg ha}^{-1}$) sobre la producción RG y BT. Los resultados muestran que con la combinación de BIO y $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$, se presentó el RG y BT más alto, respecto al testigo en donde no se le aplicó el BIO y 0 kg de N .

Palabras clave: fertilización, densidad de población, calidad nutrimental, rendimiento de grano y biomasa total.

SUNFLOWER YIELD QUALITY BASED ON MANAGEMENT AND PRODUCTIVE POTENTIAL SOIL

Yasmani Rafael Arenas Julio, Dr

Colegio de Postgraduados

The study was conducted in production cycles 2011 and 2012 in Montecillo Texcoco, Mexico State. In 2011 soil type effect (S), nitrogen (N) and population density (DP) on grain yield (RG), total biomass (BT) and nutritional quality sunflower was evaluated. For 2012 the effect of S, biofertilization (BIO) and N. evaluated results indicate that in sandy loam soil texture, pH of 7.1 and an electrical conductivity (EC) of 0.49 dS m^{-1} , 100 kg N ha^{-1} and one DP 12 plants m^{-2} , achieved the highest RG (437 g m^{-2}) and BT (2173 g m^{-2}), as a consequence of increases in the size of the canopy, higher net assimilation rate and absolute growth rate. With BIO and N on a sandy loam soil texture, pH 7.1 and EC of 0.49 dS m^{-1} , RG 425 g m^{-2} and BT 1453 g m^{-2} , than planting was achieved without BIO without N and a silty clay loam soil texture, pH 7.8 and EC of 1.75 dS m^{-1} . N and DP low, higher concentration of protein, minerals and fiber content of less sunflower seeds was observed. In 2011, the application of N, DP and their combination on growth, RG, BT and nutritional quality of grain sunflower was studied. In 2012, the effect of BIO (with and without) and doses of N (N_0 and $\text{N}_{100} \text{ kg ha}^{-1}$) on production and BT RG was assessed. The results show that the combination of BIO and 100 kg N ha^{-1} , was presented the RG and higher BT, compared to the control where you can not apply the BIO and 0 kg of N.

Key words: fertilization, population density, nutritional quality, grain yield and total biomass.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida y permitirme culminar una meta más en mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de doctorado.

Al Colegio de Postgraduados, por la oportunidad de forjar mi formación académica.

Al Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada, por sus consejos, su apoyo incondicional en mi formación académica y por la dirección brindada de la tesis doctoral.

Al Dr. Eliseo Sosa Montes, por sus asesorías, por el apoyo en el análisis de laboratorio y su amistad.

Al Dr. Víctor Hugo Volke Haller, por sus valiosas observaciones para mejorar esta tesis.

Al Dr. Edgar Jesús Morales Rosales, por su amistad, y sugerencias para la mejora de mi investigación.

Al Dr. Carlos Alberto Ortiz Solorio, por las observaciones a esta tesis.

A la M. C. Ma. Teresa Rodríguez González, por su valiosa amistad, por su motivación y consejos durante el estudio doctoral.

A mis compañeros de Ecofisiología, con los que compartí momentos agradables durante mi estancia.

DEDICATORIAS

A mis padres Gloria Julio y Felipe Arenas, por su amor y apoyo incondicional en las decisiones tomadas durante mi vida.

A mi esposa Yuly Anna, por su amor, su comprensión, su confianza y apoyo incondicional en esta etapa de mi vida.

A mi hija Ytayetzi, mi gran tesoro, eres el impulso de seguir adelante.

A mis hermanos José Armando, Álvaro y Ana Araceli, por su cariño y apoyo constante.

A la familia Julio Xingú, por brindarme su apoyo en todo momento.

A mis profesores, que contribuyeron en mi formación académica.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN GENERAL	ii
GENERAL ABSTRACT	iii
LISTA DE CUADROS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xviii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
LITERATURA CITADA.....	3
ANTECEDENTES GENERALES DEL GIRASOL	6
Perspectiva histórica y origen geográfico.....	6
Clasificación botánica.....	8
Descripción morfológica.....	8
Etapas fenológicas.....	10
Etapas de siembra-emergencia (S-VE).....	11
Etapas de emergencia- iniciación floral (VE-V6).....	11
Etapas de iniciación floral- floración (V6-R5).....	12
Etapas de floración-madurez fisiológica (R5-R9).....	13
Condiciones ecológicas.....	15
Condiciones edafológicas.....	16
Importancia económica.....	17
Fototropismo y heliotropismo en el girasol.....	18
Alelopatía.....	18
Plagas y enfermedades.....	18
Pájaros.....	19

Insectos.....	20
Tipos de gusanos.....	22
Enfermedades.....	23
LITERATURA CITADA.....	24
CAPÍTULO I. PRODUCCIÓN DE GIRASOL EN FUNCIÓN DEL TIPO DE SUELO, NITRÓGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN.....	27
RESUMEN.....	28
ABSTRACT.....	29
INTRODUCCIÓN.....	30
MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
Elementos del clima.....	34
Fenología.....	34
Unidades Calor.....	35
Evapotranspiración (ETc).....	36
Biomasa total (BT).....	38
Índice de cosecha (IC).....	40
Rendimiento de grano (RG), peso de 100 semillas (P100S) y área de capítulo (AC)...	42
CONCLUSIONES.....	47
LITERATURA CITADA.....	48
CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE GIRASOL EN RELACIÓN AL NITRÓGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN.....	52
RESUMEN.....	53

ABSTRACT.....	54
INTRODUCCIÓN.....	55
MATERIALES Y MÉTODOS.....	57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
Clima y fenología.....	60
Índices de análisis de crecimiento.....	63
Índice de área foliar (IAF).....	63
Duración de área foliar total (DAFT).....	63
Tasa media de asimilación neta (TAN).....	64
Tasa media de crecimiento absoluto (TCA).....	64
Tasa media de crecimiento relativo (TCR).....	65
Tasa de crecimiento del cultivo (TCC).....	65
Biomasa total (BT).....	66
Rendimiento y sus componentes.....	69
CONCLUSIONES.....	70
LITERATURA CITADA.....	70
 CAPÍTULO III. EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA, EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO, RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD ECONÓMICA DE GIRASOL EN FUNCIÓN AL NITROGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN.....	 73
RESUMEN.....	74
ABSTRACT.....	75
INTRODUCCIÓN.....	76
MATERIALES Y MÉTODOS.....	78

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	80
Clima y fenología.....	80
Unidades Calor.....	81
Evapotranspiración (ETc).....	82
Biomasa total (BT).....	83
Rendimiento y sus componentes.....	84
Eficiencia en el uso del agua (EUA).....	85
Eficiencia agronómica del N.....	87
Rentabilidad económica.....	89
CONCLUSIONES.....	89
LITERATURA CITADA.....	90
CAPÍTULO IV. RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRIMENTAL DE GIRASOL EN FUNCIÓN AL NITRÓGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN.....	94
RESUMEN.....	95
ABSTRACT.....	96
INTRODUCCIÓN.....	97
MATERIALES Y MÉTODOS.....	98
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	99
Clima y fenología.....	99
Unidades Calor.....	101
Evapotranspiración (ETc).....	102
Biomasa total (BT).....	102
Rendimiento de grano (RG) y sus componentes.....	103

Calidad nutrimental del grano del girasol.....	104
CONCLUSIÓN.....	106
LITERATURA CITADA.....	107
CAPÍTULO V. BIOMASA Y RENDIMIENTO EN DOS GENOTIPOS DE GIRASOL EN FUNCIÓN DEL NITRÓGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN.....	109
RESUMEN.....	110
ABSTRACT.....	111
INTRODUCCIÓN.....	112
MATERIALES Y MÉTODOS.....	114
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	115
Elementos del clima.....	115
Fenología.....	115
Unidades Calor.....	116
Evapotranspiración (ETc).....	117
Análisis de varianza.....	118
Biomasa total (BT).....	119
Índice de cosecha (IC).....	121
Rendimiento de grano (RG), peso de 100 semillas (P100S) y área de capítulo (AC)...	122
CONCLUSIONES.....	125
LITERATURA CITADA.....	126
CAPÍTULO VI. RENDIMIENTO Y BIOMASA DE GIRASOL EN FUNCIÓN DEL TIPO DE SUELO, BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO.....	130

RESUMEN.....	131
ABSTRACT.....	132
INTRODUCCIÓN.....	133
MATERIALES Y MÉTODOS.....	136
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	137
Elementos del clima.....	137
Fenología.....	137
Unidades Calor.....	138
Evapotranspiración (ETc).....	139
Análisis de varianza.....	140
Biomasa total (BT).....	141
Rendimiento de grano (RG).....	143
CONCLUSIONES.....	144
LITERATURA CITADA.....	145
CAPÍTULO VII. CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DE GIRASOL EN FUNCIÓN DEL SUELO, NITRÓGENO Y BIOFERTILIZANTE.....	148
RESUMEN.....	149
ABSTRACT.....	150
INTRODUCCIÓN.....	151
MATERIALES Y MÉTODOS.....	154
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	156
Elementos del clima.....	156
Fenología.....	156

Unidades Calor.....	157
Evapotranspiración (ETc).....	158
Índice de área foliar (IAF).....	160
Duración de área foliar total (DAFT).....	160
Índices de análisis de crecimiento.....	161
Tasa de crecimiento del cultivo (TCC).....	161
Tasa media de asimilación neta (TAN).....	161
Biomasa total (BT).....	164
Rendimiento y sus componentes.....	165
Rentabilidad económica.....	166
CONCLUSIONES.....	166
LITERATURA CITADA.....	167
CONCLUSIONES GENERALES	170

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO I

Página

Cuadro 1	Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento, peso de 100 semillas y área de capítulo, en función al tipo de suelo (S), nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano 2011.....	37
Cuadro 2	Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento, peso de 100 semillas y área de capítulo de girasol en función Suelo (S), Nitrógeno (N) y Densidad de Población (DP). Verano 2011. Factores principales.....	39
Cuadro 3	Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y componentes del girasol Victoria en función al suelo y niveles de nitrógeno. Verano 2011.....	40
Cuadro 4	Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y componentes del girasol Victoria en función de la interacción tipo de suelo y densidad de población. Verano 2011.....	41
Cuadro 5	Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y componentes del girasol Victoria en función al suelo, nitrógeno y densidad de población. Verano 2011.....	45

CAPÍTULO II

Cuadro 1	Comparación de medias y análisis de varianza de número de hojas	
----------	---	--

por planta (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en girasol en función del nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano de 2011..... 62

Cuadro 2 Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano, peso de 100 semillas y área de capítulo en función al nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Suelo franco-arenoso. Verano de 2011..... 69

CAPÍTULO III

Cuadro 1 Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano, peso de 100 semillas y área de capítulo en función al nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano de 2011..... 84

Cuadro 2 Rendimiento de grano (RG), Eficiencia en el uso del agua (EUA) y Eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN), en función al nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano de 2011..... 86

Cuadro 3 Rendimiento (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en girasol en función al nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano de 2011..... 88

CAPÍTULO IV

- Cuadro 1 Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano, peso de 100 semillas y área de capítulo en función al nitrógeno (N) y densidad de población (DP). En suelos de textura franco-arenosa. Verano 2011..... 103
- Cuadro 2 Análisis nutrimental del grano seco de girasol en función del nitrógeno y densidad de población..... 105
- Cuadro 3 Análisis nutrimental del grano seco de girasol en función de la interacción nitrógeno y densidad de población..... 106

CAPÍTULO V

- Cuadro 1 Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento, peso de 100 semillas y área de capítulo, en función al genotipo (G), nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano 2011..... 118
- Cuadro 2 Componentes principales genotipo (G), nitrógeno (N) y densidad de población (DP); para biomasa total, índice de cosecha, rendimiento, peso de 100 semillas y área de capítulo. Verano 2011..... 120
- Cuadro 3 Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento y componentes de dos genotipos de girasol en función al nitrógeno. Verano 2011..... 121

Cuadro 4	Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento y componentes de dos genotipos de girasol en función a la densidad de población. Verano 2011.....	122
Cuadro 5	Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento y componentes de dos genotipos de girasol en función al nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano 2011.....	124

CAPÍTULO VI

Cuadro 1	Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento, peso de 100 semillas y área de capítulo, en función al suelo (S), biofertilizante (BIO) y nitrógeno (N). Verano 2012.....	140
Cuadro 2	Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano, peso de 100 semillas y área de capítulo, en función al suelo (S), al nitrógeno (N) y biofertilizante (Con y Sin biofertilizante) (BIO). Verano 2012.....	143

CAPÍTULO VII

Cuadro 1	Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en girasol en función del nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano 2012.....	de 159
----------	---	--------

Cuadro 2	Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano, peso de 100 semillas y área de capítulo, en función al suelo (S), al nitrógeno (N) y biofertilizante (BIO) (Con y Sin Biofertilizante). Verano 2012.....	164
Cuadro 3	Rendimiento (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en girasol en función al suelo (S), biofertilizante (BIO) y nitrógeno (N). Verano 2012.....	165

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Página

- Figura 1 Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo, Méx. Verano 2011. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración y R9 = Madurez fisiológica..... 35
- Figura 2 Unidades calor (UC) y Evapotranspiración (ETc) acumuladas de girasol cv. Victoria, Montecillo, Méx. Verano 2011. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración, R9 = Madurez fisiológica.... 36
- Figura 3 Biomasa total (A1) Rendimiento de grano (A2) del girasol en función del nitrógeno (N) N0, N50 y N100 kg ha⁻¹ y suelo (S) y S1, S2 y S3. DSM = diferencia mínima significativa. Verano de 2011..... 44
- Figura 4 Biomasa total (B1) Rendimiento de grano (B2) del girasol en función a la Densidad de población (DP) DP40, DP80 y DP120 mil plantas h⁻¹ y suelo (S) y S1, S2 y S3. DMS = diferencia mínima significativa. Verano de 2011..... 44

CAPÍTULO II

- Figura 1 Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo,

Méx. Verano 2011. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 =
 Floración y R9 = Madurez 61
 fisiológica.....

Figura 2 Dinámicas de las tasas medias de crecimiento del cultivo absoluto (TCA) (a1, a2), de crecimiento del cultivo TCC (b1, b2), de crecimiento relativo TCR (c1, c2), en girasol, en función del nitrógeno y densidad de población. Montecillo, Texcoco Estado de México. Verano 67
 2011.....

Figura 3 Dinámicas de las tasas medias de asimilación neta (TAN) (a1, a2), producción de biomasa total BT (b1, b2) en girasol, en función del nitrógeno y densidad de población. Montecillo, Texcoco Estado de México. Verano 68
 2011.....

CAPÍTULO III

Figura 1 Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo, Méx. Verano 2011. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración y R9 = Madurez 81
 fisiológica.....

Figura 2 Unidades calor (UC) y Evapotranspiración (ETc) acumuladas de girasol cv. Victoria, Montecillo, Méx. Verano 82
 2011.....

Figura 3 Eficiencia en el uso del agua para grano EUAG en función del nitrógeno (a) y densidad de población (b) en girasol. Montecillo, Texcoco Estado de México. Verano de 87 2011.....

CAPÍTULO IV

Figura 1 Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo, Méx. Verano 2011. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración y R9 = Madurez 100 fisiológica.....

Figura 2 Unidades calor (UC) y Evapotranspiración (ETc) acumuladas de girasol cv. Victoria, Montecillo, Méx. Verano 101 2011.....

CAPÍTULO V

Figura 1 Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo, Méx. Verano 2011. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración y R9 = Madurez 116 fisiológica.....

Figura 2 Unidades calor (UC) y Evapotranspiración (ETc) acumuladas de girasol cv. Victoria, Montecillo, Méx. Verano 117 2011.....

CAPÍTULO VI

- Figura 1 Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo, México. Verano 2012. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración y R9 = Madurez fisiológica..... 138
- Figura 2 Unidades calor (UC) y Evapotranspiración (ETc) acumuladas de girasol cv. Victoria, Montecillo, Méx. Verano 2012..... 139
- Figura 3 Biomasa total (BT) en girasol en función al Sitio, Nitrógeno y Biofertilizante (Con, Sin Biofertilizante), Montecillo estado de México. Verano de 2012..... 141
- Figura 4 Rendimiento de grano (RG) en girasol en función al Sitio, Nitrógeno y Biofertilizante (Con, Sin Biofertilizante), Montecillo estado de México. Verano de 2012..... 142

CAPÍTULO VII

- Figura 1 Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo, México. Verano 2012. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración y R9 = Madurez fisiológica..... 157

Figura 2	Unidades calor (UC) y Evapotranspiración (ETc) acumuladas de girasol cv. Victoria, Montecillo, Méx. Verano 2012.....	158
Figura 3	Dinámicas de las tasas medias de crecimiento del cultivo (TCC) a1 (S1), a2 (S2) Y de asimilación neta (TAN) b1 (S1), b2 (S2), en girasol en función al Suelo, Nitrógeno y Biofertilizante, Texcoco Estado de México. Verano 2012.....	163

INTRODUCCIÓN GENERAL

El girasol (*Helianthus annuus* L.), es uno de los cultivos oleaginosos más importantes para la producción de aceite, además es considerado como uno de los ácidos grasos con mayores beneficios para la salud, por su alto contenido de grasas poliinsaturadas (Werteker *et al.*, 2010). En México en los últimos años ha tomado importancia debido a que es una oleaginosa con gran potencial aceitera. Desde el año 2010 al 2013 incrementó en un 43 % en la superficie sembrada (SIAP, 2013).

Es necesario generar información sobre el manejo del cultivo y su comportamiento en diferentes condiciones ambientales que promuevan su siembra y producción. Mediante el uso de prácticas agrícolas como la fertilización nitrogenada y la densidad de población se provee a los cultivos de las condiciones más favorables para la expresión de un mayor rendimiento (Escalante, 1999; Aguilar *et al.*, 2005; Escalante y Rodríguez, 2010).

El nitrógeno (N) juega un papel clave en la estructura de las proteínas y ácidos nucleicos y puede considerarse entonces, junto con el carbono como uno de los elementos centrales para la producción (Loomis y Connor, 2002; García y Quinche, 2012; Aguilar *et al.*, 2005). Trabajos realizados en girasol muestran que el N es un elemento esencial para obtener rendimientos prometedores en este cultivo (Mollashahi *et al.*, 2013; Rasool *et al.*, 2013; Nasin *et al.*, 2012). El incremento en la densidad de población genera mayor sombreado, producido por el mayor número de hojas m^{-2} , lo que afecta algunos procesos fisiológicos, como: la velocidad de la fotosíntesis, respiración, fotorrespiración y transpiración. La influencia de la densidad de población y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de girasol, incrementan la producción de materia seca en la planta, generando una mayor

proporción de materia seca en la semilla y un incremento en el índice de cosecha. (Escalante, 1999; Vega *et al.*, 2001; Aguilar *et al.*, 2005; Ali *et al.*, 2013; Ali *et al.*, 2014).

Los biofertilizantes son considerados una parte importante de las prácticas agrícolas sostenibles, con entradas de bajo costo; incluyendo principalmente la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato, potasa y de movilización microorganismos en la planta (Mishra y Dadhich, 2010). Para lograr una producción sustentable de girasol es necesario complementar la fertilización química con formas biológicas, para obtener en lo posible un impacto en la producción y en la conservación del medio. Los microorganismos de la rizosfera han mantenido una relación estrecha con las plantas desde que estas últimas iniciaron la colonización de la tierra (Zarabi *et al.*, 2011; Madhuredra *et al.*, 2009; Selosse y Le Tacon, 1998). El objetivo del estudio fue determinar el efecto del nitrógeno, densidad de población, y biofertilizante sobre el crecimiento, producción de biomasa, rendimiento de grano, calidad nutrimental y rentabilidad económica del girasol bajo diferentes tipos de suelo y clima templado.

La información derivada de esta investigación se presenta en siete capítulos. En el capítulo I se analiza el efecto del suelo, nitrógeno y densidad de población sobre la producción de grano y biomasa total del girasol. Para el capítulo II, se compara el crecimiento, rendimiento de grano y biomasa total en relación al nitrógeno y densidad de población. En el tercer capítulo se determina la eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica del nitrógeno, rendimiento de grano y rentabilidad económica de girasol en función del nitrógeno y densidad de población. En el IV capítulo, muestra el análisis sobre el rendimiento de grano, biomasa total y calidad nutrimental del girasol bajo el efecto del nitrógeno y densidad de población. El capítulo V presenta la fenología, el análisis de

rendimiento de grano y biomasa total en dos genotipos de girasol en función del nitrógeno y densidad de población. Finalmente en los capítulos VI y VII, se analiza la fenología, el crecimiento, el rendimiento de grano y biomasa total, en función del suelo, nitrógeno y biofertilizante.

LITERATURA CITADA

- Aguilar C. L.; Escalante E. J. A.; Fucikovski Z. L.; Tijerina C. L.; Mark E. E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. Terra. Vol. 23. Núm. 3. Pp 303-310.
- Ali A., Ahmad A., Khaliq T., Afzal M., Iqbal Z., Qamar R. 2014. Plant Population and Nitrogen Effects on Achene Yield and Quality of Sunflower (*Helianthus Annuus* L.) Hybrids. International Conference on Agricultural, Environmental and Biological Sciences Pp. 1-4.
- Ali A., Ahmad A., Khaliq T., Ali A., Ahmad M. 2013. Nitrogen nutrition and planting density effects on sunflower growth and yield. Pakistan Journal of Nutrition 12 (12): 1024-1035.
- Escalante J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. Terra 17: 149-157.
- Escalante E. J.A. and Rodríguez G. M.T. 2010. Sunflower biomass distribution and seed yield in saline soil of Mexico highlands. HELIA, 33, Nr. 52, p.p. 127-134.
- García L. A. y Quinche J. A. 2012. Girasol: respuesta a la aplicación foliar de boro en suelos del litoral suroeste de Uruguay. Agrociencia Uruguay. (16) (1): 7-14.

- Loomis, R.S. y Connor, D.J. 2002). Crop Ecology, Productivity and management in agricultural systems, Cambridge University Press, New York, USA. pp. 591.
- Madhurendra P. N., Akhuri R. K. 2009. Effect of biofertilizer on sunflower, *Helianthus annuus* L. Journal of oilsedd. Vol. 26 No.2 pp. 167-177.
- Mishra B. K., Dadhich S. K. 2010. Methodology of nitrogen biofertilizer production. J. Adv. Dev. Res. 1(1): 3-6.
- Mollashahi M., Ganjali H., Fanaei H. 2013. Effect of different levels of nitrogen and potassium on yield, yield components and oil content of sunflower. Intl J Farm & Alli Sci. Vol., 2 (S): 1237-1240.
- Nasim W., Ahmad A., Bano A., Olatinwo R., Usman M., Khaliq T., Wajid A., Hammad H. M., Mubeen M., Hussain M. 2012. Effect of Nitrogen on Yield and Oil Quality of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Hybrids under Sub Humid Conditions of Pakistan. American Journal of Plant Sciences, 3, 243-251.
- Rasool. F U., Hassan B., Jahangir I. A. 2013. Growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) as influenced by nitrogen, sulphur and farmyard manure under temperate conditions. saarc j. Agri., 11(1): 81-89.
- Selosse M. A. and Le Tacon F. 1998. The land flora: a phototroph–fungus partnership? TREE vol. 13, No. 1.
- SIAP (Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera). 2013. Producción agrícola de cultivos cíclicos y perennes. www. siap.gob.mx
- Vega M. R., Escalante E. J. A., Sánchez G. P., Ramírez G. A., Cuenca A. E. 2001. Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población. Terra. Vol.19. Núm. 001. Pp 75-81.

Werteker M., Lorenz A., Johannes H., Berghofer E & Findlay C. S. 2010. Environmental and Varietal Influences on the Fatty Acid Composition of Rapeseed, Soybeans and Sunflowers. *J. Agronomy & Crop Science*. Austrian Agency for Health and Food Safety, 196: 20–27.

ANTECEDENTES GENERALES DEL GIRASOL

Perspectiva histórica y origen geográfico

Tradicionalmente se ha pensado que la domesticación del girasol se originó en el territorio que hoy se conoce como Estados Unidos de América (EUA). Algunos investigadores han debatido que es el producto de la hibridización entre distintas poblaciones de *Helianthus annuus* L. (Asteraceae) llevada a cabo en épocas prehistóricas en las Grandes Planicies de EUA, dió lugar a “un cultivo nativo de Norteamérica” (Anderson, 1967; Heiser, 1976). Las evidencias arqueológicas en la forma de los aquenios de los girasoles (o las semillas o pepitas, como se conocen popularmente) documentan su aparición en lo que ahora es el sur-centro y este de EUA desde 1200 a. C. Su asociación con semillas de otras plantas domesticadas, *Chenopodium berlandieri* Moq. (una forma de quinoa), *Cucurbita pepo* L. (calabaza) y con plantas locales como *Amaranthus* sp. (quintonil), *Ambrosia trifida* L. (‘ragweed’), e *Iva* sp. (‘marshelder’), ha sido usada como evidencia para promover a las zonas boscosas del este de EUA como centro de origen de la agricultura (Smith, 1989). Más tarde, las plantas domesticadas de Mesoamérica del complejo agrícola relacionado con *Zea mays* L. (maíz) y *Phaseolus vulgaris* L. (frijol) migraron hacia la región nortea.

Los girasoles cultivados han sido seleccionados con base en sus características morfológicas distintivas (Heiser, 1969). Las plantas de huerto continúan empleándose: 1) como fuente de semillas comestibles o para obtención de aceite; en general, estas plantas son monocefálicas (con un solo tallo y una cabezuela principal) y 2) para fines ornamentales, las que pueden ser policefálicas (con varias cabezuelas) con una “flor” apical dominante y pocas pequeñas “flores” laterales dispuestas en racimos cerca del ápice (Bye *et al.*, 2009).

Los girasoles no han sido considerados como parte de la contribución del complejo de plantas domesticadas en Mesoamérica por la singularidad de las evidencias nortteñas y por su importancia cuestionable en Mesoamérica durante la época prehispánica. Una reevaluación de los documentos mexicanos de la época del Virreinato y el descubrimiento de aquenios domesticados de girasol en excavaciones arqueológicas de sitios prehispánicos mexicanos han estimulado la discusión sobre la posibilidad de que México sea un centro de domesticación del girasol (Bye *et al.*, 2009; Lentz *et al.*, 2008). Se evaluaron aquenios prehispánicos colectados en Tabasco y Morelos, los cuales datan de los años 2875-2575 a. C. para Tabasco, México y 330-250 a. C. para Morelos, México (Bye *et al.*, 2009; Lentz *et al.*, 2008).

La domesticación del girasol fue hecha por los colonizadores del nuevo mundo, lo usaban como un suplemento de alimento para ganado, más tarde el girasol fue cultivado primariamente como ornamento de jardín y como cultivo de ensilaje a finales del siglo XIX y a principios del siglo XX (Lentz *et al.*, 2008). La producción del girasol ha sido expandida mundialmente como resultado primario del desarrollo de las variedades de alto contenido de aceite por los científicos soviéticos, ya más recientemente por el desarrollo de variedades híbridas (Qadir *et al.*, 2006).

Clasificación botánica

De acuerdo a lo presentado en Robles (1985), la clasificación botánica del girasol es la siguiente:

Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Sub-División	Pteropsida
Clase	Angiospermas
Sub-Clase	Dicotiledóneas
Orden	Synandreae
Familia	Compositae
Sub-	Tubiflorae
Tribu	Heliantheae
Genero	Helianthus
Especie	Annus
Nombre Científico	<i>Helianthus annuus</i> L.

Descripción morfológica

El girasol es una planta anual, de gran desarrollo en todos sus órganos. Pertenece a la familia de las compuestas y al género *Helianthus*, el cual comprende aproximadamente 68 especies entre las que hay anuales y perennes. En Norteamérica existen cerca de 50 especies, de las cuales las más importantes es *Helianthus annuus*, por dos razones: a) se cultiva como planta oleaginosa y ornamental; b) es la más distribuida geográficamente,

pues forman parte de la especie, tanto malas hierbas como plantas cultivadas (Ortegón *et al.*, 1993).

La raíz es pivotante; se forma por un eje principal dominante y abundantes raíces secundarias. La raíz principal crece con mayor rapidez por la parte aérea al iniciarse el desarrollo de la planta. Durante la fase, de cuatro a cinco pares de hojas alcanza una profundidad de 50 a 70 cm, y llegan al crecimiento máximo en la floración (Ortegón *et al.*, 1993).

El tallo es erecto, vigoroso y cilíndrico. Tiene el interior macizo. Al llegar a la madurez, se inclina en la parte terminal a consecuencia del peso de la inflorescencia. La superficie exterior es rugosa, asurcada y pubescente arriba y sin pelos abajo. La altura de las plantas aceiteras es entre 60 y 220 cm. El diámetro varía entre 2 y 6 cm, con mayor grosor en su parte inferior (Ortegón *et al.*, 1993).

Las hojas son alternas, grandes, trinervadas, muy pecioladas, de formas variables, acuminadas, dentadas, con vellosidad áspera, en el haz y el envés. La posición de las hojas en los primeros 2 a 3 pares son opuestas y las demás son alternas, ásperas por ambas caras. El número de hojas por planta varía entre 12 y 40, según las condiciones del cultivo y las peculiaridades individuales de la variedad (Robles, 1985).

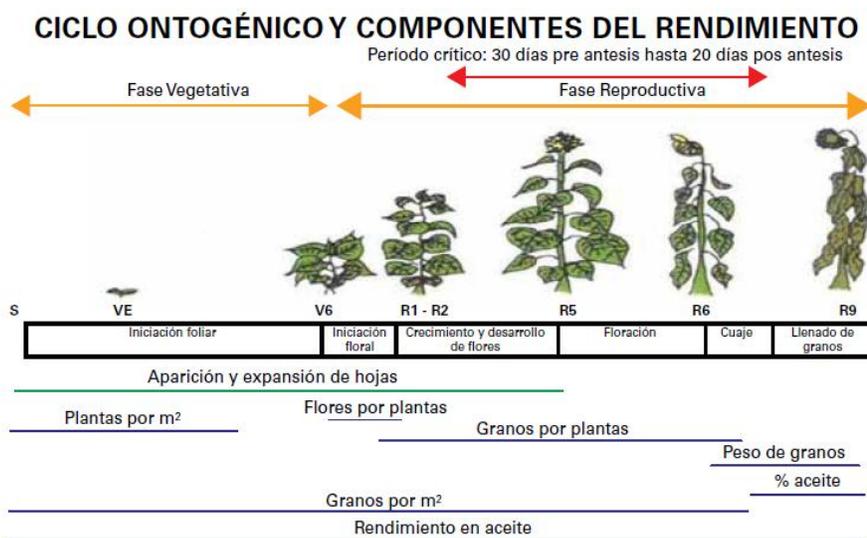
La inflorescencia, llamada capítulo o cabeza, es compuesta y está formada por un receptáculo cubierto alrededor por brácteas que le dan consistencia (Robles, 1985).

El fruto recibe el nombre de aquenio, el cual es seco, indehiscente y se compone por el pericarpio (cáscara) que puede ser blanco, estriado (negro y blanco), negro, pardo o rojizo; y por la semilla (almendra). El aquenio mide alrededor de 4 a 6 mm de ancho por 8 a 12 mm de largo (Ortegón *et al.*, 1993).

Etapas fenológicas

A medida que el cultivo se desarrolla se suceden cambios fisiológicos y morfológicos que determinan los llamados estadios fenológicos de la planta. Estos procesos están determinados genéticamente y son influenciados por el ambiente. Si bien el crecimiento y desarrollo de un cultivo es un proceso continuo donde hay superposición de eventos, se definen escalas para la clasificación de las diferentes etapas fenológicas. La descripción de estas etapas fenológicas permite correlacionarlas con el momento de ocurrencia de diversos factores ambientales y aspectos de manejo, para comprender así las respuestas del cultivo.

La escala más utilizada en girasol, por su fácil aplicación agronómica, es la propuesta por Schneiter y Miller (1981). A continuación, basándose en la misma, se presentan las etapas más importantes del cultivo de girasol y los factores a tener en cuenta para alcanzar los mejores rendimientos.



Adaptado de Trapani *et al.*, 2003.

Etapa de siembra-emergencia (S-VE)

Estamos ante uno de los momentos más importantes del cultivo, ya que el logro de una correcta implantación es la base para el desarrollo de un cultivo uniforme. Aquí se define el número de plantas logradas por unidad de superficie (primer componente del rendimiento). Para la germinación los factores determinantes son el agua y la temperatura. Si bien los requerimientos de humedad en este momento son bajos, asegurar la imbibición homogénea de las semillas para iniciar el proceso germinativo es fundamental. Un exceso de agua durante esta etapa limitaría la disponibilidad de oxígeno para la semilla afectando la germinación, impactando tanto en la cantidad de plantas logradas como en la velocidad de emergencia. Una siembra con baja temperatura de suelo prolonga el período de siembra-emergencia y favorece el accionar de insectos y hongos del suelo, pudiendo provocar importantes pérdidas de plantas y/o desuniformidad del cultivo.

Aspectos a tener en cuenta:

- ✓ Sembrar con apropiada humedad y con temperatura de suelo por encima de 10°C.
- ✓ Monitorear y controlar insectos de suelo.
- ✓ Usar semilla tratada con insecticidas sistémicos.
- ✓ Monitorear y controlar ataques de orugas cortadoras y tenebriónido de girasol.
- ✓ Prevenir el ataque de otras plagas, como paloma, liebre, peludo, etc.
- ✓ Romper la costra superficial si se produce planchado de suelo.

Etapa de emergencia - iniciación floral (VE-V6)

Esta etapa comienza con la emergencia de la plántula y termina cuando el ápice comienza a diferenciar inflorescencias. La duración de este período depende del cultivar, la temperatura y el fotoperíodo. Es una etapa caracterizada por un activo crecimiento de las raíces,

significativamente mayor al de la parte aérea. Este período finaliza con el cambio del ápice de vegetativo a reproductivo, proceso que ocurre unos 20 a 30 días después de la siembra cuando las plantas tienen unas seis hojas expandidas. Se puede observar que los dos o tres primeros pares de hojas se disponen de forma opuesta, y los siguientes lo hacen de modo alternado. Al producirse este cambio meristemático queda definido el número de hojas que tendrá la planta. Ante condiciones de temperatura elevada, radiación alta y días largos este período tiende a acortarse, disminuyendo así el número final de hojas por planta.

Aspectos a considerar:

- ✓ Mantener el cultivo libre de malezas durante los próximos 30 a 40 días posteriores a la siembra.
- ✓ Proteger el cultivo del accionar de insectos, palomas, liebres, etc.
- ✓ Asegurar una adecuada provisión de nutrientes, especialmente fósforo. Un bajo nivel de N y P afecta negativamente el crecimiento.
- ✓ En etapas tempranas el girasol tiene buena tolerancia a las heladas, luego la sensibilidad al frío aumenta considerablemente, en plántulas en estado de cotiledón tolera hasta $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, cuando tiene un par de hojas tolera hasta $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y cuando presenta 4 pares de hojas tolera hasta $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Etapa de iniciación floral- floración (V6-R5)

En esta etapa se diferencian las flores y queda definido el número potencial de granos que tendrá el capítulo. El período culmina al comenzar la floración (al iniciar la antesis de las flores de la periferia del capítulo).

Durante esta fase continúa el activo desarrollo de raíces y se produce la expansión foliar, y su duración también está definida por el cultivar, la temperatura y el fotoperíodo. A mayor

temperatura aumenta la tasa de diferenciación floral, pero se acorta el tiempo durante el que ocurre este proceso.

Aspectos a considerar:

- ✓ Es clave llegar a este momento con el cultivo limpio, resultado de un buen trabajo en la etapa anterior.
- ✓ En este período se registra la máxima tasa de absorción de nutrientes, en los casos que lo requiera se deberá realizar la aplicación de nitrógeno entre V6-V8.
- ✓ Entre R3 y R4 se produce un activo crecimiento, donde se alcanza el 95 % del desarrollo del área foliar y continúa el crecimiento de raíces.
- ✓ La ocurrencia de un estrés hídrico severo durante esta etapa influye sobre el rendimiento al afectar el número de flores (número potencial de granos) y la expansión foliar.
- ✓ Se recomienda monitorear periódicamente la presencia de isocas defoliadoras.
- ✓ En este estadio se puede registrar la presencia de *Verticillium*, enfermedad vascular que afecta principalmente la expansión foliar y en algunos casos también el número de flores diferenciadas.

Etapa de floración-madurez fisiológica (R5-R9)

Durante el período de floración (R5 y R6), que dura entre 7 y 10 días, se define el número de granos fijados (segundo componente de rendimiento), entre R6 y R9 se produce la acumulación de carbohidratos, ácidos grasos y proteínas en los granos, determinándose el peso de los mismos y su porcentaje de aceite.

Aspectos a considerar:

- ✓ Períodos prolongados de días nublados y lluvia durante la floración pueden provocar menor fecundación de flores (menos granos fijados) por lavado de polen y/o menor actividad de insectos polinizadores.
- ✓ El rendimiento potencial generado durante las etapas anteriores se concretará si el cultivo cuenta con buena disponibilidad de agua. Un estrés hídrico en este momento provoca una menor cantidad de granos fijados si el estrés ocurre en la floración o a principios de llenado, o menor peso de granos y porcentaje de aceite si el estrés ocurre durante el llenado.
- ✓ Días húmedos y frescos durante floración son favorables para el ataque de podredumbre húmeda del capítulo (*Sclerotinia sclerotiorum*). Este patógeno provoca daños económicos directos e indirectos. Entre los directos se puede mencionar la pérdida de producción por la pudrición y caída del capítulo. En casos extremos puede llegar al 100 %. En algunos años las pérdidas llegan a 10 a 20 % coincidiendo con altos rendimientos. Referido a daños indirectos, la presencia de esclerocios junto al grano cosechado aumenta la proporción de cuerpos extraños, produciendo descuentos importantes en la comercialización. A su vez, la presencia de estos esclerocios pueden elevar la acidez del aceite, excediendo los valores de tolerancia.
- ✓ Si el clima se presenta húmedo y fresco durante todo este período genera condiciones propicias para el desarrollo de enfermedades de fin de ciclo, como *Alternaria* o *Phoma*. Estas enfermedades producen la senescencia anticipada de las plantas, afectando el rendimiento y el contenido de aceite en grano
- ✓ Se debe seguir monitoreando la presencia de isocas defoliadoras durante este tiempo.

- ✓ Condiciones de tiempo seco una vez alcanzada la madurez fisiológica (30-32 % de humedad en grano) aceleran el secado del cultivo hasta llegar a madurez de cosecha. Una alternativa de manejo que permite adelantar el momento de trilla, por ejemplo ante casos de alta humedad ambiente, presencia de enfermedades o riesgo de daño por pájaros, es la aplicación de un herbicida desecante. Esta práctica acelera la pérdida de humedad del cultivo, empareja el secado del lote y ayuda en situaciones donde hubo un importante crecimiento de maleza.

El conocimiento del ciclo ontogénico del girasol y los eventos que ocurren durante el crecimiento y desarrollo del cultivo, los componentes del rendimiento que se definen en cada etapa y el impacto de los períodos críticos permiten ajustar las prácticas de manejo con el fin de obtener el máximo rendimiento en grano y aceite. Para obtener el máximo rendimiento en un ambiente determinado es clave lograr la mejor coincidencia entre la demanda de recursos del cultivo con la oferta del ambiente en los diferentes momentos de su ciclo (Ciampitti *et al.*, 2006).

Condiciones ecológicas

Las áreas o países más productores del girasol se encuentran situados entre los 45° de latitud Norte y 35° de latitud Sur. En el Hemisferio Norte, los países más productores son: Rusia, Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, y países europeos; en el Hemisferio sur se siembra principalmente en Argentina, la parte sur de África y la parte sur y centro de Australia. La altitud es de las condiciones determinantes para el establecimiento del girasol, se puede sembrar desde el nivel del mar hasta 1 000 metros de altitud, que es donde se obtienen los mayores rendimientos a nivel mundial, pero, desde luego, existen regiones en donde se pueden sembrar hasta 2 500 msnm (Robles, 1985).

La temperatura media optima del cultivo de girasol es de aproximadamente 20 °C, aunque fácilmente toleran temperaturas que oscilan entre 10 y 40 °C. Saumell (1976), menciona que para que el girasol tenga un buen desarrollo requiere de un clima templado o templado cálido. El girasol es una planta que para su germinación y emergencia necesita una temperatura media superior a 15 °C; por ejemplo, bajo una temperatura media diaria superior a 19 °C, la germinación y la emergencia pueden lograrse en menos de ocho días. Igualmente, Vranceanu (1977), indicó que el girasol se adapta a condiciones térmicas variadas, puesto que se desarrolla normalmente tanto a temperaturas mayores de 28 °C como a temperaturas menores de 13 °C. Esto explica su adaptabilidad y la posibilidad de que el cultivo se desarrolle en distintas condiciones climáticas.

El ambiente debe tener un bajo porcentaje de humedad relativa, ya que de lo contrario sería un medio propicio para la proliferación de enfermedades. Los requerimientos de agua son de 400 a 500 mm distribuidos en el ciclo vegetativo de la planta, sea por medio de riego o de precipitación pluvial (Robles, 1985).

Con respecto a fotoperiodo, el girasol es una planta típicamente indiferente al número de horas de luz, pero las mejores condiciones serán cuando tengan de 12 a 14 horas de luz (Robles, 1985).

Condiciones edafológicas

Para un buen desarrollo en las plantas de girasol se requiere de un pH adecuado del suelo siendo el óptimo entre 7 y 7.5, aunque se han aprovechado suelos en donde se tiene pH de

alrededor de 6.5 y también en otros con más de 8. La textura del suelo para este cultivo es de tipo migajón-arenoso o migajón-arcilloso (Robles, 1985).

Importancia económica

El girasol se ha convertido en un cultivo de gran importancia industrial para la obtención de aceite y la elaboración de alimentos concentrados para la ganadería y la avicultura (Robles, 1985; Escalante, 1999).

Qadir *et al.*, (2006), mencionó que el aceite de girasol sirve para la preparación de productos tales como: jabones, cosméticos, pinturas, barnices y en la manufactura de plásticos, igualmente, el aceite de girasol crudo en proporciones de 50 % con aceite diésel, puede utilizarse como lubricantes de motores.

A la semilla de girasol se le reconoce muy buenas cualidades como alimento humano, tanto que se le clasifica entre los alimentos completos, contiene proteínas, lípidos y carbohidratos. Además aporta minerales y una extraordinaria cantidad y variedad de vitaminas en combinaciones y proporciones adecuadas (Robles, 1985).

Por último, pasando de los distintos usos de la semilla a los del tallo, corresponde señalar que en Estados Unidos y posiblemente en otros países, se han encargado a nivel de laboratorio, de elaboración de distintos tipos de aglomerados para su utilización de cielorrasos y como sustituto de la madera (Robles 1985). Así, también, los tallos pueden servir para fabricar papel, que resulta de buena calidad, y son además un buen combustible (Robles, 1985).

Fototropismo y heliotropismo en el girasol

El fototropismo es el crecimiento diferencial que presentan las plántulas hacia una fuente luminosa lateral, especialmente de luz azul, en girasol se observa en el capítulo de la planta, ya que muestra una respuesta a la luz (Feyerabend y Weiler, 1988).

Heliotropismo en girasol, el cual va girando el receptáculo en el sentido del sol, de este a oeste, y en la puesta del sol vuelven las hojas en sentido horizontal y a reorientarse antes del amanecer para volver a comenzar el ciclo solar del día siguiente (Feyerabend y Weiler, 1988).

Alelopatía

El fenómeno alelopático de inhibición o supresión del desarrollo de unas plantas por otras, a través de los mecanismos químicos del metabolismo secundario, se ha estado estudiando con gran interés práctico en las últimas décadas a causa de las potencialidades de esas características para el control de malezas en los cultivos agrícolas. El girasol posee aleloquímicos, estas sustancias proporcionan beneficios o daños a otras plantas, cuyo efecto perjudicial o benéfico, directo o indirecto, de la acción de esos compuestos químicos liberados se le denomina alelopatía (Ahn y Chung, 2005).

Plagas y enfermedades

Como todos los cultivos, el girasol está sujeto al ataque de plagas, como de algunas aves, insectos y enfermedades producidas por hongos y virus generalmente.

Pájaros

Varias especies de pájaros pueden dañar el girasol, pero las mayores pérdidas son causadas por urracas y cuervos (*Corvidae*). Otras especies que lo atacan son: gorriones (*Emberizidae*), palomas (*Columbidae*), periquillos (*Psittacidae*), entre otros. La estructura del capítulo le permite que las aves se posen fácilmente mientras se alimentan de las semillas. Entre algunas sugerencias para reducir el daño potencial que ocasionan los pájaros en las siembras de girasol, destacan las siguientes:

- a) No sembrar girasol en lugares donde existan depósitos de agua y arboles cerca del cultivo (Robles, 1985).
- b) Aunque raramente puede existir, hay que vigilar que después o en el momento de la siembra, las aves antes mencionadas no desentierren la semilla para evitar bajas densidades de población (Robles, 1985).
- c) Efectuar las siembras de girasol dentro de una misma área agrícola, que no sean aisladas, tempranas o tardías porque constituirían un gran atractivo como fuente de alimento, sobre todo en casos de escasez (Robles, 1985).
- d) Hacer siembras tempranas para reducir el periodo de susceptibilidad al daño ocasionado por pájaros (Robles, 1985).
- e) Utilizar variedades precoces y de maduración uniforme para reducir el periodo de susceptibilidad al daño causado por pájaros (Robles, 1985).
- f) Cosechar el girasol tan pronto como sea posible para reducir el periodo de riesgo. Es importante ahuyentar a los pájaros tan pronto aparezcan (en el girasol próximo a cosecharse. Esto puede lograrse mediante el uso de rifle, explotador de gas, munición explosiva, pistola, repelente y desecante (Ortegón *et al.*, 1993).

Insectos

El ataque de insectos puede causar serios daños al cultivo del girasol y que requieren el uso de insecticidas para su control. Las plagas de insectos más importantes son:

➤ “Picudo del tallo y raíz” *Rhynchites mexicanus* (Gyll)

Se encuentra en los estados de México, Guanajuato, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y Durango. En su etapa adulta mide de 3 a 5 mm de longitud, es de color verde a bronceado y con brillo metálico. La larva se alimenta de la raíz principal y origina abultamientos parecidos a las agallas, ocasionando la marchitez total de la planta; el adulto corta los tallos a una altura de 3 a 10 cm, abajo del capítulo, provocando que se doblen y posteriormente caigan al suelo. Los gusanos se pueden combatir con el BHC 3 % Dieldrin 2 %, a razón de 12 a 18 kg ha⁻¹ (Robles, 1985).

➤ “Picudo cortador” *Haplorhynchites aeneus* (Boh)

Es la especie más común de este género, está ampliamente distribuida en Estados Unidos. También ha sido encontrada en Canadá. El adulto es de color negro brillante, aproximadamente de 3.9 a 6.6 mm de longitud. La larva es de color cremoso y adopta forma de “C” con un tamaño que varía de 4 a 6 mm de longitud; las hembras se alimentan de polen y del néctar de los capítulos en floración (Ortegón *et al.*, 1993).

➤ “Gusano de espina” *Vanessa cardui* (L.).

Se han encontrado en los estados de Durango, México y Tamaulipas, también en Estados Unidos y Canadá. Los adultos son mariposas naranja con puntos negros, blancos y azules. Las larvas son oscuras, con espinas y cuando dañan a las hojas provocan su enrollamiento y forman una telaraña en ellas. El adulto es una mariposa coloreada y mide aproximadamente 25 mm de longitud. Sus alas superiores son cafés con variaciones de rojo y naranja, además

de manchas negras y blancas. Sus alas inferiores poseen una hilera de 4 manchas oscuras que las caracterizan. (Ortegón *et al.*, 1993).

La larva de *V. cardui* es de café a negro, con espinas y una franja amarillo pálido en cada lado. Las larvas maduras miden de 30 a 35 mm de longitud, y se alimentan de las hojas defoliando a las plantas de girasol. En casos necesarios se pueden aplicar Toxígeno como una medida de control (Ortegón *et al.*, 1993).

➤ “Frailecillo” *Macrodactylus mexicanus* (Bum).

Se le considera también con los nombres de tonto, fraile, tache, nenesh, amancebado. Mide aproximadamente 1.2 cm de largo, es de color gris y tiene patas con muchas espinillas, las cuales le sirven para adherirse a las plantas. Se alimentan de las flores y de las hojas. Se ha encontrado en Tlaxcala y en el Campo Agrícola Experimental Valle de México. Para su control se puede usar Malation 1000, L ha⁻¹ o bien Thiodan 35, L ha⁻¹ (Ortegón *et al.*, 1993).

➤ Mayates

Cotinis mutabilis sobrina (G.P.).

Euphoria dimidiata (G.P.).

E. basilis (G.P.).

E. inda (L.).

E. sepulchralis.

Los mayates verdes *Cotinis mutabilis sobrina* son bien conocidos por su gran tamaño y color verde lustroso. Con frecuencia se alimentan del polen, así como del exudado de los tallos y peciolos. Las otras especies del género *Euphoria* son mayates de menor tamaño y de colores variados, hacen daño al capítulo alimentándose de los tejidos del receptáculo y de las semillas. *E. dimidiata* es de color naranja y negro; *E. basilis* de color amarillo y

negro; *E. inda* de color café. Para su control se puede usar Malation 1000, L ha⁻¹ o bien Thiodan 35, 2.5 L ha⁻¹ (Ortegón *et al.*, 1993).

➤ “Palomilla del capítulo”. *Homoesomoa electellum* (Hulst.).

Esta especie está ampliamente distribuida en Estado Unidos, Cuba, Canadá, y en México en los estados de Zacatecas, Durango, Tamaulipas y Nuevo León; está considerada entre los insectos más destructivos del girasol. El adulto es una palomilla grisácea, con una expansión alar de 20 a 21 mm. Cerca del centro de las alas anteriores, tiene un pequeño punto oscuro en forma de disco, y dos o tres pequeños puntos cerca del margen principal de cada ala. Cuando la palomilla está en reposo presenta la apariencia de un cigarro. Las larvas maduras llegan a medir 1.5 cm y son de color café rojizo con 4 bandas longitudinales amarillo-pálidas. Las larvas recién nacidas comienzan a alimentarse de las flores, lo que causa problemas para la polinización. Los capítulos infestados presentan un aspecto sucio debido a la adherencia de las florecillas secas, y el excremento de las larvas en la telaraña que producen. En caso de un control químico se pueden aplicar cualquiera de los siguientes insecticidas: Paration Metílico 50, 2.0 L ha⁻¹; Malation 1000, 1.0 L ha⁻¹; Thiodan 35, 2.0 L ha⁻¹; Lanate 90, 0.3 kg ha⁻¹; Sevin 80, 2.5 kg ha⁻¹ (Ortegón *et al.*, 1993).

Tipos de gusanos

“Gusano soldado” *Spodoptera sp.*

“Gusano peludo” *Estigmene acrea* (Drury).

El daño de los gusanos soldados se presenta cuando las plantas están pequeñas.

Cuando las plantas están en floración los gusanos soldados y peludos suelen presentarse alimentándose de los achenios en desarrollo y del follaje. Para el control de gusano soldado

se deben utilizar insecticidas como el Paration Metílico 50 %, 1.0 L ha⁻¹; Cyolane 25 %, 1.5 L ha⁻¹; y para el gusano peludo Lucavex 80 %, 2.0 kg ha⁻¹ (Robles, 1985).

Enfermedades

Actualmente se conocen más de 35 enfermedades en el girasol, la mayoría causadas por hongos. Entre las que han adquirido importancia en las regiones productoras de girasol en el mundo se encuentran:

- “Mancha de la hoja”. *Alternaria helianthi* (Hansf., Tub. Y Nish).

Los síntomas típicos son manchas de color café o negro rodeadas por un halo clorótico en las hojas; cuando la humedad relativa es alta, el centro de las manchas toma un color gris a causa de la esporulación del hongo. Las manchas tienen un diámetro de 3 a 6 mm, pueden crecer y unirse para formar un área de tejido necrótico. También el tallo y el capítulo son atacados; el tallo presenta lesiones longitudinales oscuras de 5 a 15 mm, el capítulo muestra pequeñas manchas cafés principalmente en la parte posterior. La mancha por *Alternaria* se puede combatir mediante la aplicación de los fungicidas Nenomyl al 0.5 % o 500 g ha⁻¹, Mancozeb al 0.3 % o Carboxin y Carbendazin al 0.1 %. (Díaz *et al.*, 1993).

- “Cenicilla o Mildiu polvoriento” *Erysiphe cichoracearum* (D.C.).

Aparecen los primeros síntomas en la etapa de floración del girasol, aunque en invernadero es común observarlos en la plántula. Al principio, en las hojas primarias de la planta aparecen pequeñas manchas con un polvillo blanquecino, pueden crecer y cubrir toda la superficie de la hoja, posteriormente se vuelve clorótica y muere. En casos críticos pueden presentarse en las hojas superiores, inclusive en el tallo y el capítulo. Esta enfermedad se combate la aplicación del fungicida Benomyl 500 g ha⁻¹ o Carbendazim 2.0 kg ha⁻¹. (Díaz *et al.*, 1993).

➤ “Mancha del tallo” *Phoma oleracea*.

Se encuentra localizada en los estados de Tamaulipas y Nuevo León. Las plantas enfermas pueden reducir el peso de semilla en un 50 % y el contenido de aceite en un 60 %. Esta enfermedad se presenta como una mancha pequeña de color café ovalado o romboide, localizándose aproximadamente entre los 20 y 40 cm del suelo y es frecuentemente que su aparición sea justamente donde nace el peciolo de la hoja. Debido al desconocimiento del agente causal no se sabe de métodos químicos para combatir la enfermedad, no obstante, dado que el mayor número de plantas marchitas de girasol se presentan en el suelo con alta humedad hay que evitar encharcamientos en el terreno, evitar sembrar en suelos mal drenados o desnivelados. (Díaz *et al.*, 1993).

➤ “Roya o tizón” *Puccinia helianthi*.(Schw)

Los síntomas consisten en pústulas pequeñas circulares, que contienen un polvillo color naranja o negro y pueden estar presentes en cualquier parte aérea en las hojas. Los fungicidas que han dado una protección adecuada al girasol contra *P. helianthi*, son: el Zineb y Oxicarboxin a razón de 430 g 100 L de agua, Mancozeb 200 g 100 L y azufre a 3.250 g 100 L (Díaz *et al.*, 1993).

LITERATURA CITADA

Ahn, J. K. y Chung, I. M. Allelopathic potential of rice hulls on germination and seedling growth of barnyardgrass. *Agronomy Journal*, 2005, vol. 92, p. 1162-1167.

Anderson E. 1967. *Plants, Man and Life*. University of California Press, Berkeley, CA.

Bye R.; Linares E.; Lentz D. L. 2009. México. Centro de origen de la domesticación del girasol. *TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico – Biológicas*. Vol. 12 No. 1 pp 5-12.

- Ciampitti I., Micucci F., Fontanetto H. y García F. 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: Efectos Fitotóxicos. Archivo Agronómico N° 10. INPOFOS.
- Díaz–Franco, A. y Reyes–Méndez, C. 1993. Situación de los cultivos en el norte de Tamaulipas. pp. 280–290. En: Memorias IV Encuentro Internacional de Investigadores en Economía Agrícola. UAT. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. 408.
- Escalante J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. Terra 17: 149-157.
- Feyerabend M. y Weiler E.W. 1988. Immunological estimation of growth regulator distribution in phototropically reacting sunflower seedlings. *Physiol Plant* 74:185-193.
- Heiser, C.B. 1976. *The Sunflower*. University of Oklahoma Press, Norman, OK.
- Heiser, C.B. 1969. The North American Sunflowers (*Helianthus*). *Memoirs of the Torrey Botanical Club* 22(3), 1-218.
- Lentz, D.L., Pohl, M.D., Alvarado, J.L., Tarighat, S. & Bye, R. 2008. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) as a pre-Columbian domesticate in Mexico. *Proceedings of the National Academy of Science* 105: 6232-6237.
- Ortegón M., A.S., A. Escobedo M., J. Loera G., A. Díaz F. y E. Rosales R. 1993. *El girasol*. Trillas. México, DF.
- Qadir, G., S. Ahmad, F. U. Hassan & M. Cheema. (2006). Oil and fatty acid Accumulation in sunflower as influenced by temperature variation. *Pakistan Journal of Botany*. 38(4), 1137-1147.

- Robles S., R. 1985. Producción de oleaginosas y textiles. Segunda edición. Editorial Limusa.
México, D.F, pp 431-498.
- Schneiter, A. and Miller, J.F., 1981. Description of sunflower growth stages. Crop Sci. 21: 901-903.
- Smith, B.D.1989. Origins of agriculture in eastern North America. Science 246, 1566-1571.
- Trápani N., López Pereira M., Sadras V. y Hall A. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en girasol. En: Producción de granos: Bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía. UBA.
- Vranceanu A. V. 1977. El Girasol. Siembra y mantenimiento del cultivo. Trad. A. Guerrero. Ed. MundiPrensa. Madrid, España. pp. 266-274.

CAPÍTULO I
PRODUCCIÓN DE GIRASOL EN FUNCIÓN DEL TIPO DE SUELO,
NITRÓGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN

PRODUCCIÓN DE GIRASOL EN FUNCIÓN DEL TIPO DE SUELO, NITRÓGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN

Yasmani Rafael Arenas Julio

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

Se estableció el estudio en tres sitios del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, bajo condiciones de clima templado. La siembra del girasol aceitero cv. Victoria se llevó a cabo el 25 de mayo de 2011. El objetivo del estudio fue determinar la influencia del tipo del suelo, nitrógeno y la densidad de población sobre la producción de biomasa y rendimiento de grano del girasol en Montecillo, Texcoco, Estado de México. Los tratamientos evaluados fueron 27, resultado de tres suelo (S) con diferentes características de suelo, S1: textura franco arenoso, pH de 7.1 y CE de 0.49 dS m^{-1} ; S 2: textura franco arcilloso limoso, pH de 7.8, CE de 1.75 dS m^{-1} y S 3 textura arcillosa, pH de 8.1 y CE de 5.11 dS m^{-1} . Tres niveles de nitrógeno (N): 0, 50 y 100 kg ha^{-1} y tres densidades de población (DP): DP4, DP8 y DP12 plantas m^{-2} . El diseño fue bloques completos al azar con arreglo de parcelas subdivididas y cuatro repeticiones. Se evaluó la fenología de la planta, biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes. La producción de biomasa total se incrementó en el S1 con 100 kg de N y con $12 \text{ plantas m}^{-2}$. No hubo diferencias significativas en el índice de cosecha con respecto a los tratamientos. El valor más alto en rendimiento de grano se logró en el S1, con 100 kg de N y con la densidad alta. En conclusión, la producción de biomasa y el rendimiento de grano por m^2 se incrementan en el suelo con pH neutro, sin problemas de salinidad y de textura franco arenoso, con la adición de N y a una densidad alta.

Palabras clave: suelo franco arenoso, suelo arcilloso limoso, suelo arcilloso, biomasa total, rendimiento de grano.

**PRODUCTION OF SUNFLOWER DEPENDING ON THE TYPE OF SOIL
NITROGEN AND POPULATION DENSITY**

Yasmani Rafael Arenas Julio

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

The study was established at three sites Postgraduate College, Montecillo, State of Mexico, under temperate conditions. Planting of the oil sunflower cv. Victoria was held on May 25 2011. The aim of the study was to determine the influence of soil type, nitrogen and population density on biomass production and grain yield of sunflower in Montecillo, Texcoco, Mexico State. The treatments were 27, the result of three soil (S) with different soil characteristics, S1: sandy loam, pH 7.1 and EC of 0.49 dS m⁻¹; S 2: silty clay loam, pH 7.8, EC 1.75 dS m⁻¹ and S 3 loamy texture, pH 8.1 and EC of 5.11 dS m⁻¹. Three levels of nitrogen (N): 0, 50 and 100 kg ha⁻¹ and three densities (DP): DP4, DP8 and DP12 plants m⁻². The design was a randomized complete block split-plot arrangement and four replications. Phenology of the plant, total biomass, harvest index, grain yield and its components were evaluated. The biomass total production increased in the S1 with 100 kg N and 12 plants m⁻². There were no significant differences in harvest index with respect to the treatment. The highest value in grain yield was achieved in S1, with 100 kg of N and high density. In conclusion, the production of biomass and grain yield per m² increase in soil with neutral pH, salinity smooth and sandy loam, with the addition of N and high density.

Key words: sandy loam soil, silty clay soil, clay soil, total biomass, grain yield.

INTRODUCCIÓN

El girasol (*Helianthus annuus* L.) es considerado como uno de los cultivos oleaginosos más importante en la producción de aceite, por su alto contenido de grasas poliinsaturadas (Demirer *et al.*, 2004; García y Quinche, 2012). México importa aproximadamente el 85 % de semillas oleaginosas para la extracción de aceite comestible. La planta de girasol es una oleaginosa bien adaptada a diversas condiciones edáficas, por lo que la tolerancia a la salinidad del suelo no afecta la producción de grano de este cultivo ya que el girasol soporta hasta 13.8 dS m^{-1} y puede ser más rentable que otros cultivos sensibles a la salinidad como el maíz y frijol (Aragüés *et al.*, 1996; Escalante y Rodríguez 2010).

Desde el punto de vista agronómico, la tolerancia a la salinidad es determinada por especie o variedad que se define como la habilidad de las plantas de sobrevivir y producir rendimientos económicos en condiciones de estrés y se expresa como la relación entre el rendimiento de una variedad en condiciones salinas con respecto a su rendimiento en condiciones normales (González *et al.*, 2002). Investigaciones realizadas con girasol bajo condiciones de salinidad muestran que esta afecta el desarrollo de la planta y por lo tanto en el rendimiento de la misma (Mona *et al.*, 2012; Mirzapoor and Khoshgoftar, 2006; Jabeen and Ahmad, 2012; Manjunatha *et al.*, 2005). En las áreas dedicadas a la agricultura, la obtención de altos rendimientos, cada vez está teniendo más restricciones debido a la salinización de los suelos. Se estima que sobre 800 millones de hectáreas en el planeta están afectadas por sales, de estas 397 millones lo son por problemas de salinidad y 434 millones por condiciones asociadas a sodicidad (FAO, 2000; Munns, 2005).

En México, en el 2011 la superficie cosechada de este cultivo fue de 1849 ha^{-1} , con un rendimiento promedio de $1.53 \text{ toneladas ha}^{-1}$ (SIAP 2012). Por lo que es necesario generar

información sobre el manejo del cultivo y su comportamiento en diferentes condiciones ambientales que promuevan su siembra y producción. Mediante el uso de prácticas agrícolas como la fertilización nitrogenada y la densidad de población se provee a los cultivos de las condiciones más favorables para la expresión de un mayor rendimiento (Escalante, 1999).

El déficit de nitrógeno es el que en mayor medida limita la producción de girasol, de ahí la importancia de conocer los requerimientos nutricionales y realizar diagnósticos de deficiencias (Díaz, 2002). El nitrógeno juega un papel clave en la estructura de las proteínas y ácidos nucleicos y puede considerarse entonces, junto con el carbono como uno de los elementos centrales para la producción (Loomis y Connor, 2002; García y Quinche, 2012; Aguilar *et al.*, 2005; Escalante, 1995; Escalante, 1999; Escalante y Rodríguez 2010; Vega *et al.*, 2001). Trabajos realizados en girasol muestran que el nitrógeno es un elemento esencial para obtener rendimientos prometedores en este cultivo (Ali and Noorka, 2013; Mollashahi *et al.*, 2013; Rasool *et al.*, 2013; Nasin *et al.*, 2012). El incremento en la densidad de población genera mayor sombreado, producido por el mayor número de hojas m^{-2} , lo que afecta algunos procesos fisiológicos, como: la velocidad de la fotosíntesis, respiración, fotorrespiración y transpiración. La densidad de población impacta en el desarrollo vegetativo y reproductivo que a su vez influyen directamente en el uso de los recursos, que incluye los niveles de captura y utilización de la radiación solar, agua y nutrimentos (Cárcova *et al.*, 2003). La influencia de la densidad de población y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de girasol, incrementan la producción de materia seca en la planta, generando una mayor proporción de materia seca en la semilla y un incremento en el índice de cosecha. (Escalante, 1999; Vega *et al.*, 2001; Aguilar *et al.*, 2005; Ali *et*

al., 2012; Ali *et al.*, 2013; Ali *et al.*, 2014). El establecimiento de este trabajo es importante tanto para los programas de mejora genética como para recomendar a los agricultores y obtener material vegetal más productivo en suelos con problemas de salinidad. Por lo cual el objetivo de este estudio fue determinar la influencia del tipo del suelo, nitrógeno y la densidad de población sobre la producción de biomasa y rendimiento de grano del girasol en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en tres sitios con diferentes tipos de suelo del campus experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, (19° 29' N y 98° 54' O, 2250 m de altitud), con clima Cw que corresponde al menos seco de los áridos con régimen de lluvias en verano, temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 500 mm (García, 2005); a los suelos evaluados se les realizó un análisis físico-químico previo al establecimiento del experimento. La siembra del cultivar Victoria se llevó a cabo el 25 de mayo de 2011, los tratamientos fueron: tres sitios de suelo, los cuales presentaron las siguientes características del suelo: Suelo 1 (S1), textura franco arenoso, pH de 7.1 y CE de 0.49 dS m⁻¹, suelo 2 (S2), textura franco arcilloso limoso, pH de 7.8, CE de 1.75 dS m⁻¹ y Suelo 3 (S3), textura arcillosa, pH de 8.1 y CE de 5.11 dS m⁻¹. Los niveles de nitrógeno fueron: N0, N50 y N100 kg de N ha⁻¹ y densidades de población de: DP4= 4 plantas m⁻², DP8 = 8 plantas m⁻² y DP12 =12 plantas m⁻² generando 27 tratamientos. El diseño experimental fue de bloques al azar con arreglo de parcelas sub-subdivididas y cuatro repeticiones. A la parcela mayor correspondió el tipo de suelo, a la mediana el nivel de nitrógeno y a la menor las densidades de población. Durante el desarrollo del experimento se registraron la temperatura máxima y mínima diaria, la evaporación y la precipitación, los datos fueron proporcionados por la estación agrometeorológica del

Colegio de Postgraduados. Se determinó la acumulación de unidades calor por el cultivo (UC), utilizando el método residual (Flores *et al.*, 1985), el cual es descrito por la siguiente relación:

$$UC = T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}} / 2 - TB$$

Dónde: $T_{\text{máx}}$ = Temperatura máxima diaria ($^{\circ}\text{C}$), $T_{\text{mín}}$ = Temperatura mínima diaria ($^{\circ}\text{C}$) y TB = Temperatura base, considerada como 6°C (Merrien, 1986). La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se estimó para todo el experimento a partir de los datos de evaporación (E_v) del tanque tipo "A", utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro y 0.8 para el cultivo, a partir de la siguiente relación:

$$ET_c = E_v * 0.6 * 0.8 \text{ (Doorenbos y Pruitt, 1986).}$$

Las etapas fenológicas registradas fueron: días a emergencia (E), a inicio de antesis (R5) y a madurez fisiológica (MF); el criterio utilizado para determinar estas variables fue el de (Schneiter y Miller, 1981). A la cosecha se registró el rendimiento de grano (RG) y sus componentes, como área del capítulo (AC), peso de 100 semillas (P100S), biomasa total (BT) (suma del peso de la materia seca (MS) + rendimiento de grano) e Índice de cosecha (IC). A los datos obtenidos de cada variable se aplicó un análisis de varianza y se aplicó la prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS versión 9.1 (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elementos del clima

En la Figura 1, que presenta los datos de temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) promedio decenal y la precipitación suma decenal, durante el ciclo del cultivo, se observa que el promedio decenal durante la estación de crecimiento de Tmax fue 26 °C y la Tmin de 10 °C. La temperatura más alta ocurrió en la etapa vegetativa del cultivo y posteriormente, disminuyó conforme el ciclo de cultivo avanzó. La lluvia estacional acumulada fue de 388 mm, de la cual el 69 % ocurrió en el desarrollo del cultivo (270 mm). En la época de floración y llenado incidieron 118 mm que representa 31 % de la ocurrida durante el ciclo del cultivo.

Fenología

En los suelos evaluados, las etapas fenológicas ocurrieron en tiempo similar. No se observaron cambios en la fenología debido al suelo, N y DP. Así, la emergencia (E) de plántulas de girasol se presentó a los 7 días después de la siembra (DDS), el periodo de emergencia a inicio de floración (R5) ocurrió a los 65 (DDS). La madurez fisiológica (R9) se presentó a los 130 (DDS) (Figura 1). Estos resultados concuerdan parcialmente con los reportados (Escalante y Rodríguez, 2010), al evaluar la fenología de girasol en tres niveles de salinidad del suelo, en donde la (E) se presentó a los 8 DDS, el periodo de (R5) ocurrió a los 80 DDS y (R9) a los 130 DDS. Morales *et al.*, (2006) al experimentar el girasol en agrosistema (girasol-frijol), encontraron que la (E) ocurrió a los 9 DDS, la etapa R5 ocurrió 68 DDS y R9 a los 120 DDS.

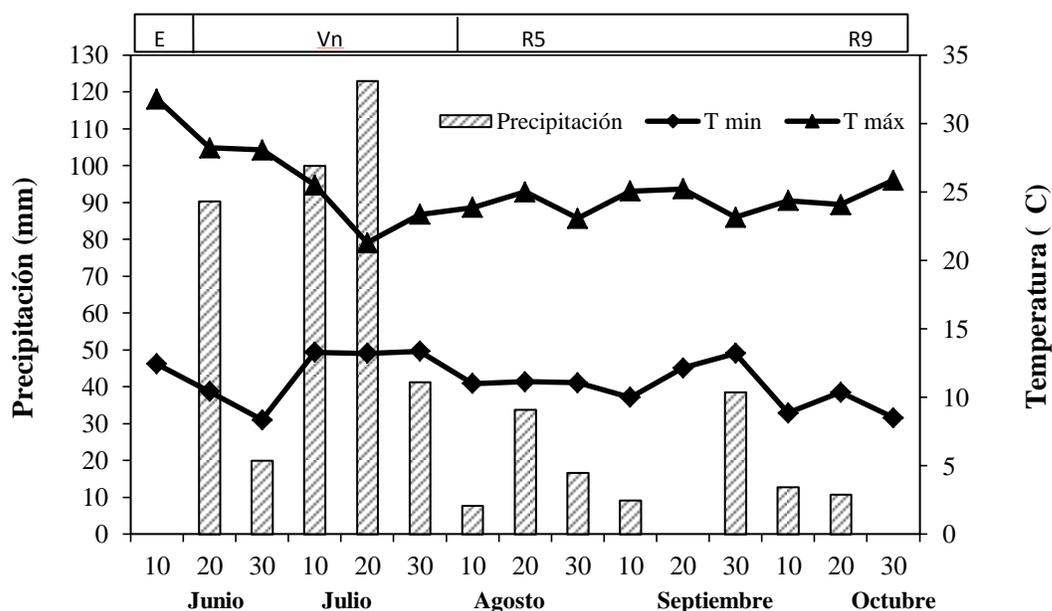


Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo, Méx. Verano 2011. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración y R9 = Madurez fisiológica.

Unidades Calor

La acumulación de las unidades calor (UC) en relación con la fenología del cultivo se presenta en la Figura 2. El requerimiento térmico del cultivo bajo condiciones de clima templado fue similar entre tratamientos. Así, las UC fueron $144\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ a la emergencia, $866\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ al inicio de anthesis (R5) y de $1510\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}\text{ d}$ a madurez fisiológica (R9). Olalde *et al.*, (2000) encontraron resultados para el cv. Victoria en un clima cálido (Cocula, Guerrero), donde la acumulación de UC para las etapas fenológicas fue de $120\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$, $1266\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ y $1744\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ para la emergencia, inicio de floración y madurez fisiológica, lo cual difirió con los resultados encontrados en este estudio, estos diferentes resultados se relacionan con las diferencias tan contrastantes en los climas en donde se realizó el estudio. Por otra parte

Morales *et al.*, (2006), encontraron para el cv. Victoria en clima templado (Montecillo, México), que para la emergencia, inicio de floración y madurez fisiológica se requirió de $105\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$, $840\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ y $1521\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ UC.

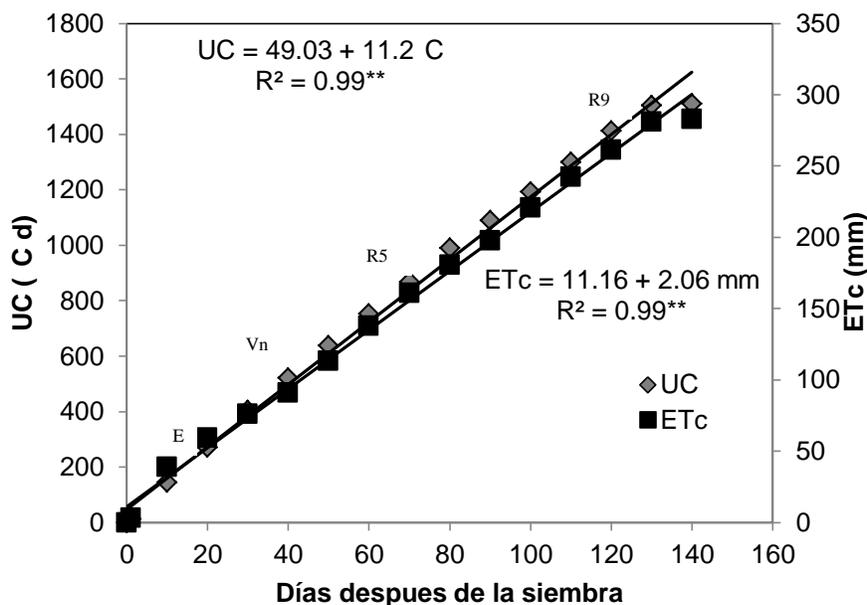


Figura 2. Unidades calor (UC) y Evapotranspiración (ETc) acumuladas de girasol cv. Victoria, Montecillo, Méx. Verano 2011. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración, R9 = Madurez fisiológica.

Evapotranspiración (ETc)

En la Figura 2, que relaciona la evapotranspiración acumulada del cultivo (ETc), se observa que el periodo de siembra a emergencia, la ETc fue de 39 mm, en el periodo de emergencia a antesis la ETc fue de 121 mm y de antesis a madurez fisiológica fue de 122 mm. La ETc acumulada durante todo el ciclo del cultivo fue de 282 mm. Así mismo Morales *et al.*, (2006), al evaluar el girasol cv. Victoria en un clima templado encontraron que de la siembra a emergencia la ETc fue de 15 mm, de emergencia a antesis fue de 185 mm y de antesis a madurez fisiológica fue de 80 mm. Teniendo una ETc acumulada durante todo el

ciclo del cultivo de 280 mm. Por otro lado Olalde *et al*, (2000) al evaluar el girasol cv. Victoria en un clima cálido encontró que la ETc de la siembra a emergencia fue de 22 mm, de emergencia a inicio de floración fue de 234 mm, y de inicio de floración a madurez fisiológica fue de 97 mm. La ETc acumulada durante todo el ciclo del cultivo fue de 353 mm.

En el Cuadro 1, se presenta el análisis de varianza de los factores de estudio y sus interacciones, en el cual muestra que para BT existe diferencias significativas en S, N, DP, S*N, S*DP y N*DP; mientras que para el IC las diferencias significativas se presentan en S, DP, N*DP y S*N*DP; para RG los factores que ocasionaron cambios significativos fueron S, N, DP, S*N, S*DP y S*N*DP; con respecto al P100S los factores que mostraron diferencias significativas se observaron en S, N y DP. Para AC las diferencias significativas se observaron en todos los factores y en las interacciones de estudio.

Cuadro 1. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento, peso de 100 semillas y área de capítulo, en función al tipo de suelo (S), nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano 2011.

FACTOR	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S g	AC cm ²
S	***	**	***	***	***
N	***	NS	***	*	***
DP	***	***	***	***	***
S*N	*	NS	***	NS	***
S*DP	***	NS	***	NS	*
N*DP	*	*	NS	NS	***
S*N*DP	NS	***	***	NS	***

* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$, *** = $P \leq 0.001$, NS = Diferencias no significativas a $P \leq 0.05$.

BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento de grano; P100S = Peso de 100 semillas; AC = Área de capítulo.

Biomasa total (BT)

Efecto de Suelo. La producción de BT, en suelo sin problemas de salinidad (S1) fue la más alta, seguido de S2 en donde la BT se redujo en 43 % respecto a S1 por los problemas de salinidad media y alcalinidad que en S3, en donde la salinidad es alta se redujo en 45 % (Cuadro 2). Mirzapoor *et al.* (2006), al evaluar la producción de girasol en dos suelos con problemas de salinidad (7.8 y 8.1 dS m⁻¹) encontraron reducción en la producción del aquenio. Por otra parte, Escalante y Rodríguez, (2010), al evaluar girasol en tres suelos con problemas de salinidad, encontraron que el suelo con menor grado de salinidad, fue el de mayor producción de materia seca. En la interacción S*N (Cuadro 3), la BT del cultivo fue significativamente 33 % y 30 % superior en S1 con 100 kg N ha⁻¹, respectivamente en relación a S2 y S3. En el cuadro 5, que presenta la interacción S*N*DP para BT, se observa que para S1 con 100 kg N ha⁻¹ y 12 plantas m⁻², la producción de materia seca fue la más alta (2173 g m⁻²), respuesta similar encontraron Olalde *et al.* (2001), al combinar N y DP alta. Habeen y Ahmad (2012), al evaluar aplicación foliar de sales al cultivo de girasol encontraron una reducción en MS de 16 % y 33 % en girasol con soluciones salinas de 4.8 dS m⁻¹ y 8.6 dS m⁻¹ respectivamente, en comparación con su control no salino. En ese sentido, Escalante y Rodríguez (2010) encontraron que en suelos con problemas de salinidad afecta el desarrollo de la planta y con ello la producción de BT.

Efecto de nitrógeno. Con la aplicación de 50 y 100 kg de N ha⁻¹ se observaron cambios significativos en la BT (Cuadro 2), ya que al suministrar N al cultivo se incrementa el área foliar, su duración, la BT y el RG, (Escalante, 1999). Se observó que al aplicar 50 y 100 kg de N ha⁻¹, la producción de MS incrementó en 12 % y 20 % respecto al testigo. Esto confirma los resultados de Vega *et al.* (2001) y Escalante (1999) en girasol, quienes señalan

que el N es esencial para el desarrollo del cultivo de girasol para incrementar la MS y el crecimiento del capítulo y el número de semillas. Respuestas similares para el RG en girasol encontraron Mollashshi *et al.* (2013) al evaluar niveles de N de 0, 75, 150 y 225 kg ha⁻¹, con resultados de 1091, 1159, 1256 y 1334 g m⁻². Para la interacción N*DP (Cuadro 5), la BT mostró diferencias significativas. Así el N (100 kg h⁻¹) incrementó en las tres densidades evaluadas en 60 % y 32 % la producción de materia seca. Esto coincide con lo encontrado por Escalante y Rodríguez, (1994; Escalante, (1999); Vega *et al.* (2001) en donde señalan que al combinar la fertilización nitrogenada y densidad alta, se logra la producción de materia seca más alta.

Cuadro 2. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento, peso de 100 semillas y área de capítulo de girasol en función Suelo (S), Nitrógeno (N) y Densidad de Población (DP). Verano 2011. Factores principales.

FACTOR	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S g	AC cm ²
S1	1365 a	25 b	346 a	8 a	315 a
S2	778 b	29 a	258 b	7 b	200 b
S3	760 b	30 a	228 c	6 c	94 c
DMS	47.5	1.03	6.1	0.6	19.9
N0	871 c	27 b	255 b	6 b	189 b
N50	956 b	28 a	288 a	7 a	191 b
N100	1075 a	28 a	289 a	7 a	230 a
DMS	34.9	0.7	5.9	0.2	13.09
DP4	524 c	31 a	191 c	7 a	238 a
DP8	1010 b	28 b	289 b	7 a	200 b
DP12	1367 a	25 c	350 a	6 b	172 c
DMS	29.6	0.94	4.0	0.2	10.9
CV	3.4	2.3	2.5	3.9	6.1

^aLetras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05 BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento de grano; P100S = Peso de 100 semillas; AC = Área de capítulo. S1 = Suelo 1; S2 = Suelo 2; S3 = Suelo 3; N0 = 0 kg de N ha⁻¹; N50 = 50 kg de N ha⁻¹; N100 = 100 kg de N ha⁻¹; DP4 = 4 plantas m⁻²; DP8 = 8 plantas m⁻²; DP12 = 12 plantas m⁻².

Efecto de densidad de población. Durante el desarrollo del cultivo, la producción de BT por m^2 mostró un incremento significativo por el aumento de la densidad de población (Cuadro 1). Así las densidades altas (8 y 12 plantas m^{-2}) produjeron 27 % y 62 % más que la densidad baja. Resultados similares reportan para girasol Olalde *et al.* (2000) y Aguilar *et al.* (2005).

Cuadro 3. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y componentes del girasol Victoria en función al suelo y niveles de nitrógeno. Verano 2011.

SUELO	N kg ha ⁻¹	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S g	AC cm ²
S1	0	1221 c	24 e	332 b	8 ab	285 b
	50	1337 b	27 d	351 a	8 ab	290 b
	100	1537 a	25 e	360 a	8 a	365 a
S2	0	700 e	29 c	225 f	6 cd	190 c
	50	815 d	29 a	267 c	7 b	195 c
	100	865 d	31 ba	281 d	7 bc	218 c
S3	0	690 e	29 c	207 g	6 d	84 d
	50	766 d	29 c	232 ef	6 d	93 d
	100	823 d	29 bc	244 e	6 d	106 d
DMS		83.3	1.7	13.2	0.8	32.3
CV		3.5	2.5	1.9	4.7	6.6

¶Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05. Para tratamiento de suelos y niveles de nitrógeno. BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento de grano; P100S = Peso de 100 semillas; AC = Área del capítulo.

Índice de cosecha (IC)

El IC mostró cambios significativos por efecto del tipo suelo. En S1 el IC fue de 25 % Para S2 y S3 fue más alto con 29 y 30 % respectivamente (Cuadro 2). En cuanto al N, el IC no presentó diferencias significativas debido a cambios en dicho nutrimento. En relación al efecto de la DP sobre el IC, en la densidad alta 12 plantas m^{-2} el IC fue el más bajo 25 %,

mientras que en las densidades de 4 y 8 plantas m⁻² fue más alto (31 y 28 % respectivamente). Con la mayor densidad de plantas se logran coberturas de terreno más tempranas y un mayor dosel vegetal, lo que representa una mayor captación de la radiación interceptada. Aumentos en la radiación interceptada por el cultivo incrementan la producción de fotoasimilados, los cuales, al ser exportados a los órganos de interés económico, contribuyen a incrementar el índice de cosecha (Morales *et al.*, 2008). En este sentido Nasin *et al.* (2012), al evaluar niveles de nitrógeno no encontraron respuestas significativas en el IC para girasol.

Cuadro 4. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y componentes del girasol Victoria en función de la interacción tipo de suelo y densidad de población. Verano 2011.

SUELO	DP plantas m ⁻²	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S g	AC cm ²
S1	4	749 e	29 b	249 f	8 ab	360 a
	8	1426 b	23 d	358 b	8 a	319 b
	12	1919 a	23 d	429 a	8 ab	269 c
S2	4	412 f	31 a	175 g	7 b	226 d
	8	836 d	31 a	261 e	7 bc	196 c
	12	1030 c	27 c	338 c	6 cd	178 e
S3	4	413 f	30 a	149 h	6 de	128 f
	8	767 de	30 a	249 f	6 de	88 g
	12	1153 c	25 d	284 d	5 e	68 g
DMS		74.7	2.1	10.03	0.74	29.01
CV		3.1	3.09	1.5	4.3	5.9

¶Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05 Para tratamiento de suelo y densidad de población. BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento de grano; P100S = Peso de 100 semillas; AC = Área del capítulo.

La producción de biomasa (BT) presentó cambios significativos por efecto del tipo de S, N

y DP (Figura 3 y 4), la mayor BT se generó con S1-N100 y S1-DP12, con incrementos de 55 % y 78 % respecto al tratamiento de S3-N0 y S3-DP4. Al respecto Rasool *et al.* (2013), al evaluar niveles de nitrógeno de 40, 80 y 120 kg ha⁻¹, obtuvieron 615, 689 y 720 g m⁻² para BT respectivamente, similar a los obtenidos en girasol con la aplicación de N. Respuestas semejantes encontraron, Escalante y Rodríguez (2010), al evaluar girasol bajo condiciones edáficas de salinidad en donde la BT fue superior en 70 %, al testigo de baja salinidad. Los mayores incrementos se presentaron en S1, seguido de S2 y los más bajos en el S3, al presentar 16.6, 16.5 y 13.3 g m⁻² por cada unidad lineal de N respectivamente, y en DP fue en S1, seguido de S2 y el más bajo en S3, presentando 14.6, 8.9 y 8.1 g m⁻² por unidad lineal de DP.

El RG mostró cambios significativos por efecto de S. El mayor incrementó se presentó en S1-N100 y S1-DP12 (Figura 3 y 4) con incrementos de 42 % y 65 %, respecto al testigo (S3-N0) y (S3-DP4). Tendencias similares fueron encontradas por Rasool *et al.* (2013), al evaluar niveles de N, teniendo resultados de RG de 255 g m⁻², con 120 kg de N ha⁻¹. Por otra parte, Escalante y Rodríguez (2010), al evaluar la conductividad eléctrica en tres suelos, encontraron mayor RG en suelos con baja salinidad de 5 dS m⁻¹ (102 g m⁻²), seguido por el suelo de media salinidad 7 dS m⁻¹ (63 g m⁻²) y por último el suelo con alta salinidad 11 dS m⁻¹ (29 g m⁻²).

Rendimiento de grano (RG), peso de 100 semillas (P100S) y área de capítulo (AC)

Efecto de tipo de suelo. En S1 en donde no se tiene problemas de salinidad el RG fue de 35 % respecto al S3 en donde si tiene problemas de salinidad (Cuadro 2). Por otra parte, el P100S y AC, tuvieron valores de 8 g m⁻² y 315 cm² respectivamente para el S1, mientras que para el S3 se obtuvieron los valores más bajos con 6 g m⁻² y 94 cm² respectivamente.

En la interacción S*N (Cuadro 3), en cualquier suelo con la adición de N el RG se incrementó (S1 18 %, S2 20 % y S3 16 %) respecto al testigo. En cuanto al P100S y AC, en S1 y con 100 kg de N se observaron los valores más altos con 8 g m⁻² y 365 cm². Para la interacción S*DP (Cuadro 4), el RG mas alto (429 g m⁻²) fue con S1 y con una densidad de 12 plantas m⁻². Para el P100S, se muestran valores significativos en el S1 y con las tres densidades evaluadas alcanzando 8 g. En relación a la interacción S*N*DP (Cuadro 5), con la combinación de S1, N-100 y con 12 plantas m⁻², se logró el RG más alto (437 g m⁻²) y fue superior en 20 % y 33 % respecto al S2 y S3. El P100S y AC más alto (8 g y 452 cm²), se encontró en S1 con 100 kg de N ha⁻¹ y con una densidad de 4 plantas m⁻². Mona *et al.* (2012) al evaluar el girasol con diferentes grados de ácido salicílico en el suelo de 0 a 100 mg L, afectó el RG en 80 y 108 g m⁻², respectivamente. En ese sentido, Manjunatha *et al.* (2005), señalan que el RG de girasol se ve afectado por la conductividad eléctrica encontrada en el suelo, ya que al evaluar a 4 y 6 dS m⁻¹, reportan un RG de 603 y 500 g m⁻².

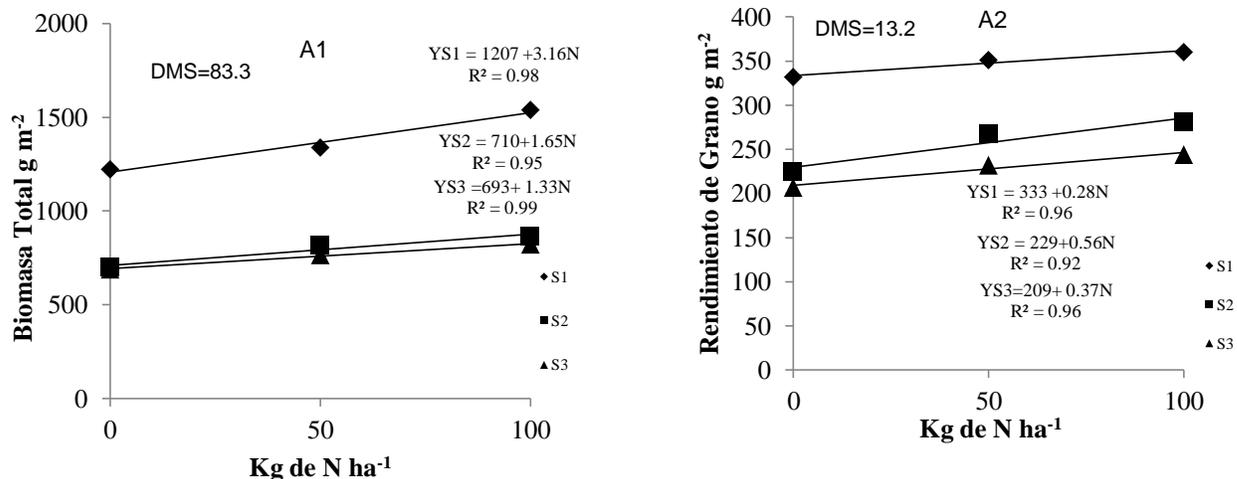
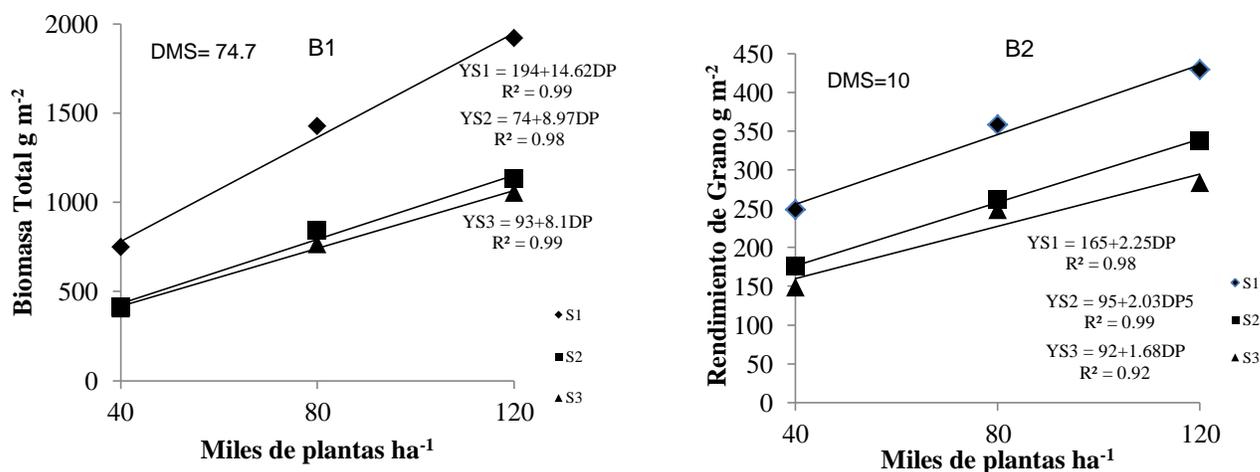


Figura 3. Biomasa total (A1) Rendimiento de grano (A2) del girasol en función del nitrógeno (N) N0, N50 y N100 kgha⁻¹ y suelo (S) y S1, S2 y S3. DSM = diferencia mínima significativa. Verano de 2011.



Figuras 4. Biomasa total (B1) Rendimiento de grano (B2) del girasol en función a la Densidad de población (DP) DP40, DP80 y DP120 mil plantas h⁻¹ y suelo (S) y S1, S2 y S3. DMS = diferencia mínima significativa. Verano de 2011.

Cuadro 5. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y componentes del girasol Victoria en función al suelo, nitrógeno y densidad de población. Verano 2011.

SUELO	N kg ha ⁻¹	DP plantas m ⁻²	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S g	AC cm ²	
1	0	4	637 m	22 efg	226 ij	7 abcde	230 bc	
		8	1326 ef	22 efg	345 d	7 abcde	280 b	
		12	1699 c	26 de	415 a	8 abcd	247 cde	
	50	4	713 lm	35 a	271 efgh	7 abcde	338 b	
		8	1412 de	24 ef	358 dc	8 abc	284 bcd	
		12	1886 b	22 efg	425 a	8 abcd	250 cde	
	100	4	896 jk	31 bc	249 hi	8 ab	452 a	
		8	1542 d	23 efg	371 bc	8 a	330 b	
		12	2173 a	20 g	437 a	8 abcd	314 b	
	2	0	4	325 op	31 bc	150 no	7 cdefg	213 efgh
			8	803 kl	31 abc	248 hi	6 defgh	182 efghi
			12	964 ij	25 de	277 efg	6 fgh	176 ghi
50		4	435 nop	31 abc	185 lm	8 bcdef	226 defg	
		8	824 jkl	32 abc	277 fg	7 abcd	188 efghi	
		12	888 gh	26 abc	382 b	7 bcdef	164 hij	
100		4	476 n	33 ab	190 kl	8 abc	240 cdef	
		8	880 jk	31 bc	257 gh	7 bcdef	219 efgh	
		12	1239 fg	29 cd	355 cd	6 efgh	195 efghi	
3		0	4	304 p	34 ab	136 o	6 defgh	117 jkl
			8	707 lm	27 de	209 jk	6 defgh	95 kl
			12	1072 hi	27 de	276 fg	6 gh	67 l
	50	4	465 no	33 ab	146 o	6 efgh	113 jkl	
		8	826 jkl	31 bc	264 fgh	6 defgh	74 l	
		12	1155 jg	24 ef	286 ef	5 fgh	66 l	
	100	4	469 n	32 abc	166 mn	6 efgh	153 jk	
		8	768 klm	32 abc	273 efg	5 gh	95 l	
		12	1232 efg	24 efg	292 e	5 fgh	70 l	
	DMS			143.3	3.7	23.4	1.3	57.8
	CV			5.4	4.8	3.1	7.1	10.4

¶ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05. Para

tratamiento de suelo, nitrógeno y densidad de población. BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento de grano; P100S = Peso de 100 semillas; AC = Área del capítulo.

Efecto de nitrógeno. Al aplicar el N (50 y 100 kg ha⁻¹), ocasionó cambios significativos en el RG por m², la producción fue superior 288 y 289 g m⁻² respecto al testigo con 191 g m⁻²

(Cuadro 1). El P100S, no presentó cambios significativos en cuanto al nivel de fertilización (Cuadro 1), mientras que para el AC presenta diferencias significativas con la aplicación del N (cuadro 2), ya que al suministrar el nutrimento el AC incrementa hasta un 17 % con respecto al testigo. Tendencias similares encontraron Escalante, (1999), Olalde *et al.* (2001), Vega *et al.* (2001), al evaluar diferentes niveles de nitrógeno en el girasol. En la interacción N*DP (Cuadro 4), se muestran diferencias significativas entre DP al suministrar N, en la densidad alta y con 100 kg de N, se obtuvo el mayor RG (326 g m⁻²), tendencias similares encontró Süzer, (2010), al aplicar 50 kg N y con densidad de población de 95 mil plantas ha⁻¹ que obtuvo un RG de 200 g m⁻². En este sentido Mollashshi *et al.* (2013) con niveles de nitrógeno de 0, 75,150 y 225 kg ha⁻¹, encontraron resultados para RG que van de 151, 163, 172 y 182 g m⁻², respectivamente. Al respecto, Ali and Noorka, (2013), con 85 a 185 kg de N ha⁻¹ lograron incrementar en 28 % la producción de grano en girasol.

Efecto de densidad de población. Al aumentar la DP se observó un notable incremento en la producción de grano, ya que el aumento de plantas por m² condujo a un mayor RG con 289 y 350 g m⁻², respectivamente respecto a la densidad baja 191 g m⁻². Mientras que para el área de capítulo al elevar la DP (4, 8 y 12 plantas m⁻²), el AC se redujo de (238, 200 y 172 cm²); mientras que para P100S no presentó diferencias por efecto de la DP. Estos datos concuerdan con lo encontrado por Aguilar *et al.* (2005), al evaluar densidades de población en girasol, incrementa el número de semillas m⁻² y por lo tanto el rendimiento. En relación a la interacción S*DP (Cuadro 2), el mayor RG (429 g m⁻²) se encontró en el S1 y con la DP alta; para el P100S se observan diferencias significativas entre tipo de suelo, ya que el S1 se obtuvieron los pesos más altas de 8 g; en el AC, se muestran diferencias significativas entre suelos. Así, en S1 con la DP baja se obtuvo la mayor AC (360 cm²), debido a que no

hay menor competencia por los nutrientes para el desarrollo de la planta (Escalante, 1999). Datos similares encontraron Ali *et al.* (2014), al evaluar tres densidades de población (8.3, 6.6 y 5.5 plantas m⁻²) en dos genotipos de girasol dando resultados en RG de 311, 294 y 258 g m⁻² respectivamente.

CONCLUSIONES

La ocurrencia de las fases fenológicas no fue afectada por el tipo de suelo, la fertilización nitrogenada y densidad de población.

La producción de biomasa total, rendimiento de grano del girasol, el índice de cosecha, peso de 100 granos y el área del capítulo, están determinados por el tipo de suelo, la fertilización nitrogenada y la densidad de población.

La producción de biomasa y rendimiento de grano más alto es en suelo con Ph neutro, fertilización nitrogenada (100 kg de N ha⁻¹), y con una densidad de 12 plantas m⁻².

La fertilización nitrogenada y el aumento en densidad de población incrementan la biomasa total por unidad de superficie, el rendimiento de grano por aumento en el índice de cosecha y el área del capítulo.

LITERATURA CITADA

Aguilar C. L.; Escalante E. J. A.; Fucikovski Z. L.; Tijerina C. L.; Mark E. E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. Terra. Vol. 23. Núm. 3. Pp 303-310.

- Ali A. and Noorka I. R. 2013. Nitrogen and phosphorus management strategy for better growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrid. Soil Environ. 32(1): 44-48.
- Ali A., Ahmad A., Khaliq T., Afzal M., Iqbal Z., Qamar R. 2014. Plant population and nitrogen effects on achene yield and quality of sunflower (*Helianthus Annuus* L.) hybrids. International Conference on Agricultural, Environmental and Biological Sciences Pp. 1-4.
- Ali A., Ahmad A., Khaliq T., Ali A., Ahmad M. 2013. Nitrogen nutrition and planting density effects on sunflower growth and yield. Pakistan Journal of Nutrition 12 (12): 1024-1035.
- Aragües R. y Bercero A. 1996. Respuesta del girasol (*Helianthus annuus* L.) a la salinidad del suelo. Invest. Agr. Prod. Prol. Veg. Vol. II.
- Carcova, J ; Borrás, L; Otegui, M,E. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en maíz. En: Satorre, E y col. (Eds.) Producción de Granos: Bases funcionales para su manejo. Facultad de Agronomía. UBA. P 135-157.
- Demirer, T., Özer, I., Koçtürk, Ö.M., Yesilyurt, Er. A., 2004. Effect of different leaf fertilizers on yield and quality in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Pakistan Journal of Biological Sciences 7(3): 384-388.
- Díaz Z. M. 2002. Nutrición mineral y fertilización. En: M. Díaz-Zorita y G. A. Duarte, Manual práctico para el cultivo de girasol, Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires (Argentina), 77-96.
- Doorenbos J. y W. O. Pruitt. 1986. Las necesidades del agua por los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24.

- Escalante Estrada, J.A., 1995. Nitrógeno y salinidad y sus efectos sobre el crecimiento del girasol. *Terra* 13 (3): 376-384.
- Escalante J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17: 149-157.
- Escalante-Estrada, J. A. y M. T. Rodríguez. 1994. Mayor eficiencia en el uso del nitrógeno en girasol mediante el manejo del cultivo. pp. 345-347. In: *Agroecología y desarrollo sostenible*. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Escalante E. J.A. and Rodríguez G. M.T. 2010. Sunflower biomass distribution and seed yield in saline soil of Mexico highlands. *HELIA*, 33, Nr. 52, p.p. 127-134.
- FAO. 2000. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. Rome, Italy: FAO Land and Plant Nutrition Management.
- Flores J. M., J. L. Chan y L. Bravo. 1985. Fenología del maíz y frijol en el altiplano de Zacatecas. II. Unidades calor (UC) y desarrollo fenológico. *Fitotecnia* 7: 66-81.
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- García L. A. y Quinche J. A. 2012. Girasol: respuesta a la aplicación foliar de boro en suelos del litoral suroeste de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. (16) (1): 7-14.
- González L. M., González M. C., Ramírez R. 2002. Aspectos generales sobre la tolerancia a la salinidad en las plantas cultivadas. *Cultivos Tropicales*. Vol. 23. No. 2. Pp. 27-37
- Habeen N. and Ahmad R. 2012. Improving tolerance of sunflower and safflower during growth stages to salinity through foliar spray of nutrient solutions. *Pak. J. Bot.*, 44(2): 563-572.

- Loomis, R.S. y Connor, D.J. 2002). Crop Ecology, Productivity and management in agricultural systems, Cambridge University Press, New York, USA. pp. 591.
- Manjunatha H., Rajakumar G. R., Ravishankar G., Salimath S. B., Raghavaiah C. V. 2005. Enhancing Sunflower Productivity in Saline Soils. Karnataka J.Agric.Sci.,18 (2):282-284.
- Merrien A. 1986. Cahier technique turnesol. Physiologie. CETIOM. Paris. Pp. 1-47.
- Mirzapour M. H. and Khoshgoftar A. H. 2006. Zinc Application Effects on Yield and Seed Oil Content of Sunflower Grown on a Saline Calcareous Soil. Journal of Plant Nutrition, 29: 1719–1727.
- Mollashahi M., Ganjali H., Fanaei H. 2013. Effect of different levels of nitrogen and potassium on yield, yield components and oil content of sunflower. Intl J Farm & Alli Sci. Vol., 2 (S): 1237-1240.
- Mona G. D., Mervat S. S., Hozayen M. 2012. Physiological Role Of Salicylic Acid In Improving Performance, Yield And Some Biochemical Aspects Of Sunflower Plant Grown Under Newly Reclaimed Sandy Soil. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6(4): 82-89.
- Morales R. E. J., Escalante E. J. A., Tijerina C. L., Volke H. V., Sosa M. E. 2006. Biomasa, rendimiento, eficiencia del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol. Terra. (24) (1):55-64.
- Morales R. E. J., Escalante E. J. A. S., López S. J. A. 2008. Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociado con girasol (*Helianthus annuus* L.). Universidad y Ciencia. Vol. 24 No.001. pp. 1-10.
- Munns R.; Goya S S.; Passioura J. 2005. Salinity stress and its mitigation. University of California, Davis. 19 p.

- Nasim W., Ahmad A., Bano A., Olatinwo R., Usman M., Khaliq T., Wajid A., Hammad H. M., Mubeen M., Hussain M. 2012. Effect of Nitrogen on Yield and Oil Quality of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Hybrids under Sub Humid Conditions of Pakistan. American Journal of Plant Sciences, 3, 243-251.
- Olalde G. V. M.; Escalante E. J- A.; Sánchez G. P.; Tijerina C. L.; Mastache L. A. A.; Carreño R. E. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima templado. Terra. Vol. 18. Num. 004. Pp. 313-323.
- Rasool. F U., Hassan B., Jahangir I. A. 2013. Growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) as influenced by nitrogen, sulphur and farmyard manure under temperate conditions. saarc j. Agri., 11(1): 81-89.
- SAS Institute. 2004. SAS User's Guide. Statistics. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Schneiter, A. and Miller, J.F., 1981. Description of sunflower growth stages. Crop Sci. 21: 901-903.
- SIAP (Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera). 2012. Producción agrícola de cultivos cíclicos y perennes. www. siap.gob.mx.
- Süzer, S. 2010. Effects of nitrogen and plant density on Dwarf sunflower hybrids. HELIA, 33, Nr. 53, p.p. 207-214.
- Vega M. R., Escalante E. J. A., Sánchez G. P., Ramírez G. A., Cuenca A. E. 2001. Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población. Terra. Vol.19. Núm. 001. Pp 75-81.

CAPÍTULO II

**ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE GIRASOL EN RELACIÓN
AL NITRÓGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN**

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE GIRASOL EN RELACIÓN AL NITRÓGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN

Yasmani Rafael Arenas Julio

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

El girasol (*Helianthus annuus* L.), es considerado como uno de los cultivos oleaginosos más importantes en la producción de aceite. Las prácticas agronómicas como la fertilización y densidades de población se han generalizado para todos los cultivos para el logro de altos rendimientos. El objetivo del presente estudio fue determinar sobre los índices de crecimiento y rendimiento de girasol el efecto de nitrógeno y densidad de población en Montecillo, Texcoco, Estado de México. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 0, 50 y 100 kg ha⁻¹ de N y densidades de población de 4, 8 y 12 plantas m⁻² (DP4, DP8 y DP12, respectivamente). El diseño fue bloques al azar con arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones. La temperatura máxima y mínima promedio durante el desarrollo del cultivo fue de 26 y 10 °C, respectivamente, con precipitación acumulada de 388 mm. La emergencia se presentó siete días después de la siembra (dds), el inicio de floración a los 63 dds, la madurez fisiológica se presentó a los 120 dds. Con la combinación de N100 y DP12 se incrementó el número de hojas, índice y duración del área foliar, la tasa de crecimiento del cultivo y por lo tanto, incrementos en la producción de biomasa total y rendimiento de grano.

Palabras clave: área foliar, índices de crecimiento, rendimiento de grano.

ANALYSIS OF GROWTH AND YIELD OF SUNFLOWER IN RELATION TO NITROGEN AND POPULATION DENSITY

Yasmani Rafael Arenas Julio

Colegio de postgraduados, 2015

ABSTRACT

The sunflower (*Helianthus annuus* L.) is considered one of the most important oil crops in oil production. Fertilization and population densities as agronomic practices are widespread for all crops to achieve higher yields. The aim of this study was to determine rates on growth and yield of sunflower the effect of nitrogen and population density in Montecillo, Texcoco, Mexico State. The treatments consisted of the application of 0, 50 and 100 kg N ha⁻¹ and population densities of 4, 8 and 12 plants m⁻² (DP4, DP8 and DP12, respectively). The design was a randomized block split-plot arrangement and four replications. The maximum and average minimum temperature during the growing season was 26 and 10 °C, respectively, with accumulated rainfall of 388 mm. The emergency was introduced seven days after sowing (das), the initiation of flowering at 63 dds, physiological maturity was presented at 120 dds. N100 with the combination of DP12 and leaf number, rate and length of the leaf area, the rate of growth of the crop and hence increases in total biomass production and increased grain yield.

Key words: leaf area, growth rates, grain yield.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento se refiere a un incremento de materia seca o volumen, cambios de tamaño, masa y/o número, como una función del genotipo y el complejo ambiental, dando como resultado un aumento cuantitativo del tamaño y peso de la planta.

El análisis matemático de crecimiento usa variables directas, tales como peso seco (W), área foliar total (AF) y tiempo (T), mientras que la tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), relación de área foliar (RAF), tasa de asimilación neta (TAN), área foliar específica (AFE), índice de área foliar (IAF) y duración de área foliar (DAF) son calculadas a partir de las medidas directas (Hunt, 1978).

Análisis de crecimiento (ANCRE), es una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas (Clavijo, 1989). El ANCRE ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores que influyen el desarrollo de la planta y el rendimiento, a través del seguimiento de la acumulación de materia seca durante el tiempo (Gardner *et al.*, 1985; Tekaling y Hammes, 2005). El ANCRE ha sido practicado de dos maneras distintas, la primera denominada análisis clásico, contempla medidas hechas a intervalos relativamente largos de tiempo usando un gran número de plantas; la segunda denominada análisis funcional, comprende medidas a intervalos de tiempo más frecuentes con un pequeño número de plantas y usa el método de regresión (Hunt, 1978).

De esta forma se tienen índices relacionados con cada uno de estos aspectos, por un lado el índice de área foliar (IAF), representa la relación entre el área foliar o superficie

fotosintetizadora y el área del suelo ocupada por el cultivo y la relación del área total y el peso seco total. Otros índices permiten evaluar la eficiencia de la planta, como la tasa relativa de crecimiento (TRC), la tasa de asimilación neta (TAN) mide la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar y por unidad de tiempo, y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) que es considerado un índice de la productividad agrícola, mide la ganancia en peso de una población de plantas por unidad de área de suelo y por unidad de tiempo y usualmente es similar para todas aquellas variedades de alto rendimiento. En cuanto al tiempo que el follaje persiste se tiene la duración del área foliar (DAF) como índice que representa la producción en el periodo de crecimiento del cultivo.

El resultado de estos procesos es la acumulación de materia seca por planta, la cual también depende de la magnitud del área foliar por unidad de superficie (IAF), duración de área foliar (DAF) y tasa de asimilación neta (TAN) (Escalante y Kohashi, 1993; Aguilar *et. al.*, 2005; Olalde, 2000). Sin embargo, al incrementar la densidad de población aumenta el auto sombreado, lo que reduce el acceso de la luz conforme progresa el ciclo del cultivo e incrementa la senescencia de las hojas, por lo cual la TAN disminuye, así también retrasa la floración, afecta la altura de la planta, el diámetro del capítulo y tamaño de la semilla (Scott y Batchelor, 1979; Feoli, 1993; Escalante, 1999; Johnson, 2002).

Las plantas a diferencia de los animales, constan de órganos autotróficos (fuente) que producen azúcares y aminoácidos a partir de los compuestos resultantes de la fotosíntesis, y órganos heterotróficos (demanda) que consumen estos productos en crecimiento, almacenamiento y reproducción. La fuente se refiere a los tejidos de las planta que son productores netos de carbono, generalmente tejidos verdes fotosintéticos que son

exportadores netos de asimilados. En plantas como la dalia las hojas y los tallos son los tejidos encargados de la demanda e importadores netos de asimilados, y consisten de órganos que crecen rápidamente tales como los meristemos, hojas inmaduras y tejidos de almacenamiento como los tubérculos, semillas o raíces Arenas *et al.* (2011). La demanda es un usuario neto de carbono, para los procesos de respiración, crecimiento y almacenamiento de compuestos de carbono. La potencia de la demanda se refiere a la habilidad de los órganos encargados de la demanda para atraer o acumular compuestos de carbono. En plantas como la dalia y papa, el órgano demanda de mayor interés es el tubérculo (Arenas *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2010).

El metabolismo de la fuente y la demanda están estrechamente acoplados porque la información de disponibilidad de asimilados en cada órgano, es percibida y usada para orquestrar la expresión de genes. Esta coordinación es necesaria para evitar amplias fluctuaciones y desbalances entre el abastecimiento y la demanda. Bajas demandas de fotosintatos pueden acumular asimilados en las hojas fuente, causando la represión de genes que codifican para componentes fotosintéticos y resulta en una disminución de la capacidad fotosintética, por consiguiente, la capacidad de la demanda puede regular la actividad de la fuente (Foyer y Paul, 2001). El objetivo de este estudio fue determinar el análisis de crecimiento y rendimiento de girasol en función del nitrógeno y densidad de población en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en tres sitios del campus experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, (19° 29' N y 98° 54' O, 2250 m de altitud),

con clima Cw que corresponde al menos seco de los áridos con régimen de lluvias en verano, temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 500 mm (García, 2005). La siembra del cultivar Victoria se llevó a cabo el 25 de mayo de 2011, en un suelo de textura franco arenoso, pH de 7.1 y CE de 0.49 dS m⁻¹, los tratamientos fueron tres niveles de nitrógeno de: 0, 50 y 100 kg ha⁻¹ y tres densidades de población de DP4= 4 plantas m⁻², DP8= 8 plantas m⁻² y DP12= 12 plantas m⁻² generando 9 tratamientos. El diseño experimental fue de bloques al azar con arreglo de parcelas subdivididas y cuatro repeticiones. A la parcela mayor correspondió el nivel de nitrógeno y a la parcela menor las densidades de población. Durante el desarrollo del experimento se registraron la temperatura máxima y mínima diaria, la evaporación y la precipitación. Las etapas fenológicas, determinadas según la guía de Schneiter y Miller (1981), fueron: emergencia (fecha cuando al menos 50 % de las plántulas han emergido y las primeras hojas verdaderas son menores que 4 cm de longitud, etapa Ve), aparición de capítulo (fecha cuando al menos 50 % de la población presenta la yema terminal en forma de una cabezuela apinada de hojas y que vista desde arriba da la apariencia de una estrella, R1), floración (fecha cuando 50 % de la población muestra en la periferia del capítulo las lígulas expuestas y turgentes e inicia la antesis, R5) y madurez fisiológica (se registró cuando las brácteas del involucre y las flores exteriores de la inflorescencia de 50 % de la población muestra se tornaron amarillas y de color oscuro, R9).

A la cosecha se registró el rendimiento de grano (RG) y sus componentes, como diámetro del capítulo (DC), peso de 100 semillas (P100S), biomasa total (BT) (suma del peso de receptáculo+ peso seco de tallo + peso seco de hoja + peso de grano) e Índice de cosecha

(IC = RG / BT, %). Los datos se analizaron con el paquete SAS y las diferencias entre tratamientos se evaluaron con la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad.

Índices de análisis de crecimiento. Mediante muestreos periódicos de tres plantas por unidad experimental a los 26, 52, 77 y 96 días después de la siembra (DDS), se determinaron altura, número de hojas verdes por planta (NH), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), duración del área foliar total (DAFT) y biomasa seca (BT) por planta y por unidad de superficie, representada por la suma de la materia seca acumulada en lámina foliar, tallo (incluyendo pecíolos) y, en su momento, capítulo (receptáculo + grano). Para obtener el peso seco, se colocó el material vegetal en una estufa con circulación forzada de aire a 80 °C, por 72 h. A la cosecha (120 DDS) se evaluó el rendimiento de grano (RG) por planta y por m². Para el número de hojas verdes, se contabilizó el total de hojas presentes en la planta que fueran superiores a 4 cm de longitud y que presentaran al menos 50 % de su superficie de color verde. El AF se determinó mediante un integrador electrónico de área, modelo Li-3100 (Licor, Inc. Lincoln, NE, EE UU). El IAF se calculó con la expresión: IAF = (AF * densidad de población) / unidad de superficie. La duración de área foliar DAFT se calculó mediante la ecuación:

$$DAFT = [(IAF_2 + IAF_1) (T_2 - T_1)] / 2$$

Dónde: IAF_{1, 2} = índice de área foliar al inicio y final del intervalo, T_{1, 2} = tiempo inicial y final del intervalo.

La eficiencia en el uso del agua (EUA) y de la radiación se calcularon con las expresiones:

$$EUA = (\text{Biomasa o rendimiento}) / ETc; \text{ y } EUR = (\text{Biomasa o rendimiento}) / PAR.$$

La tasa de asimilación neta media (TAN, g dm⁻² d⁻¹) se determinó con la ecuación:

$$TAN = \left(\frac{WS_2 - WS_1}{AF_2 - AF_1} \right) \left(\frac{\ln AF_2 - \ln AF_1}{t_2 - t_1} \right)$$

Dónde: ln = logaritmo natural, AF_{1, 2} = área foliar al inicio y final del intervalo de tiempo, w_{1, 2} = peso seco al inicio y final del intervalo de tiempo.

A las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza y a las que mostraron diferencias significativas se les realizó una prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05), además de un análisis de correlación y regresión mediante el paquete estadístico SAS, Versión 9.1 (SAS Institute, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clima y fenología

Durante el ciclo del cultivo del girasol, la temperatura máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}) promedio fueron de 26 °C y 10 °C, respectivamente. Las más elevadas ocurrieron durante las cuatro primeras decenas de crecimiento del cultivo (27 °C y 11 °C para T_{máx} y T_{mín}, respectivamente), es decir, de siembra a primeras etapas del ciclo vegetativo. Posteriormente tendieron a disminuir, de tal manera que las más bajas se presentaron en la decena 11, con valores medios de 31 °C y 18 °C para T_{máx} y T_{mín}, respectivamente, que correspondió al llenado del capítulo. La precipitación acumulada de la siembra a madurez fisiológica fue de 388 mm; la mayor incidencia 31 % (270 mm) se presentó de siembra a inicio de floración (R5). De acuerdo con Escalante (1999) las condiciones climáticas tanto de temperatura como precipitación que se presentaron, son apropiadas para el cultivo del girasol (Figura 1).

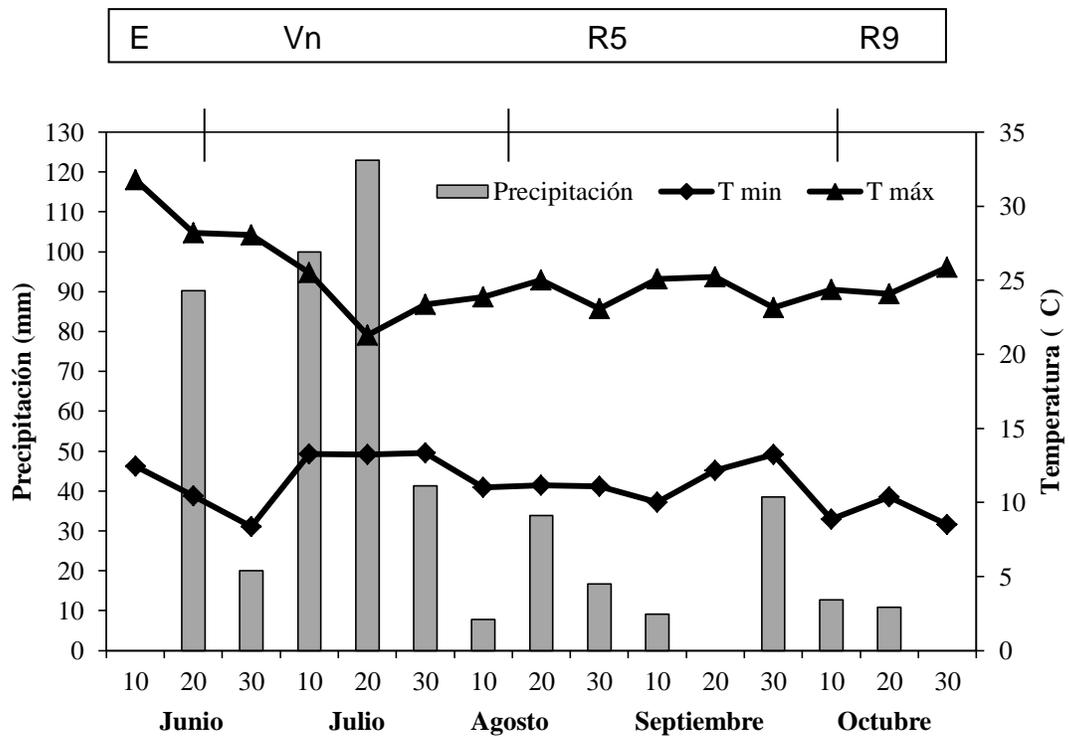


Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo, Méx. Verano 2011. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración y R9 = Madurez fisiológica.

Cuadro 1. Comparación de medias y análisis de varianza de número de hojas por planta (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en girasol en función del nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano de 2011.

Nitrógeno kg ha ⁻¹	DP plantas m ⁻²	NH				IAF				DAFT
		27	52	77	96	27	52	77	96	96
		DDS				DDS				
0	4	8a	15c	29b	29b	0.07 ^a	0.96abc	2.6b	3.5d	56e
	8	8a	14d	24d	27b	0.11 ^a	1.2c	4.9c	6.8b	58de
	12	8a	15c	22e	25b	0.14 ^a	1.6abc	6.4c	9.9bc	160b
50	4	8a	16b	29b	30b	0.06 ^a	0.72abc	2.8b	4.2cd	67de
	8	8a	16b	29b	31b	0.13 ^a	1.5ab	5.4ab	8.2b	129bc
	12	8a	14d	26c	28b	0.18 ^a	1.9ab	8a	11.1ab	182ab
100	4	8a	17a	33a	37a	0.08 ^a	0.91cb	3.2b	5.6bc	83d
	8	8a	16b	26c	29b	0.14 ^a	1.7a	6.1ab	10.6ab	161b
	12	8a	17a	27bc	28b	0.21 ^a	2.3a	8a	14.6a	212a
N	0	8a	14d	25c	27b	0.11c	1.3b	4c	6.8b	112c
	50	8a	15c	28b	29ab	0.12b	1.4b	5.3b	8b	126b
	100	8a	16b	30b	30a	0.15 ^a	1.7a	6a	10.6a	159a
DP	4	8a	16b	30b	32a	0.7 ^a	0.8b	2.9c	4.4c	69c
	8	8a	15c	28b	28b	0.12 ^a	1.5b	5.4b	8.6b	133b
	12	8a	15c	26c	26b	0.18 ^a	2a	7.8a	11.9a	188a
Prob. F	N	*	**	**	**	**	**	**	**	**
	DP	NS	NS	**	**	**	**	**	**	*
	N*DP	NS	NS	*	**	*	**	**	**	**
DMS		0.41	0.97	1.6	1.9	0.13	0.97	2.1	1.5	12.1
CV		5.1	6.07	5.8	6.6	7.7	5.01	3.02	4.1	7.1

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05 * ** = P ≤ 0.01 y 0.05, respectivamente. DMS = diferencia mínima significativa, C.V = coeficiente de variación, N = nitrógeno, DP = densidad de población, NH = número de hojas, IAF = índice de área foliar, DAFT = duración del área foliar total (suma de los periodos 27-52; 52-77 y 77-96 días).

Índices de análisis de crecimiento

La dinámica de las tasas de crecimiento del girasol en función del N y DP, se ajustó a modelos de regresión exponencial (Figura 2). Investigaciones con girasol en donde evaluaron el efecto del nitrógeno y densidades de población sobre el rendimiento de grano y biomasa total fueron reportados por Escalante, (1999) y por Aguilar *et al.* (2005).

Índice de área foliar (IAF)

La producción de materia seca ésta relacionada con el área foliar, por lo tanto cuando esta última es alta se espera una alta acumulación de materia seca, en el caso de este estudio, el máximo IAF ocurrió en plena floración en inicio de llenado de achenios. Respuestas similares fueron reportados por Aguilar *et al.* (2005).

El IAF varía con la forma de la hoja y la distribución tanto vertical como horizontal del dosel. El IAF óptimo es aquel que soporta la máxima tasa de materia seca, y se consigue cuando el cultivo intercepta virtualmente toda la radiación fotosintéticamente activa (RFA) disponible (Clavijo, 1989), y en consecuencia las capas más bajas de hojas aún son capaces de mantener un balance positivo de carbono.

Duración de área foliar total (DAFT)

Este índice relaciona el IAF con el tiempo y representa la capacidad de producción de hojas en el periodo de crecimiento del cultivo, (Hunt, 1978). Este índice tiene correlación con la precocidad, ya que la longevidad de hojas en los cultivos precoces es menor, mientras que en los cultivos tardíos es mayor (Kooman y Rabbingem 1996).

Tasa media de asimilación neta (TAN)

La TAN como indicador de la eficiencia fotosintética promedio, presentó los mayores valores al comienzo del ciclo del cultivo debido a que la planta se encontraba en el inicio de la etapa vegetativa en desarrollo de hojas (Segura *et al.*, 2006).

En los tratamientos evaluados la TAN más alta se observó de los 52 a los 77 dds y disminuyó conforme avanzó el ciclo del cultivo, hasta los 96 dds, donde se tienen los valores más bajos (Figura 2). La disminución de la TAN puede atribuirse al autosombreado en el cultivo, generado por incremento en el tamaño del dosel vegetal, además de un aumento en la tasa de senescencia de hojas (Aguilar *et al.*, 2005; Morales *et al.*, 2007).

El girasol con N modificó significativamente la TAN más alta a partir de los 52 dds, de tal manera que con N100 y N50 se incrementó en 1.0 y 1.2 g dm⁻² día⁻¹, respectivamente, y en 1.4 y 0.6 g dm⁻² día⁻¹ a los 96 dds, en relación al testigo N0 kg ha⁻¹. Es decir, el N estimuló la eficiencia fotosintética del dosel vegetal, lo cual puede estar relacionado con incrementos en la concentración de Rubisco y clorofila en las hojas (Correira *et al.*, 2005). En las densidades de población la TAN más alta se registró entre los 52 y 77 dds, con 3, 1.4 y 1 g dm⁻² día⁻¹, para 4, 8 y 12 plantas m⁻². La TAN más baja encontrada en DP8 y DP12 plantas m⁻² fue compensada con la mayor área foliar en esas densidades, lo cual se refleja en la producción de biomasa más alta. Valores similares a los encontrados son reportados por (Aguilar *et al.*, 2005), con densidades de estudio de 2.5, 5.0 y 7.5 plantas m⁻².

Tasa media de crecimiento absoluto (TCA)

En general, la mayor acumulación de materia seca (MS) por día se presentó a los 96 dds. El N estimuló significativamente la TCA, al presentar los valores más altos con N100 (5.7 g m⁻² día⁻¹), seguido de N50 (5.1 g m⁻² día⁻¹) y los más bajos con el testigo (N0, 1.3 g m⁻² día⁻¹).

¹⁾ (Figura 2). El aumento en la TCA con el N, de acuerdo con Fageria y Baligar (2005) se relaciona con mayor tamaño del dosel vegetal medido a través del NH e IAF, inducido por este nutrimento, además, a una mayor duración de la actividad fotosintética.

Tasa media de crecimiento relativo (TCR)

Como se observa durante el crecimiento del cultivo hay un periodo inicial en el que la TCR es mayor, luego es seguido por un periodo constante para posteriormente disminuir. Los valores más altos se presentaron en las primeras etapas de desarrollo de la planta y disminuyeron conforme avanzó la estación de crecimiento (Figura 2).

El cultivo con N presentó una TCR más alta que el testigo (N0), dicho comportamiento fue más evidente a partir de los 77 dds, con incrementos de $0.033 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ con la aplicación de N100, de $0.036 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ con N50 y de 0.038 con N0. La densidad de población presentó efectos en TCR a los 77 dds, con tasas más altas de $0.033 \text{ DP4 g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$, $0.035 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ DP8 y $0.038 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ con DP12, esto significa que en la etapa inicial de desarrollo del cultivo, estas variedades fueron más eficientes en la elaboración de nuevo material (Clavijo, 1989).

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

Como índice que representa la productividad del cultivo, la TCC indica la eficiencia productiva de biomasa por unidad de superficie de suelo y por unidad de tiempo (Hunt, 1978). El valor máximo de TCC se presentó cuando se adicionó N a la planta con $2860 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, mientras que en el testigo el valor fue de $2750 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, con respecto al DP los valores más altos se reflejaron en las densidades altas (8 y 12 plantas m^{-2}) con 2770 y $2740 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ respectivamente. Datos similares fueron encontrados por Santos *et al.*,

2010, al evaluar la TCC en cuatro variedades de papa, ya que incrementa el índice progresivamente hasta los 125 dds alcanzando la mayor acumulación de masa seca por unidad de área de suelo ocupada y por día.

Biomasa total (BT)

Durante el desarrollo del cultivo, la producción de biomasa por m² mostró un incremento significativo debido a la adición de N100 y al aumento en la densidad de población (Figura 3). Así, la biomasa total por m² a los 96 dds, fue de 896 (D4), 1542.9 (D8) y 2164 (D12) g m⁻². Lo anterior puede atribuirse a una mayor fotosíntesis, debida al crecimiento del dosel vegetal que proporciona mayor intercepción de luz y mayor aprovechamiento de los recursos hídricos y nutrimentales (Aguilar *et al.*, 2005; Escalante, 1999).

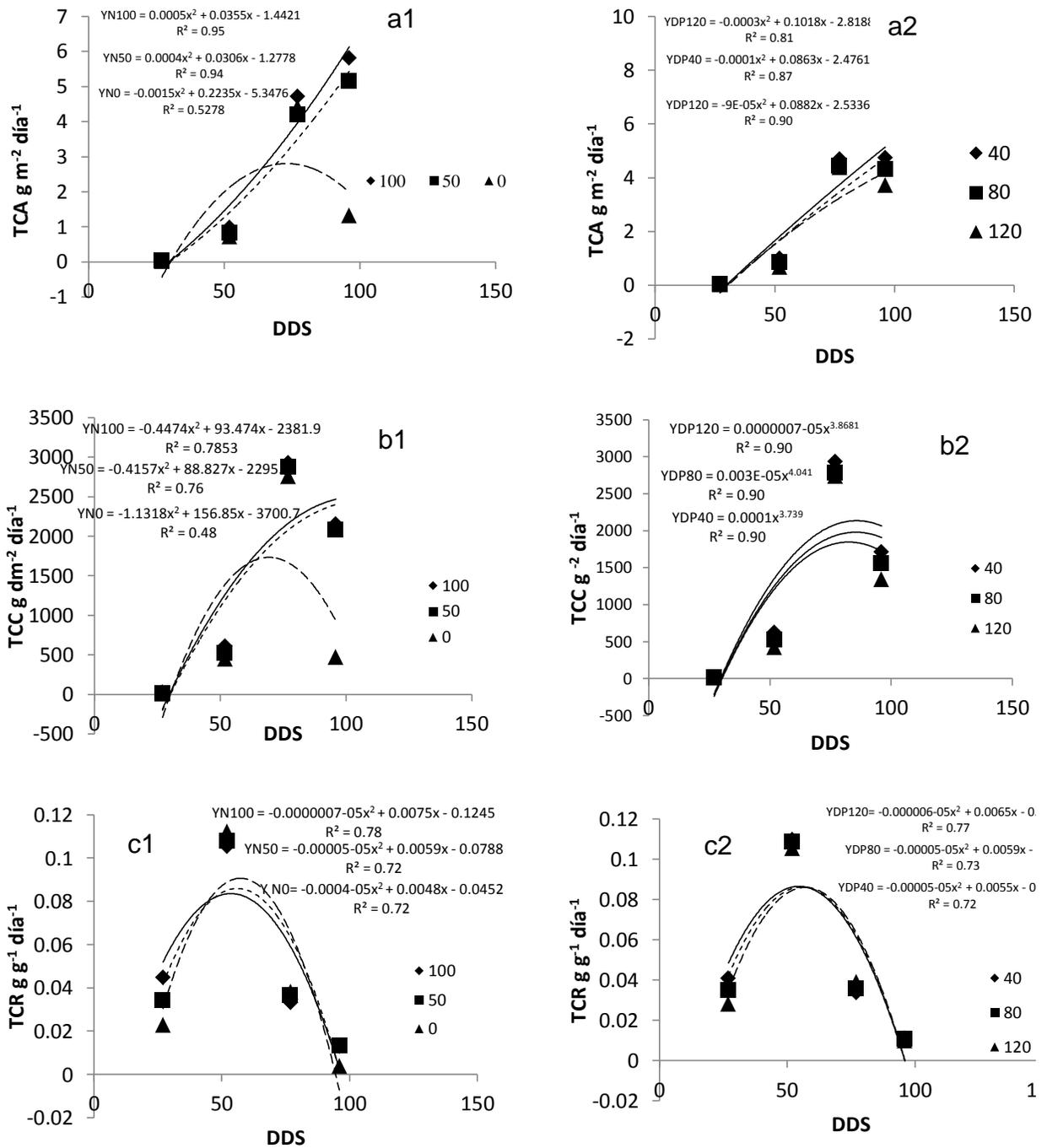


Figura 2. Dinámicas de las tasas medias de crecimiento del cultivo absoluto (\overline{TCA}) (a1, a2), de crecimiento del cultivo \overline{TCC} (b1, b2), de crecimiento relativo \overline{TCR} (c1, c2), en girasol, en función del nitrógeno y densidad de población. Montecillo, Texcoco Estado de México. Verano 2011.

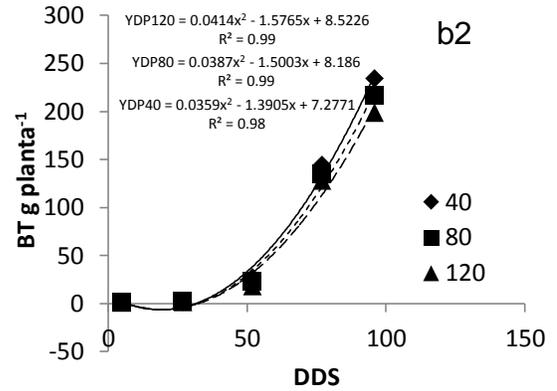
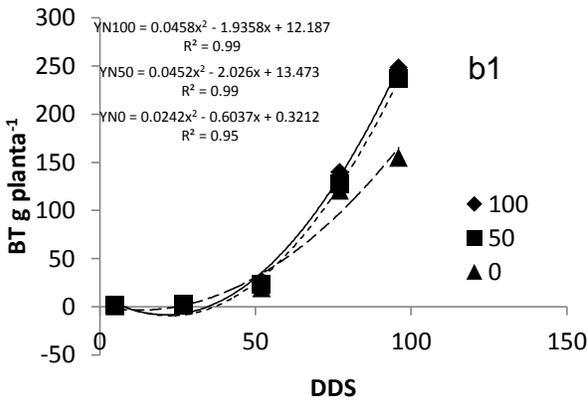
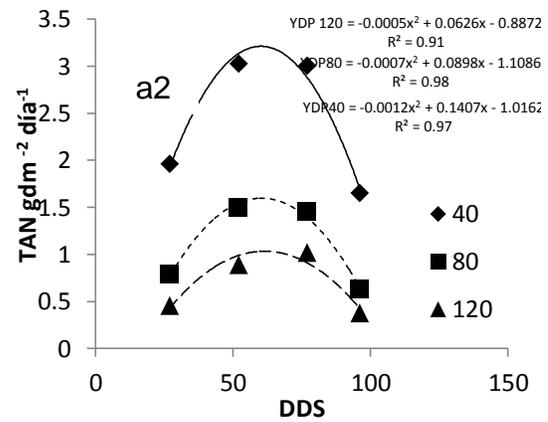
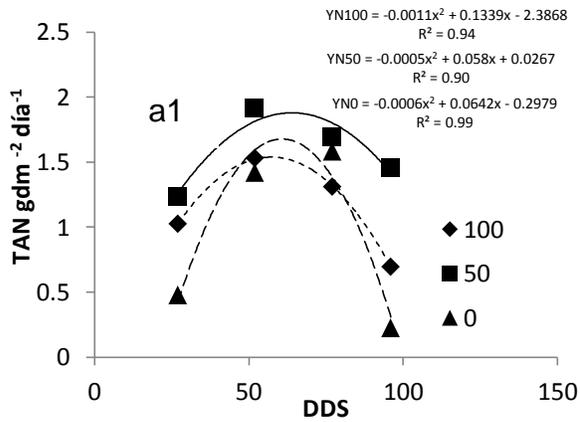


Figura 3. Dinámicas de las tasas medias de asimilación neta (\overline{TAN}) (a1, a2), producción de biomasa total BT (b1, b2) en girasol, en función del nitrógeno y densidad de población. Montecillo, Texcoco Estado de México. Verano 2011.

Cuadro 2. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano, peso de 100 semillas y área de capítulo en función al nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Suelo franco-arenoso. Verano 2011.

N kg ha ⁻¹	DP plantas m ⁻²	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S g	AC cm ²
0	4	637 g	22 de	226 e	7.7 a	341 bc
	8	1326 e	22 de	345 c	7.7 a	310 b
	12	1699 c	26 c	385 a	8 a	247 c
50	4	713 g	35 a	271 d	7.7 a	388 b
	8	1412 de	24 cd	358 bc	8.2 a	334 bc
	12	1886 b	22 de	424 a	8 a	337 b
100	4	896 f	31 b	279 c	8.5 a	452 a
	8	1542 d	23 d	371 b	8.7 a	340 b
	12	2164 a	20 e	440 a	8 a	324 b
Prob. F	N	**	**	*	*	**
	DP	**	**	**	NS	**
	N*DP	*	**	*	NS	*
DMS		131.8	2.5	24.7	1.03	65.8
CV		4.02	4.2	2.9	5.3	8.6

¶Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05

*= $P \leq 0.05$, **= $P \leq 0.01$, $P \leq 0.001$, NS = Diferencias no significativas a $P \leq 0.05$.

BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento; P100S = Peso de 100 semillas; AC = Área de capítulo.

Rendimiento y sus componentes

Los tratamientos provocaron cambios significativos para el RG y sus componentes, así con la aplicación de 50 y 100 kg de N ha⁻¹ y DP de 8 y 12 plantas m⁻², el RG fue de 440 y 424 g m⁻² superior al testigo con 385 m⁻². En N100 al elevar la densidad 12 plantas m⁻², el área del capítulo se redujo en un 29 % respecto a la densidad baja (4 plantas m⁻²) con N100. Datos similares fueron encontrados por Aguilar *et al.* (2002), al evaluar diferentes densidades de población en girasol.

CONCLUSIONES

La fertilización nitrogenada y densidad de población incrementó el número de hojas por m², área foliar y duración de la misma, así como la producción de biomasa total y rendimiento de grano.

Con la aplicación de nitrógeno los índices de crecimiento se incrementaron como el índice de área foliar y las tasas de crecimiento como la TAN, TCA, TCR y TCC.

La biomasa total y rendimiento de grano se afectaron con la aplicación de N100 y con una densidad de población de 12 plantas m⁻².

LITERATURA CITADA

- Aguilar C. L.; Escalante E. J. A.; Fucikovski Z. L.; Tijerina C. L.; Mark E. E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra*. Vol. 23. Núm. 3. Pp 303-310.
- Arenas J. Y. R., Delgado M. R., Morales R. E. J., Laguna C. A., Franco M. O., y Urbina S. E. 2011. Rendimiento de raíces tuberosas de *Dahlia variabilis wild* (Desf.) bajo diferentes prácticas de manejo agronómico. *PYTON*. 80: 107-112.
- Clavijo, J. 1989. Análisis de crecimiento en malezas. *Revista Comalfi*: 15: 12-16.
- Correira, C. M., Mouthino, P. J. M., Coutinho, F. J., Bjorn, L. O., Torres, P. J. M. 2005. Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: a Mediterranean field study. *Eur. J. Agronomy*. 22: 377-347.
- Doorenbos J. y W. O. Pruitt. 1986. Las necesidades del agua por los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24.
- Escalante J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17: 149-157.

- Escalante J. A y Kohashi S. J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Fageria, N. K. and Baligar, V. C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Elsevier Inc. 88: 97-185.
- Flores J. M., J. L. Chan y L. Bravo. 1985. Fenología del maíz y frijol en el altiplano de Zacatecas. II. Unidades calor (UC) y desarrollo fenológico. Fitotecnia 7: 66-81.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce and R.L. Mitchell. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press, USA. 325 p.
- Hunt, R. 1978. Plant growth analysis. Edward Arnold Publishers, London. 67 p.
- Johnson, B.L., 2002. Dwarf sunflower response to row spacing, stand reduction, and defoliation at different growth stages. Canadian Journal of Plant Science 83: 319-326.
- Kooman, P.L., M. Fahem, P. Tegera and A.J. Haverkort. 1996b. Effects of climate on different potato genotypes II. Dry matter allocation and duration of the growth cycle. European Journal of Agronomy 5(3-4): 207-217.
- Merrien A. 1986. Cahier technique turnesol. Physiologie. CETIOM. Paris. Pp. 1-47.
- Morales, R. E. J., Escalante, E. J. A., López, S. J. A. 2007. Producción de biomasa y rendimiento de semilla en la asociación girasol (*Helianthus annuus* L.) – Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en función del nitrógeno y fósforo. Ciencia Ergo Sum 14(2): 177-183.
- Olalde G. V. M.; Escalante E. J- A.; Sánchez G. P.; Tijerina C. L.; Mastache L. A. A.; Carreño R. E. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima templado. Terra. Vol. 18. Num. 004. Pp. 313-323.

- Paul, M.J. & Foyer, C.H. (2001). Sink regulation of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, Vol.52, No.360, pp. 1383-1400, ISSN 1460-2431.
- Schneiter, A. and Miller, J.F., 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Sci.* 21: 901-903.
- Segura, M., M. Santos y C.E. Núñez. 2006. Desarrollo fenológico de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca). *Fitotecnia Colombiana* 6(2): 33-43.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 2003. SAS/STATU ser's Guide Release 9.1 ed. Cary, NC, USA.
- Tekaling, T. y P. Hammes. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Sci. Hort.* 105(1), 29-44.

CAPÍTULO III

EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA, EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO, RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD ECONÓMICA DE GIRASOL EN FUNCIÓN AL NITROGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN

**EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA, EFICIENCIA EN EL USO DEL
NITRÓGENO, RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD ECONÓMICA DE GIRASOL
EN FUNCIÓN AL NITROGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN**

Yasmani Rafael Arenas Julio

Colegio de postgraduados, 2015

RESUMEN

El girasol (*Helianthus annuus* L.), por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados es considerado una oleaginosa de gran importancia a nivel mundial. Durante el temporal de 2011, se realizó en Montecillo Texcoco, Estado de México, en un suelo con textura franco arenoso, pH de 7.1 y CE de 0.49 dS m⁻¹, un estudio para evaluar el efecto del nitrógeno (0, 50 y 100 kg ha⁻¹) y la densidad de población (4, 8, 12 plantas m⁻²), sobre la fenología del cultivo, la producción de biomasa, el rendimiento y sus componentes, la eficiencia en el uso del agua (EUA) y la eficiencia agronómica del nitrógeno. Los objetivos de esta investigación fueron: a) evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada y la densidad de población sobre el rendimiento de girasol, eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica del nitrógeno y rentabilidad del girasol, y b) determinar la cantidad de calor (UC) y evapotranspiración (ETc) acumulada durante el ciclo del girasol. La fenología del cultivo no mostró cambios con la aplicación de N y la densidad de población. Las unidades calor (UC) y la evapotranspiración del cultivo (ETc) de la siembra a la madurez fisiológica fueron de 1521 °C d⁻¹ y 353 mm, respectivamente. El N incrementó la producción de biomasa, el rendimiento de grano, la eficiencia del agua y la eficiencia agronómica. También al aumentar la densidad de población se encontró un incremento en la producción de biomasa, el rendimiento, sus componentes y en la EUA y del EAN. La producción de biomasa y el rendimiento más alto se lograron con la densidad de 12 plantas m⁻². La combinación de 100 kg de N ha⁻¹ y 12 plantas m⁻² condujo a la más alta producción de biomasa (2164 g m⁻²) y rendimiento de grano (440 g m⁻²).

Palabras clave: fenología, unidades calor, evapotranspiración del cultivo.

**WATER USE EFFICIENCY, NITROGEN EFFICIENCY, YIELD AND
ECONOMIC PROFITABILITY OF SUNFLOWER AND NITROGEN
ACCORDING TO POPULATION DENSITY**

Yasmani Rafael Arenas Julio

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

The sunflower (*Helianthus annuus* L.), for its high content of polyunsaturated fatty acids is considered an oil of great importance worldwide. During the storm of 2011, was conducted in Montecillo Texcoco, Mexico State, in soil with sandy loam, pH 7.1 and EC of 0.49 dS m⁻¹, a study to evaluate the effect of nitrogen (0, 50 and 100 kg ha⁻¹) and the population density (4, 8, 12 plants m⁻²) on crop phenology, biomass production, yield and its components, efficient use water (USA) and agronomic nitrogen efficiency. The objectives of this research were: a) evaluate the effect of nitrogen fertilization and population density on yield of sunflower, efficient water use, nitrogen agronomic efficiency and profitability of sunflower, b) determinate the amount of heat (UC) and evapotranspiration (ETc) during the cycle of sunflower. Crop phenology showed no change with the application of N and population density. Heat units (UC) and crop evapotranspiration (ETc) from sowing to physiological maturity were 1521 °C d⁻¹ and 353 mm, respectively. The N increased biomass production, grain yield, water efficiency and agronomic efficiency. Also with increasing population density increased biomass production, yield, its components and the US and EAN was found. Biomass production and higher yield were achieved with the density of 12 plants m⁻². The combination of 100 kg N ha⁻¹ and 12 plants m⁻² led to the highest biomass production (2164 g m⁻²) and grain yield (440 g m⁻²).

Key words: phenology, heat units, crop evapotranspiration.

INTRODUCCIÓN

El girasol es una semilla oleaginosa utilizada como alimentación humana, animal y como planta ornamental, debido al dosel y sobre todo a la belleza de sus inflorescencias. Luego de la extracción del aceite, lo que sobra de las semillas (el expeler o el pellet) se utiliza en la preparación de productos para alimentación animal. (Pelegrini, 1985).

El origen del girasol se remonta a 3000 años a. C. en el norte de México y Oeste de Estados Unidos, ya que fue cultivado por las tribus indígenas de Nuevo México y Arizona. Era uno de los principales productos agrícolas empleados en la alimentación por muchas comunidades americanas antes del descubrimiento. Fue introducida en España por los colonizadores y después se extendió al resto de Europa. (Infoagro 2010).

De acuerdo con Cavasin (2001), el girasol es considerado una excelente fuente de lípidos. Según Peligrini (1985), semillas de girasol posee en media 19 % de carbohidratos, 26 % de lípidos y 17 % de proteínas.

El girasol es un importante rubro en la economía de los países como Argentina, EUA y Paraguay. En este último el cultivo del 100 % de la producción se encuentra en la región oriental del país y es un cultivo cuya relevante importancia se debe a la excelente calidad de aceite comestible que se extrae de la semilla, el cual posee alto contenido de ácidos grasos no saturados linoleico y oleico. (MAG, 2010).

Según estudios realizados por el MAG (2010), el cultivo de girasol es un rubro interesante debido a la creciente demanda de compañías aceiteras del país que asegura su comercialización y, a su ciclo que facilita su integración a los sistemas de producción utilizados tanto por pequeños como por los medianos y grandes productores, permitiendo así una utilización más eficiente de los recursos de mano de obra y maquinarias disponibles.

El girasol es conocida como la planta de la cual casi todo se aprovecha, siendo aplicada de las más variadas formas, como planta ornamental, medicinal, en rotación de culturas, abono verde, pasto apícola, como semilla in natura para pájaros, como forrajes para alimentación de bovinos, caprinos, caballos, mulas y también como torta y harina en la alimentación humana (Silva 1997).

Se ha encontrado que con el manejo de la fertilización nitrogenada y densidad de población se ha logrado una mayor cobertura del suelo y un uso más eficiente de los recursos necesarios para el crecimiento y rendimiento del cultivo (Olalde *et al.*, 200; Escalante, 1995).

Un indicador importante respecto al uso del nitrógeno (N) es su eficiencia agronómica, que indica el incremento en el rendimiento económico de un cultivo por unidad de N aplicado. Al respecto, Olalde *et al.* (2000); Escalante y Rodríguez (1994) encontraron que la eficiencia en el uso del N en girasol incrementó cuando se aplicó fertilizante nitrogenado y fue mayor cuando se combinó con densidades altas.

Es una planta típicamente oleaginosa teniendo un papel fundamental en la alimentación humana y además como planta forrajera. Las semillas de girasol es una fuente de grasas y

energía, además de hidratos de carbono y proteínas (Infoagro, 2010). Las cáscaras que quedan después de la extracción del aceite se pueden moler y emplear como ingrediente en las raciones de los rumiantes. La levadura forrajera se obtiene de las cáscaras y constituye un valioso alimento proteico para los animales rumiantes y aves de corral (Infoagro, 2010). Los objetivos de estudio fueron a) evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada y la densidad de población sobre el rendimiento del girasol, eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica del nitrógeno y rentabilidad del girasol y b) determinar la cantidad de calor y evapotranspiración acumulada durante el ciclo del girasol.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se estableció en un lote experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, (19° 29' norte; 98° 54' oeste y 2250 msnm), bajo condiciones de temporal. El clima es de tipo BS1 que corresponde al menos seco de los áridos con lluvias en verano, una temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 500 mm (García, 2005). La siembra del cultivar Victoria se llevó a cabo el 25 de mayo de 2011, en un suelo de textura franco arenoso con pH de 7.1 y una CE de 0.49 dS m⁻¹. Los tratamientos consistieron en tres niveles de nitrógeno 0, 50 y 100 kg ha⁻¹, (N0, N50 y N100) y tres densidades de población DP4, DP8, y DP12 plantas m⁻², esto generó 9 tratamientos. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas y cuatro repeticiones. Durante el ciclo del cultivo se registraron las etapas fenológicas, de acuerdo a los criterios presentados por Schneiter y Miller, 1981.

De la estación meteorológica del Colegio de Postgraduados, se recopilaron datos sobre temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$, °C) y mínima ($T_{\text{mín}}$, °C), precipitación (pp, mm) y evaporación (EV, mm).

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) (mm d^{-1}) se calculó mediante la ecuación $ET_c = E_v * K_e * K_c$, donde: E_v = evaporación del tanque A; K_e = coeficiente para el evaporímetro (0.6); y K_c = coeficiente del cultivo (0.8 para girasol). Así mismo se calculó las unidades calor (UC) ($^{\circ}\text{C d}^{-1}$), mediante el método residual, $UC = \sum [((T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}}) / 2) - T_b]$; temperatura base (8°C para girasol, Merrien, 1986).

A la cosecha se registró el rendimiento de grano (RG) y sus componentes, como diámetro del capítulo (DC), peso de 100 semillas (P100S), biomasa total (BT) (suma del peso de receptáculo + peso seco de tallo + peso seco de hoja + peso de rendimiento) e Índice de cosecha (IC).

La eficiencia del uso del agua para biomasa total y rendimiento de grano ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$) se calculó considerando las relaciones $EUA = \text{Biomasa total o rendimiento} / ET_c$.

La eficiencia agronómica del N, considerada como el incremento en el rendimiento económico de un cultivo por unidad de fertilizante aplicado, se calculó con la siguiente relación: $EA = (RGF - RGT) / F$, donde; RGF = rendimiento de girasol del cultivo fertilizado; RGT = rendimiento de girasol del testigo (sin fertilizar) y F = cantidad de fertilizante aplicado.

Se elaboró un análisis económico al RG, utilizando la relación: $IN = Y \cdot Py - (\sum XiPi + CF)$, donde: IN = ingreso neto (pesos ha^{-1}), Y = RG $kg ha^{-1}$, Py = precio por kg, $\sum XiPi$ = suma de costo variable, CF = costo fijo (Volke, 1982).

A las variables se les aplicó un análisis de varianza (ANAVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clima y fenología

Durante el ciclo del cultivo del girasol, la temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$) y mínima ($T_{m\acute{i}n}$) promedio fueron de 26 °C y 10 °C, respectivamente. Las más elevadas ocurrieron durante las cuatro primeras decenas de crecimiento del cultivo (27 °C y 11 °C para $T_{m\acute{a}x}$ y $T_{m\acute{i}n}$, respectivamente), es decir, de siembra a primeras etapas del ciclo vegetativo. Posteriormente tendieron a disminuir, de tal manera que las más bajas se presentaron en la decena 11, con valores medios de 31 °C y 18 °C para $T_{m\acute{a}x}$ y $T_{m\acute{i}n}$, respectivamente, que correspondió al llenado del capítulo. La precipitación acumulada de la siembra a madurez fisiológica fue de 388 mm; la mayor incidencia 59 % se presentó de siembra a inicio de floración (R5). De acuerdo con Escalante, (1999) las condiciones climáticas tanto de temperaturas como precipitación que se presentaron, son apropiadas para el cultivo del girasol (Figura 1).

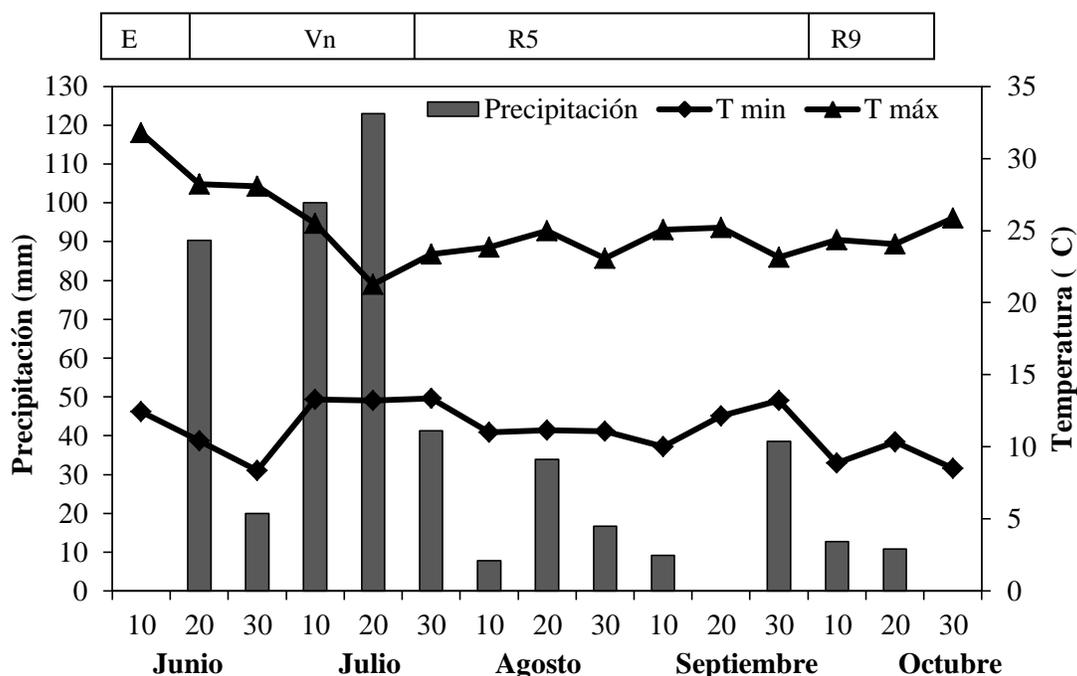


Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo, Méx. Verano 2011. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración y R9 = Madurez fisiológica.

Unidades Calor

La acumulación de las unidades calor ($UC\ d^{-1}$) en relación con la fenología del cultivo se presenta en la figura 2. El requerimiento térmico del cultivo bajo condiciones de clima templado fue similar entre tratamientos. Así, las UC fueron $144\ ^{\circ}C\ d^{-1}$ a la emergencia, $866\ ^{\circ}C\ d^{-1}$ al inicio de anthesis (R5) y de $1510\ ^{\circ}C\ d^{-1}$ a madurez fisiológica (R9). Olalde *et al.* (2000) encontraron resultados para el cv. Victoria en un clima cálido (Cocula, Guerrero), donde la acumulación de UC d para las etapas fenológicas fue de $120\ ^{\circ}C\ d^{-1}$, $1266\ ^{\circ}C\ d^{-1}$ y $1744\ ^{\circ}C\ d^{-1}$ para la emergencia, inicio de floración y madurez fisiológica, lo cual difiere con los resultados encontrados en este estudio, estos resultados contrastan con el clima en donde se llevó a cabo el estudio. Por otra parte Morales *et al.* (2006), encontraron para el

cv. Victoria en clima templado (Montecillo, México), que para la emergencia, inicio de floración y madurez fisiológica se requiere de $105\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$, $840\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ y $1521\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ UC.

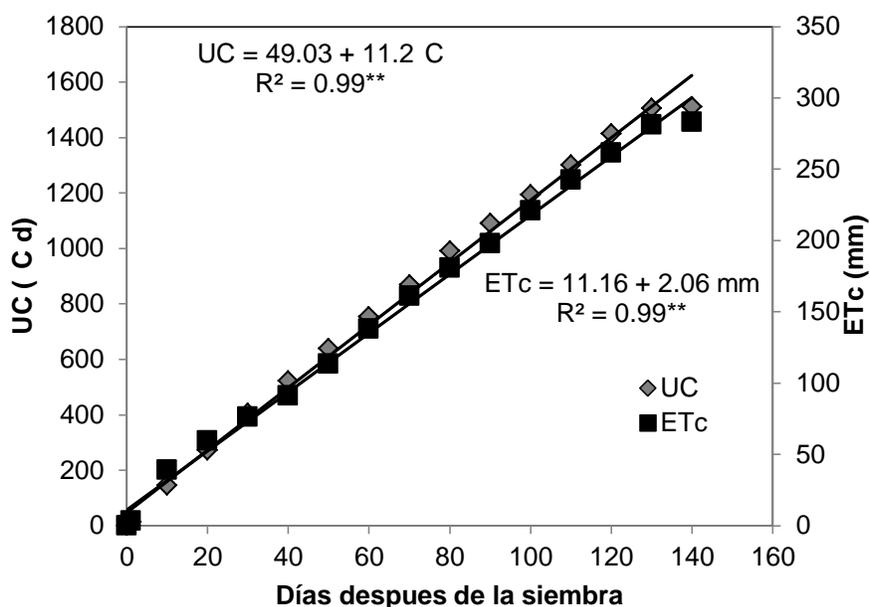


Figura 2. Unidades calor (UC) y Evapotranspiración (ETc) acumuladas de girasol cv. Victoria, Montecillo, Méx. Verano 2011.

Evapotranspiración (ETc)

En la Figura 2, que relaciona la evapotranspiración acumulada del cultivo (ETc), se observa que el periodo de siembra a emergencia, la ETc fue de 39 mm, en el periodo de emergencia a antesis la ETc fue de 121 mm y de antesis a madurez fisiológica fue de 122 mm. La ETc acumulada durante todo el ciclo del cultivo fue de 282 mm. Así mismo Morales *et al.* (2006), al evaluar el girasol cv. Victoria en un clima templado encontraron que de la siembra a emergencia la ETc fue de 15 mm, de emergencia a antesis fue de 185 mm y de antesis a madurez fisiológica fue de 80 mm. Teniendo una ETc acumulada durante todo el ciclo del cultivo de 280 mm. Por otro lado Olalde *et al.* (2000) al evaluar el girasol cv.

Victoria en un clima cálido encontró que la ETc de la siembra a emergencia fue de 22 mm, de emergencia a inicio de floración fue de 234 mm, y de inicio de floración a madurez fisiológica fue de 97 mm. La ETc acumulada durante todo el ciclo del cultivo fue de 353 mm.

Biomasa total (BT)

El ANAVA mostró diferencias significativas para la BT por efecto del N, DP y la interacción N*DP (Cuadro 1). Durante el desarrollo del cultivo, la producción de biomasa por m² mostró un incremento significativo debido a la adición de N100 y al aumento en la densidad de población (Figura 3). Así, la BT por m² a los 96 dds, fue de 896 (DP4), 1542 (DP8) y 2164 (DP12) g m⁻². Lo anterior puede atribuirse a una mayor fotosíntesis, debida al crecimiento del dosel vegetal que proporciona mayor intercepción de luz y mayor aprovechamiento de los recursos hídricos y nutrimentales (Aguilar *et al.*, 2005; Escalante, 1999).

Cuadro 1. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano, peso de 100 semillas y área de capítulo en función al nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano 2011.

N kg ha ⁻¹	DP plantas m ⁻²	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S g	AC cm ²
0	4	637 g	22 de	226 e	7.7 a	341 bc
	8	1326 e	22 de	345 c	7.7 a	310 b
	12	1699 c	26 c	385 a	8 a	247 c
50	4	713 g	35 a	271 d	7.7 a	388 b
	8	1412 de	24 cd	358 bc	8.2 a	334 bc
	12	1886 b	22 de	424 a	8 a	337 b
100	4	896 f	31 b	279 c	8.5 a	452 a
	8	1542 d	23 d	371 b	8.7 a	340 b
	12	2164 a	20 e	440 a	8 a	324 b
Prob. F	N	**	**	*	*	**
	DP	**	**	**	NS	**
	N*DP	*	**	*	NS	*
DMS		131.8	2.5	24.7	1.03	65.8
CV		4.02	4.2	2.9	5.3	8.6

¶Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05

* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$, $P \leq 0.001$, NS = Diferencias no significativas a $P \leq 0.05$.

BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento; P100S = Peso de 100 semillas; AC = Área de capítulo.

Rendimiento y sus componentes

Con el efecto de los tratamientos ocasionó cambios significativos para el RG y sus componentes, así con la aplicación de N (50 y 100 kg ha⁻¹) y DP8 y DP12 la producción de grano fue de 440 y 424 g m⁻² fue superior respecto al testigo 385 g m⁻². Al elevar la densidad 12 plantas m⁻², el área del capítulo se redujo en un 29 % respecto a la densidad baja (4 plantas m⁻²) con N100. Datos similares fueron encontrados por (Aguilar *et al.*, 2002), al evaluar diferentes densidades de población en girasol.

Eficiencia en el uso del agua (EUA)

La EUA para RG mostró cambios significativos por efecto del N (Cuadro 4). Con 100 kg de N la EUA se elevó en 15 % y con 50 kg de N incrementó un 10 % la EUA. Al respecto Olalde *et al.* (2000) al evaluar girasol Victoria reportan EUA de $1.42 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$, similar a los obtenidos en el estudio evaluado con la aplicación de la dosis más elevada de N.

En la Figura 3, se observa que la EUA para RG del girasol en relación a los niveles de N y DP se ajustó a modelos de regresión cuadrática. Con el suministro de 100 kg de N se observa una mayor respuesta que el testigo, al incrementar en $0.0035 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ la EUA en grano, por cada kg de N aplicado. Con la densidad DP12 se observa una respuesta positiva con respecto a la DP4, al incrementar en $0.011 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ la EUA en grano. Esto se relaciona con lo encontrado por Olalde *et al.* (2000) quienes señalan que el N y una DP alta eleva la EUA, ya que está relacionada con una mayor y temprana cobertura del dosel vegetal, causado por la aplicación de N y el aumento de la densidad de población, generando disminución en la evaporación relacionado con una mayor y más rápida cobertura del suelo (Escalante, 1995).

Cuadro 2. Rendimiento de grano (RG), Eficiencia en el uso del agua (EUA) y Eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN), en función al nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano 2011.

N kg ha ⁻¹	DP plantas m ⁻²	RG g m ⁻²	EUA girasol (g m ⁻² mm ⁻¹)	EAN g g ⁻¹ N
0	4	226 e	0.784 c	----
	8	345 c	1.197 b	----
	12	385 a	1.336 b	----
50	4	241 d	0.836 c	3 c
	8	358 bc	1.243 b	2.6 c
	12	424 a	1.472 a	7.8 a
100	4	279 de	0.968 c	5.3 b
	8	371 b	1.288 b	2.6 c
	12	440 a	1.527 a	5.5 b
Prob. F	N	*	**	*
	DP	**	**	**
	N*DP	*	*	*
DMS		24.7	0.26	0.17
CV		2.9	2.14	3.11

¶Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05

*= P ≤ 0.05, ** = P ≤ 0.01, P ≤ 0.001, NS = Diferencias no significativas a P ≤ 0.05.

RG = Rendimiento de grano; EUA = Eficiencia en el uso del agua; EAN = Eficiencia agronómica del nitrógeno.

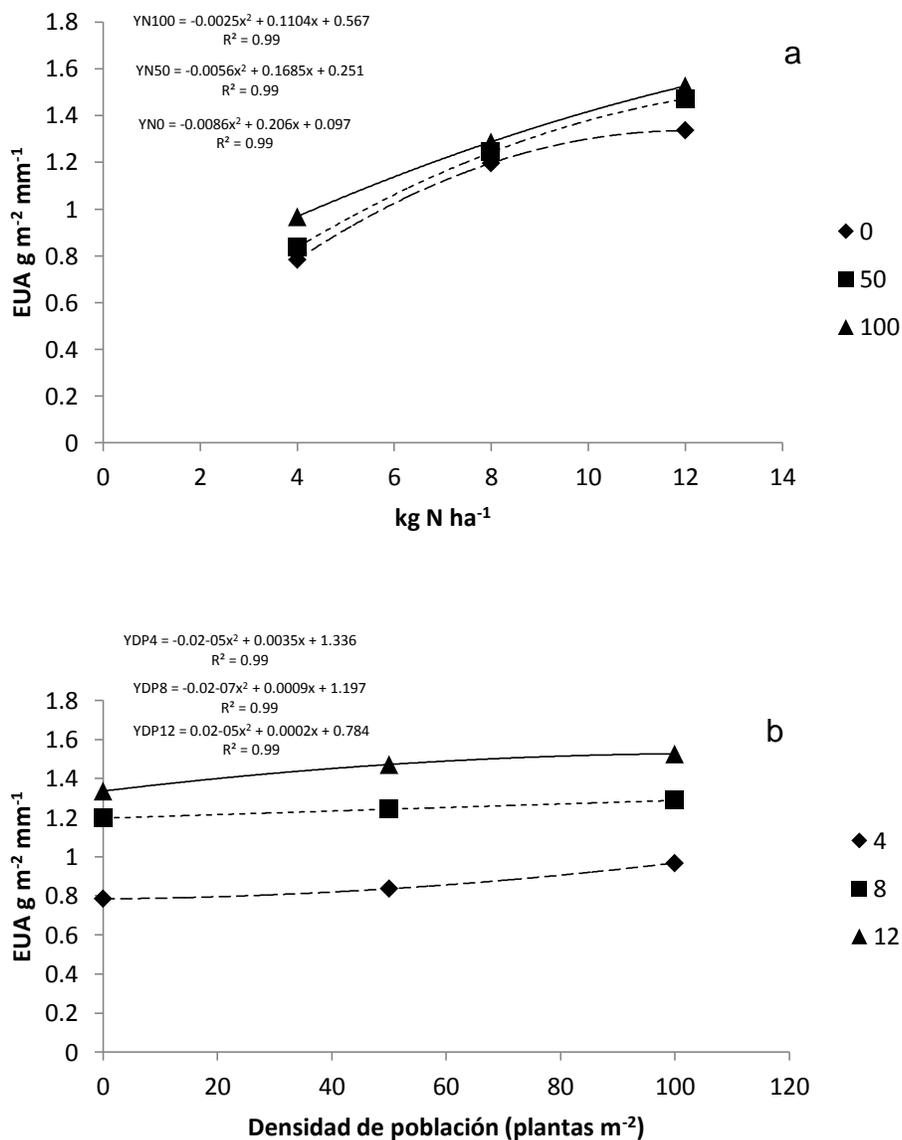


Figura 3. Eficiencia en el uso del agua para grano EUAG en función del nitrógeno (a) y densidad de población (b) en girasol. Montecillo, Texcoco Estado de México. Verano de 2011.

Eficiencia agronómica del N

La aplicación de N y el aumento en la densidad de población provocaron cambios significativos (Cuadro 2) en la eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN) en el rendimiento de semilla. En promedio de las tres densidades, la mayor eficiencia se logró

cuando se aplicaron 50 y 100 kg de N ha⁻¹ obteniéndose 7.8 y 5.5g de semilla por g de N aplicado.

La mayor EAN se logró con la aplicación de 50 kg de N y DP12, al presentar una eficiencia de 7.8 kg de grano por cada kg de N. Al respecto, Olalde *et al.* (2000) en el cultivo de girasol encontraron que la mayor EAN fue en la combinación de 100 kg de N ha⁻¹ y con una densidad de 100 mil plantas ha⁻¹, obteniendo 18.5 kg de grano por kg de N aplicado.

La mayor eficiencia se logró con la combinación de 50 kg de N ha⁻¹ y a una densidad de 12 plantas m⁻², esta eficiencia se atribuye que la combinación de los tratamientos se obtiene mayor número de semilla m⁻², mayor peso de 100 semillas y por consecuencia mayor rendimiento de grano.

Cuadro 3. Rendimiento (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en girasol en función al nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano 2011.

N kg ha ⁻¹	DP plantas m ⁻²	RG kg ha ⁻¹	IT \$	CF \$	CV \$	CT \$	IN \$	GPI \$
0	4	2260	45200	9600	600	10200	35000	3.43
	8	3450	69000	9600	1200	10800	58200	5.39
	12	3850	77000	9600	1800	11400	65600	5.75
50	4	2410	48200	9600	2360	11960	36240	3.03
	8	3580	71600	9600	2960	12560	59040	4.70
	12	4240	84800	9600	3560	13160	71640	5.44
100	4	2790	55800	9600	3160	12760	43040	3.37
	8	3710	74200	9600	3760	13360	60840	4.55
	12	4400	88000	9600	4360	13960	74040	5.30

IT = RG * precio por kg de girasol (\$ 20.00). CF = incluye costo de preparación del terreno, siembra, riego, manejo de maleza. \$ = pesos, CV = incluye el costo, fertilización y cosecha de girasol. CT = CF + CV. IN = IT - CT. GPI = IN / CT.

Rentabilidad económica

En el Cuadro 3, se presenta el análisis económico para el rendimiento de grano del girasol. El mayor RG se presentó con la aplicación de 100 kg de N ha⁻¹ y a una densidad de 12 plantas m⁻² (4400 kg ha⁻¹ para RG); sin embargo, generó el mayor costo total (CT, \$ 13,970), mismo que se amortizó con el ingreso total (IT, \$ 88,000); de tal manera que generó el mayor ingreso neto (IN, \$ 4,040). La aplicación de este tratamiento de fertilización incrementó el IN en \$ 39,040 respecto al testigo. La dosis mínima con la que se incrementa de manera considerable el IN es con N50 y DP12 con \$ 36,640 respecto al testigo.

Por último, la ganancia por peso invertido (GPI) es de \$ 3,43 cuando no se aplica N, de \$ 3.03 cuando se aplica 50 kg N ha⁻¹ y de \$ 3.37 cuando se aplica 100 kg N ha⁻¹, es decir, que conforme se incrementa la aplicación de N, también se incrementa la GPI.

CONCLUSIONES

La aplicación de nitrógeno al cultivo del girasol elevó la eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno, la producción de biomasa, el índice de cosecha, el rendimiento de semilla y sus componentes. El aumento en densidad de población incrementó la eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno, la producción de biomasa, el rendimiento de semilla, el número de semillas m⁻², pero disminuyó el área del capítulo y el peso de cien semillas. Con el tratamiento de 100 kg de N ha⁻¹ y 12 plantas m⁻² se logra la mayor eficiencia en el uso del agua, producción de biomasa y rendimiento de semilla, en tanto que la mayor eficiencia en el uso del nitrógeno se obtuvo con 50 kg de N ha⁻¹ y 12 plantas m⁻².

LITERATURA CITADA

- Aguilar C. L.; Escalante E. J. A.; Fucikovski Z. L.; Tijerina C. L.; Mark E. E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra*. Vol. 23. Núm. 3. Pp 303-310.
- Aragües R. y Bercero A. 1996. Respuesta del girasol (*Helianthus annuus* L.) a la salinidad del suelo. *Invest. Agr. Prod. Prol. Veg.* Vol. II.
- Cavasin, P. A 2001. *Cultura do Girassol*. Guaiba: Agropecuaria. 69p.
- Demirer, T., Özer, I., Koçtürk, Ö.M., Yesilyurt, Er.A., 2004. Effect of Different Leaf Fertilizers on Yield and Quality in Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences* 7(3): 384-388.
- Doorenbos J. y W. O. Pruitt. 1986. Las necesidades del agua por los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24.
- Escalante, J. A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. Alternativas tecnológicas. Agroproductividad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Escalante E., J.A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. pp. 28-32. *In*: Colegio de Postgraduados. Agroproductividad. Montecillo, Méx.
- Escalante J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17: 149-157.
- Escalante J. A y Kohashi S. J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Escalante E. J.A. and Rodríguez G. M.T. 2010. Sunflower biomass distribution and seed yield in saline soil of Mexico highlands. *HELIA*, 33, Nr. 52, p.p. 127-134

- FAO. 2000. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. Rome, Italy: FAO Land and Plant Nutrition Management.
- Feoli, C.E., Schneiter, A.A. and Johnson, B.L., 1993. Agronomic performance of dwarf, semidwarf, and conventional height sunflower hybrids grown at five plant populations under rainfed conditions. *Helia* (16) (19):19-30.
- Flores J. M., J. L. Chan y L. Bravo. 1985. Fenología del maíz y frijol en el altiplano de Zacatecas. II. Unidades calor (UC) y desarrollo fenológico. *Fitotecnia* 7: 66-81.
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- García L. A. y Quincke J. A. 2012. Girasol: respuesta a la aplicación foliar de boro en suelos del litoral suroeste de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. (16) (1): 7-14.
- INFOAGRO, 2010. Consultado el 16 de mayo de 2010. Disponible en: <http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/girasol.htm>
- Johnson, B.L., 2002. Dwarf sunflower response to row spacing, stand reduction, and defoliation at different growth stages. *Canadian Journal of Plant Science* 83: 319-326
- MAG, 2010. Diagnóstico de Rubros Agrícolas. Paraguay.
- Merrien A. 1986. Cahier technique turnesol. Physiologie. CETIOM. Paris. Pp. 1-47.
- Morales R. E. J., Escalante E. J. A., Tijerina C. L., Volke H. V., Sosa M. E. 2006. Biomasa, rendimiento, eficiencia del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol. *Terra*. (24) (1):55-64.
- Murcia M., Longo O.; Argüello J., Pérez M. A., Peretti A. 2006. Evaluación del crecimiento de plántulas de cultivares de girasol con diferentes proporciones de

- ácidos oleico/linoleico en respuesta a la baja temperatura. *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 28, n° 2, p.95-101.
- Munns, Rana, Goyal, Sham S., Passioura, John. 2005. *Salinity stress and its mitigation*. University of California, Davis. 19 p.
- Olalde G. V. M., Escalante E. J. A., Sánchez G. P., Tijerina C. ,L. Mastache L. A. A., Carreño R. E. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima templado. *Terra*. Vol. 18. Num. 004. Pp. 313-323.
- Olalde G. V. M., Escalante E. J. A., Sánchez G. P., Tijerina C. L., Engleman C. E. M., Mastache L. A. A. 2000. Eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno, y rendimiento del girasol, en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra*. Vol 18 No. 1 pp. 51-59.
- Osorio, J., Fernandez-Martínez, J., Stains, M., Garcés, R. 1995. Mutant sunflower with high concentration of saturated fatty acids in the oil. *Crop Sci*. 35:739-742.
- Pelegri, 1985. B. Brasil. Girasol. Uma planta solar que das Américas conquistou o mundo.
- Süzer, S. 2010. Effects of nitrogen and plant density on Dwarf sunflower hybrids. *HELIA*, 33, Nr. 53, p.p. 207-214.
- Silva, M. N. 1997. *Cultura do Girassol*. FUNEP. Jaboticabal, 67p.
- Schneiter, A. and Miller, J.F., 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Sci*. 21: 901-903.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*, 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.

- Süzer, S. 2010. Effects of nitrogen and plant density on Dwarf sunflower hybrids. HELIA, 33, Nr. 53, p.p. 207-214.
- Tanwar, B. S. 2003. Saline water management for irrigation. International Commission on irrigation and drainage. New Delhi, India. 140 p.
- Vega M. R., Escalante E. J. A., Sánchez G. P., Ramírez G. A., Cuenca A. E. 2001. Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población. Terra. Vol.19. Núm. 001. Pp 75-81.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de Insumos de la Producción en la Agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México. 61 p.

CAPÍTULO IV

**RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRIMENTAL DE GIRASOL EN FUNCIÓN AL
NITRÓGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN**

RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRIMENTAL DE GIRASOL EN FUNCIÓN AL NITRÓGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN

Yasmani Rafael Arenas Julio

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

El girasol, se ubica entre los cultivos productores de aceite más importantes en el mundo, debido a su aceite de alta calidad y contenido de proteína alto. Los nutrimentos juegan un papel importante en el crecimiento y desarrollo de este cultivo. Entre los nutrimentos el nitrógeno (N), es uno de los principales elementos que mejoran los procesos metabólicos que aumentan la proteína, el crecimiento vegetativo y el rendimiento de grano. La densidad de plantas por unidad de área determina las condiciones óptimas que permite a la planta adquirir los elementos esenciales para el crecimiento, la productividad de materia seca y el rendimiento de grano. El objetivo de este estudio fue determinar el rendimiento y calidad nutrimental del grano del girasol bajo el efecto del nitrógeno y densidad de población. El trabajo se realizó en Montecillo, México, en un suelo de textura franco arenoso, pH de 7.1 y CE de 0.49 dS m^{-1} , se sembró el girasol el 25 de mayo. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 0, 50 y 100 kg N ha^{-1} y densidades de población (DP) de 4, 8 y 12 plantas m^{-2} . Durante el estudio las temperaturas máximas y mínimas oscilaron entre $27 \text{ }^\circ\text{C}$ y $10 \text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente, con precipitación pluvial de 388 mm. La ocurrencia de las etapas fenológicas fue similar entre tratamientos, así, la emergencia fue a los 8 días después de la siembra (dds), la floración a los 65 dds y a los 130 dds la madurez fisiológica. Con N100 y DP12 se presentó el mayor rendimiento de grano (440 g m^{-2}), resultado de un mayor peso de 100 semillas, área de capítulo. Con el N se incrementó la concentración de proteínas y disminuyeron fibras y carbohidratos.

Palabras Clave: biomasa total, rendimiento de grano, calidad nutrimental, análisis económico.

YIELD AND NUTRITIONAL QUALITY SUNFLOWER ACCORDING TO NITROGEN AND POPULATION DENSITY

Yasmani Rafael Arenas Julio

Colegio de postgraduados, 2015

ABSTRACT

The sunflower is among the largest producers of oil crops in the world, due to its high quality oil and high protein content. Nutrients play an important role in the growth and development of the crop. Among the nutrients nitrogen (N), is one of the main elements that enhance the metabolic processes that increase the protein, vegetative growth and grain yield. The density of plants per unit area determines the optimal conditions that allows the plant to acquire the essential elements for growth, productivity of dry matter and grain yield. The aim of this study was to determine the yield and nutritional quality of grain sunflower under the effect of nitrogen and population density. The work was conducted in Montecillo, Mexico, on a sandy loam soil texture, pH 7.1 and EC of 0.49 dS m⁻¹, sunflower was sown on May 25. The treatments consisted of the application of 0, 50 and 100 kg N ha⁻¹ and population densities (DP) of 4, 8 and 12 plants m⁻². During the study the maximum and minimum temperatures ranged between 27 °C and 10 °C respectively, with rainfall of 388 mm. The occurrence of phenological stages was similar between treatments, so the emergency was at 8 days after sowing (das), flowering at 65 and 130 dds physiological maturity. With DP12 N100 and the highest grain yield (440 g m⁻²), a result of higher weight of 100 seeds, area chapter was presented. With the N concentration increased and decreased protein and carbohydrate fibers.

Key words: total biomass, grain yield, nutritional quality, economic analysis.

INTRODUCCIÓN

El girasol (*Helianthus annuus* L.), considerado como una oleaginosa de gran importancia por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, ha adquirido auge en los últimos años por la calidad de su semilla (Ahmad *et al.*, 2009). El nitrógeno (N) es requerido en mayor cantidad en la producción agrícola, es componente de compuestos orgánicos como la clorofila, aminoácidos y ácidos nucleicos, principalmente, es necesario en la fijación de N atmosférico y mejora el rendimiento de los cultivos (Fageria y Baligar, 2005).

La productividad por unidad de área de girasol está determinada por muchos factores, como la densidad de población y la variedad. La densidad de plantas por unidad de área determina las condiciones óptimas que permite a la planta adquirir los elementos esenciales para el crecimiento que influyen en la productividad de materia seca y por lo tanto en el rendimiento de grano (Basha, 2000).

Los nutrimentos juegan un papel importante en el crecimiento y desarrollo del cultivo. Entre los nutrimentos el nitrógeno (N), es uno de los principales elementos que mejoran los procesos metabólicos que a base de la proteína conduce a un aumento en el crecimiento vegetativo y el rendimiento de grano. Niveles crecientes de N aumentaron el rendimiento, contenido de proteína en la semilla y ácido linoleico en el aceite. Al mismo tiempo, el rendimiento de grano y de aceite del cultivo se relacionó de manera positiva con el N (Ali y Ullah, 2012). Así mismo, Süzer (2010), al evaluar niveles de nitrógeno y diferentes densidades de población en el cultivo de girasol reportan aumentos significativos en el rendimiento de grano, el porcentaje de aceite y componentes del rendimiento. Ali *et al.*, (2012), con una densidad de 8.33 plantas m⁻² y 150 kg de N ha⁻¹, señalan incrementos significativos el rendimiento de grano de girasol. El objetivo del presente estudio fue

determinar el rendimiento de grano y calidad nutrimental de grano del girasol bajo el efecto del nitrógeno y densidad de población.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se estableció en un lote experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, (19° 29' norte; 98° 54' oeste y 2250 msnm), bajo condiciones de temporal. El clima es de tipo BS1 que corresponde al menos seco de los áridos con lluvias en verano, una temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 500 mm (García, 2005). El suelo es de textura franco arenoso, pH de 7.1 y CE de 0.49 dS m⁻¹. La siembra del girasol Cv. Victoria se llevó a cabo el 25 de mayo de 2011.

Los tratamientos consistieron en tres niveles de nitrógeno 0, 50 y 100 kg ha⁻¹, (N0, N50 y N100) y tres densidades de población 4, 8, y 12 plantas m⁻² (DP4, DP8 y DP12), esto generó 9 tratamientos. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones. Durante el ciclo del cultivo se registraron las etapas fenológicas, de acuerdo a los criterios presentados por Schneiter y Miller, (1981).

De la estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, se recopilaron datos sobre temperatura máxima (T_{máx}, °C) y mínima (T_{mín}, °C), precipitación (pp, mm) y evaporación (EV, mm). La evapotranspiración del cultivo (ET_c) (mm d⁻¹) se calculó mediante la ecuación $ET_c = E_v * K_e * K_c$, donde: E_v = evaporación del tanque A; K_e = coeficiente para el evaporímetro (0.6); y K_c = coeficiente del cultivo (0.8 para girasol). Así mismo se calculó las unidades calor (UC) (°C d⁻¹), mediante el método residual, $UC = \sum [((T_{máx} + T_{mín}) / 2) - T_b]$; temperatura base (8 °C para girasol, Merrien, 1986).

A la cosecha se registró el rendimiento de grano (RG) y sus componentes, como diámetro del capítulo (DC), peso de 100 semillas (P100S), biomasa total (BT) (suma del peso de receptáculo+ peso seco de tallo + peso seco de hoja + peso de rendimiento) e Índice de cosecha (IC).

Mediante un análisis químico proximal (Sosa, 1979) se determinó la calidad nutrimental de la semilla de girasol (cenizas, proteína, extracto etéreo, fibra cruda y carbohidratos no estructurales, todos en %). Para lo cual, las muestras fueron previamente trituradas en un molino eléctrico (Janke and Kunkel Inka Modelo Kb 5/10 ®, Germany) con criba de 50 µm.

Con los datos obtenidos de cada variable se hizo un análisis de varianza y se aplicó la prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS versión 9.1 (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clima y fenología

La ocurrencia de las etapas fenológicas fue similar entre tratamientos, así, la emergencia ocurrió 8 días después de la siembra (dds), la floración a los 65 dds y a los 130 dds la madurez fisiológica. Durante el ciclo del cultivo del girasol, la temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$) y mínima ($T_{m\acute{i}n}$) promedio fueron de 26 °C y 10 °C, respectivamente. Las más elevadas ocurrieron durante las cuatro primeras decenas de crecimiento del cultivo (27 °C y 11 °C para $T_{m\acute{a}x}$ y $T_{m\acute{i}n}$, respectivamente), es decir, de siembra a primeras etapas del ciclo vegetativo. Posteriormente tendieron a disminuir, de tal manera que las más bajas se

presentaron en la decena 11, con valores medios de 31 °C y 18 °C para Tmáx y Tmín, respectivamente, que correspondió al llenado del capítulo. La precipitación acumulada de la siembra a madurez fisiológica fue de 388 mm; la mayor incidencia 59 % se presentó de siembra a inicio de floración (R5). De acuerdo con Escalante (1999) las condiciones climáticas tanto de temperaturas como precipitación que se presentaron, son apropiadas para el cultivo del girasol (Figura 1).

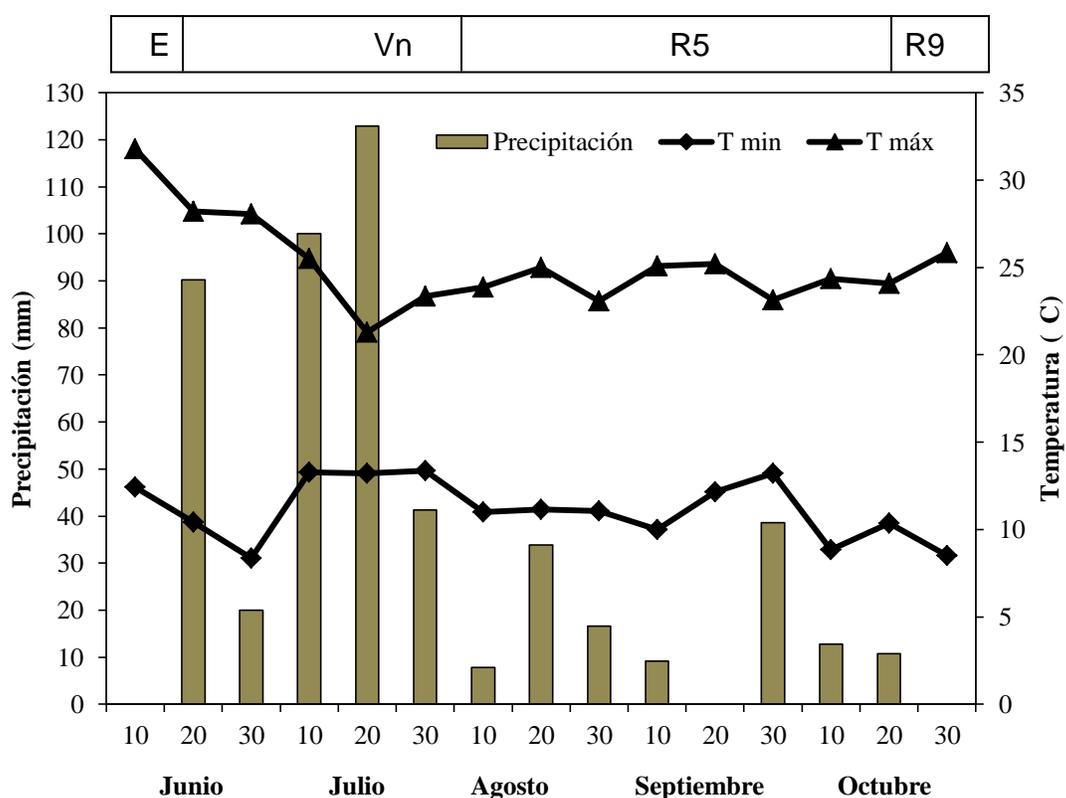


Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo, Méx. Verano 2011. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración y R9 = Madurez fisiológica.

Unidades Calor

La acumulación de unidades calor (UC) en relación con la fenología del cultivo se presenta en la figura 2. El requerimiento térmico del cultivo bajo condiciones de clima templado fue similar entre tratamientos. Así, las UC fueron 144 °C d⁻¹ a la emergencia, 866 °C d⁻¹ al inicio de antesis (R5) y de 1510 °C d⁻¹ a madurez fisiológica (R9). Olalde *et al.* (2000) encontraron que para el cv. Victoria en clima cálido (Cocula, Guerrero), donde la acumulación de UC para las etapas fenológicas fue de 120 °C d⁻¹, 1266 °C d⁻¹ y 1744 °C d⁻¹ para la emergencia, inicio de floración y madurez fisiológica, lo cual difirió con los resultados encontrados en este estudio. Estas diferencias se relacionan con las diferencias tan contrastantes en los climas en donde se realizó el estudio. Por otra parte Morales *et al.* (2006), encontraron para el cv. Victoria en clima templado (Montecillo, México), que para la emergencia, inicio de floración y madurez fisiológica se requirió de 105 °C d⁻¹, 840 °C d⁻¹ y 1521 °C d⁻¹ UC.

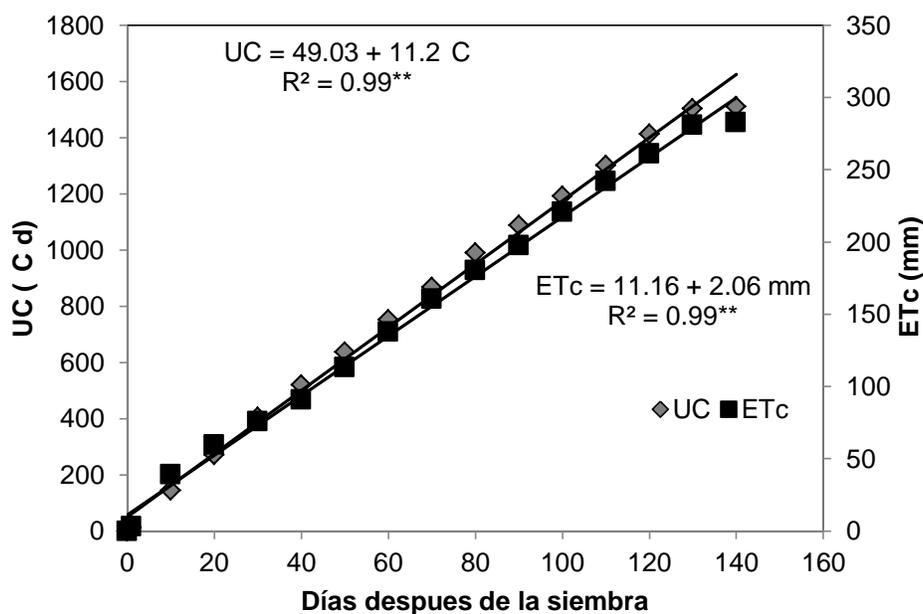


Figura 2. Unidades calor (UC) y Evapotranspiración (ETc) acumuladas de girasol cv. Victoria, Montecillo, Méx. Verano 2011.

Evapotranspiración (ETc)

En la Figura 2, que relaciona la evapotranspiración acumulada del cultivo (ETc), se observa que el periodo de siembra a emergencia, la ETc fue de 39 mm, en el periodo de emergencia a antesis la ETc fue de 121 mm y de antesis a madurez fisiológica fue de 122 mm. La ETc acumulada durante todo el ciclo del cultivo fue de 282 mm. Así mismo Morales *et al.* (2006), en girasol cv. Victoria en clima templado encontraron que de la siembra a emergencia la ETc fue de 15 mm, de emergencia a antesis fue de 185 mm y de antesis a madurez fisiológica fue de 80 mm. Teniendo una ETc acumulada durante todo el ciclo del cultivo de 280 mm. Por otra parte Olalde *et al.* (2000) al evaluar el girasol cv. Victoria en un clima cálido encontró que la ETc de la siembra a emergencia fue de 22 mm, de emergencia a inicio de floración fue de 234 mm, y de inicio de floración a madurez fisiológica fue de 97 mm. La ETc acumulada durante todo el ciclo del cultivo fue de 353 mm.

Biomasa total (BT)

Durante el desarrollo del cultivo, la producción de biomasa por m² mostró un incremento significativo debido a la adición de N100 y al aumento en la densidad de población (Figura 3). Así, la biomasa total por m² a los 96 dds, fue de 896 (DP4), 1542.9 (DP8) y 2164 (DP12) g m⁻². Lo anterior puede atribuirse a una mayor fotosíntesis, debida al crecimiento del dosel vegetal que proporciona mayor intercepción de luz y mayor aprovechamiento de los recursos hídricos y nutrimentales (Aguilar *et al.*, 2005; Escalante, 1999).

Cuadro 1. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano, peso de 100 semillas y área de capítulo en función al nitrógeno (N) y densidad de población (DP). En suelos de textura franco-arenosa. Verano 2011.

N kg ha ⁻¹	DP plantas m ⁻²	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S g	AC cm ²
0	4	637 e	22 d	226 c	7 c	341 b
	8	1326 cd	22 d	345 b	7 c	310 c
	12	1699 b	26 c	385 b	8 b	307 c
50	4	713 e	35 a	241 c	8 b	388 b
	8	1412 c	24 c	358 b	8 b	334 b
	12	1886 b	22 d	424 a	8 b	337 b
100	4	896 e	31 b	279 c	9 a	452 a
	8	1542 c	23 d	371 b	9 a	340 b
	12	2164 a	20 e	440 a	8 b	324 b
Prob. F	N	**	**	*	*	**
	DP	**	**	**	NS	**
	N*DP	*	**	*	NS	*
DMS		8.2	9.5	4.6	0.3	2.7
CV		4.09	4.02	3.01	5.2	9.01

¶Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05

* = P ≤ 0.05, ** = P ≤ 0.01, P ≤ 0.001, NS = Diferencias no significativas a P ≤ 0.05.

BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento; P100 = Peso de 100 semillas; AC = Área de capítulo.

Rendimiento de grano (RG) y sus componentes

Con el efecto de los tratamientos ocasionó cambios significativos para el RG y sus componentes, así con la aplicación de N (50 y 100 kg ha⁻¹) y DP (8 y 12 plantas m⁻²) la producción de grano fue de 440 y 424 g m⁻² fue superior respecto al testigo 385 g m⁻². Al elevar la densidad 12 plantas m⁻², el área del capítulo se redujo en un 29 % respecto a la densidad baja (4 plantas m⁻²) con N100. Datos similares fueron encontrados por Aguilar *et al.* (2005), al evaluar diferentes densidades de población en girasol.

Calidad nutrimental del grano del girasol

El N provocó cambios significativos en el contenido de extracto etéreo y fibra cruda, mientras que DP modificó el contenido de cenizas, proteína, extracto etéreo y carbohidratos no estructurales. La interacción N*DP afectó el contenido de cenizas, proteína, extracto etéreo, fibra cruda, y carbohidratos no estructurales (Cuadro 2).

En promedio 100 g de grano aportan 4.0 % de cenizas, 22.1 % de proteína, 36.6 % de extracto etéreo, 23 % de fibra cruda y 14 % de carbohidratos no estructurales (Cuadro 3). Estos valores son similares a los encontrados por Alli y Ullah (2012), al evaluar niveles de nitrógeno que se vio afectado positivamente con suministro de N, teniendo incrementos en rendimiento de grano de 338 g m⁻² y contenido de aceite de 40 %. Por lo que es un alimento rico en proteína superior al frijol común, el cual presenta un porcentaje de 19 % (Salinas *et al.*, 2013).

La fertilización de N aumentó la digestibilidad del grano y fibra cruda. Los valores más altos se incrementan con N100 (Cuadro 3). Tendencias similares se reportan en girasol, ya que con la fertilización disminuyó el contenido de fibra cruda en 0.5 % (Alli y Ullah, 2012).

Con la aplicación de N se elevó el contenido de cenizas, proteína, extracto etéreo, en detrimento de carbohidratos no estructurales (Cuadro 2). En este sentido, Mollashahi *et al.* (2013), menciona que el N mejora las características cuantitativas y cualitativas en la calidad del girasol.

El aumento en DP, redujo el contenido de cenizas, proteína, extracto etéreo y fibra cruda. En contraste el contenido de carbohidratos no estructurales se incrementó (Cuadro 3). Con las combinaciones de N100 y DP4 el grano de girasol produjo el contenido de cenizas, proteína, extracto etéreo, fibra cruda y se obtiene un bajo contenido de carbohidratos no estructurales (Cuadro 3). Así, con estos tratamientos, además de generarse los mayores RG, con 440 y 424 kg ha⁻¹ de proteína respectivamente, lo cual es importante considerando que en leguminosas se busca aumentar este nutrimento.

Cuadro 2. Análisis nutrimental del grano seco de girasol en función del nitrógeno y densidad de población.

FACTOR	Cenizas	Proteína	Extracto etéreo	Fibra cruda	Carbohidratos no estructurales
	-----%-----				
N0	3.9 b	20.1 c	32.8 c	20.7 c	22.3 a
N50	4.0 b	22.1 b	36.8 b	23.2 b	13.7 b
N100	4.33 a	24.3 a	40.2 a	25 a	6 c
D.M.S.	0.20	0.48	0.46	0.63	1.14
DP4	4.2 a	22.8 a	38.9 a	24.2 a	9.7 c
DP8	4.0 b	22.4 b	36.6 b	23 b	13.8 b
DP12	4.0 b	21.4 c	34.3 c	21.7 c	18.5 a
DMS	0.17	0.38	0.37	0.40	0.67
CV	4.0	1.69	0.99	1.82	5.15

¶Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05

*, ** = $P \leq 0.01$ y 0.05 , respectivamente. DMS = diferencia mínima significativa, C.V. = coeficiente de variación. N = nitrógeno, DP = densidad de población.

Cuadro 3. Análisis nutrimental del grano seco de girasol en función de la interacción nitrógeno y densidad de población.

N kg ha ⁻¹	DP plantas m ⁻²	Cenizas	Proteína	Extracto etéreo	Fibra cruda	Carbohidratos no estructurales
0	4	3.7 b	21 c	35 d	22.2 cd	18 c
	8	4 b	20.5 c	33.5 e	21.2 d	20.7 b
	12	4 b	19 d	30 f	18.7 e	28.2 a
50	4	4 b	23 b	39.7 b	24.5 b	8.7 e
	8	4 b	22 b	36.7 c	23 c	14 d
	12	4 b	21.1 c	34 e	22.2 cd	18.5 c
100	4	5 a	24.5 a	42 a	26 a	2.5 g
	8	4 b	24.4 a	39.7 b	25 ab	6.7 f
	12	4 b	24 a	39 b	24.2 b	8.7 e
Media general		4.0	22.1	36.6	23	14
DMS		0.40	0.90	0.86	1.0	1.73
N		**	**	**	**	**
Prob. F	DP	*	**	**	**	**
	N*DP	**	NS	**	*	**
	CV	4.0	1.69	0.99	1.82	5.15

^aLetras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05

* ** = P ≤ 0.01 y 0.05, respectivamente. D.M.S. = diferencia mínima significativa, C.V. = coeficiente de variación. N = nitrógeno, DP = densidad de población.

CONCLUSIÓN

La fertilización nitrogenada incrementa la concentración de cenizas, proteína, lípidos, y fibra cruda. La concentración de carbohidratos no estructurales disminuye con la aplicación del nitrógeno. Al aumentar la densidad de población, disminuye la concentración de minerales, proteína, lípidos y fibra cruda. La concentración de carbohidratos no estructurales se incrementa al elevar la densidad de población. La mayor concentración de cenizas, proteína, lípidos, fibra cruda y menor concentración de carbohidratos no estructurales se logra con la fertilización de 100 kg de N ha⁻¹ y 4 plantas m⁻².

LITERATURA CITADA

- Aguilar C. L.; Escalante E. J. A.; Fucikovski Z. L.; Tijerina C. L.; Mark E. E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra*. Vol. 23. Núm. 3. Pp 303-310.
- Ahmad S. H., Ahmad R., Ashraf M. Y., Ashraf M., Waraich E. A. 2009. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) response to drought stress at germination and seedling growth stages. *Pak. J. Bot.* 41(2): 647-654.
- Ali A., and Ullah S. 2012. Effect of nitrogen on achene protein, oil, fatty acid profile, and yield of sunflower hybrids. *Chilean Journal of Agricultural Research* 72(4): 564-567.
- Ali A., Ashfaq A., Khaliq T., Afzal M., Iqbal Z., Qamar F. 2014. Plant Population and Nitrogen Effects on Achene Yield and Quality of Sunflower (*Helianthus Annuus* L.) Hybrids International Conference on Agricultural, Environmental and Biological Sciences (AEBS-2014) April 24-25.
- Basha H. A. 2000. Response of two sunflower cultivars to hill spacing and nitrogen fertilizer levels under sandy soil conditions. *Zagazig. Agric Res*; 27: 617-633.
- Escalante J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17: 149-157.
- Fageria, N. K. and V.C. Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Elsevier Inc. 88:97-185.
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- Hossam M. I. 2012. Response of Some Sunflower Hybrids to Different Levels of Plant Density *APCBEE Procedia* 4. 175 – 182.

- Merrien A. 1986. Cahier technique turnesol. Physiologie. CETIOM. Paris. Pp. 1-47.
- Mollashahi1 M., Hamidreza G., Fanae H. 2013. Effect of different levels of nitrogen and potassium on yield, yield components and oil content of sunflower. Intl J Farm & Alli Sci. Vol., 2 (S): 1237-1240, 2013.
- Morales R. E. J., Esacalante E. J. A., Tijerina C. L., Volke H. V., Sosa M. E. 2006. Biomasa, rendimiento, eficiencia del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol. Terra. (24) (1):55-64
- Olalde G. V. M.; Escalante E. J- A.; Sánchez G. P.; Tijerina C. L.; Mastache L. A. A.; Carreño R. E. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima templado. Terra. Vol. 18. Num. 004. Pp. 313-323
- Salinas R. N., Escalante E. J. A. S., Rodríguez G. M. T., Sosa M. E. 2013. Rendimiento, calidad nutrimental y rentabilidad del frijol ejotero de temporal en San Pablo Ixayoc, México. Revista Chapingo Serie Horticultura 19(3): 333-342
- SAS Institute (2003) SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Schneider, A. and Miller, J.F., 1981. Description of sunflower growth stages. Crop Sci. 21: 901-903
- Sosa P. E. 1979. Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal. Departamento de zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. 115 pp
- Süzer, S. 2010. Effects of nitrogen and plant density on dwarf sunflower hybrids. HELIA, 33, Nr. 53, p.p. 207-214
- Volke, H. V. 1982. Optimización de Insumos de la Producción en la Agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México. 61 p.

CAPÍTULO V

**BIOMASA Y RENDIMIENTO EN DOS GENOTIPOS DE GIRASOL EN FUNCIÓN
DEL NITRÓGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN**

BIOMASA Y RENDIMIENTO EN DOS GENOTIPOS DE GIRASOL EN FUNCIÓN DEL NITRÓGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN

Yasmani Rafael Arenas Julio

Colegio de postgraduados, 2015

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la producción de biomasa total, rendimiento de grano en dos genotipos de girasol, bajo nitrógeno y densidad de población. El trabajo se realizó en Montecillo Texcoco, Estado de México, en condiciones de temporal. La siembra se hizo el 25 de mayo de 2011. Los tratamientos evaluados fueron 18, resultado de la combinación de dos genotipos de girasol Victoria (aceitero) y Confitería, tres niveles de nitrógeno (0, 50 y 100 kg ha⁻¹) y tres densidades de población (4, 8 y 12 plantas m⁻²). El diseño fue bloques completos al azar con arreglo de parcelas subdivididas y cuatro repeticiones. Se evaluó la fenología de la planta, biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes. La temperatura máxima y mínima promedio durante el desarrollo del cultivo fue de 26 y 10 °C, respectivamente, con precipitación acumulada de 388 mm. La fenología fue similar para ambos genotipos así, la emergencia se presentó siete días después de la siembra (dds), el inicio de floración a los 65 dds, la madurez fisiológica se presentó a los 120 dds. Para ambos genotipos la producción de biomasa total y rendimiento de grano se incrementó con 100 kg de N y con 12 plantas m⁻².

Palabras clave: aceitero, confitero, fertilización, fenología.

BIOMASS AND YIELD IN TWO GENOTYPES OF SUNFLOWER DEPENDING ON NITROGEN AND POPULATION DENSITY

Yasmani Rafael Arenas Julio

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the total biomass production, grain yield in two genotypes of sunflower under nitrogen and population density. The work was conducted in Montecillo Texcoco, Mexico State, under rained conditions. Planting was done on May 25, 2011. The treatments were 18, resulting from the combination of two genotypes of sunflower Victoria (oiler) and Confectionery, three levels of nitrogen (0, 50 and 100 kg ha⁻¹) and three population densities (4, 8 and 12 plants m⁻²). The design was a randomized complete block split-plot arrangement and four replications. Phenology of the plant, total biomass, harvest index, grain yield and its components were evaluated. The maximum and average minimum temperature during the growing season was 26 and 10 °C, respectively, with accumulated rainfall of 388 mm. The phenology was similar for both genotypes so, the emergency was presented seven days after planting (DAP), the initiation of flowering to 65 dds, physiological maturity was presented at 120 dds. For both genotypes total biomass production and grain yield increased with 100 kg N and 12 plants m⁻².

Key words: oiler, confectioner, fertilization, phenology.

INTRODUCCIÓN

En México la producción de girasol en los últimos años ha tomado importancia debido a que es una leguminosa con gran potencial aceitera. Desde el año 2010 al 2013 se incrementó en 43 % en la superficie sembrada (SIAP; 2013), pero en cuanto al rendimiento no se han alcanzado resultados prometedores, ya que el en 2010 el rendimiento promedio fue de 2.02 ton ha⁻¹ y para el 2013 de 1.26 ton ha⁻¹ (SIAP 2013), esto debido a la falta de programas y tecnologías apropiadas para la producción de este cultivo, y por lo tanto es necesario generar estrategias para incrementar el rendimiento del mismo.

El rendimiento de girasol es controlado por varios factores, incluyendo la selección de híbridos mejorados, tecnología apropiada para la producción y el manejo de prácticas como la densidad óptima de población, el uso de fertilizantes especialmente nitrógeno (Ishfaq *et al.*, 2009; Ali *et al.*, 2011; Nasin *et al.*, 2012; Ali *et al.*, 2014; Escalante, 1999).

Debido a que el suelo no provee la cantidad de nutrimentos que necesita la planta para un óptimo desarrollo, es necesaria la adición de nitrógeno para aumentar el desarrollo y rendimiento de las plantas (Loaeza, 2003; Ali *et al.*, 2011; Ali *et al.*, 2014).

Así mismo, en siembras de girasol bajo condiciones de secano y salinidad, se ha demostrado que con la aplicación de N (100 y 300 kg ha⁻¹) y el aumento en densidades de población (50 000 y 114 000 plantas ha⁻¹) incrementan la producción de biomasa y el rendimiento, siendo éste mayor al combinar ambas prácticas (Escalante, 1995; Escalante y Rodríguez, 1994; Escalante, 1999; Ali *et al.*, 2012; Ali *et al.*, 2013; Ali *et al.*, 2014).

El manejo de la densidad de población es una de las prácticas agrícolas más recomendables para lograr un incremento en la productividad de los cultivos, debido a que con un número apropiado de individuos por unidad de superficie, se logra un mejor aprovechamiento de los recursos hídrico y nutrimental (Escalante, 1999; Süzer, 2010; Ali *et al.*, 2013).

Al elevar la densidad se reduce la biomasa y el rendimiento por planta. Sin embargo, la producción de biomasa y el rendimiento por unidad de superficie son más altos (Escalante, 1999; Olalde *et al.*, 2000; Vega *et al.*, 2001; Süzer, 2010). La densidad es un factor importante que condiciona la cantidad y calidad de los aquenios. El tamaño de aquenios es afectado por la densidad. Densidad superior a 40 mil plantas ha⁻¹ disminuye la producción de aquenios por planta. La aplicación del nitrógeno favorece el desarrollo de aquenios de alta calidad (Olalde *et al.*, 2001; Vega *et al.*, 2005; Aguilar *et al.*, 2002).

El mayor crecimiento y rendimiento del cultivo por aumento en la densidad de población es ampliamente señalado para diferentes especies. En girasol, Aguilar *et al.* (2002), señalaron que al elevar la densidad de población de 2.5 a 7 plantas m⁻², se logra una mayor producción de biomasa total y rendimiento de semilla por superficie.

La densidad de población en girasol como elemento tecnológico que regula el equilibrio entre ambiente y caracteres genéticos, está ampliamente investigado desde los inicios del cultivo de esta especie (Vranceanu, 1977; Robinson, 1978; Ortegón *et al.* 1993). La relación “densidad de población-producción” muestra ser una función muy compleja que recae sobre una diversidad de factores genéticos, de clima, suelo y labores culturales (Vranceanu *et al.*, 1982). Las plantas de girasol compensan ampliamente las diferencias en cuanto a la densidad en el tamaño de capítulos y número de granos (Mohammad *et al.*, 1986; Vannozzi *et al.*, 1990; Ujjanaiah *et al.*, 1993). El objetivo de estudio fue determinar la producción de biomasa total, rendimiento de grano de girasol en función del genotipo, nitrógeno y densidad de población.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se estableció en un lote experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, (19° 29' Norte; 98° 54' Oeste y 2250 msnm), bajo condiciones de temporal. El clima es BS1 que corresponde al menos seco de los áridos con lluvias en verano, una temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 500 mm (García, 2005). La siembra se realizó en suelo de textura franco arenoso, pH de 7.1 y CE de 0.49 dS m⁻¹ el 11 de mayo de 2011, Se utilizaron dos cultivares de girasol Victoria (aceitero) y Confitero, los niveles de nitrógeno (N) fueron: 0, 50 y 100 kg de N ha⁻¹ y densidades de población (DP) de: 4, 8 y 12 plantas m⁻² generando 18 tratamientos. El diseño experimental fue de bloques al azar con arreglo de parcelas sub-subdivididas y cuatro repeticiones. A la parcela mayor correspondió el genotipo, a la mediana el nivel de nitrógeno y a la menor las densidades de población. Como fuente de nitrógeno se utilizó urea (46 % de N). Se registró la temperatura máxima, mínima y precipitación. Las etapas fenológicas registradas fueron: días a emergencia (E), a inicio de anthesis (R5) y a madurez fisiológica (MF) (Schneiter y Miller, 1981). La evapotranspiración del cultivo (ETc) (mm d⁻¹) se calculó mediante la ecuación $ETc = E_v * K_e * K_c$, donde: E_v = evaporación del tanque A; K_e = coeficiente para el evaporímetro (0.6); y K_c = coeficiente del cultivo (0.8 para girasol). Así mismo se calculó las unidades calor (UC) (°C d⁻¹), mediante el método residual, $UC = \sum [((T_{máx} + T_{mín}) / 2) - T_b]$; temperatura base 8 °C para girasol, (Merrien, 1986). A la cosecha se registró el rendimiento de grano (RG) y sus componentes, como diámetro del capítulo (DC), peso de 100 semillas (P100S), biomasa total (BT) (suma del peso de receptáculo + peso seco de tallo + peso seco de hoja + peso de rendimiento) e Índice de cosecha (IC).

A las variables se les aplicó un análisis de varianza (ANAVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elementos del clima

En la Figura 1, que presenta los datos de temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) promedio decenal y la precipitación suma decenal, durante el ciclo del cultivo, se observa que el promedio decenal durante la estación de crecimiento de Tmax fue 26 °C y la Tmin de 10 °C. La temperatura más alta ocurrió en la etapa vegetativa del cultivo y posteriormente, disminuyó conforme el ciclo de cultivo avanzó. La lluvia estacional acumulada fue de 360 mm, de la cual el 63 % ocurrió en el desarrollo del cultivo (270 mm). En la época de floración y llenado incidieron mm que representa 47 % de la ocurrida durante el ciclo del cultivo.

Fenología

En los sitios evaluados, las etapas fenológicas ocurrieron en tiempo similar. No se observaron cambios en la fenología por efecto del genotipo, N y DP. Así, la emergencia (E) de plántulas de girasol se presentó a los 7 días después de la siembra (DDS), el periodo de emergencia a inicio de floración (R5) ocurrió a los 65 (DDS). La madurez fisiológica (R9) se presentó a los 120 (DDS) (Figura 1). Estos resultados concuerdan parcialmente con los reportados (Escalante y Rodríguez, 2010), al evaluar la fenología de girasol en tres niveles de salinidad del suelo, en donde la (E) se presentó a los 8 DDS, el periodo de (R5) ocurrió a los 80 DDS y (R9) a los 130 DDS. Morales *et al.* (2006) al experimentar el girasol en agrosistema (girasol-frijol), encontraron que la (E) ocurrió a los 9 DDS, la etapa R5 ocurrió 68 DDS y R9 a los 120 DDS.

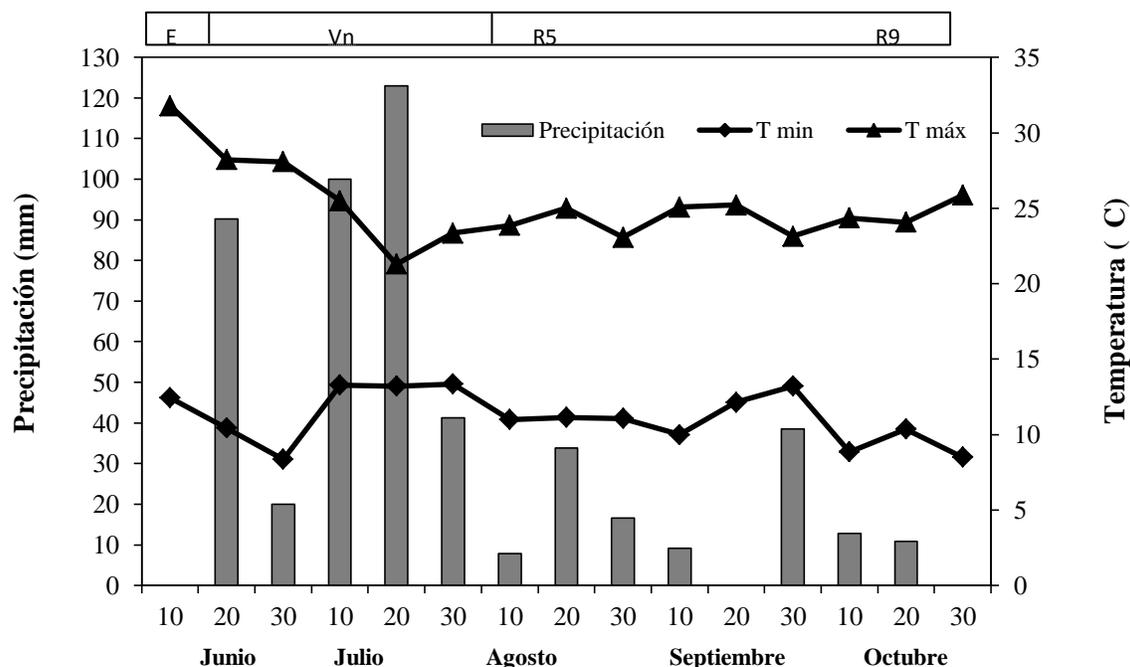


Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo, Méx. Verano 2011. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración y R9 = Madurez fisiológica.

Unidades Calor

La acumulación de unidades calor (UC) en relación con la fenología del cultivo se presenta en la Figura 2. El requerimiento térmico del cultivo bajo condiciones de clima templado fue similar entre tratamientos. Así, las UC fueron $144\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ a la emergencia, $866\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ al inicio de antesis (R5) y de $1510\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ a madurez fisiológica (R9). Olalde *et al.* (2000) encontraron resultados para el cv. Victoria en un clima cálido (Cocula, Guerrero), donde la acumulación de UC para las etapas fenológicas fue de $120\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$, $1266\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ y $1744\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ para la emergencia, inicio de floración y madurez fisiológica, lo cual difirió con los resultados encontrados en este estudio. Estos diferentes resultados se relacionan con las diferencias tan contrastantes en los climas en donde se realizó el estudio. Por otra parte

Morales *et al.* (2006), encontraron para el cv. Victoria en clima templado (Montecillo, México), que para la emergencia, inicio de floración y madurez fisiológica se requirió de $105\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$, $840\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ y $1521\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ UC.

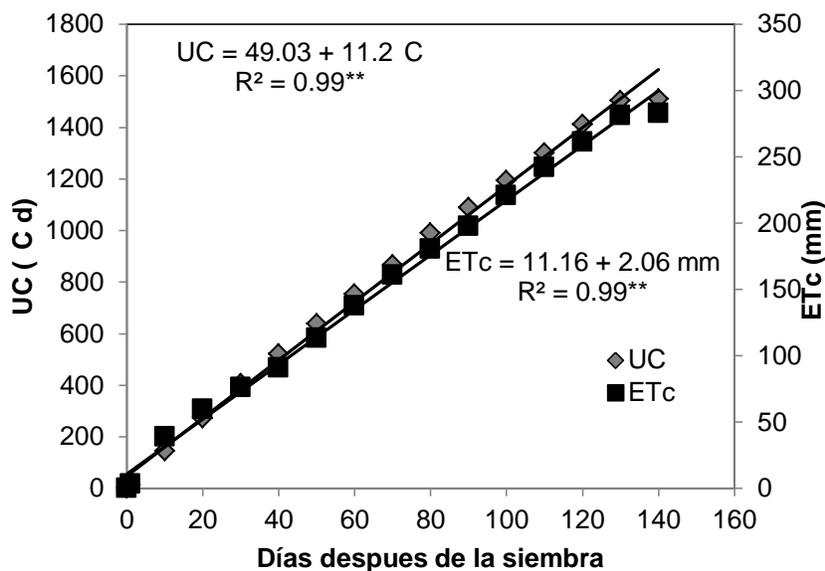


Figura 2. Unidades calor (UC) y Evapotranspiración (ETc) acumuladas de girasol cv. Victoria, Montecillo, Méx. Verano 2011.

Evapotranspiración (ETc)

En la Figura 2, que relaciona la evapotranspiración acumulada del cultivo (ETc), se observa que el periodo de siembra a emergencia, la ETc fue de 39 mm, en el periodo de emergencia a antesis la ETc fue de 121 mm y de antesis a madurez fisiológica fue de 122 mm. La ETc acumulada durante todo el ciclo del cultivo fue de 282 mm. Así mismo Morales *et al.* (2006), al evaluar el girasol cv. Victoria en un clima templado encontraron que de la siembra a emergencia la ETc fue de 15 mm, de emergencia a antesis fue de 185 mm y de antesis a madurez fisiológica fue de 80 mm. Teniendo una ETc acumulada durante todo el

ciclo del cultivo de 280 mm. Por otro lado Olalde *et al.* (2000) al evaluar el girasol cv. Victoria en un clima cálido encontró que la ETc de la siembra a emergencia fue de 22 mm, de emergencia a inicio de floración fue de 234 mm, y de inicio de floración a madurez fisiológica fue de 97 mm. La ETc acumulada durante todo el ciclo del cultivo fue de 353 mm.

Análisis de varianza

En el Cuadro 1 se presenta el análisis de varianza de los factores de estudio y sus interacciones, en el cual muestra que para BT existe diferencias significativas para G, N, DP, G*N, G*DP, N*DP y G*N*DP mientras que para el IC, RG y AC las diferencias significativas se presentan en todos los factores de estudio y las interacciones evaluadas. Respecto al P100S este presentó diferencias significativas debido a G, N, DP, G*N, N*DP y G*N*DP.

Cuadro 1. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento, peso de 100 semillas y área de capítulo, en función al genotipo (G), nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano 2011.

FACTOR	BT	IC	RG	P100S	AC
G	**	**	**	*	**
N	**	**	**	**	**
DP	**	**	**	*	**
G*N	**	**	*	**	*
G*DP	**	**	**	NS	**
N*DP	**	**	*	**	**
G*N*DP	**	**	*	**	*
DMS	13.1	0.9	21.7	0.47	3.4
CV	0.72	3	5.1	4.4	0.85

* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$, *** = $P \leq 0.001$, NS = Diferencias no significativas a $P \leq 0.05$.

BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento; P100S = Peso de 100 semillas; AC = Área de capítulo.

Biomasa total (BT)

Efecto del Genotipo (G). La producción de BT, presentó cambios significativos debido a G. El genotipo aceitero presentó 9 % mayor BT respecto al Confitero. La superioridad del cultivar Victoria puede ser debido a su capacidad de hacer un mejor uso de la disposición recursos, en comparación con el Confitero, para dar una mayor producción de materia seca. Hossan (2012), al evaluar 5 genotipos de girasol (Malabar, Galla, Record, Hyrizon y Romson 32), encontró que el genotipo que presentó mayor BT fue el Record, por su mayor altura y fue precoz en la floración.

Efecto de nitrógeno. En ambos cultivares, con la aplicación de 50 y 100 kg de N ha⁻¹ se incrementó la producción de BT (Cuadro 2) para ambos genotipos estudiados, ya que al suministrar este elemento al cultivo incrementa el área foliar, su duración, la producción de materia seca, (Escalante, 1999). Se observó que al aplicar 50 y 100 kg de N ha⁻¹, la BT incrementó en 5 % y 15 % respecto al testigo. Esto confirma los resultados de Vega *et al.*, 2001 y Escalante 1999 en girasol, quienes señalan que el N es un macronutriente esencial para el desarrollo de la planta de girasol.

Respecto con la interacción G*N (Cuadro 3), se observa que en los dos genotipos evaluados y con la adición del nutriente se incrementa la BT.

Efecto de densidad de población. Durante el desarrollo del cultivo, la BT mostró un incremento significativo debido al aumento de la densidad de población (Cuadro 2). El incremento de materia seca se ve reflejado por unidad de superficie, con las densidades altas (8 y 12 plantas m⁻²) que produjeron 49 % y 61 % más que la densidad baja, debido al mayor número de plantas por superficie (Olalde *et al.*, 2000).

Interacción G*DP. En el Cuadro 4, se observa que para ambos genotipos la BT mostró un incremento significativo debido al aumento de la densidad de población (Aguilar *et al.*, 2005).

Interacción G*N*DP. En el Cuadro 5, se observa que para los dos genotipos y con la adición de N y densidad alta, se obtienen la BT más alta. Con 100 kg de N ha⁻¹ y 12 plantas m⁻² para el cv. Victoria se obtuvo 2195 g m⁻² y para Confitería 1916 g m⁻². Escalante (1999); Vega *et al.* (2001) señalan que al combinar la fertilización nitrogenada y densidad alta, se logra mayor producción de materia seca.

Cuadro 2. Componentes principales genotipo (G), nitrógeno (N) y densidad de población (DP); para biomasa total, índice de cosecha, rendimiento, peso de 100 semillas y área de capítulo. Verano 2011.

FACTOR	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S g	AC cm ²
Victoria	1409 a	25 a	334 a	8 a	318 a
Confitero	1291 b	23 b	298 b	7.7 b	292 b
DMS	16.1	1.6	19.3	0.1	6.8
N 0	1260 c	22 b	281 c	6.8 c	255 c
N 50	1323 b	25 a	323 b	7.7 b	281 b
N 100	1467 a	25 a	344 a	9 a	379 a
DMS	18.6	0.87	19	0.32	5.7
DP 4	730 c	30 a	233 c	8.1 a	354 a
DP 8	1406 b	22 b	326 b	7.9 ab	298 b
DP 12	1913 a	19 c	388 a	7.6 b	263 c
DMS	13.1	0.9	21.7	0.47	3.4
CV	0.72	3	5.1	4.4	0.85

¶ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05

BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento de grano; P100S = Peso de 100 semillas; AC = Área de capítulo.

Cuadro 3. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento y componentes de dos genotipos de girasol en función al nitrógeno. Verano 2011.

GENOTIPO	N kg ha ⁻¹	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S G	AC cm ²
Victoria	0	1323 c	24 b	312 b	6.7 d	264 d
	50	1357 b	27 a	335 ab	7.8 c	296 d
	100	1548 a	24 b	354 a	9.5 a	394 a
Confitero	0	1197 e	20 d	294 c	6.9 d	247 e
	50	1290 d	23 c	311 b	7.7 c	267 d
	100	1386 b	23 c	334 ab	8.5 b	364 b
DMS		31.4	1.8	33.1	0.51	10.3
CV		1.01	3.4	4.5	2.8	1.4

¶ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05 BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento de grano; P100S = Peso de 100 semillas; AC = Área de capítulo.

Índice de cosecha (IC)

El IC mostró cambios significativos por efecto de G. El IC del cv Victoria fue 25 % superior al de Confitería. Esto indica que Victoria es más eficiente en producir mayor cantidad de materia seca de grano que el del Confitería. Con la adición de 50 y 100 kg de N ha⁻¹, el IC fue más alto (25 %) que el testigo (N0, 22 %).

Densidad de población, el IC disminuye conforme se incrementa la DP, así para DP4, DP8 y DP12 fue de 30 %, 22 % y 19% respectivamente. Con la DP alta se logra un mayor dosel vegetal y cobertura de terreno más temprana, que representa una mayor radiación interceptada por el cultivo que incrementa la producción de fotoasimilados, los cuales, al ser exportados a los órganos de interés económico, contribuyen a incrementar el índice de cosecha (Morales *et al.*, 2008).

Cuadro 4. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento y componentes de dos genotipos de girasol en función a la densidad de población. Verano 2011.

GENOTIPO	DP plantas m ⁻²	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S G	AC cm ²
Victoria	4	758 e	30 a	230 d	8.1 a	370 a
	8	1472 c	23 b	344 b	8.2 a	313 c
	12	1997 a	21 b	422 a	7.6 a	271 e
Confitero	4	702 f	30 a	237 d	8 a	339 b
	8	1341 d	21 b	303 c	7.5 a	283 d
	12	1830 b	16 c	354 b	7.5 a	256 f
DMS		23.9	2	36.8	0.7	7.6
CV		0.77	3.6	5	4	1

¶Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05

BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento de grano; P100S = Peso de 100 semillas; AC = Área de capítulo.

Rendimiento de grano (RG), peso de 100 semillas (P100S) y área de capítulo (AC)

Efecto del genotipo. El RG presentó cambios significativos entre genotipos. El cultivar Victoria obtuvo un RG de 334 g m⁻², que fue superior al Confitería en un 11 % (Cuadro 2). Por otra parte, el P100S y AC, presentaron diferencias significativas para ambos genotipos teniendo valores de 8 g y 318 cm² para Victoria; y 7.7 g y 292 cm² para Confitería.

Interacción G*N. En el Cuadro 3, se observa que para cualquiera de los genotipos con la adición de N el RG se incrementó. Así que con 100 kg N ha⁻¹ para el cultivar Victoria el RG fue de 354 g m⁻²; mientras que para el Confería fue de 334 g m⁻². El P100S y el AC, también se incrementó con la adición de N (Cuadro 3). Con 100 kg N ha⁻¹ el Victoria presentó un P100S de 9.5 g y un AC de 394 cm², y el Confitero presentó un P100S de 8.5 g y AC de 364 cm².

Interacción G*DP. En el Cuadro 4, se observa que el RG se incrementó el Victoria y 12 plantas m^{-2} con $422 g m^{-2}$ y fue superior en 17 % al Confitería. Para el P100S, no se observaron cambios significativos debido a la interacción. En promedio el P100S fue de 8.2 g. En cuanto al AC, el girasol Victoria con DP4 presentó los capítulos más grandes ($370 cm^2$); mientras que el Confitería con DP12 presentó los más pequeños ($256 cm^2$).

Efecto de nitrógeno. Al aplicar 50 y 100 $kg N ha^{-1}$, se observaron cambios significativos en el RG por m^2 . Así el RG fue de 323 y 344 $g m^{-2}$ respectivamente, y fue 33 % superior al testigo (Cuadro 2). El P100S más alto (9 g) se encontró con 100 $kg de N ha^{-1}$. El área de capítulo se incrementó con la aplicación de N (Cuadro 2), dicho incremento fue hasta de 33 % respecto al testigo. Tendencias similares encontraron Escalante, (1999); Olalde *et al.* (2001); Vega *et al.* (2001); Süzer, (2010), al evaluar diferentes niveles de nitrógeno en el girasol.

Efecto de densidad de población. En los tres niveles de DP se observó un notable incremento en el RG. Con 8 y 12 plantas m^{-2} se produjo 326 $g m^{-2}$ y 388 $g m^{-2}$ para 8 y 12 plantas por m^2 respectivamente. Mientras que para el área de capítulo al elevar la densidad a 8 y 12 plantas m^{-2} , el AC fue de 298 y 263 cm^2 mientras que con 4 plantas por m^2 fue de 354 cm^2 . El P100S presentó diferencias significativas y fue de 8.1, 7.9 y 7.6 g para 4, 8 y 12 plantas por m^2 , respectivamente.

Interacción G*N*DP. En el Cuadro 5, se observa que con la combinación del cultivar Victoria, 100 $kg de N$ y DP12, se obtuvo un RG más alto ($432 g m^{-2}$) y fue 13 % superior al de Confitería. El cultivar Victoria con 100 $kg de N$ y DP4 presentó el P100S y AC más altos con 10.5 g y 480 cm^2 , respectivamente. Dicho comportamiento se debe a que no hay

una competencia por los nutrimentos para el desarrollo de la planta, hay una mayor captación de radiación y un crecimiento sin la interacción con otras plantas (Escalante, 1999).

Cuadro 5. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento y componentes de dos genotipos de girasol en función al nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano 2011.

GENOTIPO	N kg ha ⁻¹	DP plantas m ⁻²	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S g	AC cm ²	
Victoria	0	4	687 lm	29 bc	173 e	6.7 def	286 fg	
	0	8	1397 gh	24 de	348 bc	7.2 cdef	267 hi	
	0	12	1884 b	20 fgh	416 a	6.2 f	238 jk	
	50	4	719 l	32 ab	256 d	7.2 cdef	344 d	
	50	8	1441 fg	23 def	330 bc	8 cd	289 f	
	50	12	1911 b	25 de	420 a	8.2 bc	253 ij	
	100	4	870 j	30 ab	261 d	10.5 a	480 a	
	100	8	1578 e	22 efg	371 ab	9.5 ab	283 c	
	100	12	2195 a	19 gh	432 a	8.5 bc	320 e	
	100	4	635 m	25 de	172 e	6.5 ef	272 gh	
Confitero	0	8	1204 i	17 hi	236 de	6.7 def	241 jk	
	0	12	1753 d	17 hi	340 bc	7.5 cdef	228 k	
	50	4	698 l	31 ab	258 d	8.2 bc	316 e	
	50	8	1351 h	21 efg	330 bc	7.7 cde	259 hi	
	50	12	1821 c	15 i	346 bc	7.2 cdef	227 k	
	100	4	775 k	33 a	281 cd	9.5 ab	430 b	
	100	8	1467 f	26 cd	344 bc	8.2 bc	349 d	
	100	12	1916 b	18 hi	376 ab	8 cd	312 e	
	DMS			52.7	3.5	67.6	1.3	16.6
	CV			1.5	5.6	8.2	6.4	2

¶Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05

BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento; P100S = Peso de 100 semillas; AC = Área de capítulo.

CONCLUSIONES

El cultivar Victoria presenta mayor producción en biomasa y rendimiento de grano que el de Confitería.

La fertilización nitrogenada incrementa la producción de biomasa total así como el rendimiento de grano por m^2 .

En la densidad de población baja (4 plantas m^{-2}), el área del capítulo es mayor, mientras que el aumento de la densidad de población (8 y 12 plantas m^{-2}) se reduce. Por otra parte el aumento de la densidad de población incrementa la producción de grano por m^2 y la biomasa total.

Con la combinación del cv. Victoria con 100 kg de nitrógeno y densidad de población alta (12 plantas m^{-2}), se obtiene una mayor producción de biomasa total y rendimiento de grano por m^2 .

LITERATURA CITADA

- Aguilar-García, L., J. A. Escalante E., M. T. Rodríguez-González y L. Fucikovsky-Zak. 2002. Materia seca, rendimiento y corriente geofitoeléctrica en girasol. *Terra* 20: 277-284.
- Aguilar C. L.; Escalante E. J. A.; Fucikovski Z. L.; Tijerina C. L.; Mark E. E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra*. Vol. 23. Núm. 3. Pp 303-310.
- Ali, H., M. Riaz, A. Zahoor and S. Ahmad. 2011. Response of sunflower hybrids to management practices under irrigated arid-environment. *African journal of biotechnology*. Vol. 10(14), pp 2666-2675.
- Ali, A., A. Ahmad, T. Khaliq and J. Akhtar. 2012. Phenology and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids as affected by varying plant spacing under semi arid conditions of Sargodha, Punjab. *Pak. J. Sci.* 63(2): 98-102.
- Ali A. and Noorka I. R. 2013. Nitrogen and phosphorus management strategy for better growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrid. *Soil Environ.* 32(1): 44-48.
- Ali A., Ahmad A., Khaliq T., Afzal M., Iqbal Z., Qamar R. 2014. Plant Population and Nitrogen Effects on Achene Yield and Quality of Sunflower (*Helianthus Annuus* L.) Hybrids. *International Conference on Agricultural, Environmental and Biological Sciences* Pp. 1-4.
- Ali A., Ahmad A., Khaliq T., Ali A., Ahmad M. 2013. Nitrogen nutrition and planting density effects on sunflower growth and yield. *Pakistan Journal of Nutrition* 12 (12): 1024 -1035.

- Escalante J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17: 149-157.
- Escalante-Estrada, J. A. y M. T. Rodríguez. 1994. Mayor eficiencia en el uso del nitrógeno en girasol mediante el manejo del cultivo. pp. 345-347. In: *Agroecología y desarrollo sostenible*. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Escalante Estrada, J.A., 1995. Nitrógeno y salinidad y sus efectos sobre el crecimiento del girasol. *Terra* 13 (3): 376-384.
- Escalante E. J.A. and Rodríguez G. M.T. 2010. Sunflower biomass distribution and seed yield in saline soil of Mexico highlands. *HELIA*, 33, Nr. 52, p.p. 127-134.
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- Hossam M. I. 2012. Response of Some Sunflower Hybrids to Different Levels of Plant Density *APCBEE Procedia* 4 175 – 182.
- Ishfaq, M., A. Ali, A. Khaliq and M., Yaseen, 2009. Allometry, agronomic traits and yield of autumn planted sunflower hybrids under varying row spacing. *Pak. J. Agric. Sci.* 46: 248-257.
- Loeza M. S. 2003. Fertilización nitrogenada en girasol (*Helianthus annuus*). Tesis de Licenciatura. Centro de Estudios Profesionales. Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Cocula Guerrero México. 38 p.
- Merrien A. 1986. Cahier technique turnesol. Physiologie. CETIOM. Paris. Pp. 1-47.
- Mohammad Y.; Akhtar B.; Shakoor A. 1986. Effect of spacing and nitrogen on the yield and yield components of sunflower under rainfall conditions. *Helia* 9: 53-56.
- Morales, R. E. J., Escalante, E. J. A., López, S. J. A. 2007. Producción de biomasa y Rendimiento de semilla en la asociación girasol (*Helianthus annuus* L.) – Frijol

- (*Phaseolus vulgaris* L.) en función del nitrógeno y fósforo. *Ciencia Ergo Sum* 14(2): 177-183.
- Morales, R. E. J., Escalante, E. J. A., Tijerina, C. L., Volke, H. V. y Sosa, M. E. 2006. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol. *Terra Latinoamericana*. 24:55-64.
- Nasim W., Ahmad A., Bano A., Olatinwo R., Usman M., Khaliq T., Wajid A., Hammad H. M., Mubeen M., Hussain M. 2012. Effect of Nitrogen on Yield and Oil Quality of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Hybrids under Sub Humid Conditions of Pakistan. *American Journal of Plant Sciences*, 3, 243-251.
- Olalde G. V. M.; Escalante E. J- A.; Sánchez G. P.; Tijerina C. L.; Mastache L. A. A.; Carreño R. E. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima templado. *Terra*. Vol. 18. Num. 004. Pp. 313 323.
- Ortegón M., A. S., A. Escobedo M., J. Loera G., A. Díaz F. y E. Rosales R. 1993. El girasol. Trillas. México, D. F.
- Robinson R. G. 1978. Production and culture. In J. F. Carter (ed). *Sunflower Science and Technology*. ASA. CSSA. and SSA. pp. 89-143.
- SAS Institute. 2004. SAS User's Guide. Statistics. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Schneiter, A. and Miller, J.F., 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Sci*. 21: 901-903.
- SIAP (Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera). 2013. Producción agrícola de cultivos cíclicos y perennes. [www. siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx).

- Süzer, S. 2010. Effects of nitrogen and plant density on Dwarf sunflower hybrids. *HELIA*, 33, Nr. 53, p.p. 207-214.
- Tonev, T., K. Tsvetanova y M. Angelova. 1992. Effect of nitrogen rate and stand density on some indices of photosynthesis in sunflower. *Rasteniiev'dni Nauki*. 29(5-6): 35-42.
- Ujjanaiah V. S.; Thimmegowda S.; Sridhara S.; Prasad T. 1993. Effect of moisture, plant population and fertilizer regimen on yield of sunflower. *Helia* 18 (22): 77-82.
- Vannozzi G. P.; Salera E.; Baldini M. 1990. Sunflower yield characteristics as affected by weed control, plant density, nitrogen level and sowing time. *Helia* 13(13): 73-86.
- Vega M. R., Escalante E. J. A., Sánchez G. P., Ramírez G. A., Cuenca A. E. 2001. Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población. *Terra*. Vol.19. Núm. 001. Pp 75-81.
- Vranceanu A. V. 1977. *El Girasol. Siembra y mantenimiento del cultivo*. Trad. A. Guerrero. Ed. MundiPrensa. Madrid, España. pp. 266-274.
- Vranceanu A. V.; Stoenescu F.; Terbea M. 1982. Tolerance of sunflower hybrids to competition among plants. *Helia* 5: 23-26.

CAPÍTULO VI

RENDIMIENTO Y BIOMASA DE GIRASOL EN FUNCIÓN DEL TIPO DE

SUELO, BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO

RENDIMIENTO Y BIOMASA DE GIRASOL EN FUNCIÓN DEL TIPO DE SUELO, BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO

Yasmani Rafael Arenas Julio

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

Un cultivo alternativo al que se le ha dado escasa importancia es el girasol (*Helianthus annuus* L.) se introdujo como un cultivo industrial por su alto contenido de aceite (40-60 %). Los biofertilizantes son soportes que contienen microorganismos vivos aplicados a la semilla, para la colonización de la rizósfera o en el interior de la planta, que promueven el crecimiento porque aumenta el suministro o disponibilidad de nutrimentos primarios a la planta. El nitrógeno es el que mayor medida limita la producción de girasol, de ahí la importancia de conocer los requerimientos nutricionales y realizar diagnósticos de deficiencias. El objetivo de la investigación fue determinar la producción de biomasa y el rendimiento del girasol en función al biofertilizante y nitrógeno en dos tipos de suelo. El estudio se llevó a cabo en Montecillo Estado de México (19° 29' N; 98° 54' O y 2250 msnm). Se utilizó un cultivar aceitero cv. Victoria, a la densidad de 8 plantas m⁻², con y sin biofertilizante, niveles de nitrógeno de 0 y 100 kg ha⁻¹ y dos tipos de suelos los cuales presentan las siguientes características: Suelo 1 (S1), textura franco arenoso, pH de 7.1 y CE de 0.49 dS m⁻¹, suelo2 (S2), textura franco arcilloso limoso, pH de 7.8, CE de 1.75 dS m⁻¹. El diseño experimental fue de bloques al azar con arreglo de parcelas subdivididas y cuatro repeticiones. A la cosecha se evaluó la biomasa total (BT), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes. La producción de BT y RG fue mayor con la aplicación del biofertilizante y con 100 kg de N ha⁻¹ obteniendo 1691 g m⁻² y 482 g m⁻², respectivamente. Mientras que en donde no se le adiciono biofertilizante y no se le aplicó nitrógeno la BT y RG fueron de 869 g m⁻² y 287 g m⁻², respectivamente. En conclusión cuando se le aplica el biofertilizante y con la aplicación de N, en suelos sin salinidad la producción de materia seca y el RG se incrementan.

Palabras clave: Biofertilizante, Biomasa total, Rendimiento de grano.

YIELD AND BIOMASS OF SUNFLOWER DEPENDING ON SOIL, AND NITROGEN BIOFERTILIZER

Yasmani Rafael Arenas Julio

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

An alternative crop that has been given little importance is the sunflower (*Helianthus annuus* L.) was introduced as an industrial crop for its high oil content (40-60 %). Biofertilizers are media that contain live microorganisms applied to the seed, for the colonization of the rhizosphere or inside the plant growth-promoting because it increases the supply or availability of primary nutrients to the plant. The nitrogen is that further limits the production of sunflower, hence the importance of knowing the nutritional requirements and diagnose deficiencies. The aim of the research was to determine the biomass production and yield of sunflower according to bio-fertilizer and nitrogen in two types of soil. The study was conducted in Montecillo Mexico State (19 ° 29' N; 98 ° 54' O and 2250 m). One cv Victoria oiler cultivar was used, the density of 8 plants m⁻², with and without biofertilizer nitrogen levels 0 and 100 kg ha⁻¹ and two soil types which have the following features: soil 1 (S1), sandy loam, pH 7.1 and EC of 0.49 dS m⁻¹, soil 2 (S2), silty clay loam, pH 7.8, EC 1.75 dS m⁻¹. The experimental design was a randomized block split-plot arrangement and four replications. A total biomass harvest (BT), harvest index (CI), grain yield (RG) and its components are evaluated. The production of BT and RG was higher with the application of biofertilizer and 100 kg N ha⁻¹ to obtain 1691 g m⁻² and 482 g m⁻², respectively. While where you are not added biofertilizer and is not applied nitrogen BT and RG were 869 g m⁻² and 287 g m⁻², respectively. In conclusion applies when the bio and the application of N in soils without salinity dry matter production and RG increase.

Key words: biofertilizer, total biomass, grain yield.

INTRODUCCIÓN

El girasol (*Helianthus annuus* L.) es una oleaginosa de gran importancia en el mundo, por su alto contenido de aceite en la semilla (45 %) (García y Quinche, 2012). Los hongos micorrízicos arbusculares y la rizobacteria promotora de crecimiento vegetal del género *Azospirillum*, son de los microorganismos más estudiados (Alarcón *et al.*, 2000; Loredó *et al.*, 2008; Sánchez *et al.*, 2008). La colonización micorrízica radical ha demostrado incrementos de productividad de diversos cultivos en suelos con estrés hídrico (Sylvia *et al.*, 1993; Kaya *et al.*, 2003; Al-Karaki *et al.*, 2004).

A través de la inoculación de bacterias simbióticas obligadas (Da Silva *et al.*, 1999), se logra que leguminosas que han sido catalogadas como muy pobres en su capacidad de fijar N atmosférico, incrementen la tasa de fijación, de modo que sean más eficientes en éste aspecto. Por otra parte, en especies de plantas leguminosas con mayor eficiencia de fijar N, la selección y mejoramiento genético de simbiontes, puede contribuir en mayor captación de este elemento (Hardarson, 1999).

Como limitante en este tipo de inoculantes, se tiene su alta especificidad que se establece entre micro y macrosimbionte (CIAT, 1988), lo que requiere del conocimiento de la relación simbiótica que define el éxito del establecimiento y funcionalidad fisiológica de la bacteria en el hospedante, que repercute en la asimilación de N para que la planta pueda sintetizar compuestos nitrogenados como aminoácidos, proteínas, etc.

La sola inoculación de *Rhizobium* en leguminosas, propicia que se incremente la tasa de fijación de N en comparación con plantas sin inoculación de bacterias, debido a que la

actividad de los bacteroides dentro del nódulo, ejercen cambios significativos en la fisiología de la planta en aspectos enzimáticos. Este proceso requiere de alto gasto de energía, la cual debe ser generada a través del funcionamiento del sistema fotosintético de las plantas, mismo que está directamente afectado por el suministro de fósforo para la planta. La incorporación de un tercer componente simbiótico como Hongo Micorrízico Arbuscular, permite que tanto el sistema fotosintético de la planta y la actividad de la enzima nitrogenasa, se beneficien por tener disponibilidad de fósforo propiciado por la actividad fúngica (Young *et al.*, 1988; Brown y Bethlenfalvay, 1988; De la Cruz *et al.*, 1988; Werner, 1992).

Las bacterias y los hongos son capaces de proveer a la planta diferentes nutrientes por ejemplo, la inoculación de plantas con micorrizas contribuye a incrementar la absorción de agua y a solubilizar los minerales mediante la fosfatasa ácida y transformar el fósforo que se encuentra en el suelo, formando compuestos estables para la planta.

Los microorganismos se aplican al suelo para desempeñar funciones específicas que benefician a la productividad de las plantas como: fijación de nitrógeno, solubilización de minerales producción de estimuladores del crecimiento vegetal y biocontrol de patógenos.

Las bacterias y hongos proveen a las plantas diferentes nutrientes en forma asimilable. Esto puede ocurrir mediante diferentes procesos, por ejemplo, la inoculación de plantas con micorrizas contribuye a incrementar la absorción de agua y a solubilizar los minerales mediante la fosfatasa ácida, y transformar el fósforo que se encuentra en el suelo, formando compuestos estables, en formas disponibles para la planta. (Castañón *et al.*, 2013).

La fijación biológica de N en México, ha sido muy estudiada a lo largo de más de diez décadas (Casas- Campillo, 1995). Desde el punto de vista agronómico, la fijación biológica del nitrógeno es un recurso renovable que puede provocar la disminución de aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, cuyo impacto ambiental (agua-suelo-atmósfera) se traduce en aspectos de contaminación (Grageda *et al.*, 1999). El uso de inoculantes a base de bacterias gram-negativas de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium* o *Azorhizobium*, ha sido una herramienta importante para la estimulación en la capacidad de captar nitrógeno atmosférico en plantas de la familia Fabaceae (leguminosas). A través de la inoculación de bacterias simbióticas obligadas (Da Silva *et al.*, 1999), se logra que leguminosas que han sido catalogadas como muy pobres en su capacidad de fijar N atmosférico, incrementen la tasa de fijación, de modo que sean más eficientes en éste aspecto. Por otra parte, en especies de plantas leguminosas con mayor eficiencia de fijar N, la selección y mejoramiento genético de simbioses, puede contribuir en mayor captación de este elemento (Hardarson, 1999).

La promoción de la productividad de plantas con HMA es atribuida al mejor aprovechamiento de los nutrientes inmóviles del suelo como fósforo, zinc y cobre. También, la colonización puede influir en la resistencia o sequía ya que provocan cambios en la elasticidad de las hojas, al incrementar su turgencia y los potenciales de agua, al moderar la apertura estomatal y la transpiración (Auge *et al.*, 1995; Auge *et al.*, 2004). La fertilización es una alternativa para incrementar el rendimiento el cual está ligado a los componentes y comportamientos fisiológicos propios de cada cultivo o planta en particular. Las plantas al competir por recursos naturales (luz, agua y nutrientes) disminuyen su crecimiento. La deficiencia del nitrógeno reduce el crecimiento vegetal y el

desarrollo productivo de la planta, además induce la senescencia de las hojas reduciendo el potencial (Gerik *et al.*, 1996; Tewolde and Fernandez, 2003). El objetivo del estudio fue determinar en girasol la producción de biomasa y el rendimiento del girasol en función al biofertilizante y nitrógeno en dos tipos de suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el campus experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, (19° 29' N y 98° 54' O, 2250 m de altitud), con clima Cw que corresponde al menos seco de los áridos con régimen de lluvias en verano, temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 500 mm (García, 2005). La siembra se llevó a cabo el 11 de mayo de 2012, Se utilizó un cultivar Victoria (aceitero) los tratamientos fueron: dos sitios de suelo, los cuales presentaron las siguientes características del suelo: Sitio 1 (S1), textura franco arenoso, pH de 7.1 y CE de 0.49 dS m⁻¹, sitio 2 (S2), textura franco arcilloso limoso, pH de 7.8, CE de 1.75 dS m⁻¹, con y sin biofertilizantes que contiene bacterias fijadoras de nitrógeno *Azospirillum* y hongos micorrízico (*Glomus sp.*) y niveles de nitrógeno de 0 y 100 kg ha⁻¹ a una densidad de 80 000 plantas ha⁻¹. El diseño experimental fue parcelas divididas con arreglo de bloques completos al azar y cuatro repeticiones. Como fuente de nitrógeno se utilizó urea (46 % de N). Se registró la temperatura máxima, mínima y precipitación. Las etapas fenológicas registradas fueron: días a emergencia (E), a inicio de antesis (R5) y a madurez fisiológica (MF) (Schneiter y Miller, 1981). A la cosecha se registró el rendimiento de grano (RG) , sus componentes, como área del capítulo (AC), peso de 100 semillas por gramos (P100S), biomasa total (BT), (suma del peso de receptáculo + peso seco de tallo + peso seco de hoja + peso de

semilla) e Índice de cosecha (IC). Que se calculó mediante la siguiente expresión: $IC = (\text{peso de semilla/biomasa total}) \times 100$ (Escalante y Kohashi 1993).

Durante el desarrollo del experimento se registraron la temperatura máxima y mínima diaria, la evaporación y la precipitación, los datos fueron proporcionados por la estación agrometeorológica del Colegio de Postgraduados. Se determinó la acumulación de unidades calor por el cultivo (UC), utilizando el método residual (Flores *et al.*, 1985), el cual es descrito por la siguiente relación: $UC = T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}} / 2 - TB$

Dónde: $T_{\text{máx}}$ = Temperatura máxima diaria ($^{\circ}\text{C}$), $T_{\text{mín}}$ = Temperatura mínima diaria ($^{\circ}\text{C}$) y TB = Temperatura base, considerada como 8°C (Merrien, 1986). La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se estimó para todo el experimento a partir de los datos de evaporación (Ev) del tanque tipo "A", utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro y 0.8 para el cultivo, a partir de la siguiente relación: $ET_c = Ev \times 0.6 \times 0.8$ (Doorenbos y Pruitt, 1986).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elementos del clima

En la Figura 1, que presenta los datos de temperatura máxima (T_{max}), mínima (T_{min}) promedio decenal y la precipitación suma decenal, durante el ciclo del cultivo, se observa que el promedio decenal durante la estación de crecimiento de T_{max} fue 27°C y la T_{min} de 5°C . La temperatura más alta ocurrió en la etapa vegetativa del cultivo y posteriormente, disminuyó conforme el ciclo de cultivo avanzó. La precipitación total fue de 386 mm.

Fenología

Las etapas fenológicas registradas fueron: emergencia (E) se presentó a los 8 días después de la siembra (DDS el periodo de emergencia a inicio de floración (R5) ocurrió a 55 días después de la emergencia (E). La madurez fisiológica se presentó a 120 días (Figura 1).

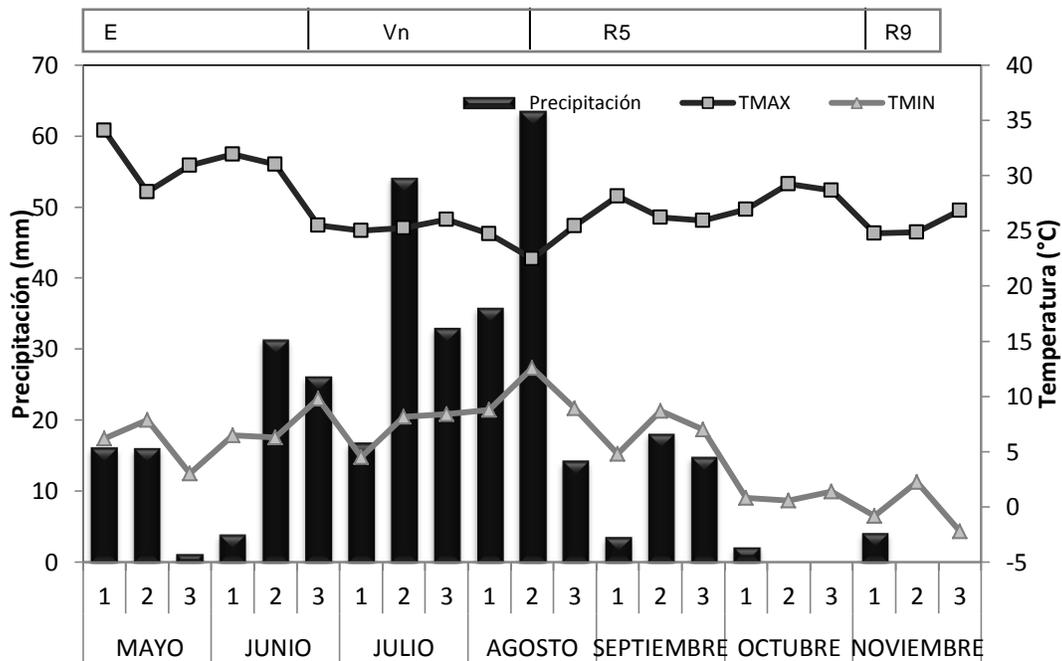


Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo, México. Verano 2012. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración y R9 = Madurez fisiológica.

Unidades Calor

La acumulación de unidades calor (UC) en relación a la ocurrencia de las etapas fenológicas del cultivo se presentan en la Figura 2. El requerimiento térmico del girasol fue similar entre tratamientos. De esta manera, la acumulación de UC fue de $125\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$, $705\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ y $1551\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ durante las etapas E, R5 y MF, respectivamente. Datos similares fueron reportados por Morales *et al.* (2006) al evaluar girasol en cultivo asociado frijol (*Phaseolus vulgaris*. L). El modelo para estimar las UC para el genotipo y condiciones del presente estudio fue $UC = 2.7\text{ DDS}$, $R^2 = 0.99^{**}$. La ETc del girasol fue similar entre tratamientos. En la Figura 2 se muestra que la ETc acumulada para las etapas E, R5 y MF fue de 18 mm, 139 mm y 377 mm, respectivamente.

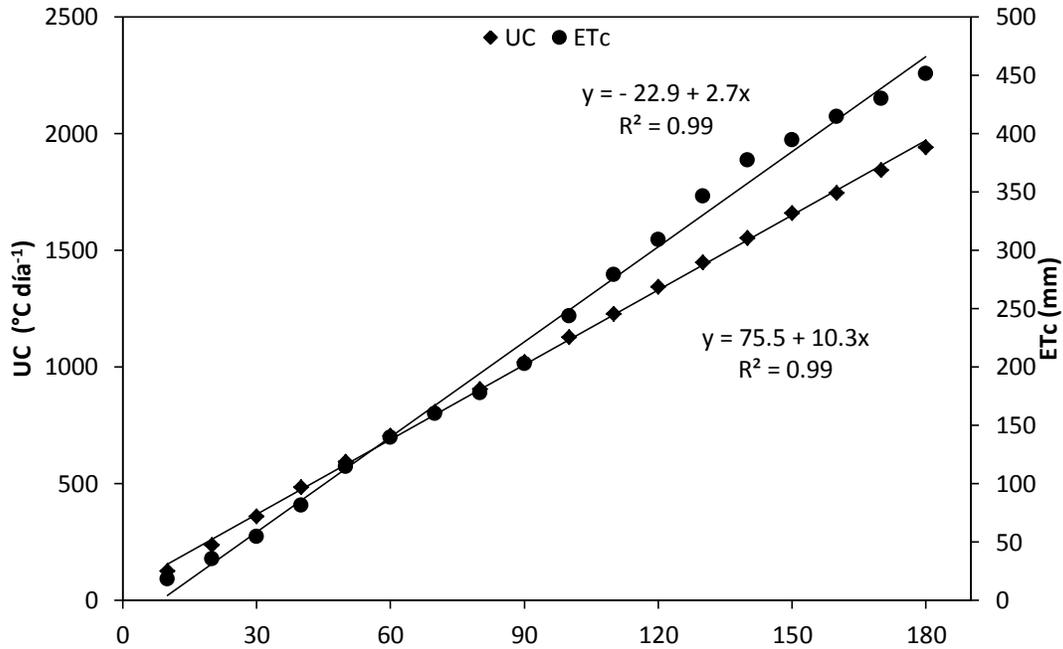


Figura 2. Unidades calor (UC) y Evapotranspiración (ETc) acumuladas de girasol cv. Victoria, Montecillo, Méx. Verano 2012.

Evapotranspiración (ETc)

En la Figura 2, que relaciona la evapotranspiración acumulada del cultivo (ETc), se observa que el periodo de siembra a emergencia, la ETc fue de 18 mm, en el periodo de emergencia a antesis la ETc fue de 121 mm y de antesis a madurez fisiológica fue de 256 mm. La ETc acumulada durante todo el ciclo del cultivo fue de 377 mm. Así mismo Morales *et al.* (2006), al evaluar el girasol cv. Victoria en un clima templado encontraron que de la siembra a emergencia la ETc fue de 15mm, de emergencia a antesis fue de 185 mm y de antesis a madurez fisiológica fue de 80 mm. Teniendo una ETc acumulada durante todo el ciclo del cultivo de 280 mm.

Análisis de varianza

En el Cuadro 1, se presenta el análisis de varianza de los factores de estudio, en el cual se muestran que para BT, IC, RG, P100S y AC existen diferencias significativas tanto para N y BIO. Respecto a la interacción S*BIO presentó diferencias significativas para BT, RG, P100S y AC. Mientras que para la interacción BIO*N solo hubo diferencia significativa para BT, RG y el AC y para la interacción S*BIO*N solo presento diferencias significativas para BT, RG, P100 y AC.

Cuadro 1. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento, peso de 100 semillas y área de capítulo, en función al suelo (S), biofertilizante (BIO) y nitrógeno (N). Verano 2012.

FACTOR	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S G	AC cm ²
S	*	*	**	NS	*
BIO	**	*	**	**	**
N	**	**	**	**	**
S*BIO	*	NS	*	*	*
BIO*N	*	NS	*	NS	*
S*BIO*N	*	NS	*	*	*

* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$, *** = $P \leq 0.001$, NS = Diferencias no significativas a $P \leq 0.05$.

BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento de grano; P100S = Peso de 100 semillas; AC = Área de capítulo.

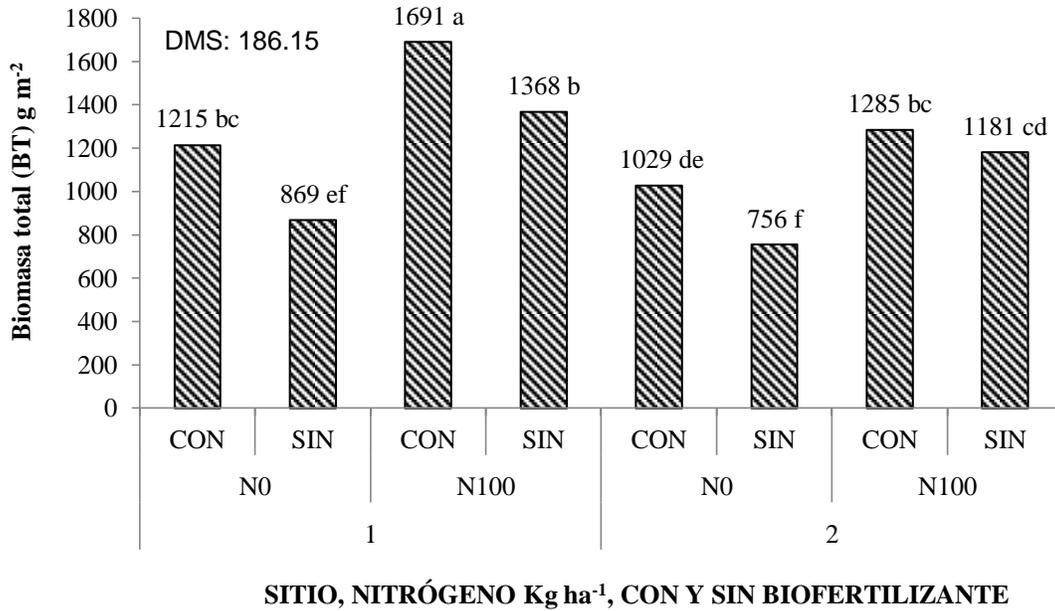


Figura 3. Biomasa total (BT) en girasol en función al Suelo, Nitrógeno y Biofertilizante (Con, Sin Biofertilizante), Montecillo estado de México. Verano de 2012.

Biomasa total (BT)

Efecto de suelo. En la Figura 3, se observa que la BT presentó efectos significativos debido al tipo de suelo, ya que en el S1 incrementó en un 10 % la BT respecto al S2, y con la aplicación de 100 kg de N y con la inoculación incrementa en 25 % en materia seca. García y Ocampo (2002), afirman que la expresión de diferentes respuestas de la planta a la colonización es determinada por el carácter genotípico del huésped y del hospedero, lo cual determinará la aparición y formación de la micorrización.

Efecto de Nitrógeno. En cualquier sitio evaluado y con la incorporación de N (100 kg ha⁻¹), el valor obtenido en materia seca incrementa en un 25 % más que en donde no se le

aplico N, esto concuerda con lo encontrado por Escalante y Rodríguez (2010), al aplicar 100 kg de N ha⁻¹ en suelos con problemas de salinidad obteniendo valores para BT de 1055 g m⁻² en suelos con un conductividad eléctrica de 5 dS m⁻¹.

Efecto de Biofertilizante. En la figura 3 se observa que con la inoculación del biofertilizante en los dos sitios evaluados y con la adición de N se incrementa en 25 % la BT. Resultados son similares a los observados por Davies *et al.* (2001), quienes reportan mayores alturas, diámetros de tallos y número de hojas en plantas de girasol. Los aislamientos de estas bacterias favorecen la emergencia de las semillas en suelos con baja fertilidad y algunos aislamientos incrementan significativamente la emergencia en suelos con alta fertilidad (Turner y Backman 1989).

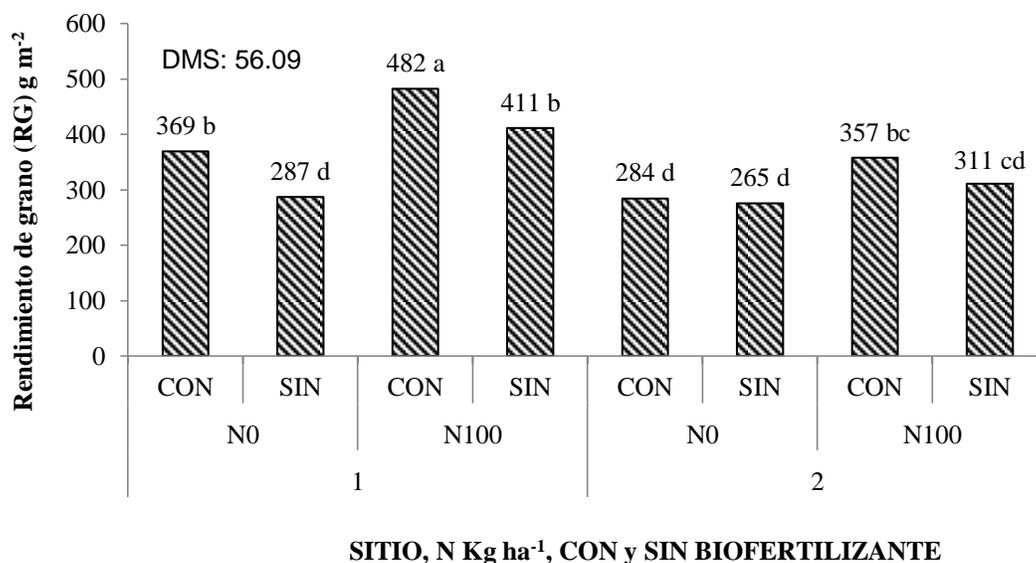


Figura 4. Rendimiento de grano (RG) en girasol en función al Suelo, Nitrógeno y Biofertilizante (Con, Sin Biofertilizante), Montecillo estado de México. Verano de 2012.

Rendimiento de grano (RG)

Efecto de suelo. En la Figura 4, se observa que el RG mostró diferencias significativas con respecto al sitio evaluado, en el S1 el RG incrementó en 10 % respecto al S2. Resultados encontrados por Escalante y Rodríguez (2010), al evaluar girasol en suelos con problemas de salinidad obtuvieron valores de 102 g m^{-2} en suelos con 5 dS m^{-1} .

Efecto de Nitrógeno. Con la aplicación de N aumentó en 30 % en RG, respecto al testigo (Figura 4). Arenas *et al.* (2013), al evaluar niveles de nitrógeno encontró que con $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ se incrementó la producción en RG hasta en un 34 % respecto al testigo.

Cuadro 2. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano, peso de 100 semillas y área de capítulo, en función al suelo (S), al nitrógeno (N) y biofertilizante (Con y Sin biofertilizante) (BIO). Verano 2012.

FACTOR	BT g m^{-2}	IC %	RG g m^{-2}	P100S g	AC cm^2
S1	1289 a	26 a	388 a	7.5 a	327 a
S2	1063 b	30 b	306 b	7 a	316 b
DMS	57.8	1.3	18.3	0.7	2.08
N0	967 b	30 a	304 b	6.6 b	289 b
N100	1382 a	26 b	390 a	8 a	355 a
DMS	53.9	0.59	21.3	0.29	14.03
CONBIO	1325 a	27 b	383 a	7.8 a	353 a
SINBIO	1044 b	29 a	320 b	6.7 b	290 b
DMS	52.5	0.69	23.3	0.34	5.2

¶ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05

BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento de grano; P100S = Peso de 100 semillas; AC= Área de capítulo.

Efecto de biofertilizante. Con el biofertilizante, se observaron incrementos significativos de 23 % en RG, respecto al testigo. González *et al.* (2011) encontraron incrementos del 5 % en el RG de los maíces mejorados VS-535 y los híbridos H-516 y Tornado con la aplicación del biofertilizante para la zona norte del Estado de Guerrero.

Efecto Nitrógeno*Biofertilizante. En cada suelo evaluado con la aplicación de N y la inoculación del Biofertilizante, se observó mayor incremento en RG con 100 kg de N ha⁻¹ y Con Bio (482 g m⁻²), sobresaliendo hasta en un 41 % con respecto al testigo (0 kg de N y Sin Bio). Uribe y Dzib (2006), al evaluar la inoculación de micorrizas y *azospirillum* con 66 kg de N ha⁻¹, encontraron un incremento en el rendimiento de grano en un 6 % respecto al testigo. Otros estudios han demostrado que condiciones adversas puede reducir la colonización de micorrizas inhibiendo la formación de esporas (Duke *et al.*, 1986). En investigaciones con respecto a maíz el RG se incrementó al incorporar el biofertilizante en un 12 % g m⁻² (García *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

La ocurrencia de las etapas fenológicas no fue afectada por el tipo de suelo, la fertilización nitrogenada y la inoculación del biofertilizante.

La fertilización Nitrogenada y la inoculación del cultivo con Biofertilizante incrementan la producción de materia seca y el rendimiento de grano de girasol, el suelo de textura franco arenoso, pH de 7.1 y CE de 0.49 dS m⁻¹.

La combinación de S1-N100 y BIO genera la mayor producción de materia seca y rendimiento de grano.

LITERATURA CITADA

- Alarcón A., Ferrera C. R. 2000. Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. *Agr. Téc. Méx.* 26: 191-203.
- Al-Karaki G. McMichael B. Zak J. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza* 14: 263-269.
- Arenas J. Y. R., Escalante E. J. A., Rodríguez G. T., Ortiz S. C. A. 2013. Rendimiento de girasol aceitero en función al nitrógeno y densidad de población en suelo salino. Memoria del XV Congreso Nacional y I Internacional de Ciencias Agronómicas. 24 al 26 de abril de 2013. Chapingo, Estado de México, México.
- Augé R. M., Stodola A. J. W., Ebel R.C., Duan X. 1994. Nonhydraulic signalling of soil drying in mycorrhizal maize. *Planta* 193: 74-82.
- Augé R. M., Moore J. L., Sylvia D. M., Cho K. 2004. Mycorrhizal promotion of host stomatal conductance in relation to irradiance and temperature. *Mycorrhiza* 14: 85-92.
- Augé R.M., Stodola A. J. W., Ebel R. C., Duan X. 1995. Leaf elongation and water relations of mycorrhizal sorghum in response to partial soil drying: two *Glomus* species at varying phosphorus fertilization. *Journal of Experimental Botany* 46: 297-307.
- Davies, F. T., R. Puryear, D. Jeffrey, J. Newton, N. Egilla, and G. Saraiva. 2001. Mycorrhizal fungi enhance accumulation and tolerance of chromium in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant Physiol.* 158 (6): 777-786.
- Duke, E. R., Johnson, C. R. and Koch, K. E. 1986. Accumulation of phosphorus and dry matter during NaCl stress of split-root citrus seedlings colonized with vesicular-

- arbuscular mycorrhizal fungi on zero, one or two halves. *New Phytol.* 104: 583-590.
- Escalante J. A y Kohashi S. J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- García E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- García, O. J. G., V. R. M. Moreno, I. C. L. Rodríguez, A. H. Mendoza, N. P. Mayer. 2007. Efecto de cepas de *Azospirillum basilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 30(003):305-310.
- García L. A. y Quincke J. A. 2012. Girasol: respuesta a la aplicación foliar de boro en suelos del litoral suroeste de Uruguay. *Agrociencia Uruguay.* (16) (1): 7-14.
- García, J. y Ocampo, J. Regulation of plant defence response in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Journal of Experimental Botany.* 2002, 53, 1377-1386.
- Gerik T.J., K.L. Faver P.M. Thaxton and K.M. El-Zik. 1996. Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water use and yield. *Crop Sci.* 36:914-921.
- González, M. R.; Noriega, C. D.; Pereyda, H. J.; Domínguez, M. V. M.; López, E. M. E. y E. R. Garrido. 2011. Fertilización química con y sin biofertilizante en maíz de temporal en Guerrero. XVI Foro de estudios sobre Guerrero. Acapulco, Guerrero. 69-73 pp.
- Kaya C., Higgs D., Kirnak H. & Tas I. 2003. Mycorrhizal colonisation improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.) grown under well-watered and water-stressed conditions. *Plant and soil.* 253, 2, 287-292.

- Loredo O. C., López R. L. Espinosa V. D. 2004. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: una revisión. *Terra*. 22:225-239.
- Sánchez C. R., Díaz F. A., Pecina Q. V., Garza C I., L. Gallardo J. 2008. *Glomus intraradices* Y *Azospirillum brasilense* en trigo bajo dos regímenes de humedad en el suelo. *Unicersidad y Ciencia* 24(3):239-245.
- Schneiter, A. and Miller, J.F., 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Sci.* 21: 901-903.
- Sylvia D. M., Hammond L. C., Bennett J. M., Haas J. H., Linda S. B. 1993. Field response of maize to a VAM fungus and water Management *Agronomy Journal* 85(2): 193–198.
- Tewolde H. and Fernández C. J. 2003. Fiber quality response of Pima cotton to nitrogen and phosphorous deficiency. *J. Plant Nut.* 26:223-235.
- Turner, J. y Backman, P. 1989. Factors relating to peanut yield increases following *Bacillus subtilis* seed treatment. *Plant disease.* 73, 347-353.

CAPÍTULO VII

CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DE GIRASOL EN

FUNCIÓN DEL SUELO, NITRÓGENO Y BIOFERTILIZANTE

CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DE GIRASOL EN FUNCIÓN DEL SUELO, NITRÓGENO Y BIOFERTILIZANTE

Yasmani Rafael Arenas Julio

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

El girasol, es considerado una oleaginosa de gran importancia por su contenido de aceite. En México ha tomado gran auge en los últimos años, ya que incremento en un 43 % la superficie sembrada del 2010 al 2013. La fertilización nitrogenada incrementa el tamaño del dosel vegetal y por ende mayor rendimiento de grano. Por otra parte las bacterias y los hongos son capaces de proveer a la planta diferentes nutrientes en forma asimilable. El objetivo del presente estudio fue determinar la influencia del suelo, nitrógeno y biofertilizante sobre el crecimiento y rendimiento del girasol en Montecillo, México. La siembra se llevó a cabo el 11 de mayo de 2012, Se utilizó un cultivar Victoria (aceitero), los tratamientos en estudio fueron dos sitios los cuales presentaron diferentes características para suelo 1 (S1), textura franco arenoso, pH de 7.1 y CE de 0.49 dS m^{-1} , suelo 2 (S2), textura franco arcilloso limoso, pH de 7.8, CE de 1.75 dS m^{-1} ; niveles de nitrógeno de 0 (N0) y 100 kg ha^{-1} (N100); con y sin biofertilizantes que contiene bacterias fijadoras de nitrógeno *Azospirillum* y hongos micorrízico (*Glomus* sp.). El diseño experimental fue un bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones. Durante el estudio las temperaturas máximas y mínimas oscilaron entre 22 a 33 °C y 0 a 10 °C respectivamente, con precipitación pluvial de 386 mm. La ocurrencia de las etapas fenológicas fue similar entre tratamientos, así, la emergencia ocurrió 8 días después de la siembra (dds), la floración a los 68 dds y a los 120 dds la madurez fisiológica. La fertilización con N y la aplicación del biofertilizante incrementa el número de hojas verdes, índice de área foliar, tasas de crecimiento, tasa de asimilación neta (TAN) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC), biomasa total y rendimiento de grano.

Palabras clave: área foliar, tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo.

GROWTH, YIELD AND PROFITABILITY OF SUNFLOWER DEPENDING ON SOIL NITROGEN AND BIOFERTILIZER

Yasmani Rafael Arenas Julio

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

The sunflower is considered an oil of great importance for its oil content. In Mexico it has exploded in recent years, since 43 % increase in acreage from 2010 to 2013. Nitrogen fertilization increases the size of the canopy and therefore more grain yield. Moreover bacteria and fungi are able to provide the various plant nutrients in assimilable form. The aim of this study was to determine the influence of nitrogen biofertilizer on growth soil and yield of sunflower in Montecillo, Mexico. Sowing was carried out on May 11, 2012, was used Victoria cultivar (oiler), the treatments under study were two sites which show different characteristics soil 1 (S1), sandy loam, pH 7.1 and CE 0.49 dS m⁻¹, soil 2 (S2), silty clay loam, pH 7.8, EC 1.75 dS m⁻¹; nitrogen levels 0 (N0) and 100 kg ha⁻¹ (N100); with and without biofertilizer containing nitrogen-fixing bacteria and mycorrhizal fungi *Azospirillum* (*Glomus* sp.). The experimental design was a randomized complete block split-plot arrangement and four replications. During the study the maximum and minimum temperatures ranged from 22-33 °C and 0 -10 °C respectively, with rainfall of 386 mm. The occurrence of phenological stages was similar between treatments and the emergence occurred eight days after sowing (das), flowering at 68 and 120 dds physiological maturity. N fertilization and application of biofertilizer increases the number of green leaves, leaf area index, growth rates, net assimilation rate (NAR) and crop growth rate (TCC), total biomass and grain yield.

Key words: leaf area, net assimilation rate, crop growth rate.

INTRODUCCIÓN

El girasol es uno de los cultivos oleaginosos más importantes para la producción de aceite, además es considerado como uno de los aceites con mayores beneficios para la salud, por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Werteker *et al.*, 2010). Con el uso de prácticas agrícolas adecuadas se provee a los cultivos una mayor expresión del mayor rendimiento, dentro de dichas prácticas destacan la preparación del suelo, la densidad de población y fertilización.

Investigaciones anteriores que se han desarrollado con girasol, han demostrado que con aplicaciones de fertilizante nitrogenado se han incrementado el rendimiento de semilla por unidad de superficie, la producción de materia seca, número de semillas m^{-2} y área del capítulo, (Escalante, 1999; Olalde *et al.*, 2000; Vega *et al.*, 2001).

Un indicador importante respecto al uso del nitrógeno es su eficiencia agronómica, que indica el incremento en el rendimiento económico de un cultivo por unidad de nitrógeno aplicado. (Fageria and Baligar, 2005; Vega *et al.*, 2001).

Se ha encontrado que con el manejo de la densidad de población y fertilización nitrogenada se ha logrado una mayor cobertura de suelo y un uso más eficiente de los recursos necesarios para el crecimiento y rendimiento del cultivo. (Escalante, 1999; Olalde *et al.*, 2000).

El análisis de crecimiento tiene la gran ventaja de proveer medidas precisas del funcionamiento de la planta a través de intervalos de tiempo (Hunt, 1990). El crecimiento

se define como un incremento constante en el tamaño de un organismo, que está acompañado de dos procesos: morfogénesis y diferenciación; el primero es el desarrollo de la forma o modelo de la célula u órgano y el segundo, es el proceso por el cual las células cambian estructural y bioquímicamente para formar o adquirir funciones específicas (Taiz y Zeiger, 1991).

El área foliar es la medida usual del tejido fotosintetizador de una comunidad de plantas. Además, el área foliar es importante, porque está determina la cantidad o importe de energía solar que es absurda y convertida en materiales orgánicos (Hunt, 1990).

Índice de área foliar (IAF). Expresa la superficie de la hoja por unidad de área de superficie ocupada por la planta. Aumenta con el crecimiento del cultivo hasta alcanzar un valor máximo en el cual se alcanza la máxima capacidad para interceptar la energía solar, momento en que la TCC es a su vez máxima (Hunt, 1982). La reducción del IAF por efecto de salinidad puede ser causado por una disminución en el área foliar específica (incremento de biomasa por unidad de área foliar) y/o una disminución en la proporción de masa seca acumulada en los tejidos foliares (Curtis y Lauchli, 1986).

Tasa de asimilación neta (TAN). Indica la eficiencia fotosintética promedio, individual o en una comunidad de plantas. La capacidad de la planta para incrementar su masa seca en función del área asimilatoria en periodos cortos a lo largo del ciclo de crecimiento depende del área foliar, de la disposición y edad de las hojas y de los procesos de regulación interna relacionados con la demanda de los asimilados (Hunt, 1982). La TAN es una medida de la eficiencia promedio de las hojas de la planta de un cultivo (Brown, 1984), es decir, es una

medida indirecta de la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar en una unidad de tiempo; esta no es constante y decrece con la edad de la planta o población.

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Mide la ganancia de biomasa vegetal en el área de superficie ocupada por la planta. Es aplicable a plantas que crecen juntas en cultivos cerrados (Hunt, 1982). La máxima TCC ocurre cuando las plantas son suficientemente grandes o densas para explotar todos los factores ambientales en mayor grado. En ambientes favorables, la máxima TCC ocurre cuando la cobertura de las hojas es completa, y puede representar el máximo potencial de producción de masa seca y de tasas de conversión en un momento dado (Brown, 1984).

Para lograr una producción sustentable de girasol es necesario complementar la fertilización química con formas biológicas, para obtener en lo posible un impacto en la producción y en la conservación del medio. Los microorganismos de la rizosfera han mantenido una relación estrecha con las plantas desde que estas últimas iniciaron la colonización de la tierra (Selosse y Le Tacon, 1998). Las bacterias y los hongos son capaces de proveer a la planta diferentes nutrientes en forma asimilable. Esto puede ocurrir mediante diferentes procesos, por ejemplo, la inoculación de las plantas con micorrizas contribuye a incrementar la absorción de agua y a solubilizar los minerales mediante la fosfatasa ácida, y a transformar el fósforo que se encuentra en el suelo, formando compuestos estables, en formas disponibles para la planta (Linderman, 1993). El objetivo del presente estudio fue determinar la influencia del, nitrógeno y biofertilizante sobre índices de crecimiento y rendimiento del girasol en Montecillo, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se estableció en un lote experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, (19° 29' norte; 98° 54' oeste y 2250 msnm), bajo condiciones de temporal. El clima es de tipo BS1 que corresponde al menos seco de los áridos con lluvias en verano, una temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 500 mm (García, 2005). La siembra se llevó a cabo el 11 de mayo de 2012, Se utilizó un cultivar Victoria (aceitero). Los tratamientos en estudio fueron dos sitios los cuales presentaron diferentes características para suelo 1 (S1), textura franco arenoso, pH de 7.1 y CE de 0.49 dS m⁻¹, suelo 2 (S2), textura franco arcilloso limoso, pH de 7.8, CE de 1.75 dS m⁻¹; niveles de nitrógeno de 0 (N0) y 100 kg ha⁻¹ (N100); con y sin biofertilizantes que contiene bacterias fijadoras de nitrógeno *Azospirillum* y hongos micorrízico (*Glomus* sp.), una densidad de 8 plantas m⁻². El diseño experimental fue un bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones. Como fuente de nitrógeno se utilizó urea (46 % de N). Se registró la temperatura máxima, mínima y precipitación. Las etapas fenológicas registradas fueron: días a emergencia (E), a inicio de antesis (R5) y a madurez fisiológica (MF) (Schneiter y Miller, 1981).

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) (mm d⁻¹) se calculó mediante la ecuación $ET_c = E_v * K_e * K_c$, donde: E_v = evaporación del tanque A; K_e = coeficiente para el evaporímetro (0.6); y K_c = coeficiente del cultivo (0.8 para girasol). Así mismo se calculó las unidades calor (UC) (°C d⁻¹), mediante el método residual, $UC = \sum [((T_{máx} + T_{mín}) / 2) - T_b]$; temperatura base (8 °C para girasol, Merrien, 1986).

Para evaluar el crecimiento del cultivo, se hicieron muestreos destructivos de dos plantas dentro de la parcela útil de cada unidad experimental a los 28, 54, 75 y 98 dds. Se contabilizó el número de hojas verdes por m² (NH) y con un integrador electrónico (LI-

COR 3100) se midió el área foliar (sin incluir peciolos), el índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT), a partir de las siguientes relaciones: $IAF = (AF / NP) * DP / 10,000 \text{ cm}^2$, donde AF = área foliar (cm^2), NP = número de plantas muestreadas y DP = número de plantas m^{-2} . $DAFT = \Sigma (IAF_1 + IAF_2) (T_2 - T_1)/2$, donde: Σ = suma de la duración del área foliar de cada uno de los muestreos realizados, IAF_1 = índice de área foliar en un tiempo inicial (T_1 , en días), IAF_2 = índice de área foliar en un tiempo final (T_2 , en días). También se calcularon índices de crecimiento como: tasa media de crecimiento cultivo (TCC) y asimilación neta (TAN), mediante las relaciones: $TCC = [(PS_2 - PS_1) / (T_2 - T_1)]$ donde: PS_2 y PS_1 indican el peso seco de la planta en los tiempo T_2 y T_1 , respectivamente. $TAN = [(PS_2 - PS_1) / (AF_2 - AF_1)] / [\ln AF_2 - \ln AF_1] / (T_2 - T_1)$, donde: PS_2 y PS_1 expresan el peso de la materia seca del cultivo, $\ln AF_2$ y $\ln AF_1$, al logaritmo natural del área foliar en el tiempo T_2 y T_1 , respectivamente (Hunt, 1990; Escalante y Kohashi, 1993).

A la cosecha se registró el rendimiento de grano (RG) y sus componentes, como diámetro del capítulo (DC), peso de 100 semillas (P100S), biomasa total (BT) (suma del peso de receptáculo + peso seco de tallo + peso seco de hoja + peso de rendimiento) e Índice de cosecha (IC).

Se elaboró un análisis económico al RG, utilizando la relación: $IN = Y * Py - (\Sigma XiPi + CF)$, donde: IN = ingreso neto (peso ha^{-1}), $Y = RG \text{ kg ha}^{-1}$, Py = precio por kg, $\Sigma XiPi$ = suma de costo variable, CF = costo fijo (Volke. 1982).

A las variables se les aplicó un análisis de varianza (ANAVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elementos del clima

En la Figura 1, se presentan los datos de temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) promedio decenal y la precipitación suma decenal, durante el ciclo del cultivo, se observa que el promedio decenal durante la estación de crecimiento de Tmax fue 27 °C y la Tmin de 5 °C. La temperatura más alta ocurrió en la etapa vegetativa del cultivo y posteriormente, disminuyó conforme el ciclo de cultivo avanzó. La precipitación total fue de 386 mm. Las condiciones climáticas tanto de temperaturas como precipitación que se presentaron, son apropiadas para el cultivo del girasol, (Escalante, 1999).

Fenología

La ocurrencia de las etapas fenológicas fue en tiempo similar para todos los tratamientos, así que para ambos suelos las etapas fenológicas registradas fueron: emergencia (E) se presentó a los 8 días después de la siembra (DDS el periodo de emergencia a inicio de floración (R5) ocurrió a 68 días después de la emergencia (E). La madurez fisiológica se presentó a 120 días (Figura 1). Respuestas similares encontraron Olalde *et al.* (2001) en donde al evaluar fertilización nitrogenada no modificaron la ocurrencia de las etapas fenológicas.

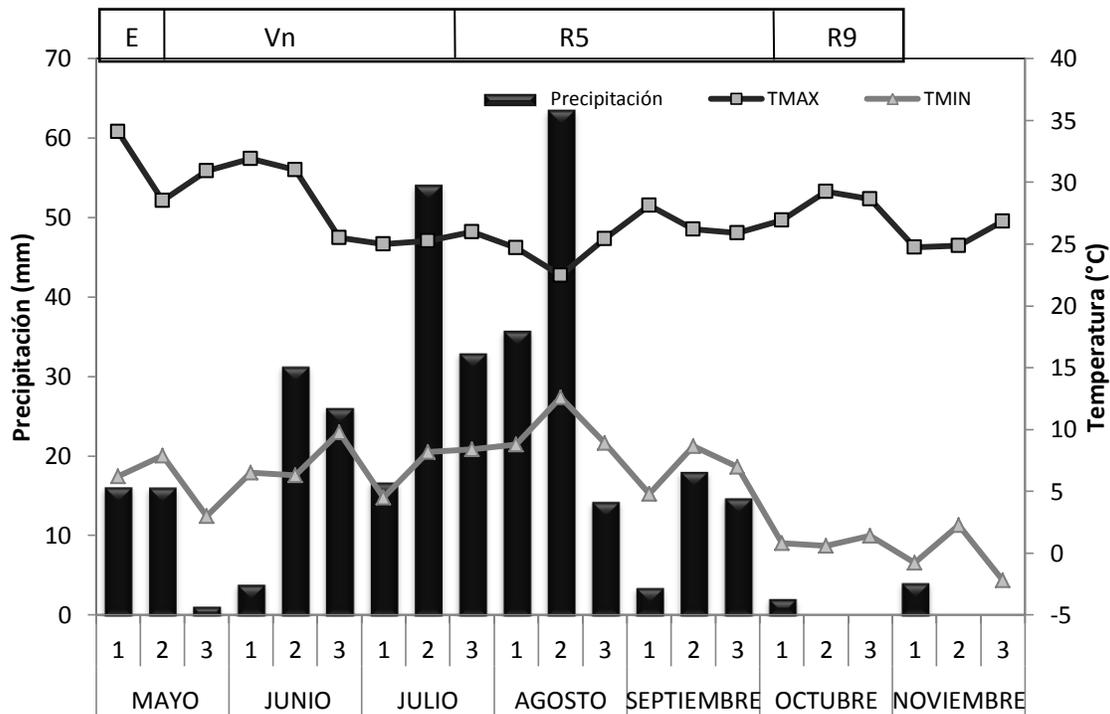


Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo, México. Verano 2012. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración y R9 = Madurez fisiológica.

Unidades Calor

La acumulación de unidades calor (UC) en relación a la ocurrencia de las etapas fenológicas del cultivo se presentan en la Figura 2. El requerimiento térmico del girasol fue similar entre tratamientos. De esta manera, la acumulación de UC fueron de $125\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$, $705\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ y $1551\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ durante las etapas E, R5 y MF, respectivamente, datos similares fueron reportados por Morales *et al.* (2006) al evaluar girasol en cultivo asociado frijol (*Phaseolus vulgaris*. L). El modelo para estimar las UC para el genotipo y condiciones del presente estudio fue $\text{UC} = 2.7 \text{ DDS}$, $R^2 = 0.99^{**}$. La ETc del girasol fue similar entre

tratamientos. En la Figura 2 se muestra que la ETc acumulada para las etapas E, R5 y MF fue de 18 mm, 139 mm y 377 mm, respectivamente.

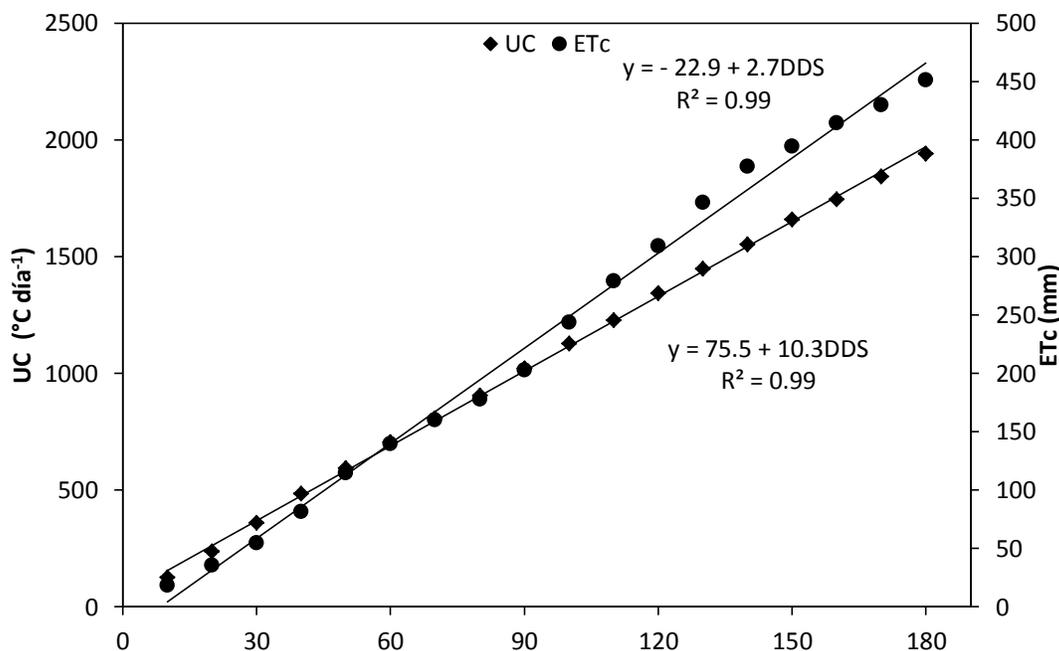


Figura 2. Unidades calor (UC) y Evapotranspiración (ETc) acumuladas de girasol cv. Victoria, Montecillo, Méx. Verano 2012. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración, R9 = Madurez fisiológica.

Evapotranspiración (ETc)

En la Figura 2, que relaciona la evapotranspiración acumulada del cultivo (ETc), se observa que el periodo de siembra a emergencia, la ETc fue de 18mm, en el periodo de emergencia a antesis la ETc fue de 121 mm y de antesis a madurez fisiológica fue de 256 mm. La ETc acumulada durante todo el ciclo del cultivo fue de 377 mm. Así mismo, Morales *et al.* (2006), al evaluar el girasol cv. Victoria en un clima templado encontraron que de la siembra a emergencia la ETc fue de 15 mm, de emergencia a antesis fue de 185 mm y de

antes de la madurez fisiológica fue de 80 mm. Teniendo una ETc acumulada durante todo el ciclo del cultivo de 280 mm.

Cuadro 1. Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en girasol en función del suelo (S), nitrógeno (N) y biofertilizante (Bio).

Verano de 2012.

Suelo	N kg ha ⁻¹	BIO	NH				IAF				DAFT
			28	54	75	98	28	54	75	98	98
			DDS				DDS				
1	0	con	8b	16b	26c	29b	0.13c	1.5c	5.6b	7.3c	122d
	0	Sin	8b	15c	25d	27c	0.11d	1.2d	5.0c	6.8d	113e
	100	Con	9a	17a	31a	33a	0.2a	2.1a	6.6 ^a	10.6a	164a
	100	Sin	9a	16b	29b	31b	0.16b	1.7b	6.1b	9.9a	152b
2	0	Con	8b	14d	24e	27c	0.11d	1.4c	5.2c	6.8c	114e
	0	Sin	8b	15c	24e	27c	0.10d	1.1d	4.4d	6.3d	102e
	100	Con	8b	15c	27c	30b	0.14c	1.8b	6.0b	9.7b	150b
	100	Sin	8b	15c	25d	29b	0.13c	1.2d	5.6c	9.5b	144c
Prob. F		S	**	**	**	**	NS	**	NS	**	*
		N	**	*	**	**	NS	**	**	**	**
		BIO	NS	NS	NS	**	NS	**	NS	**	*
		S*N	**	NS	**	NS	NS	**	NS	NS	NS
		S*BIO	NS	NS	**	NS	NS	**	NS	NS	NS
		N*BIO	*	*	*	NS	NS	**	NS	NS	NS
		S*N*BIO	NS	NS	**	NS	NS	*	NS	*	NS
		DMS	0.59	0.51	1.04	0.32	0.24	0.23	0.68	0.42	18.38
		CV	4.02	4.6	1.8	2.9	22.7	2.22	10.98	4.26	13.21

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ($\alpha = 0.05$) * ** = $P \leq 0.01$ y 0.05 , respectivamente. D.M.S. = diferencia mínima significativa, C.V. = coeficiente de variación, N = nitrógeno, DP = densidad de población, NH = número de hojas, IAF = índice de área foliar, DAFT = duración del área foliar total.

Índice de área foliar (IAF)

La producción de materia seca está relacionada con el área foliar, por lo tanto cuando esta última es alta se espera una mayor acumulación de materia seca, en el caso de esta investigación, el máximo IAF coincidió con las etapas fenológicas de plena floración en inicio de llenado de aquenios, como fue reportado por Aguilar *et al.*, 2005.

El IAF varía con la forma de la hoja y la distribución tanto vertical como horizontal del follaje, por lo cual el IAF más alto se encontró en el S1 y cuando se le adicionó 100 kg de N ha⁻¹ y con biofertilizante teniendo un valor de 10.6 y para el S2 con 100 kg de N ha⁻¹ y con biofertilizante se obtuvo 9.6, sobresaliendo respecto al testigo en donde no se aplicó N y sin biofertilizante teniendo valores de 6.8 para el S1 y 6.3 para S2. El IAF óptimo es aquel que soporta la máxima tasa de materia seca, y se consigue cuando el cultivo intercepta virtualmente toda la relación de área foliar disponible (Clavijo, 1989), por lo cual en el cultivo de girasol el IAF óptimo se alcanzó a los 98 días después de la siembra.

Duración de área foliar total (DAFT)

Este índice relaciona el IAF con el tiempo y representa la capacidad de producción de hojas en el periodo de crecimiento del cultivo, (Hunt, 1978). Para ambos sitios evaluados se obtuvieron los valores más altos respecto a la DAF con la adición de N y el biofertilizante obteniendo valores de 164 y 150 para S1 y S2, mientras que en donde no se le adiciono el N y el biofertilizante no favoreció la DAFT. Este índice tiene correlación con la precocidad, ya que la longevidad de hojas en los cultivos precoces es menor, mientras que en los cultivos tardíos es mayor (Kooman y Rabbingem 1996).

Índices de análisis de crecimiento

La dinámica de las tasas de crecimiento del girasol en función del tipo de Suelo (S) nitrógeno (N) y biofertilización (Bio), se ajustó a modelos de regresión exponencial (Figura 3).

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

Como índice que representa la productividad del cultivo, la TCC indica la eficiencia productiva de biomasa por unidad de superficie de suelo y por unidad de tiempo (Hunt, 1978). Para ambos sitios el valor máximo de TCC se presentó cuando se le adiciono N y biofertilizante a la planta así para el S1 fue de $5.3 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, mientras que para el S2 fue de $5.1 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, a los 98 dds, sobresaliendo respecto al testigo ya que se obtuvieron valores de $1.16 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ para el S1 y $1.14 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ para el S2 $\text{g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$. Datos similares fueron encontrados por Santos *et al.*, 2010, al evaluar la TCC en cuatro variedades de papa, encontrando que los incrementos de la TCC estuvieron relacionados con los altos incrementos en la acumulación de materia seca, ya que incrementa el índice progresivamente hasta los 125 dds.

Tasa media de asimilación neta (TAN)

Las mayores TAN para todos los sitios evaluados se presentaron de los 27 dds y tendieron a disminuir conforme avanzó el ciclo del cultivo, hasta las 98 dds, donde se tienen los menores valores (Figura 2). Esto se puede atribuir al autosombreado del cultivo, generado por incremento en el tamaño del dosel vegetal y aumento en la senescencia foliar (Escalante y Kohashi, 1982).

La aplicación de N y biofertilizante modificó significativamente la TAN a partir de los 54 dds, de tal manera que con 100 kg de N ha⁻¹ y biofertilizante se incrementó en 0.428 g dm⁻² día⁻¹ para el S1 y 0.432 para el S2 g dm⁻² día⁻¹ a los 98 dds, en relación al testigo (0 kg de N ha⁻¹ y sin biofertilizante). De acuerdo con el modelo de regresión cuadrático, en la parte lineal con 100 kg de N ha⁻¹ y biofertilizante por día la TAN aumenta en 0.0054 y 0.0143 g dm⁻², para S1 y S2 respectivamente mientras que con el testigo (0 kg N ha⁻¹ y sin biofertilizante) 0.01302 y 0.1342 g dm⁻² para S1 y S2 respectivamente. Es decir, el N estimuló la eficiencia fotosintética del dosel vegetal y de acuerdo con Correira *et al.* (2005) puede estar relacionado con incrementos en la concentración de Rubisco y clorofila en las hojas. La disminución de la TAN puede atribuirse al autosombreado en el cultivo, generado por incremento en el tamaño del dosel vegetal, además de un aumento en la tasa de senescencia de hojas (Aguilar *et al.*, 2005; Morales *et al.*, 2007).

La TAN como indicador de la eficiencia fotosintética promedio, presentó los mayores valores al comienzo del ciclo del cultivo debido a que la planta se encontraba en el inicio de la etapa fenológica de desarrollo de hojas (Segura *et al.*, 2006).

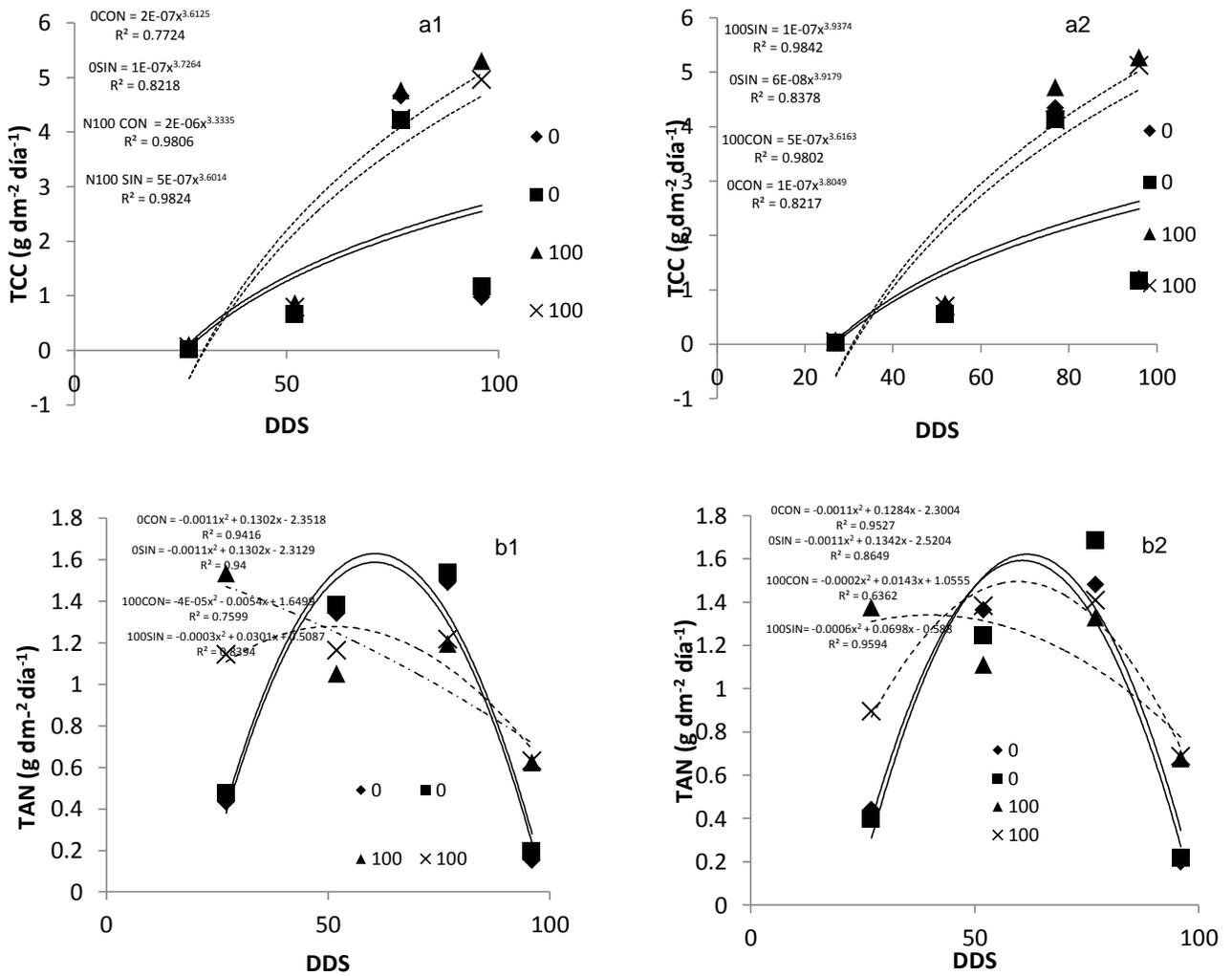


Figura 3. Dinámicas de las tasas medias de crecimiento del cultivo (TCC) a1 (S1), a2 (S2) Y de asimilación neta (TAN) b1 (S1), b2 (S2), en girasol en función al Suelo, Nitrógeno y Biofertilizante, Texcoco Estado de México. Verano 2012.

Cuadro 2. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano, peso de 100 semillas y área de capítulo, en función al suelo (S), al nitrógeno (N) y Biofertilizante (BIO) (Con y Sin Biofertilizante). Verano 2012.

SUELO	N kg ha ⁻¹	BIO CON/SIN	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S g	AC cm ²
1	0	CON	1215 b	28 b	339 b	7 c	310 b
		SIN	869 d	29 b	287 d	6 d	271 c
	100	CON	1611 a	23 c	482 a	9 a	398 a
		SIN	1368 b	25 c	411 b	8 b	318 b
2	0	CON	1029 c	30 a	284 c	6 d	308 b
		SIN	756 d	32 a	255 d	6 d	257 c
	100	CON	1285 b	28 b	357 b	8 b	385 a
		SIN	1181 c	30 a	311 c	7 c	315 b

¶Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05

BT = Biomasa total; IC = Índice de cosecha; RG = Rendimiento de grano; P100S = Peso de 100 semillas; AC = Área de capítulo.

Biomasa total (BT)

Para el S1 y S2 en donde se le adicionó N y biofertilizante la BT fue de 1611 y 1285 g m⁻² respectivamente, incrementando en S1 46 % y S2 41 % respecto al testigo (0 kg de N ha⁻¹ y sin biofertilización) (Cuadro 2).

Lo anterior puede atribuirse a una mayor fotosíntesis, debida al crecimiento del dosel vegetal que proporciona mayor intercepción de luz y mayor aprovechamiento de los recursos hídricos y nutrimentales (Aguilar *et al.*, 2005; Escalante, 1999).

Rendimiento y sus componentes

Con la aplicación de N (100 kg ha⁻¹) y el biofertilizante el RG fue de 482 y 357 g m⁻² para S1 y S2, respectivamente superior al testigo (0 kg de N ha⁻¹ y sin biofertilizante) para S1 287 g m⁻² y 255 g m⁻². Respecto al P100S y AC el tratamiento con el que se obtuvo el valor más alto fue en el S1, en donde se le adiciono N y biofertilizante teniendo 9 g para P100S y 398 cm² para AC. Datos similares fueron encontrados por (Olalde *et al.*, 2001), al evaluar diferentes niveles de nitrógeno en girasol.

Cuadro 3. Rendimiento (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en girasol en función al suelo (S), biofertilizante (BIO) y nitrógeno (N). Verano 2012.

SUELO	N kg ha ⁻¹	BIO	RG kg ha ⁻¹	IT \$	CF \$	CV \$	CT \$	IN \$	GPI \$
1	0	CONBIO	3690	73800	9600	2000	11600	62200	5.3
1	0	SINBIO	2870	57400	9600	1600	11200	46200	4.1
1	100	CONBIO	4820	96400	9600	4560	14160	82240	5.8
1	100	SINBIO	4110	82200	9600	4160	13760	68440	4.9
2	0	CONBIO	2840	56800	9600	2000	11600	45200	3.8
2	0	SINBIO	2750	55000	9600	1600	11200	43800	3.9
2	100	CONBIO	3570	71400	9600	4560	14160	57240	4
2	100	SINBIO	3110	62200	9600	4160	13760	48440	3.5

IT = RG * precio por kg de girasol (\$ 20.00). CF = incluye costo de preparación del terreno, siembra, riego, manejo de maleza. \$ = Pesos, CV = incluye el costo, biofertilización, fertilización y cosecha de girasol. CT = CF + CV. IN = IT - CT. GPI = IN / CT.

Rentabilidad económica

En el Cuadro 3 se presenta el análisis económico para el RG del girasol. El mayor RG se presentó con el tratamiento de S1, 100 kg de N ha⁻¹ y con biofertilizante (4820 kg ha⁻¹). Sin embargo, generó el mayor costo total (CT, \$ 14,160), mismo que se amortizó con el ingreso total (IT, \$ 96,400); de tal manera que generó el mayor ingreso neto (IN, \$ 82,240). La aplicación de este tratamiento (S1, N100 y con bio) incrementó el IN en \$ 36,040 respecto al testigo (S1, N0 y sin bio).

Por último, la ganancia por peso invertido (GPI) es de \$ 4.1 cuando no se aplica N ni biofertilizante; de \$ 4.0 cuando se aplica 100 kg N ha⁻¹ y sin biofertilizante; de \$ 5.3 cuando no se aplica N con biofertilizante y de \$ 5.8 cuando se aplican 100 kg de N ha⁻¹ con biofertilizante, es decir, que conforme se incrementa la aplicación de N y biofertilizante, también se incrementa la GPI.

CONCLUSIONES

La fertilización con nitrogenada y la aplicación del biofertilizante incrementa el número de hojas verdes, índice de área foliar, tasas de crecimiento (TAN y TCC), biomasa total y rendimiento de grano. Dicho incremento es mayor en el S1 que en el S2. La combinación de 100 kg N ha⁻¹ y biofertilizante generó el mayor crecimiento y rendimiento de grano.

LITERATURA CITADA

- Aguilar C. L.; Escalante E. J. A.; Fucikovski Z. L.; Tijerina C. L.; Mark E. E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. Terra. Vol. 23. Núm. 3. Pp 303-310.
- Brown, C.R. 1993. Origin and history of the potato. Amer. Pot. J. 70, 63-373.
- Clavijo, J. 1989. Análisis de crecimiento en malezas. Revista Comalfi: 15: 12-16.
- Correira, C. M., Mouthino, P. J. M., Coutinho, F. J., Bjorn, L. O., Torres, P. J. M. 2005. Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: a Mediterranean field study. Eur. J. Agronomy. 22: 377-347.
- Curtis, P.S. and A. Läuchli. 1986. The role of leaf area development and photosynthetic capacity in determining growth of kenaf under moderate salt stress. Aust. J. Plant Physiol. 13:553-65.
- Doorenbos J. y W. O. Pruitt. 1986. Las necesidades del agua por los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24.
- Escalante, E. J. A. y Kohashi. 1982. Efecto del sombreado artificial sobre algunos parámetros del crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agrociencias. 48: 29-38.
- Escalante, E. J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. Terra Latinoamericana. 17(2): 149-157.
- Escalante, E. J. A. y J. Kohashi, S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. 84 p.
- Fageria, N. K. and Baligar, V. C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Elsevier Inc. 88: 97-185.

- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- Hunt, R. 1978. Plant growth analysis. Edward Arnold Publishers, London. 67 p.
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners. Unwin Hyman, Londres. 112p.
- Kooman, P. and R. Rabbinge. 1996. An analysis of the relation between dry matter allocation to the tuber and earliness of a potato crop. *Annals of Botany* 77: 235-242.
- Lindermann M. D., Blodgett D. J., Kornegay E. T. and Schuring G. G. 1993. Potential ameliorators of aflatoxicosis in weanling/growing swine. *J. Anim. Sci.* 71:171.
- Merrien A. 1986. Cahier technique turnesol. Physiologie. CETIOM. Paris. Pp. 1-47.
- Morales, R. E. J., Escalante, E. J. A., López, S. J. A. 2007. Producción de biomasa y Rendimiento de semilla en la asociación girasol (*Helianthus annuus* L.) – Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en función del nitrógeno y fósforo. *Ciencia Ergo Sum* 14(2): 177-183.
- Morales, R. E. J., Escalante, E. J. A., Tijerina, C. L., Volke, H. V. y Sosa, M. E. 2006. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol. *Terra Latinoamericana*. 24:55-64.
- Olalde G. V. M.; Escalante E. J- A.; Sánchez G. P.; Tijerina C. L.; Mastache L. A. A.; Carreño R. E. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima templado. *Terra*. Vol. 18. Num. 004. Pp. 313-323.
- Schneiter, A. and Miller, J.F., 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Sci.* 21: 901-903.

- Selosse M. A. and Le Tacon F. 1998. The land flora: a phototroph–fungus partnership?
TREE vol. 13, No. 1.
- Segura, M., M. Santos y C.E. Nústez. 2006. Desarrollo fenológico de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca).
Fitotecnia Colombiana 6(2): 33-43.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 2003. SAS/STATU ser's Guide Release 9.1
ed. Cary, NC, USA.
- Vega M. R.; Escalante E. J. A.; Sánchez G. P.; Ramírez G. A.; Cuenca A. E. 2001.
Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y
densidad de población. Terra. Vol.19. Núm. 001. Pp 75-81.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de Insumos de la Producción en la Agricultura. Colegio
de Postgraduados, Chapingo. México. 61 p.
- Werteker M., Lorenz A., Johannes H., Berghofer E & Findlay C. S. 2010. Environmental
and Varietal Influences on the Fatty Acid Composition of Rapeseed, Soybeans and
Sunflowers. J. Agronomy & Crop Science. Austrian Agency for Health and Food
Safety, 196: 20–27.

CONCLUSIONES GENERALES

En el suelo de textura franco arenosa, neutro y sin problemas de salinidad se obtuvo la mayor producción de materia seca, rendimiento de grano y sus componentes.

El nitrógeno incrementa el área foliar, la tasa de crecimiento, la materia seca total y rendimiento de grano, independientemente del tipo del suelo. De la misma forma el nitrógeno incrementó la eficiencia en el uso del agua y la eficiencia agronómica.

El aumento en la densidad de población (12 plantas m^{-2}) incrementó la producción de materia seca, rendimiento de grano, área foliar y duración del área foliar. Así mismo con el aumento en la densidad de población disminuye la tasa de asimilación neta. El aumento en densidad de población incrementó la eficiencia en el uso del agua y la eficiencia agronómica del nitrógeno. La fertilización nitrogenada y la DP (4 plantas m^{-2}) aumentaron la calidad nutricional de grano del girasol, al incrementar el contenido de proteína, extracto etéreo y fibra cruda. El mayor ingreso neto se logra con 100 kg de N ha^{-1} y a una densidad de 12 plantas m^{-2} .

El biofertilizante y N (100 kg ha^{-1}), logró incrementar de manera significativa la materia seca, rendimiento de grano y sus componentes, el área foliar, índice de área foliar, la duración del área foliar, la tasa de crecimiento del cultivo y la tasa de asimilación neta. El mayor ingreso neto se logra con la inoculación del biofertilizante y 100 kg de N ha^{-1} .