

RIEGO COMPLEMENTARIO, NITRÓGENO, EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA Y RENDIMIENTO DE GIRASOL BAJO RÉGIMEN DE LLUVIA EN CLIMA TEMPLADO



José Alberto Salvador Escalante-Estrada
María Teresa Rodríguez-González
Colegio de Postgraduados



Mauricio de Jesús Escalante-Estrada
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

I CONGRESO NACIONAL COMEII 2015 DE RIEGO Y DRENAJE
23 Y 24 de noviembre de 2015
Jiutepec, Morelos

El girasol es un cultivo de interés mundial, que por sus diversos usos, está adquiriendo importancia económica en México

De la semilla de girasol se obtienen varios productos para la alimentación humana como son:

Aceite comestible

Margarina

Bocadillos y botanas

Atoles

Sucedáneo de café

Manteca para repostería

Mayonesa y aderezos

Aceite para ensalada

Pan



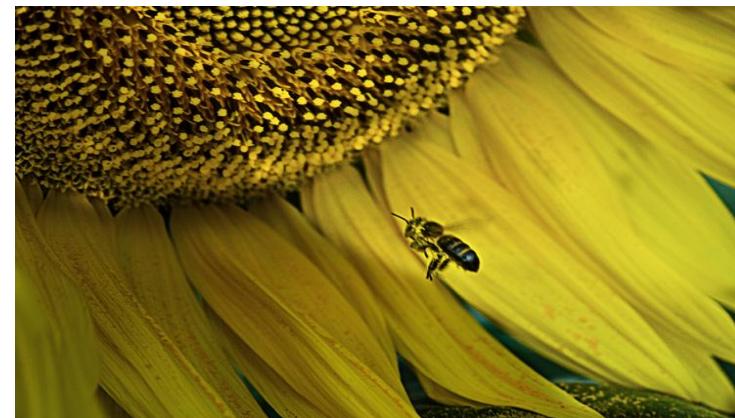
Los usos del aceite de girasol sin refinar son:

- ✓ Para la fabricación de jabones y velas
- ✓ Para la elaboración de biodiésel
- ✓ Producción de ceras, fosfatina, lecitinas y tocoferoles



Otros usos del Girasol:

- Como planta de ornato
- Planta melífera
- Para la elaboración de alimentos para aves y ganado (forrajera)
- Se aconseja la plantación de girasoles en torno a las casas y sobre todo en regiones pantanosas para contrarrestar sus efluvios malolientes y ahuyentar los mosquitos
- Para el control de maleza por sus propiedades alelopáticas



En México la superficie sembrada de girasol de régimen de lluvia o temporal (T), fue de **204 has en 2009** y se ha incrementado a **11,963 has en 2014 (SIAP, 2014)**.

En contraste, el rendimiento en grano se ha reducido de 1.39 t ha^{-1} a 0.98 t ha^{-1} , posiblemente debido entre otras causas:

- A la falta de cultivares adaptados para cada clima y
- Manejo apropiado del cultivo:
 - fertilización y la
 - distribución y variabilidad en la cantidad de lluvia

Todo lo anterior limita una mayor expresión del crecimiento y rendimiento del cultivo.

No obstante que el girasol se considera con **moderada tolerancia a la sequía**, el déficit hídrico afecta su crecimiento por ejemplo:

El girasol bajo estrés hídrico presenta:

- Reducción en el área del capítulo,
- Número de granos,
- Tamaño del grano y
- Rendimiento.





Por otra parte, en girasol sembrado bajo régimen de lluvia en diferentes regiones climáticas, **con la fertilización nitrogenada** se han logrado incrementos en la biomasa y en el rendimiento, al generar un dosel de mayor tamaño y por lo tanto lograr mayor radiación interceptada.

Bajo el supuesto de que la respuesta al nitrógeno se refleje en un mayor incremento en biomasa y rendimiento **al aplicar riegos complementarios**, para el girasol sembrado bajo régimen de lluvias estacionales, se plantea el presente estudio con los siguientes objetivos:

Objetivos

Determinar la biomasa, rendimiento, la eficiencia en el uso del agua, la transpiración y resistencia estomática en girasol, sembrado en verano y clima templado bajo:

- 1) Régimen de lluvia con y sin fertilización nitrogenada (N);**
- 2) Régimen de lluvia **más riego complementario** con y sin fertilización nitrogenada (N).**

Ubicación del Área Experimental



El estudio se realizó en Montecillo Méx., ($19^{\circ} 29' N$, $98^{\circ} 53' O$, a 2,240 m de altitud) de clima templado (Cw, García, 2004) bajo condiciones de régimen de lluvia (temporal), El suelo es de textura arcillo limosa, moderadamente alcalino (pH 7.8), sin problemas de salinidad (1.7 dS m^{-1}), materia orgánica de 3.4%, 40 kg de N asimilable y rico en P (45.8 ppm).

Material biológico:

- ✓ Se utilizó una reproducción del cultivar Victoria mejorado de tipo aceitero (seleccionada por Escalante a partir del cultivar Victoria).
- ✓ La siembra se realizó el 23 de junio de 2013
- ✓ La densidad fue de 5 plantas m^{-2} en surcos de 80 cm de separación.



TRATAMIENTOS:



Los tratamientos consistieron en:

Dos niveles de suministro de agua (H):

- 1) Cultivo solamente bajo régimen de lluvia (T);
- 2) Cultivo bajo régimen de lluvia más riego complementario (RC);

Dos niveles de nitrógeno (N):

- 3) sin aplicación de N (N0) y
- 4) aplicación antes de la siembra de 10 gm^{-2} (100 kg ha^{-1}) de N (N+),

lo que generó cuatro combinaciones:

RCN+, RCN0, TN+ y TN0

* Además a todo el cultivo se le aplicó 66-66 kg de P y K antes de la siembra.

Diseño Experimental

El diseño experimental fue bloques al azar con arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de 4 x 3.2 m. **El riego complementario se aplicó en tres ocasiones durante la etapa reproductiva a razón de una lámina 5 cm por riego (Fig. 1, resultados).**



Etapas fenológicas

Se registraron los días a
ocurrencia de fases
fenológicas:

- Emergencia (Ve),
- Floración (R.5) y
- Madurez fisiológica (R9)

De acuerdo con el criterio
señalado en Schneiter y Miller
(1981).



Registro de la Radiación Interceptada

A los 38, 53, 68, 83 y 94 dds se registró la radiación interceptada por el cultivo (RI%), con un sensor lineal de quantum midiendo la radiación incidente sobre el dosel del cultivo (RIN) y en la base del mismo (RB), mediante el planteamiento:

$$RI = [(RIN-RB)/RIN]*100$$



Registro de datos en girasol a la cosecha

A la cosecha se registró:

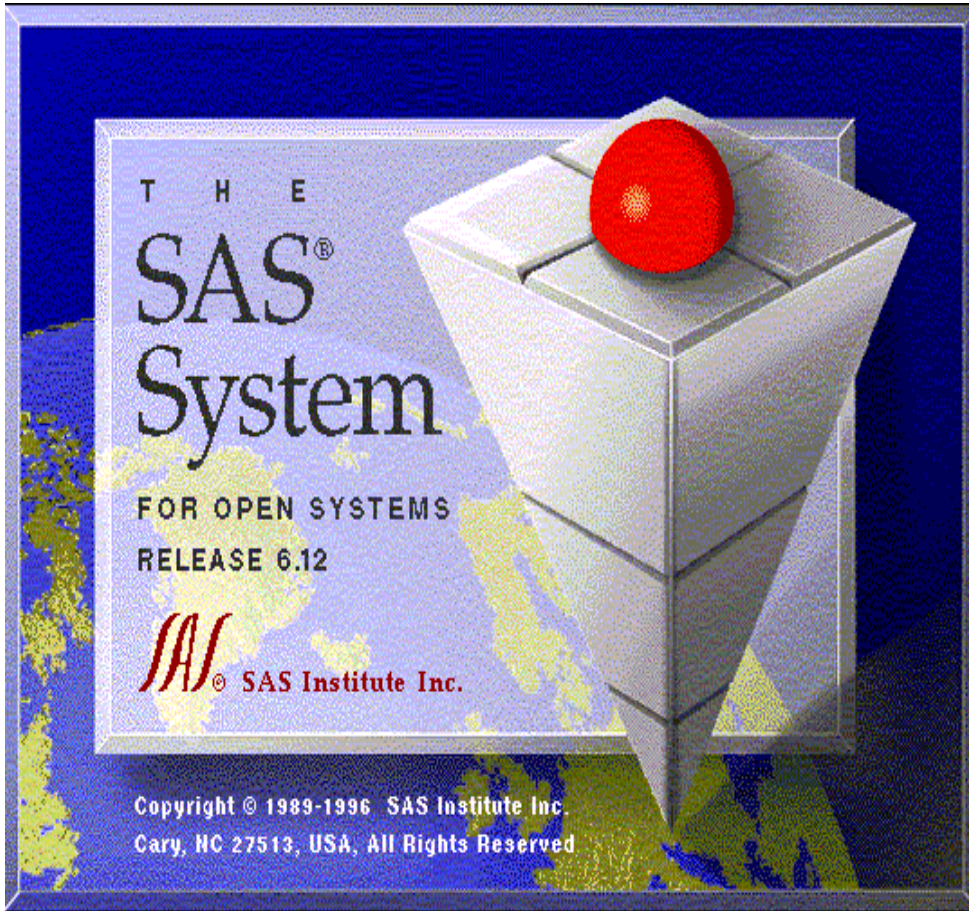
- Biomasa total (materia seca en g m^{-2} , BT),
- Rendimiento de grano (g m^{-2} , RG),
- Índice de cosecha ($\text{IC} = (\text{RG}/\text{BT}) * 100$),

y los componentes del RG como:

- ✓ Número de granos m^{-2} (NG),
- ✓ Tamaño de grano (medido aquí con el peso de 100 granos en g, TG),
- ✓ Área del capítulo (cm^2 , AC) y
- ✓ Número de granos por capítulo (GC).



Análisis Estadístico



Mediante el paquete estadístico SAS, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para las variables en estudio, a las que resultaron con diferencias significativas, la prueba de comparación de medias de Tukey y un análisis de correlación entre las variables en estudio.

Unidades Calor o Grados Días de Desarrollo

Además, durante el ciclo del cultivo se registró la temperatura (°C) máxima ($T_{\text{máx}}$) y mínima ($T_{\text{mín}}$). Se calculó las unidades calor (UC) o grados días desarrollo (GDD), utilizando el método residual (Snyder, 1985) el cual es descrito por la relación:

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

dónde:

$T_{\text{máx}}$ = Temperatura máxima diaria (°C),

$T_{\text{mín}}$ = Temperatura mínima diaria (°C) y

TB = Temperatura base, considerada como 8°C (Sadras y Hali, 1988).



Evapotranspiración



La evapotranspiración del cultivo (ETc) se estimó 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 (valor medio), a partir de la siguiente relación:

$$ETc = Ev * 0.6 * 0.8$$

(Doorenbos y Pruitt, 1986).

La eficiencia en el uso del agua (EUA, $\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$) para BT y RG se calculó mediante la expresión:

$$\text{EUABT} = \text{BT}/\text{ET}_c; \text{ y } \text{EUARG} = \text{RG}/\text{ET}_c$$

Mediante un porómetro de estado estacionario (Steady State Porometer), se determinó a los 43 dds, a las 1200 hs en cuatro plantas de cada unidad experimental,

la resistencia estomática (RS , s cm^{-1}) y la transpiración (TRANSP , $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$), en la hoja cercana al capítulo.

* Resistencia a la difusión



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Fenología: A excepción de la fase R9, los días a ocurrencia a fases fenológicas en girasol, fue similar entre tratamientos.

Etapa	dds
V3	38
R1	54
R5	70
R6	87
R7	94
R9	124



V3



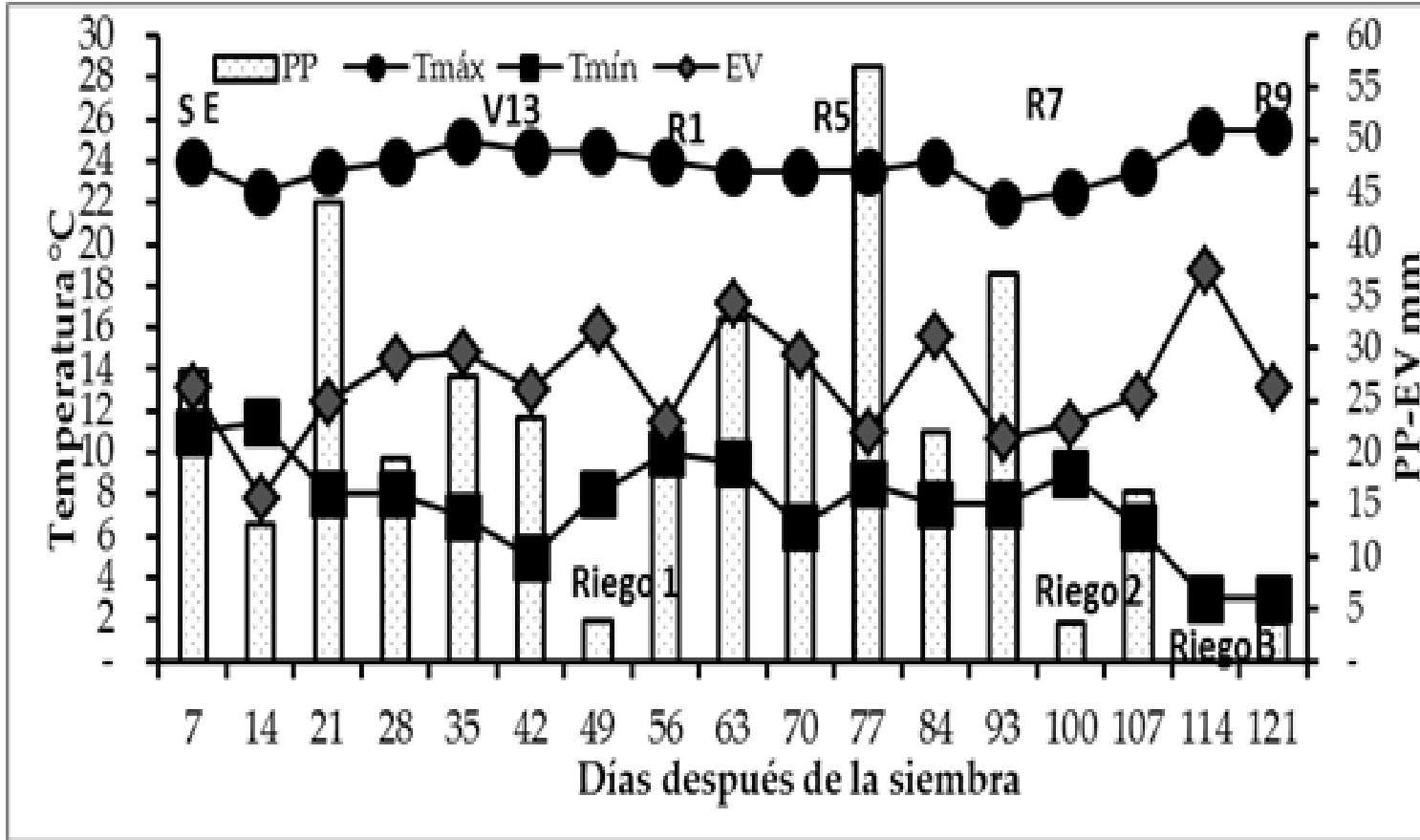
R5



R9

La R9 en el girasol con RC ocurrió 8 días después que en T

Temperatura



En la Figura se observa que la temperatura máxima (Tmáx) durante el ciclo del cultivo osciló entre **22 a 26 °C** y la mínima (Tmín) entre **3 a 12 °C**. Dicha temperatura pudo limitar una mayor expresión del crecimiento y rendimiento del girasol, puesto que difieren de las óptimas para este cultivo indicadas entre **18 °C y 25 °C**.

Figura 1. Dinámica de los elementos del clima durante el desarrollo del cultivo de girasol. Montecillo, Estado de México, México. Verano 2013.

Precipitación, Evaporación y Riego Complementario

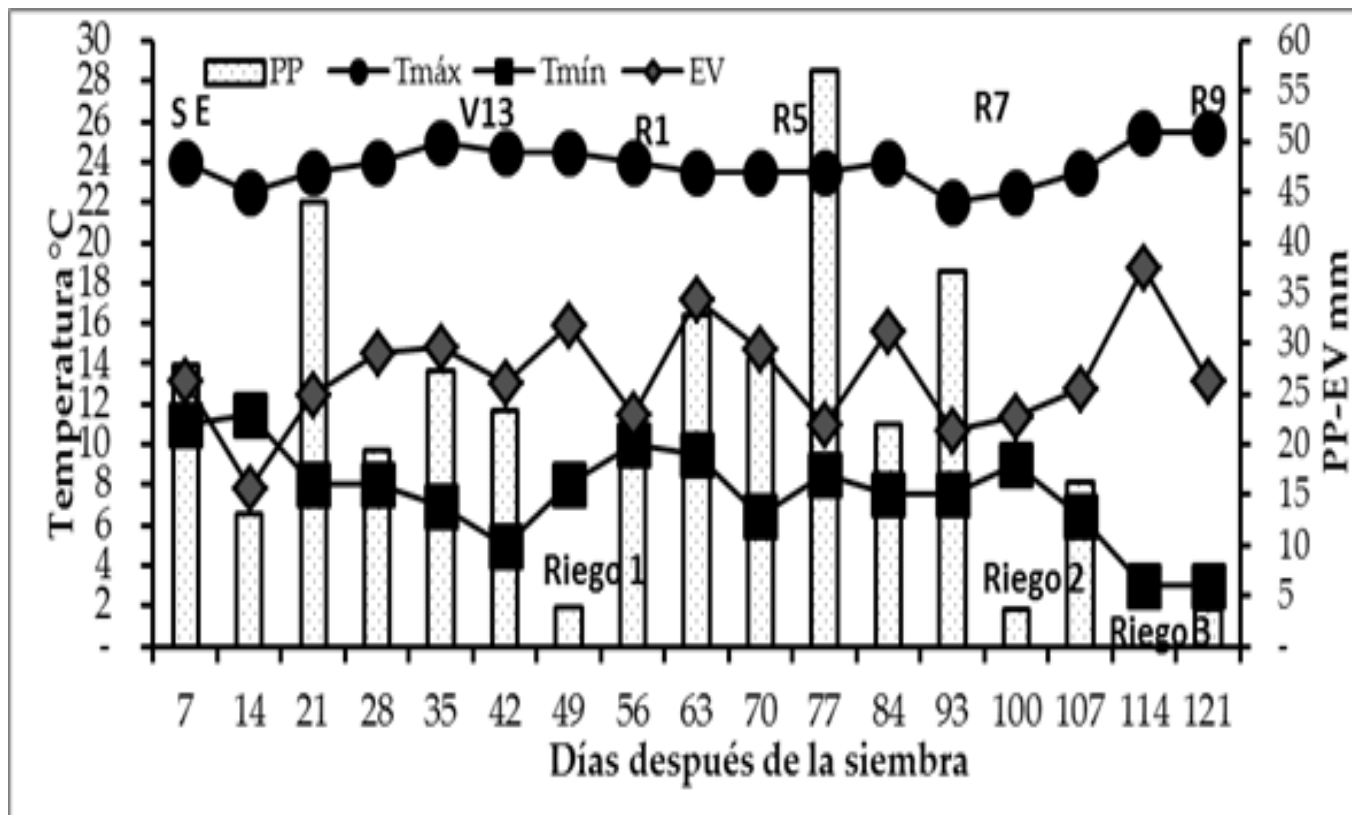


Figura 1. Dinámica de los elementos del clima durante el desarrollo del cultivo de girasol. Montecillo, Estado de México, México. Verano 2013.

- La precipitación pluvial (PP) total fue de **380 mm**, de los cuales **298** ocurrieron **antes de R5** (floración) y **82 mm de R5 a R9**, período donde ocurre el llenado del grano y la biosíntesis de aceite. Este valor es inferior a la PP óptima para el desarrollo del girasol (500-750 mm), reportada en Weiss (2000), lo que indica que la PP del presente estudio, fue limitante para una mayor expresión del rendimiento del girasol.
- La evaporación (EV) fue de **457 mm** y de **486 mm** para T y RC, respectivamente.
- Los riegos (lámina aproximada de 5 cm) se suministraron a los 49, 100 y 114 dds, que fue el período de más baja PP.

Grados días acumulados y Evapotranspiración

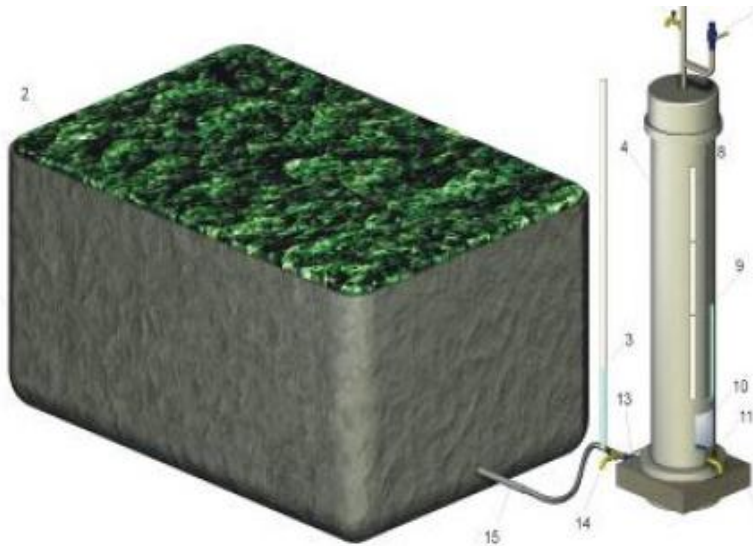


La acumulación de calor durante el ciclo de crecimiento fue de:

1008 °C d para T y

1050 °C d para RC,

distribuidos en 665 °C d de siembra a R5 y 343 °C d y 385 °C d de R5 a R9 para T y RC, respectivamente.



La evapotranspiración del cultivo (ET_c, mm) total fue de 319 mm y de 340 mm para T y RC respectivamente

Radiación interceptada

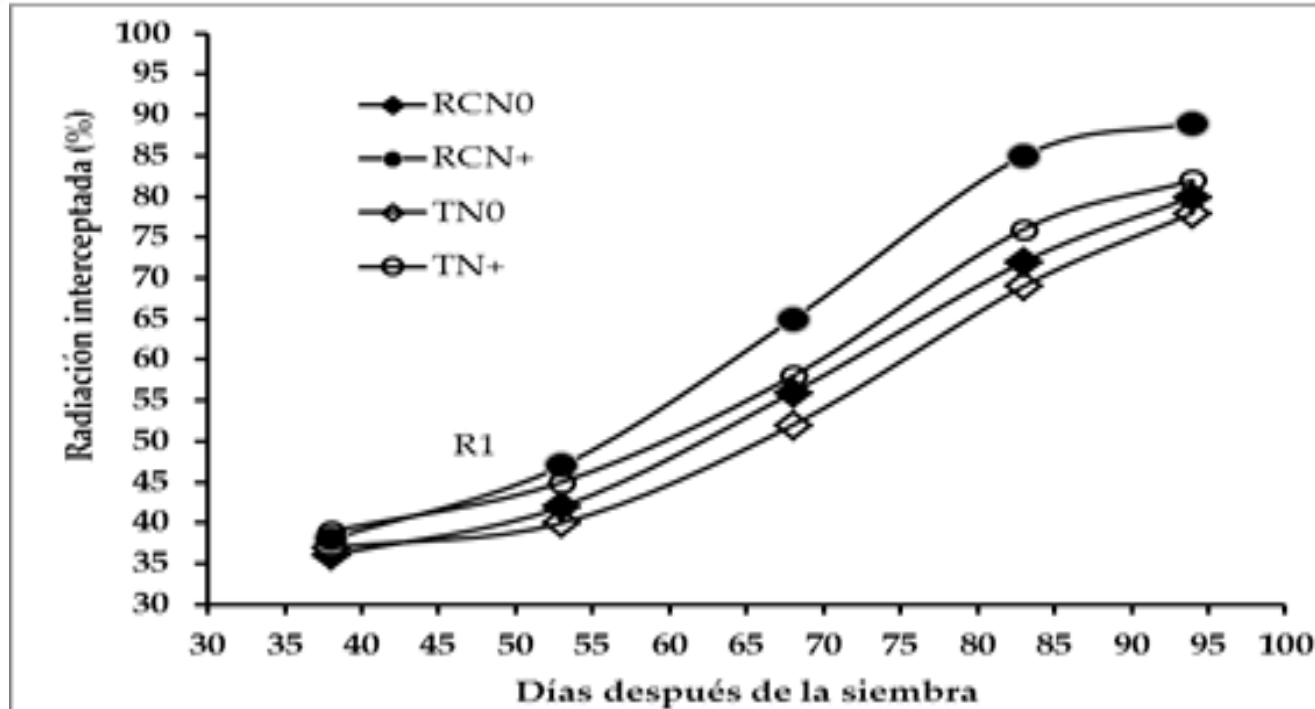


Figura 2. Dinámica de la radiación interceptada (RI,%) del girasol (*Helianthus annuus* L.) cv. Victoria Mejorado, bajo régimen de lluvia en función del nitrógeno y riego complementario. Montecillo, Estado de México, México. Verano 2013. RCN0 = riego complementario sin N; RCN+ = riego complementario con N; TN0 = régimen de lluvia sin N; TN+ = régimen de lluvia con N.

Conforme avanzó el ciclo del cultivo la RI se incrementó en los tratamientos bajo estudio.

En ambos niveles de humedad (RC y T), la RI del girasol N+ superó al tratamiento N0 (sin aplicación de N).

Así mismo, a partir del primer riego complementario, en ambos niveles de N, la RI de RC superó al girasol de régimen de lluvia). Esto indica que el girasol con N y RC presentó mayor tamaño del dosel lo que se reflejó en mayor RI.

Probabilidad de F para biomasa, índice de cosecha, rendimiento y sus componentes

Cuadro 1. Probabilidad de F para biomasa (BT), índice de cosecha (IC), rendimiento en grano (RG) y sus componentes en girasol (*Helianthus annuus* L.) de régimen de lluvia, en función de riego complementario (RC) y nitrógeno (N). Montecillo, Estado de México, México. Verano 2013.

TRAT	BT (gm ⁻²)	IC (%)	RG (gm ⁻²)	TG (g)	NG m ⁻²	GC	AC (cm ²)
H	**	NS	*	NS	*	*	*
N	**	NS	**	NS	**	**	**
H*N	*	NS	**	NS	*	*	NS

TRAT = Tratamiento; H = humedad (riego-lluvia); N = nitrógeno; H*N = interacción humedad * nitrógeno. BT = biomasa total (gm-2); IC = Índice de cosecha (IC, %); RG = rendimiento en grano (gm-2); TG = tamaño del grano (g); NG = número de granos m-2; GC = número de granos por capítulo; AC = área del capítulo. *,** indica diferencias significativas a $P > 0.05$ y 0.01 , respectivamente. NS indica diferencias no significativas a $P > 0.05$.

El ANDEVA presentado en este Cuadro muestra **cambios significativos** por efecto del nivel de humedad (H) , N y la interacción H*N para:

- Biomasa (BT),
- Rendimiento en grano (RG),
- Número de granos (NG);
- Número de granos por capítulo (GC) y
- Área del capítulo (AC);

mientras que:

- El índice de cosecha (IC) y
- El tamaño del grano (TG)

No mostraron cambios significativos por efecto de los tratamientos.

Biomasa , índice de cosecha, rendimiento y sus componentes en función de los tratamientos

Cuadro 2. Biomasa, rendimiento y componentes del girasol (*Helianthus annuus* L.) bajo régimen de lluvia (T) en función del riego complementario (RC) y nitrógeno (N).Efecto de la interacción. Montecillo, Estado de México, México. Verano 2013.

H	N	BT (gm ⁻²)	IC (%)	RG (gm ⁻²)	TG (g)	NG m ⁻²	GC	AC (cm ²)
RC	N+	1318 a	0.20 a	268 a	7.1 a	3789 a	758 a	447 a
RC	N0	978 b	0.18 a	176 c	6.5 a	2714 bc	543 bc	395 a
T	N+	1187 ab	0.21 a	206 b	6.9 a	3005 b	601 b	417 a
T	N0	745 c	0.20 a	151 c	6.5 a	2421 c	484 c	303 b
	Tukey α=0.05	223	0.05	26	0.58	479	96	75

Los valores más altos en cuanto a:

- Biomasa (BT),
- Rendimiento de grano (RG),
- Número de granos (NG),
- Granos por capítulo (GC) y
- Área del capítulo (AC) **se encontraron cuando se aplicó nitrógeno y riego complementario y correspondieron a RCN+, seguido de TN+, RCN0.**

TN0 mostró los valores más bajos.

En columnas valores con letra similar son estadísticamente iguales. H = Tratamiento de humedad; N = nitrógeno; BT = biomasa total (gm⁻²); IC = Índice de cosecha (IC, %); RG = rendimiento en grano (gm⁻²); TG = tamaño del grano (mg); NG = número de granos m⁻²; GC = número de granos por capítulo; AC = área del capítulo. N0 = sin fertilización con N; N+ = fertilización con 10 g N m⁻² (100 kg N ha⁻¹).

Eficiencia en el uso del agua (EUA)

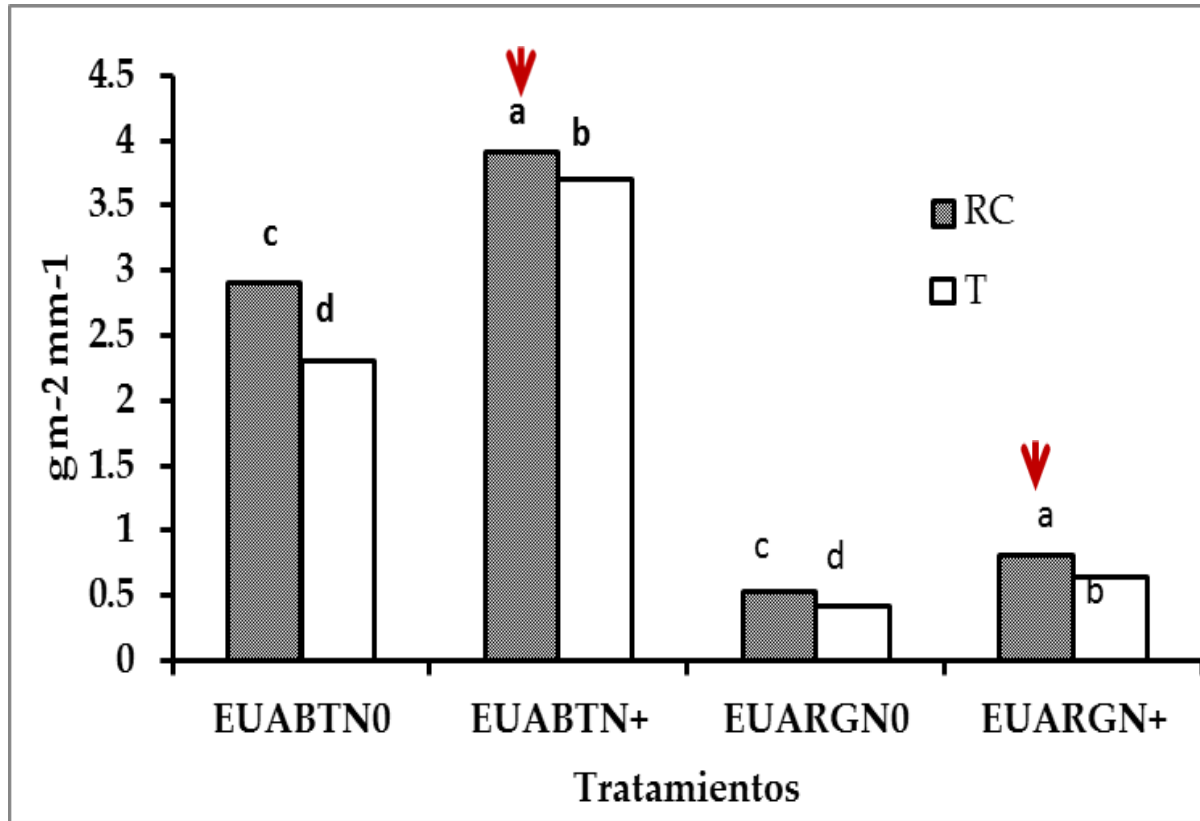


Figura 3. Eficiencia en el uso del agua ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$) para producción de biomasa (EUABT) y de grano (EUARG) en girasol bajo régimen de lluvia (T) en función del riego complementario (RC) y nitrógeno (N). N0 = sin aplicación de N; N+ = con 10 g N m^{-2} ($100 \text{ kg de N ha}^{-1}$). Montecillo, Estado de México, México. Verano 2013.

La EUABT (para producción de biomasa total) y EUARG (para rendimiento en grano) fueron más altas con el RC y N.

Resistencia a la difusión y transpiración foliar

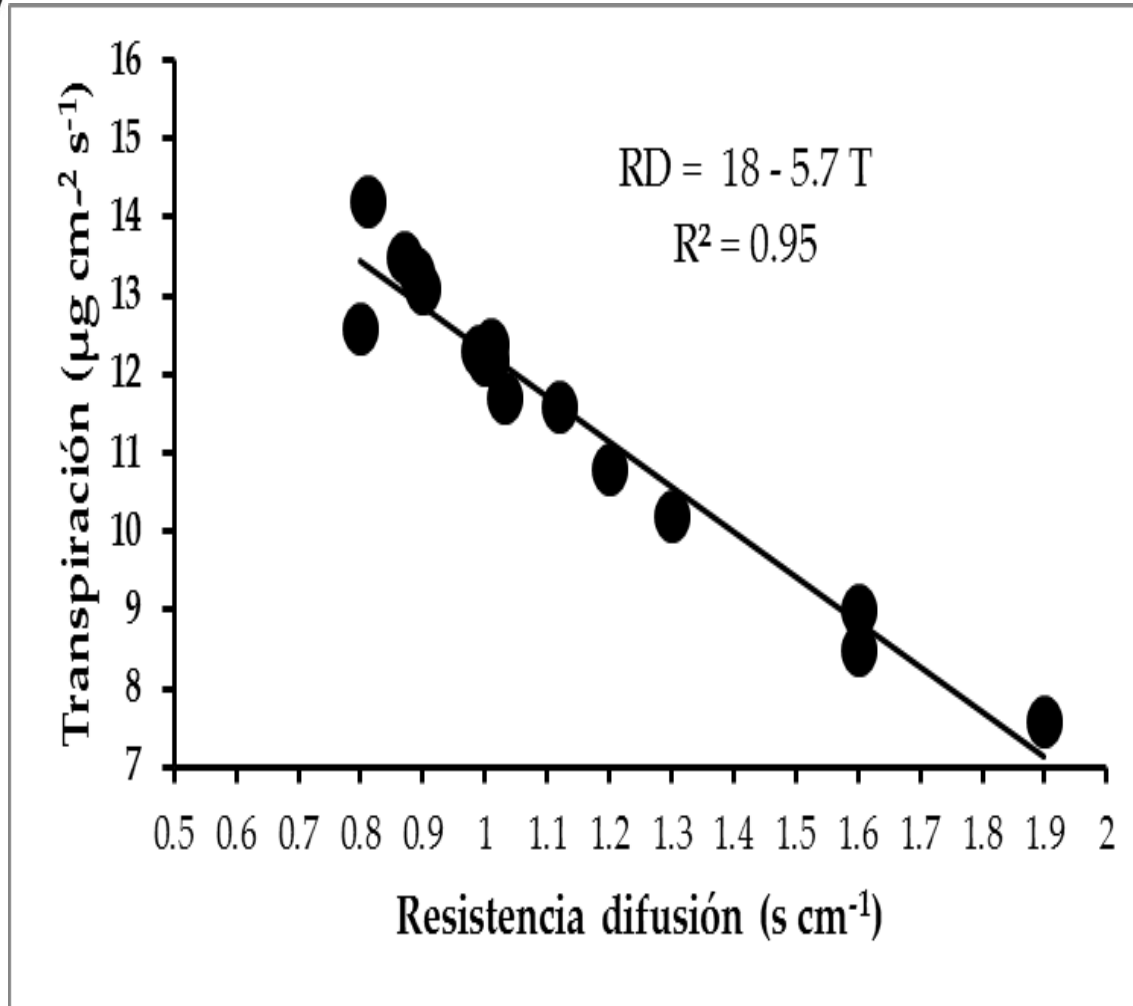


Figura 4. Relación transpiración y resistencia a la difusión en girasol bajo régimen de lluvia (T) en función del riego complementario (RC) y nitrógeno (N). NO = sin aplicación de N; N+ = con 10 g N m^{-2} ($100 \text{ kg de N ha}^{-1}$). Montecillo, Estado de México, México. Verano 2013.

- La resistencia a la difusión (RS) y la tasa de transpiración (TRANSP), se usan con frecuencia como indicadores de estrés por sequía.
- En el presente estudio, el girasol bajo TNO presentó la RS más alta y TRANSP más baja (1.6 S cm^{-1} y $9 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$), seguido de TN+ (1 S cm^{-1} y $11.7 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente).
- LA RS más baja y TRANSP más alta (0.83 S cm^{-1} y $13.3 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$) correspondió a RCN+ y RNO (1 s cm^{-1} y $12 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente).
- Esto indica que el girasol bajo régimen de lluvia fue sujeto a estrés hídrico, particularmente en la etapa en que fue medido (45 dds, Figura 1), lo que indujo al cierre estomático, reflejado en una RS más alta y TRANSP más baja.
- Esta figura indica la relación negativa entre la RS y la TRANSP.

CONCLUSIONES

- ▶ La fertilización con nitrógeno incrementa la biomasa, radiación interceptada, rendimiento y la eficiencia en el uso del agua del girasol cultivado bajo régimen de lluvia y riego complementario.
- ▶ Dichos incrementos son superiores con riego complementario.
- ▶ El déficit hídrico se refleja en una menor transpiración y mayor resistencia a la difusión.
- ▶ Los componentes más relacionados con el incremento en el rendimiento son el número de granos por m^{-2} , el número de granos por capítulo y el área del capítulo.

