

Productividad de agua del girasol bajo diferentes ambientes de déficit hídrico en el suelo

Sunflower water productivity under different water deficit environments in the soil

Marco Antonio Inzunza-Ibarra^{1*}, Ernesto Alonso Catalán-Valencia¹, Ma. Magdalena Villa-Castorena¹, María del Rosario Jacobo-Saucedo¹ y Erika Nava-Reyna¹

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA), INIFAP. Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, Gómez Palacio, C.P. 35140, Gómez Palacio, Durango.

*Autor para correspondencia: inzunza.marco@inifap.gob.mx

RESUMEN

El estudio se estableció en terrenos del sitio experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera del INIFAP, en Gómez Palacio, Durango. La siembra del cultivo fue el 01 de julio del 2017. El objetivo fue determinar la productividad del agua del girasol y sus requerimientos hídricos a diferente estrés de humedad en el suelo. Se colocó el experimento en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los siete tratamientos ensayados en campo, fueron resultado de un diseño de tratamientos incompleto "San Cristóbal" de dos factores y de cuatro niveles de humedad en dos etapas fenológicas del girasol: de 40, 60, 80 y 100 % de la humedad aprovechable del suelo consumida (HAC) por el cultivo en ambas etapas: de siembra a inicio de floración y de inicio de floración a madurez fisiológica. Se midió en forma continua el contenido de humedad del suelo para cada tratamiento usando los métodos de reflectometría y gravimetría. Los resultados mostraron que la más alta productividad del agua de 0.922 kg m⁻³ con una producción de grano de 5.5 t ha⁻¹, se obtuvo en el tratamiento que se desarrolló bajo 58.8 y 60.5% de la HAC y al consumir 31 y 28 cm de agua de riego en la primera y segunda etapa de desarrollo del girasol.

Palabras clave: *Eficiencia de uso del agua, evapotranspiración, Helianthus annuus, humedad aprovechable consumida, reflectometría en el dominio temporal*

SUMMARY

This study was carried out on experimental station of National Research Disciplinary Center in water Soil Plant Atmosphere Relationship (CENID RASPA) of INIFAP, located in Gómez Palacio, Durango, México. Planting of the crop was conducted on July 1st, 2017. The objective of the study was to determine the water productivity and water requirements of the sunflower to different water content in the soil. The experiment was set up in a randomized block with seven treatments and four repetitions. The seven applied treatments were resultant of the San Cristobal treatment design with two study factors and four soil moisture levels in two phenological stages of the sunflower: 40, 60, 80 and 100% of consumption-available soil moisture consumed in the emergence-to-flowering-commencement stage and from the previous to physiological-maturity stage, respectively. Soil moisture was measured regularly for each treatment using the gravimetric and time domain reflectometry method. The results showed that the highest water productivity of 0.922 kg m⁻³ with a grain production of 5.5 t ha⁻¹, was obtained in the treatment that was developed under 58.8 and 60.5% of the HAC and when consuming 31 and 28 cm of irrigation water in the first and second stage of sunflower development.

Key Words: Evapotranspiration, *Helianthus annuus*, soil moisture available consumption, time domain reflectometry (TDR), water use efficiency

INTRODUCCIÓN

El mayor reto que enfrenta la agricultura bajo riego, es el incrementar la eficiencia del uso del agua, ya que la baja eficiencia genera escasez del recurso para el riego agrícola sobre todo en regiones áridas y semiáridas, que representa más del 50% del territorio nacional. Se requieren acciones de carácter científico que permitan revertir el problema, como el determinar el requerimiento de agua y en qué momento aplicarlos, tanto a los cultivos explotados actualmente como a los de nueva introducción, que sean más eficientes en la conversión del agua de riego a materia seca y grano. Esto es fundamental para realizar una evaluación económica del riego, el conocer la respuesta de los diferentes cultivos en su rendimiento comercial y su relación con el estrés hídrico y su uso del agua. La relación entre los requerimientos hídricos de los cultivos en su respuesta en producción de materia seca o grano es diferente de acuerdo a la deficiencia de agua durante sus ciclos de crecimiento, son generalmente complicadas el obtenerlas; sin embargo, ofrecen ser una herramienta poderosa para la toma de decisiones en el diseño racional y efectivo en la operación y el manejo de los sistemas de riego tanto a nivel parcelario como regional (El-Bially *et al.*, 2018; Singh 2014). Se considera al girasol dentro de estos últimos por generar uno de los aceites con mayores beneficios para la salud, por su alto contenido de grasas poliinsaturadas. En su composición destacan principalmente los ácidos linoléico, oleico, palmítico y esteárico. Otro producto importante del girasol, es la pasta, que es la torta residual obtenida después de realizar la extracción del aceite, la cual contiene de 40-50% de proteínas con aminoácidos favorables para la alimentación del ganado y aves. La torta también es rica en caroteno, niacina y tiamina, y baja en lisina (Machekposhti *et al.*, 2017). De acuerdo a esto, es fundamental conocer la relación

existente entre el rendimiento de grano del girasol y su cantidad de agua utilizada, o eficiencia de uso del agua que permita optimizar su productividad del agua (Moroke *et al.*, 2011). Con este enfoque, Howell *et al.* (2015), realizaron por dos años estudios en girasol, con el objetivo de determinar sus requerimientos hídricos y su eficiencia de uso de agua en dos lisímetros de pesada de alta precisión. Se midió que el cultivo tuvo una evapotranspiración promedio de 638 mm de agua. La producción promedio del girasol fue de 3.08 t ha⁻¹, una eficiencia de uso del agua de 0.49 kg semilla seca por m³ de agua consumida, y el grano presentó de 30-40 de concentración de aceite. El coeficiente de desarrollo del cultivo que se reportó fue de 0.15 en su crecimiento inicial y 1.22 en su tasa evapotranspirativa máxima y de mayor cobertura vegetal. El girasol es un cultivo de introducción en algunos lugares de México con posibilidades de arraigo para la agricultura de riego y algunas zonas de temporal debido a que es tolerante a la sequía y se reporta que soporta riego deficitario hasta de un 20% sin afectar su rendimiento (Ren *et al.*, 2018). En forma similar, López-Urrea *et al.* (2014), determinaron la evapotranspiración del girasol por dos años y, utilizaron un lisímetro de pesada de alta precisión, con resolución de 250 g, bajo condiciones no restrictivas de humedad en el suelo. Se encontró que para el año 2009, el girasol consumió durante todo su ciclo vegetativo (ETc), 619 mm, mientras que durante 2011 la ETc fue de 576 mm. La diferencia fue debido al alargamiento del ciclo para el primer año por una siembra más temprana que la del 2011. Los valores de KC del girasol fueron de 1.10 y 1.20 para los años citados, respectivamente. Estos valores coincidieron con la mayor cobertura vegetal y ocurrió al 75 y 80% en forma respectiva. La estadística nacional muestra que el girasol se siembra en 6,694.45 ha, con un rendimiento promedio de 1.39 t ha⁻¹ de grano por debajo de su potencial de rendimiento. Los

estados de Sonora y Zacatecas albergan alrededor del 50% de la superficie con un total de 3,652.9 ha. (SIAP 2019), siendo un cultivo en ascenso por sus características deseable en cuanto a ser eficiente en el uso del agua de riego y de prioridad nacional ya que se considera que el girasol reúne las características para generar uno de los aceites con mayores beneficios para

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en terrenos del Ejido Las Huertas del municipio de Gómez Palacio, Durango, en la Comarca Lagunera. El sitio experimental se localiza en las coordenadas geográficas 25° 31' 57" LN y 103° 25' 57" LO, a una altitud de 1139 m.

El clima de la Comarca Lagunera es de tipo desértico con bajo contenido de humedad atmosférica, precipitación pluvial promedio entre 200 y 300 mm anuales en la zona agrícola de riego y de 400 a 500 mm en la zona montañosa Oeste, con evaporación media anual de 2600 mm y temperatura media anual de 20 °C. Tanto el área de la llanura agrícola como gran parte de la zona montañosa presentan dos periodos bien definidos: el primero comprende siete meses de abril a octubre, en que la temperatura media mensual excede los 20 °C; el segundo abarca de noviembre a marzo, en el que la temperatura media mensual varía de 13.6 a 19.5 °C. Los

la salud, por su alto contenido de grasas poliinsaturadas. Es entonces importante estudios para encontrar la relación producción comercial del cultivo con sus necesidades de agua y así tener herramientas para realizar un mejor aprovechamiento del agua de riego en este cultivo.

meses más fríos son diciembre y enero, y en este último mes se registra el promedio más bajo de temperatura, de 5.8 °C aproximadamente (Villa *et al.*, 2005). Según García (2004), su clima se clasifica como BW(h')h w(e), que corresponde a muy árido, cálido con temperatura media anual de 22 °C y temperatura media del mes más frío de 18 °C. El periodo libre de heladas entre abril a octubre, y pueden presentarse granizadas en mayo; Las lluvias son en verano, con un porcentaje de lluvias invernales que va de 5 a 10.2 %.

Para caracterizar el suelo del lote experimental, se hizo un muestreo a tres profundidades (0-30, 30-60 y 60-90), con cuatro repeticiones. Sus principales características químicas fueron: disponibilidad de nitratos (método de Kjeldahl), de fósforo (método de Duval) y potasio (espectrofotometría), carbonatos totales (volumetría), la conductividad eléctrica (conductimetría), la capacidad de intercambio catiónico (con extracción de yeso) y pH (pasta de saturación), que se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características químicas del suelo del sitio experimental

Prof.	NO ₃	P	K	CO ₃	CEe	CIC	pH
(cm)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(dS m ⁻¹)	(cmol kg ⁻¹)	
0-30	23.18	9.20	1045.83	53.0	0.79	24.4	8.47
30-60	37.27	8.23	912.50	68.0	1.07	23.5	8.30
60-90	43.42	9.67	833.30	86.6	1.03	23.4	8.15

NO₃ = Nitrato disponibles P = Fósforo disponible; K = Potasio disponible; CO₃ = Carbonatos totales; CEe = Conductividad eléctrica; CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico.

Las características físicas del suelo evaluadas fueron: contenido de materia orgánica (método de Walkley y Black); arena, limo y arcilla en la textura (método de la pipeta de Robinson); capacidad de campo y punto de marchitez permanente (método de la olla y membrana de presión respectivamente); y densidad aparente (Método del cilindro) (Plenecassage *et al.*, 1997). Éstas se muestran en el Cuadro 2. El suelo del sitio experimental presentó baja disponibilidad de nitratos, moderadamente baja de fósforo y alta de potasio, bajos contenidos de sales solubles,

de sodio y de materia orgánica, según la clasificación de Castellanos *et al.* (2000). Por su pH promedio de 8.5, se considera un suelo alcalino y que podría tener problemas de asimilación de Fe, Mn y Zn, pero es un suelo de alta productividad al ser irrigado y sin deficiencias importantes de estos microelementos. De acuerdo a las propiedades físicas y químicas mostradas ubican el suelo en la serie Coyote que es la más representativa de la región. Suelos profundos, Franco arcillo limosos a franco arcillosos.

Cuadro 2. Características físicas del suelo del sitio experimental.

Prof. (cm)	MO (%)	Arena (%)	Limo (%)	arcilla (%)	Textura	CC (%)	PMP (%)	Da (g cm ⁻³)
0-30	1.21	20.0	38.0	24.0	Franco arcillo limoso	27.9	15.9	1.3
30-60	0.88	19.6	47.4	33.0	Franco arcillo Limoso	27.7	15.5	1.2
60-90	0.82	17.0	50.0	33.0	Franco	27.9	15.2	1.3

MO = Materia orgánica; CC = Capacidad de campo; PMP = Punto de marchitez permanente; Da = Densidad aparente.

La investigación consistió de dos factores en estudio: la variación del contenido de humedad en el suelo en dos etapas de crecimiento del girasol. El primer factor fue la variación del régimen de humedad del suelo en la etapa de emergencia a inicio de floración. El segundo factor fue la variación del régimen de humedad del suelo en la etapa de inicio de floración a maduración de grano. Los niveles de estudio para la primera etapa (de emergencia a inicio de floración) fueron: 40, 60, 80, 100 % de la humedad aprovechable consumida del suelo (HAC₁) por el girasol. Similarmente, para la segunda etapa (inicio de floración a madurez

fisiológica del grano), se ensayaron los mismos niveles de estudio (HAC₂). Se utilizó el diseño de tratamientos San Cristóbal para dos factores, en el cual se eligen solo siete tratamientos en forma estratégica de un total de 16 combinaciones del original 4x4 citado por Martínez (1988). De acuerdo a este diseño de tratamientos las combinaciones resultantes ensayadas en el campo fueron siete diferentes niveles de abatimiento de la humedad aprovechable en el suelo en los primeros 90 cm de profundidad radicular del cultivo. Estos se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Tratamientos de humedad del suelo ensayados en el cultivo del girasol

Tratamiento	Etapa 1, de emergencia a inicio de floración (HAC ₁)	Etapa 2, de inicio de floración a madurez del grano (HAC ₂)
1	40	40
2	40	80
3	60	60
4	60	100
5	80	40
6	80	80
7	100	60

HAC₁ = Humedad aprovechable consumida en la etapa 1; HAC₂ = Humedad aprovechable consumida en la etapa 2

Los tratamientos fueron distribuidos de manera aleatoria en el campo, con base en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. A cada parcela o unidad experimental se le asignó una superficie de 20 m² (4 de ancho por 5 de largo). Para determinar y monitorear el contenido de agua del suelo y su variación a través el ciclo del cultivo en cada tratamiento, se utilizaron los métodos de reflectometría en el dominio temporal (TDR) previamente calibrado con el gravimétrico como método estándar para su calibración basado en la toma de muestras del suelo con barrenas tipo Vehimeyer (Inzunza Jr *et al.*, 2012). La variedad de girasol sembrada fue Madero 91 de aproximadamente 100 a 115 días a madurez del grano. La siembra del girasol se efectuó el 1 de

julio 2012, con una densidad de siembra de 5 kg ha⁻¹, aproximadamente 62,000 plantas ha⁻¹. Con base en el muestreo inicial de suelos, se fertilizó con la fórmula 120-60-0, donde se aplicó la mitad del fertilizante al momento de la siembra y el resto en el primer riego de auxilio. Para la aplicación del riego se instaló tubería presurizada desde la fuente de abastecimiento hasta el área experimental.

Las variables evaluadas fueron, el rendimiento de grano (t ha⁻¹), la lámina de agua consumida, la productividad del agua que relaciona el rendimiento de grano con la cantidad de agua consumida (kg m⁻³). El análisis de la información se realizó en base al análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey 5%) con el paquete estadístico del SAS (2003).

RESULTADOS

El Cuadro 4 presenta los valores del régimen de humedad a los que fueron sometidos los diferentes tratamientos al cultivo del girasol. El rango del contenido de la humedad aprovechable consumida fluctuó de 41.9 % en la etapa de inicio de floración a madurez fisiológica en el tratamiento 40-40 de condiciones de humedad no restrictivas a 100 % de la HAC asol.

tanto para el tratamiento 100-60 como el 60-100 de condiciones hídricas restrictivas. Para el caso de la lámina consumida por el girasol, el mayor consumo de 35.10 en la primera etapa, se presentó en el tratamiento 40-40 de condiciones más húmedas que el resto, el menor consumo de 24.4 cm. se mostró en el tratamiento 100-60 de bajo contenido de humedad en la etapa vegetativa del gir

Cuadro 4. Contenidos de humedad, rendimiento y eficiencia de uso de agua promedios de los tratamientos en girasol

Tratamiento	HAC ₁ (%)	HAC ₂ (%)	LC ₁ (cm)	LC ₂ (cm)	R (t ha ⁻¹)	EUA (kg m ⁻³)
40-40	43.3	41.9	35.1	33.6	4.42	0.642
40-80	43.3	82.1	35.1	25.2	3.8	0.630
60-60	59	60	31.1	28.1	5.46	0.922
60-100	58	100	31.1	22.2	2.40	0.452
80-40	79.8	44.4	28.2	32.1	3.94	0.655
80-80	83.3	81.4	28.2	26.2	4.09	0.752
100-60	99.6	61	24.4	33.4	2.78	0.475

HAC₁ y HAC₂ = Humedad aprovechable consumida en las dos etapas del girasol; LC₁ y LC₂ = Lamina consumida en las dos etapas estudiadas; R= Rendimiento de grano del girasol; EUA= Eficiencia de uso del agua

El tratamiento con mayor rendimiento de grano y mayor productividad del agua de riego fue el 60-60 y alcanzó estos valores cuando se irrigó con 31.14 y 28.12 cm de agua para un total de 59.3 cm, este valor se similar al requerimiento de agua que reporta Liu *et al.* 2018. El resultado de la productividad del agua del girasol se examinó

mediante el análisis de varianza donde se concluyó que los tratamientos presentaron diferencias altamente significativas, por lo que la respuesta del girasol en eficiencia de uso del agua fue diferente a los déficits hídricos propiciados en el suelo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza para productividad del agua del girasol

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
Bloques	3	0.0046	0.0015	0.55
Tratamientos	6	0.6193	0.1032	37.1**
Error	18	0.0501	0.0028	
CV (%)			8.1	

** Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. G.L. = Grados de libertad; CV = coeficiente de variación.

Los datos observados para esta variable respuesta se muestran en la Figura 1 junto con los resultados del análisis de comparación de medias (Tukey 5%). De acuerdo a esta figura se deduce que el tratamiento 60-60 fue el más eficiente en la conversión del agua a producción de grano, este tratamiento de acuerdo al Cuadro 4, se desarrolló bajo una lámina de riego de 31 cm para la primera etapa y 28 cm para la segunda que significan condiciones intermedias de contenido de humedad en el suelo. El valor que alcanzó este tratamiento fue de 0.922 kg de

grano de girasol por m³ de agua utilizada y fue estadísticamente superior al resto de los tratamientos. Valores de EUA que le siguen por su importancia fueron los que se obtuvieron en los tratamientos 80-80, 80-40, 40-40 y 40-80 con datos de EUA similares de 0.75, 0.65, 0.64 y 0.63 kg m⁻³ respectivamente. Finalmente, las combinaciones 60 -100 y 100 – 60, presentaron las más bajas eficiencias en EUA con 0.452 y 0.475 kg m⁻³ respectivamente debido al alto déficit hídrico en el suelo al que fueron sometidos en una de sus etapas.

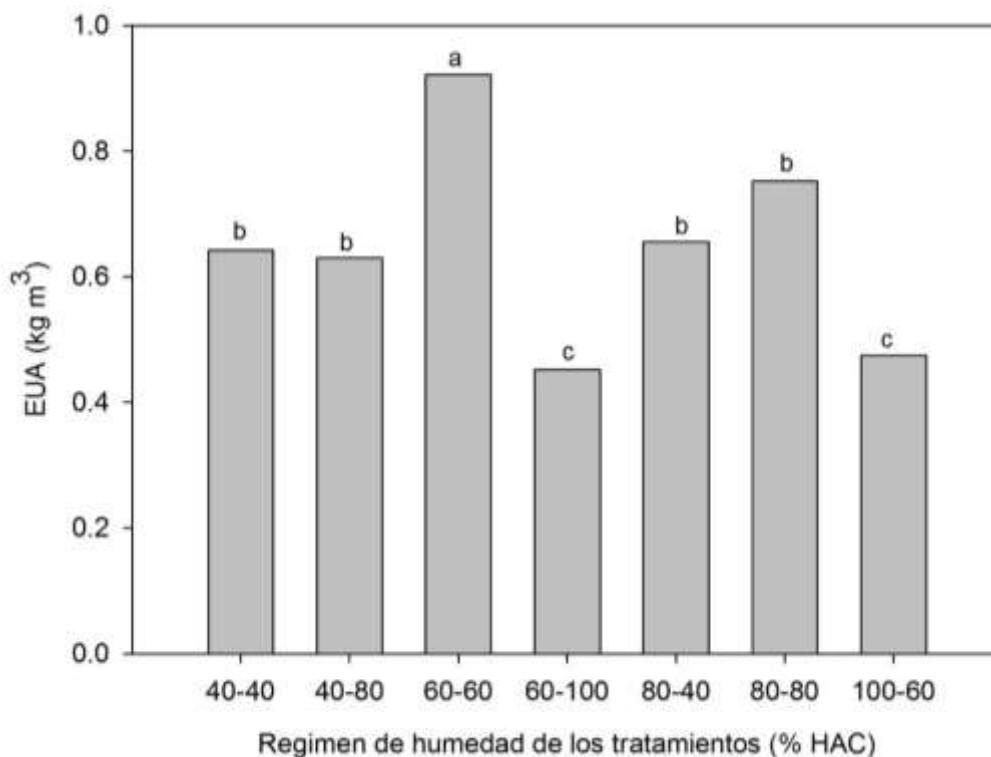


Figura 1. Comportamiento de la eficiencia de uso del agua (EUA) en kg de grano de girasol por m⁻³ de agua utilizado.

Los valores de la productividad del agua o eficiencia de uso del agua resultan directamente de la respuesta del girasol en su producción de grano con el manejo del agua de riego tanto en cantidad como en la oportunidad proporcionada. Esto explica, principalmente cuando el producto comercial a producir es el grano, que no necesariamente se obtendrá mayor rendimiento de esta variable respuesta al proporcionarle mayor cantidad de agua, resultados similares lo reportan García-López *et al.* (2016). Esto ocurrió en este estudio, la combinación con más agua

aplicada obtuvo un rendimiento y una eficiencia de uso de agua menor que el tratamiento 60-60, lo cual puede deberse, de acuerdo a las observaciones tomadas durante su desarrollo, a problemas de falta de adecuada oxigenación en el perfil radical que afectó en forma negativa su desarrollo óptimo y finalmente la producción de fotosintatos en la formación de granos en los capítulos de las plantas del girasol, caso similar fue reportado por Karam *et al.* (2007) al generar condiciones hídricas húmedas cercanas a saturación en la zona radical del girasol.

DISCUSIÓN

La respuesta del girasol en la productividad del agua coincide tanto en su tendencia como en la magnitud de sus valores con investigadores como Joshi *et al.* (2017) en cuanto que esta variable respuesta para girasol de tener un comportamiento no lineal y en cambio una tendencia de rendimientos crecientes y decrecientes. Esto significó que el girasol presentó una respuesta lineal a la producción de

biomasa en sus primeras etapas de crecimiento a la aportación del riego y en su etapa reproductiva presentó una respuesta no lineal a la aportación del agua ya que los datos que se muestran en el Cuadro 4, se presentó el valor de productividad del agua más alto de 0.922 kg m⁻³ en el tratamiento irrigado con 59 y 60 de la HAC en el suelo. Esto significa que tanto la producción de grano y su productividad del agua, presentaron su mayor respuesta cuando fue irrigado con 31 y 28 cm que propiciaron

condiciones de humedad óptimas para la respuesta de estas variables productivas del girasol. Además, se percibe que al ser irrigado con una cantidad mayor de agua la productividad del agua del girasol disminuye ya que se propician períodos de condiciones anaeróbicas en la zona radical del cultivo. Esto propició el crecimiento mayor de la cobertura vegetal y la incidencia leve de enfermedades fungosas que contribuyó a la disminución del rendimiento de grano y por consecuencia su productividad del agua. Esto fue evidente en el tratamiento 40-40 el cual fue el más húmedo ya que se irrigó cada 4 a 5 días. Los resultados de productividad del agua sugieren que debe buscarse reducir los volúmenes de agua en cultivos eficientes en el uso del agua sin reducir en forma significativa su producción de grano y de esta manera alcanzar un mejor aprovechamiento del agua en zonas áridas y semiáridas como se sugiere diseñar la investigación hacia el riego deficitario (García-López *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

El cultivo de girasol mostró la mayor productividad del agua con el valor de 0.922 kg m⁻³ en el tratamiento que se desarrolló con un régimen hídrico en el suelo de 59 y 60.5 % de la humedad aprovechable consumida y con una evapotranspiración de 31.1 y 28.1 cm de agua, en la etapa vegetativa y reproductiva, respectivamente. Asimismo, bajo estas condiciones el girasol manifestó su mayor producción de grano de 5.5 t ha⁻¹. El girasol presentó un comportamiento no lineal en su respuesta en el valor de la productividad del agua (García-López J., Lorite I.J., García-Ruiz R., Ordoñez R., Domínguez J. 2016. Yield response of sunflower to irrigation and fertilization under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*. 176:151-162).

Inzunza-Ibarra M.A. jr., Inzunza-Ibarra M.A., Catalán-Valencia E.A., Villa-Castorena M., Delgado-Ramírez G. 2012.

agua lo cual es importante ya que permite disminuir los volúmenes de agua aplicados sin afectar en forma significativa su rendimiento de grano e inclusive de incrementar su eficiencia de uso del agua de riego.

LITERATURA CITADA

Castellanos-Ramos J., Uvalle-Bueno S., Aguilar-Santelises A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2a ed. Colección INCAPA. San Miguel de Allende, Gto. 226 p.

El-Bially M., Saudy H., El-Metwally I., Shahin M. 2018. Efficacy of ascorbic acid as a cofactor for alleviating water deficit impacts and enhancing sunflower yield and irrigation water-use efficiency. *Agricultural Water Management*. 208: 132-139.

Machekposhti M. F., Shahnazari A., Ahmadi M.Z., Aghajani G., Ritzema H. 2017. Effect of irrigation with sea water on soil salinity and yield of oleic sunflower. *Agricultural Water Management*. 188:69–78. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.002>

García E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Serie Libros Núm. 6. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. 90 p.

Calibración de TDR para estimar el contenido de humedad volumétrica en el suelo. *AGROFAZ* 12: 59-65.

Howell T.A., Evett S.R., Tolk J.A., Copeland K.S., Marek T.H. 2015. Evapotranspiration, water productivity and crop coefficients for irrigated sunflower in the U.S. Southern High

- Plains. Agricultural Water Management. 162:33-46.
- Joshi V.R., Heitholt J.J., Garcia y Garcia A. 2017. Response of confection sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown in a semi-arid environment to planting date and early termination of irrigation. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 203:301–308.
- Karam F., Lahoud R., Masaad R., Kabalan R., Breidi J., Chalita C., Rouphael Y. 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agricultural Water Management*. 90: 213-223.
- Liu R., Abdelraouf E.A.A., Bicego B., Joshi V.R., Garcia y Garcia A. 2018. Deficit irrigation: a viable option for sustainable confection sunflower (*Helianthus annuus* L.) production in the semi-arid US. *Irrigation Science*. 36:319-328.
- López-Urrea R., Montoro A., Trout T.J. 2014. Consumptive water use and crop coefficients of irrigated sunflower. *Irrigation Science*. 32:99-109.
- Martínez G.A. 1988. Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. Trillas. México, D.F. 752 p.
- Moroke T.S., Schwartz R.C., Brown K.W., Juo A.S.R. 2011. Water use efficiency of dryland cowpea, sorghum and sunflower under reduced tillage. *Soil and Tillage Research*. 112:76-84.
- Plenecassage A., Romero-Fierro E., López-Borrego C. 1997. Manual de laboratorio. Análisis de suelos y aguas. INIFAP ORSTROM. Gómez Palacio, Durango, México. 173 p.
- SAS Statistical Analysis System. 2003. (SAS/STAT) 2003. 9.1 by SAS Institute Inc. Cary USA.
- Singh A. 2014. Simulation–optimization modeling for conjunctive water use management. *Agricultural Water Management*. 141:23-29.
- SIAP-SAGARPA. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/identidad/index.jsp. Fecha de consulta: 08 de octubre de 2019.
- Ren D., Xu X., Engelc B., Huang G. 2018. Growth responses of crops and natural vegetation to irrigation and water table changes in an agro-ecosystem of Hetao, upper Yellow River basin: Scenario analysis on maize, sunflower, watermelon and tamarisk. *Agricultural Water Management*. 199:93-104.
- Villa-Castorena M., Catalán-Valencia E.A., Inzunza-Ibarra M.A. 2005. Análisis de la información climática para usos agrícolas. *Agrofaz*. 5:717-724.