

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**“PRODUCCIÓN DE GRANO DEL GIRASOL (*Helianthus annuus L.*)
EN CONDICIONES DE DÉFICIT HÍDRICO DEL SUELO Y
COEFICIENTES DE AJUSTE POR SU DESARROLLO”**

POR

ULISES CORA CARREÓN

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAH. MÉXICO

DICIEMBRE 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“PRODUCCIÓN DE GRANO DEL GIRASOL (*Helianthus annuus L.*) EN CONDICIONES
DE DÉFICIT HÍDRICO DEL SUELO Y COEFICIENTES DE AJUSTE POR SU
DESARROLLO”

P O R

ULISES CORA CARREÓN

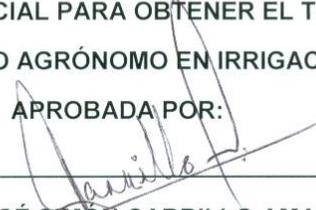
TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORES, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:


M.C JOSÉ SIMÓN CARRILLO AMAYA

COASESOR PRINCIPAL:


Ph. D. MARCO ANTONIO INZUNZA IBARRA

ASESOR:


M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

ASESOR:


Ph. D. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA. MÉXICO.

DICIEMBRE DEL 2012



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“PRODUCCIÓN DE GRANO DEL GIRASOL (*Helianthus annuus L.*) EN CONDICIONES
DE DÉFICIT HÍDRICO DEL SUELO Y COEFICIENTES DE AJUSTE POR SU
DESARROLLO”

P O R

ULISES CORA CARREÓN

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN AL H. JURADO EXAMINADOR, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

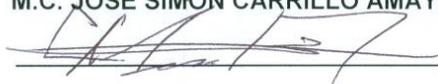
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

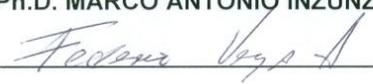
PRESIDENTE:


M.C. JOSÉ SIMÓN CARRILLO AMAYA

VOCAL:

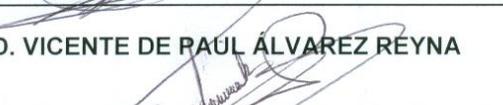

Ph.D. MARCO ANTONIO INZUNZA IBARRA

VOCAL:


M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

VOCAL:


Ph. D. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA. MÉXICO.

DICIEMBRE DEL 2012



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

Agradecimientos

ADios

Por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y haberme dado salud para lograr mis objetivos, brindarme una vida de aprendizaje, experiencia y felicidad.

A mi mamá Almádelia

Por haberme apoyado en todo momento, sus consejos, valores la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi papá Javier

Gracias por darme su confianza, ser un buen padre, mil gracias por apoyarme en mis estudios.

A mis amigos

Que me apoyaron durante nuestra formación profesional Omar Moreno, Manuel Pérez, Miguel Alcántara, Laura Garcilazo, Paola Mendoza por haberme ayudado durante mi carrera.

A mi escuela

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, en la cual concluyo mis estudios e la carrera de Ingeniero Agrónomo en Irrigación, gracias a mi alma Terra Mater.

Dedicatoria

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño

A DIOS que me dio la oportunidad de vivir, y regalarme una familia maravillosa que quiero mucho.

A mis padres que me regalaron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo papá y mamá por darme la oportunidad y apoyarme durante mi carrera, y aun que hemos pasado momentos difíciles siempre me han estado apoyando y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de corazón que estén conmigo en todo momento a mi lado.

A mis hermanos Osiel y Jorge gracias por apoyarme, por que siempre he contado con ellos para todo, gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido; apoyo y amistad.

¡Gracias!

Índice

I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Antecedentes	4
2.2 Clasificación botánica.....	5
2.3 Uso del girasol.....	6
2.4 Factores ambientales	6
2.4.1 Temperatura.....	6
2.4.2 Latitud.....	7
2.4.3 Altitud	8
2.4.4 Requerimientos hídricos.....	8
2.4.4.1 Riego.....	9
2.4.5 Suelo	9
2.4.6 Fotosíntesis y respiración.....	10
2.5 Características morfológicas y fisiológicas	10
2.5.1 Raíz.....	10
2.5.2 Tallo.....	11
2.5.3 Hojas	11

2.5.4 Inflorescencia	12
2.5.5 Fruto y semilla	13
2.5.6 Heliotropismo	14
2.6 Control de maleza	14
2.7 Rendimiento	17
2.8 Producción y rendimiento	17
2.8.2 Producción de semilla de girasol en México.....	19
2.8.3 Principales Estados productores	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 Localización del sitio experimental	21
3.2 Localización geográfica donde se realizó el estudio	21
3.3 Análisis de suelo	22
3.3.1 Análisis de suelo	22
3.4 Practica cultural	23
3.5 Preparación del terreno	23
3.6.1 Siembra	23
3.6.2 Germinación	24
3.6.3 Riego	24
3.6.4 Fertilización	24
3.7 Metodología.....	25

3.8 Tratamientos	26
3.9 Variables evaluadas	27
3.10 Diseño experimental utilizado.....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4. Contenido de humedad en los diferentes tratamientos en campo.....	29
4.1 Rendimiento de grano	30
4.2 Eficiencia en uso de agua (kg m ³)	31
4.3 Modelo de producción del rendimiento del grano a régimen de humedad del suelo.....	33
4.4 Función real del modelo de rendimiento de grano en base a lámina de agua consumida	35
4.5 Requerimientos de unidades calor para girasol.	37
4.6 Evapotranspiración máxima (E _{tm}) del girasol	37
4.7 Obtención del coeficiente de ajuste del cultivo	38
V. CONCLUSIONES	41
VI. LITERATURA CITADA.....	42
APÉNDICE	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Control químico de maleza en girasol.....	15
Cuadro 2.Principales plagas y su control químico.....	16
Cuadro 3. Producción de la Semilla de Girasol en México.....	19
Cuadro 4. Análisis físicos del suelo.....	22
Cuadro 5. Tratamientos de humedad del suelo aplicados en el cultivo del girasol	28
Cuadro 6. Contenido de humedad en los diferentes tratamientos.....	29

Índice de figuras

Figura 1. Inflorescencia o capitulo del girasol: a) antes de la apertura; b) al liberar el polen; c) con estigma receptivo; d) después de fecundada.....	13
Figura 2. Producción y Rendimiento de Semilla de Girasol en el Mundo.....	18
Figura 3. Principales Estados Productores de Semilla de Girasol en México en 2008	20
Figura 4. Rendimiento en el cultivo de girasol con diferentes porcentajes de humedad en el suelo	31
Figura 5. Eficiencia en el uso del agua.....	33
Figura 6. Modelo de producción del rendimiento del grano a régimen de humedad del suelo.....	35
Figura 7. Modelo de rendimiento de grano en base a lámina de agua consumida.	36
Figura 8. Evapotranspiración máxima del girasol (ET _m), obtenida con el lisímetro de pesada durante el desarrollo vegetativo del cultivo y sus requerimientos de grados día de crecimiento (UCa).....	38
Figura 9. Coeficiente de ajuste por desarrollo del girasol (KC) en base a los grados día de crecimiento (UCa) y desarrollo vegetativo relativo (DVR).	39

Resumen

El estudio se realizó en el campo experimental del Centro Nacional de Investigación disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera (CENID RASPA) del INIFAP en Gómez Palacio, Dgo. El objetivo del estudio fue determinar la función de respuesta del girasol a diferentes contenidos de humedad en el suelo y los coeficientes de ajuste por desarrollo del cultivo (KC). El diseño experimental utilizado fue un bloques al azar con cuatro repeticiones donde se ubicaron siete tratamientos, que fueron resultado de un arreglo de tratamientos incompletos "San Cristóbal" de dos factores cuatro niveles de humedad: 40, 60, 80 y 100 % de la humedad aprovechable consumida (HAC) en dos etapas fenológicas del Girasol: 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 producción de grano de 5.5 t ha^{-1} , se obtuvo en el tratamiento 60-60 al consumir 62.8 cm de agua. Se obtuvieron modelos con ajuste satisfactorio del orden de 87 al 93% del coeficiente de determinación (R^2), que predicen en forma precisa la producción de grano de girasol a diferente contenido de humedad del suelo y a diferente consumo de agua de riego.

Además, se determinó un modelo para la estimación del coeficiente de ajuste por desarrollo del girasol. El cultivo se instaló en un lisímetro de pesada de alta precisión, con el propósito de determinar la demanda evapotranspirativa máxima (ET_m) al desarrollarse bajo condiciones no restrictivas de humedad durante su ciclo

vegetativo de desarrollo. Los resultados muestran un excelente ajuste a el modelo polinomial de tercer grado donde dicho coeficiente de ajuste se relaciona con los grados día de crecimiento acumulados durante el ciclo vegetativo del girasol. El modelo obtenido tiene la característica de proporcionar mayor generalidad a los coeficientes de ajuste por desarrollo ya que involucra parámetros con más carácter físico como son los grados día de crecimiento, en lugar de los modelos que relacionan el KC en función del calendario juliano o el desarrollo vegetativo en días. El girasol alcanzó la etapa de inicio de floración a los 780 grados día de crecimiento con un KC igual a 1.3. Éste valor se incrementó a 1.6 al alcanzar la plena floración y el inicio de llenado de grano aproximadamente a los 1120 grados día de crecimiento.

Palabras clave: coeficiente, déficit hídrico, producción, girasol, suelo.

I INTRODUCCIÓN

La optimación del aprovechamiento del agua de riego es una acción indispensable para disminuir el problema de escasez de agua para uso agrícola en la comarca lagunera y en más del 50% del territorio nacional. Se necesita conocer el requerimiento de los cultivos explotados actualmente y de los de nueva introducción, que sean más eficientes en la conversión del agua de riego a grano y materia seca. El girasol se considera dentro de estos últimos por ser eficiente en el uso del agua, por generar aceites con mayor beneficio para la salud y 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 o torta residual obtenida después de realizar la extracción del aceite, la cual contiene del 40-50% de proteínas con aminoácidos favorables para la alimentación del ganado y aves. La torta es rica en caroteno, niacina y tiamina (Escalante-estrada *et al.*, 2007). De acuerdo a esto, es fundamental conocer la relación existente entre el rendimiento de grano del girasol y la cantidad de agua utilizada así como su eficiencia de uso de agua que permite optimizar su uso y maximizar su producción de grano (Moronke *et al.*, 2011). Con este enfoque, Karam *et al.* (2007), realizaron un estudio de producción de girasol sometido al estrés hídrico en sus etapas fenológicas, reportaron rendimiento de 5.5 t ha⁻¹ al someter este cultivo a condiciones restrictivas de humedad en la etapa de llenado del grano.

La estimación de la evapotranspiración de los cultivos a partir de la evapotranspiración de referencia calculada de datos climáticos en las diferentes zonas agrícolas del país, es de gran relevancia para una planeación agrícola más precisa bajo riego y temporal. Esto es posible cuando se cuenta con información de los coeficientes de ajuste por desarrollo de los diferentes cultivos (KC) en tales zonas agrícolas, dato que se ha tomado de la literatura extranjera y corresponde a cultivos que se han desarrollado en otras latitudes y la mayoría de las veces se tiene poco éxito al utilizarse para las condiciones de México (Inzunza y Mojarro, 1994; Villalobos *et al.*, 2005). En cultivos anuales, este coeficiente ($ET_m ETr^{-1}$) tiene una típica variación que se produce debido a la evolución del follaje y los cambios en la cobertura del terreno (Bandyopadhyay *et al.*, 2005). Para lograr estimaciones confiables de la evapotranspiración real o actual de los cultivos, se deben considerar los factores edáficos y de la planta; sin embargo, en condiciones óptimas de humedad en el suelo sólo la planta afecta la oferta de agua. En estas condiciones se obtiene la evapotranspiración máxima (ET_m) mediante la corrección de la evapotranspiración de referencia por el coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo (KC) que es función del desarrollo del cultivo y exigencia del clima. Así, el coeficiente del cultivo representa la relación entre el intercambio del calor latente del cultivo de interés y evapotranspiración de referencia (Tyagi *et al.*, 2000; Hunsaker *et al.*, 2003). Este parámetro es adimensional y se determina en forma empírica con la ecuación

$$KC = ET_m ETr^{-1} \quad (1)$$

Donde ETr = evapotranspiración de referencia (mm)

Etm = evapotranspiración máxima (mm)

1.1Objetivos

Determinar la función de respuesta del grano del girasol bajo diferentes tratamientos de humedad en el suelo.

Obtener la relación del rendimiento de grano del girasol y el consumo de agua bajo diferentes condiciones hídricas del suelo.

Obtener un modelo matemático que relacione los coeficientes de ajuste por desarrollo de cultivo (KC), en base a los grado día de crecimiento del cultivo de girasol.

1.2Hipótesis

El rendimiento de grano del girasol no es afectado por el diferente estrés hídrico en el suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El girasol se cultiva principalmente para la producción de aceite y es un cultivo de importancia mundial, destacan en superficie cultivada la Federación Rusa, Argentina, la Unión Europea, y los Estados Unidos de Norteamérica con superficies aproximadas de 7, 3, 2 y 1.2 millones de hectáreas respectivamente. El aceite de girasol virgen, aunque no posee las cualidades del aceite de oliva, sí posee cuatro veces su cantidad de vitamina E natural; el aceite de girasol también se puede utilizar para producir biodiesel (Schneiter, 1992)

2.1 Antecedentes

El girasol es una planta anual originaria del continente americano, específicamente de la parte centro y norte de México y suroeste de los Estados Unidos de América,

También se distribuye en Canadá, Ecuador, Colombia y Perú donde aun es posible encontrarlo, en forma silvestre. Los españoles conocieron el girasol en México y Perú durante la época de la conquista. Los ingleses y franceses, por su parte, lo recolectaron en América del Norte, de donde lo llevaron a sus respectivos países. Inicialmente, el girasol fue cultivado en Europa como flor ornamental y, en 1812, se reporta su uso con fines industriales en la producción de aceite (INIA, 2009)

El girasol es una planta anual, de gran desarrollo en todos sus órganos. Pertenece a la familia de las compuestas y 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 la más importante es *Helianthus annuus*, por dos razones: a) Se cultiva como planta oleaginosa y ornamental; b) es la más distribuida geográficamente pues forma parte de la especie tanto de malas hierbas como plantas cultivadas (Ortegón *et al*, 1993).

2.2 clasificación botánica

Los diferentes tipos de girasol actualmente cultivado o silvestre en todo el mundo se han clasificado como pertenecientes al género *Helianthus*, especie *annuus*. Por tanto, la *identificación* botánica dada por los nombres del género y especie del girasol es *Helianthus annuus*.

Su sistemática desde el orden a la especie es la siguiente:

Orden.....Synandrales

Familia.....*Compositae*

Subfamilia.....*Tubuli florea*

Tribu.....*Helianthus*

Especie.....*Annuus*(Alba, 1990).

En el nombre latino del género (*Helianthus*) así como los que dan nombre a la planta en otros idiomas, aluden generalmente a la forma y aspecto de la inflorescencia o capitulo donde nacen las flores y que corona la planta por su parecido a un sol. En latín helios = sol; y *anthos* = flor (Alba, 1990).

2.3 Uso del girasol

La planta de girasol se utiliza como forraje y fines ornamentales. De su semilla se obtienen principalmente dos subproductos, harina y aceite. La harina se utiliza en la industria de alimentos balanceados ya que su contenido de proteína la hace atractiva para la alimentación del ganado. El aceite de girasol es muy benéfico para la salud, pues tiene un alto contenido de grasas polinsaturadas. La semilla de girasol es utilizada también en la elaboración de jabones, cosméticos, detergentes, e incluso en la fabricación de combustibles en algunos países (SIAP-SAGARPA, 2010).

2.4 Factores ambientales

2.4.1 Temperatura

La planta de girasol tiene requerimientos ecológicos que la hace adaptable a diferente clima, desde el templado al cálido, siendo indiferente al fotoperíodo (FONAIAP, 1989).

La temperatura es el factor más importante en el control de la germinación de la semilla siendo la óptima cercana a los 26°C, con temperatura máxima de 40°C y mínima entre 3 y 6°C. El umbral de temperatura de suelo (0 a 5 cm) a partir del que se inicia normalmente la siembra es de entre 8 y 10°C. Temperatura menor demora la emergencia afectando el vigor de las plántulas, eficiencia en la inflorescencia y rendimiento (ASAGIR, 2003).

Es un factor de gran importancia para el desarrollo de la planta, la temperatura Óptima en el suelo es de 8°C, por debajo de 4°C se detiene la germinación, la temperatura optima de crecimiento es de 21 a 24°C (Alfa, 1990).

2.4.2 Latitud

La latitud influye sobre el número de días necesarios para que se inicie la floración y la composición del aceite. Cuando más hacia el norte se cultiva, aumenta el número días para el inicio de la floración.

El cultivo en zonas más al sur reduce el porcentaje de ácido linoléico de la semilla. Este efecto esta también asociado con la alta temperatura propia de latitudes bajas (Alfa, 1990).

2.4.3 Altitud

De acuerdo con los requerimientos biológicos, el girasol encuentra buenas condiciones de producción desde el nivel del mar hasta 1800 metros de altura (FONAIAP, 1989).

2.4.4 Requerimientos hídricos

El girasol tolera prolongados períodos de sequía y para desarrollarse requiere de unos 400 a 450 mm de lluvia durante su ciclo vegetativo que posee un rango de duración de 100 a 120 días. Lo más conveniente es que la mayor parte de la precipitación ocurra de la siembra hasta floración, la cual se inicia generalmente entre los 40 a 55 días después de la siembra. Sin embargo, lluvia excesiva durante este período puede afectar la fecundación, lo cual ocasiona la producción de granos vanos y/o de bajo contenido de aceite, (FONAIAP, 1989). Además de ser una planta que muestra poca eficiencia en aprovechamiento del agua cuando dispone de ella en abundancia. Las estomas de sus hojas permanecen abiertas en las horas de máximo calor, transpira elevadas cantidades de agua con una producción de materia seca relativamente escasa en comparación con el consumo hídrico. Se dice que el girasol presenta una recuperación muy rápida, en cuanto al estrés hídrico (Alfa y Llanos, 1990).

La sequía es el principal factor ambiental que limita la producción de los cultivos, particularmente en regiones donde la agricultura es de secano.

El girasol es una oleaginosa que prospera donde la disponibilidad de agua es limitada, por esto su cultivo se ha incrementado en regiones de clima semiárido, como en España.

2.4.4.1 Riego

La cantidad de riego o lámina de agua aplicada al cultivo del girasol y la época de su aplicación, varía de acuerdo con las condiciones climáticas y tipo de suelo de cada región y principalmente, el ciclo vegetativo de la planta. Si se cuenta con agua de riego se debe establecer un régimen de humedad del suelo por lo menos a 75% de la capacidad de campo, durante el periodo comprendido entre la germinación e inicio de la floración (Bailon, 2002)

2.4.5 Suelo

El girasol es un cultivo que crece en casi todos los tipo de suelo, a excepción de los compactos, salinos y de marcada acidez. Pero su respuesta óptima la dará en suelo profundo, de buen drenaje, ligeramente ácido, (pH 6), y que tenga adecuada retención de agua, ya sea arcillo-arenoso o areno-arcilloso (Saumell, 1980).

El girasol es un cultivo considerado como de baja tolerancia a la salinidad (2 – 4 mmhos/cm), a 25°C. En cuanto al pH el girasol se puede desarrollar sin ningún inconveniente en pH de 5.8 hasta 8.0 (Alfa y Llanos 1990).

2.4.6 Fotosíntesis y respiración

El girasol tiene una alta tasa de asimilación fotosintética. Factor definido como fotosíntesis neta puede medirse en miligramos de anhídrido carbónico (CO₂) atmosférico asimilado por decímetro cuadrado de superficie foliar en una hora, bajo exposición de luz diurna.

El girasol registra valores de fotosíntesis neta entre 40y 50 ml/g CO₂/dm²/hora. Estos altos valores definen el comportamiento fisiológico próximo al de las plantas de metabolismo C₄, tales como el sorgo y maíz. El girasol se sitúa en el grupo de especies de metabolismo C₃ y dentro de el con un alto valor de fotosíntesis(Alba, 1989).

2.5Características morfológicas y fisiológicas

2.5.1 Raíz

Tiene un rápido desarrollo en el estado cotiledonar, alcanza de cuatro a ocho centímetros de largo. Cuando presenta de cuatro a cinco pares de hojas verdaderas puede alcanzar una profundidad de 50 a 70 centímetros, posee una raíz del tipo pivotante, formado por un eje central de donde nace una gran cantidad de raíces secundarias y terciarias, ésta puede alcanzar una profundidad de hasta 1.5 metros cuando las condiciones de humedad del suelo y estado nutricional del mismo lo favorecen; característica que le concede una gran capacidad de exploración del suelo con buena humedad y nutrientes(INIA, 2009).

La efectividad en la captura de agua y nutrientes con las raíces depende tanto de su densidad y profundidad en el suelo, como de su funcionalidad. El sistema radical crece en profundidad desde la germinación hasta alrededor de la floración. El ritmo de absorción de agua depende del ritmo transpiratorio de la planta (ASAGIR, 2003).

2.5.2 Tallo

Posee un tallo único, de color verde, con pubescencia variable de acuerdo al cultivar, su interior está formado por un tejido conocido como esclerénquima, que le confiere alta capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes. El diámetro puede llegar a medir de dos a cinco centímetros, dependiendo del cultivar, distribución de las plantas en el campo, humedad y nutrientes disponibles en el suelo. Dependerá de las condiciones mencionadas anteriormente, que el tallo pueda alcanzar hasta 2.0 metros de altura. Sin embargo, la altura ideal desde el punto de vista del manejo del cultivo, se ubica alrededor de los 1.70 y 2 metros, para favorecer la cosecha mecánica (INIA, 2009).

2.5.3 Hojas

Generalmente tienen forma acorazonada, poseen una textura rugosa con pubescencia o sin ella, lo cual depende del cultivar. Las hojas de los dos ó tres primeros pares de la base del tallo son opuestas y las demás alternas. El número

varía entre 20 y 40, dependiendo del cultivar y condiciones ambientales donde se desarrolle la planta (INIA, 2009).

2.5.4 Inflorescencia

La inflorescencia está formada por numerosas flores situadas en un receptáculo denominado capítulo, produciendo de 500 a 1500 semillas o granos. El diámetro de cada capítulo varía entre 10 y 40 cm., (Robles, 1985).

Es la estructura reproductora donde se forman los granos achenios, corresponde a una inflorescencia llamada capítulo que se ubica en la parte superior del tallo, compuesta por un receptáculo carnoso en el que se insertan las flores y éstas pueden ser de dos tipos:

a) Flores liguladas o estériles, se presentan en un número entre 30 a 70, dispuestas radialmente en una o dos filas. Las lígulas tienen de seis a 10 centímetros de longitud y de dos a tres centímetros de ancho. Su color varía entre amarillo dorado, amarillo claro o amarillo anaranjado, son las que se ubican en la periferia del capítulo, ésta coloración las hace muy llamativas, lo cual le permite atraer a los insectos polinizadores, y comúnmente son llamadas “pétalos”.

b) Las flores fértiles, son mucho más numerosas y se ubican en el centro del capítulo, se distribuyen concéntricamente hacia el punto central, cada una posee un ovario y un solo óvulo de cuya fecundación se afirma el fruto (grano o achenio) (INIA, 2009).

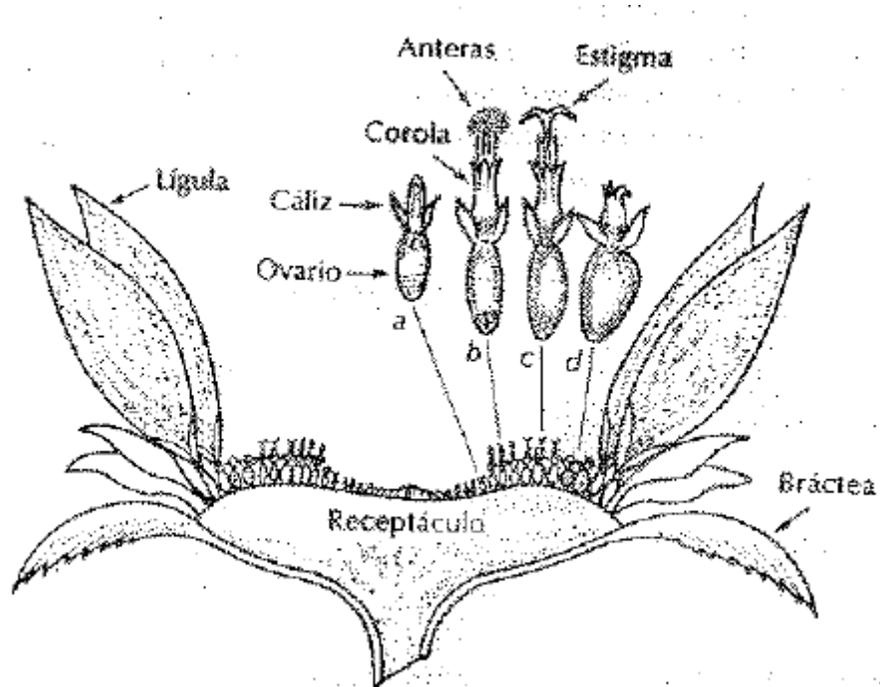


Figura 1. Inflorescencia o capítulo del girasol: a) antes de la apertura; b) al liberar el polen; c) con estigma receptivo; d) después de fecundada.

2.5.5 Fruto y semilla

Una vez fecundada la flor, el ovario se transforma en fruto y el óvulo en semilla. En botánica el fruto del girasol se llama aquenio, el cual es seco, indehiscente y se compone por el pericarpio y semilla. Comúnmente se denomina “semilla” o “grano”.

El pericarpio (cáscara) es seco, fibroso y está separado de la semilla (almendra) a la cual protege. Su color puede ser blanco, estriado (negro y blanco), negro, pardo o rojizo, pero los más comunes son el estriado y negro. El espesor de la cáscara cambia con las variedades. En lo general, la semilla de las variedades aceiteras es negra y tiene aproximadamente un 25% de cáscara. El aquenio (semilla) mide

alrededor de 4 a 6 mm de ancho por 8 a 12 mm de largo. El contenido de aceite oscila entre 40 y 55%, según la variedad y efectos del ambiente donde se produce la semilla. El peso del 1000 semilla varía entre 40y 80 gramos (Ortegón, 1993).

2.5.6 Heliotropismo

Se conoce con el nombre de “heliotropismo” la facultad de orientarse y cambiar de posición siguiendo la trayectoria del sol.

Antes de la floración, los capítulos en fase de desarrollo y hojas jóvenes se mueven siguiendo las trayectorias del sol. Los capítulos en desarrollo se orientan hacia el este al amanecer y van girando durante el día siguiendo la trayectoria solar hasta mirar al oeste al atardecer. Después de la floración las cabezas permanecen fijas orientadas hacia al este (Alfa, 1990).

2.6 Control de maleza

La invasión y desarrollo de maleza en el terreno se evita mediante el control mecánico, realizando inmediatamente después de la cosecha con lo que también se destruyen los residuos del cultivo anterior. Es necesita mantener al cultivo sin competencia de maleza durante los primeros 40 días después de la siembra, para lograrlo se efectúan uno o dos pasos de cultivadora y en casos críticos, se recurre al uso de herbicidas selectivos(Usabiaga, 2004)

En el cuadro 1 se muestran dos ejemplos para el control de malezamáscomún

Cuadro 1. Control químico de maleza en girasol.

HERBICIDA	EPOCA DE APLICACIÓN	DOSIS (kg/ha.ia)	MALEZAS
Trifluralina	Presiembra	0.6-1.1	Zacates anuales, quelite y amargosa
Atrazina	Presiembra	1.3-2.7	Anuales de hoja ancha y gramíneas

(ASAGIR 2003).

Control de plagas y enfermedades

Cuadro 2. Principales plagas y su control químico.

PLAGAS	INSECTICIDA	DOSIS (kg/ha.ia)	EPOCA
Palomilla del girasol	P. metílico 900 Melatioón 1000 Diazinon 25 Decametrína	0.9 1.0 0.80 0.0833	Si entre 10-20% de floración, se encuentra una larva por 20 capítulos. Se deberealizar una aplicación y de ser necesario, una segunda 5 o 7 días después.
Gusanos Trozadores <i>Agrotisipsilon</i> y <i>Peridromasavci</i>	Decametrina	8.33	Encuentre 3% o mas de plantas cortadas y gusanos de 1 a 2 cm de longitud. La aplicaciones deberán efectuarse por la tarde.
Gusano de aspinas <i>Vanesa Cardui</i>	P. metílico 900 Carbaril	900 800	Exista el 25% de defoliación y las larvas sean menores de 3 cm
Gusano Berrotero <i>Heliothissp.</i>	P. matilico	900	Existan mas de 2 larvas en promedio por capitulo.

(ASAGIR 2003).

2.7 Rendimiento

El girasol se cultiva principalmente en Rusia, Argentina, la Unión Europea, y los Estados Unidos de Norteamérica con superficies aproximadas de 7, 3, 2 y 1.2 millones de hectáreas respectivamente, la producción promedio de estos países varía de 0.92 a 1.74 t/ha⁻¹, (Schneiter, 1992).

2.8 Producción y Rendimiento

De acuerdo con los datos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés), la producción mundial de semilla de girasol ha crecido desde el ciclo 2000/01 al ciclo 2008/09 un 45.8%, a una Tasa Media Anual de Crecimiento (TMAC) de 4.8%. Este incremento obedece tanto a un incremento de la superficie cosechada en ese período, como a la mayor productividad lograda por hectárea.

Figura 2. Producción y Rendimiento de Semilla de Girasol en el Mundo



El rendimiento de girasol, como el de cualquier cultivo, es función de la interacción genotipo-ambiente que depende tanto del material genético como de las prácticas de cultivo. El mejoramiento genético del girasol se ha dirigido a incrementar el rendimiento y contenido de aceite. En unas variedades cultivadas el contenido promedio de aceite es de 35.7%, y de 28% en la población silvestre, (Haro *et al.* 2007), además que el contenido de aceite es un carácter determinado predominantemente por el genotipo materno, subrayaron que los esfuerzos prosiguen para la obtención de líneas prometedoras(Lozano *et al.*,2010).

2.8.2 Producción de semilla de girasol en México

La producción de la semilla de girasol ha presentado grandes fluctuaciones, aunque en los últimos dos años la tendencia ha sido claramente a la baja hasta llegar a sólo 5.33 toneladas de semilla producida en 2008, cifra que representó una disminución de 22.8% respecto al año anterior y 92.4% respecto al año 2000 (FINANCIERA RURAL, 2010).

Cuadro 3. Producción de la Semilla de Girasol en México

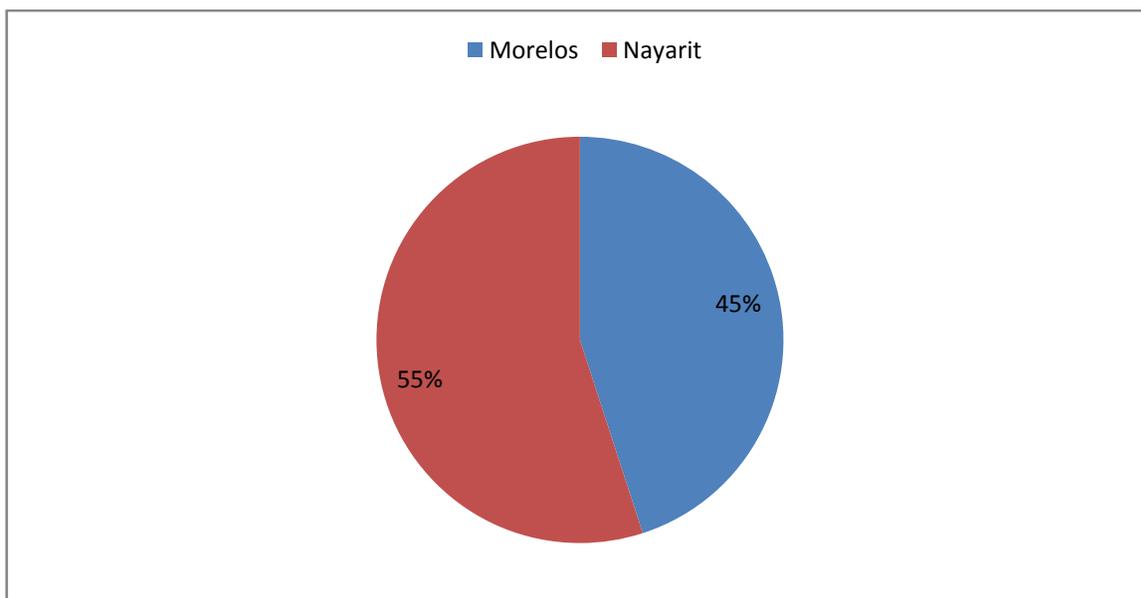
Año	Producción ¹	Superficie ²		Rendimiento ³			Precio medio rural ⁴
		Sembrada	Cosechada	Riego (R)	Temporal (T)	R+T	
2000	70.45	120.00	100.00	0.93	0.31	0.71	4,211.82
2001	672.50	187.50	184.50	4.65	2.27	3.65	1,497.42
2002	66.40	66.00	56.00	1.58	0.57	1.19	1,992.02
2003	154.79	1,484.00	124.00	2.87	1.12	1.25	4,158.41
2004	232.00	104.00	90.00	2.67	2.25	2.58	3,129.31
2005	31.10	23.50	21.50	1.45	N/E	1.45	2,418.01
2006	178.27	174.90	174.00	1.02	N/E	1.02	4,922.91
2007	6.90	3.40	3.40	2.03	N/E	2.03	6,465.22
2008	5.33	3.50	3.50	1.52	N/E	1.52	6,026.27

Fuente: Con base en datos de SIAP-SAGARPA 1/ Toneladas, 2/ Hectáreas, 3/ Ton/ha , /4 Pesos por tonelada. N/E: no existen datos

2.8.3 Principales Estados Productores

Desde el año 2000 han sido diferentes estados los que han producido esta semilla, como Campeche, Chiapas, Chihuahua, Durango, entre otros. Sin embargo, solo Morelos y Nayarit han sido constantes.

Figura 3. Principales Estados Productores de Semilla de Girasol en México en 2008



Fuente: Con base en datos de SIAP-SAGARPA. En los años 2007 y 2008 los estados de Nayarit y Morelos fueron los únicos productores. En 2008 Nayarit produjo 2.93 toneladas (55% de la producción nacional), mientras Morelos produjo 2.4 toneladas (45%).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del sitio experimental

Este estudio se realizó en el campo experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmosfera CENID RASPA del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en Gómez Palacio Durango.

3.2 Localización geográfica donde se realizó el estudio

Se ubica en la comarca lagunera en el municipio de Gómez Palacio, Durango. El sitio experimental se localiza entre las coordenadas geográficas 25° 31' 57" LN y 103° 25' 57" LO, a una altitud de 1139 m, en la parte sureste de Coahuila y noreste de Durango (Méndez *et al.*, 2004).

El clima de la Comarca Lagunera es de tipo desértico, muy árido y cálido, con escasa humedad atmosférica, precipitación anual promedio de 250 mm en la mayor parte de la región y 450 mm en la zona montañosa oeste, con evaporación media anual de 2600 mm y temperatura media anual de 22°C. La lluvia es en verano, con lluvia invernal que representa de 5 a 10.2% del total anual (García, 1988).

3.3 Análisis de suelo

Antes de iniciar la investigación, se realizó un análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo clasificándose como XerosolHáplico de acuerdo a la FAO/UNESCO modificada por INEGI y pertenece a la serie Coyote, de representatividad regional con suelo profundo, con poca variabilidad de textura (migajón arcilloso). El agua utilizada en el estudio es clasificada como: C1S1 bajo en contenido de sales y sodio (Richards, 1977).

3.3.1 Análisis de suelo

Cuadro 4. Análisis físicos del suelo

ANALISIS FÍSICO	
Arena (%)	18.75
Limo (%)	47.5
Arcilla (%)	33.75
Capacidad de campo (CC, %)	28.12
Punto de marchitez permanente (PMP, %)	15.11

En Cuadro 4. Se presenta el análisis de suelo que se realizó para determinar las características físicas, en base a estos datos poder calcular las laminas de riego requeridos en cada tratamiento

Practica cultural

3.5Preparación del terreno

Barbecho

El barbecho se realizó esta labor a una profundidad de 30 cm, con el propósito de incorporar al suelo los residuos de la cosecha anterior, destruir plaga invernante y aflojar la capa arable y así favorecer el mejor desarrollo radicular de la planta.

Rastreo

Esta práctica se realizó después del barbecho con el fin de romper y desmenuzar los terrones formados durante el barbecho, para proporcionar una adecuada cama de siembra y finalmente lograr un buen establecimiento del cultivo.

Bordeo

Los bordos o surcos fueron trazados a una separación de 80 cm con una altura de 20 cm.

3.6.1Siembra

La siembra se hizo el 1 de julio de 2011; la cual fue con sembradora de precisión, en surcos de 80 cm de anchos a una distancia de 25 cm entre plantas, El material vegetativo que se utilizado fue la variedad madero 91.

3.6.2 Germinación

El día miércoles 6 de julio comenzaron a emerger la plántula, para el día viernes 8 de julio terminaron de emerger las plantas del experimento obteniendo una densidad de 62,000 plantas ha⁻¹.

3.6.3 Riego

Para la germinación de la semilla se realizó el riego de aniego con el mismo porcentaje de humedad para tener el mismo vigor de germinación, los riegos de auxilio se realizaron dependiendo a los porcentajes de humedad en cada tratamiento, para lo cual se monitoreó el contenido de humedad del suelo utilizando el método de reflectometría, (TDR) y el gravimétrico como método estándar de calibración basado en la toma de muestras del suelo con barrenas tipo vehimeyer. Para ser más precisos, en la reposición de la humedad se determinó el volumen de agua requerido, y fue aplicado y medido mediante un medidor volumétrico.

3.6.4 Fertilización

Se aplicó al momento de realizar el riego de aniego la fórmula 120-60-0 (N-P-K) y una segunda dosis para el primer riego de auxilio, aplicando la misma cantidad de fertilizante en cada uno de los tratamientos.

3.7 Metodología

Para determinar los KC, el girasol se sembró en un lisímetro de pesada de 1.8 de ancho y 3.60 m de largo, se desarrolló bajo condiciones no restrictivas de humedad; condición indispensable para obtener la evapotranspiración máxima de cultivo, para lo cual se estableció un régimen de humedad hídrico en el suelo del lisímetro entre un rango de 0.051–0.101 MPa de tensión de humedad; además, el terreno circunvecino restante se manejó en forma similar a la del lisímetro con el fin de evitar el efecto de orilla y condiciones de advección.

En la determinación de los grados día de crecimiento durante el ciclo del girasol se utilizó la metodología de la curva seno, la cual toma en cuenta la temperatura máxima y mínima, la temperatura base del cultivo y temperatura máxima a la cual su desarrollo no es afectado.

Considerando que los grados día de crecimiento acumulados son una analogía de un reloj fisiológico en la ocurrencia de cada una de las fases de crecimiento de los cultivos, se propone un modelo donde los coeficientes de cultivo estén en función de los grados día de crecimiento acumulados durante el ciclo vegetativo del girasol (Sammiset *al.*, 1985; Inzunza y Mojarro, 1994). Este modelo tendría una mayor generalidad de resultados a los modelos generados por ser este un parámetro con más carácter físico que el tiempo en días o en calendario juliano.

Estos autores proponen en lugar de éste último, utilizar los grados día de crecimiento acumulados como un parámetro climático con mayor carácter físico y extrapolabilidad de resultados a otras regiones de condiciones climáticas diferentes

donde se realizó el estudio. Esta relación está contenida en un polinomial de tercer orden en la ecuación 2.

$$KC = b_0 + b_1 \sum UCa + b_2 \sum UCa^2 + b_3 \sum UCa^3 \quad (2)$$

Donde UCa = grados día de crecimiento acumulados al período i, b_i = coeficientes de la regresión.

Los datos generados en este trabajo fueron la evapotranspiración máxima del girasol (mm), grados día de crecimiento acumulados a un periodo de crecimiento y evapotranspiración de referencia. Estas variables se relacionaron al modelo 2 mediante la técnica de regresión múltiple para lo cual se utilizó el software estadístico del SAS (SAS, 1999).

3.8 Tratamientos

Para la obtención de la función de producción del girasol, en el trabajo se incluyeron 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 madurez fisiológica del girasol. Los niveles de estudio para la primera etapa (de emergencia a inicio de floración) fue: 40, 60, 80, 100% de la humedad aprovechable consumida del suelo (HAC_1) por el girasol. Similarmente para la segunda etapa (inicio de floración a madurez fisiológica del grano) se ensayaron los mismos niveles de estudio (HCA_2)

3.9 Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron, el rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$), lámina de agua consumida, eficiencia de uso de agua que relaciona el rendimiento de grano con la cantidad de agua consumida ($kg\ m^{-3}$), y la evapotranspiración máxima del girasol para determinar el coeficiente de ajuste del cultivo (KC).

3.10 Diseño experimental utilizado

Los tratamientos fueron distribuidos de manera aleatoria en el campo, en base a un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Cada unidad experimental fue de una superficie de $20\ m^2$ (4.0 m de ancho por 5.0 m de largo). Para la selección de los tratamientos se utilizó el arreglo de tratamientos San Cristóbal para dos factores, con el cual se eligen solo siete tratamientos en forma estratégica de un total de 16 combinaciones del original 4×4 . 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.

Cuadro 5. Tratamientos de humedad del suelo aplicados en el cultivo del girasol

Tratamientos	Etapa 1, de emergencia a floración (HAC₁)	Etapa 2, de inicio de floración a madurez fisiológica (HAC₂)
1	40	40
2	40	80
3	60	60
4	60	100
5	80	40
6	80	80
7	100	60

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Contenido de humedad en los diferentes tratamientos en campo

En el cuadro 6 se presentan los valores del régimen de humedad a los que se sometió el cultivo de girasol. El rango del contenido de humedad aprovechable consumida fluctuó del 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 tanto para el tratamiento 100-60 como el 60-100 de condiciones hídricas restrictivas. En la lámina consumida por el girasol, el mayor consumo fue de 35.10 cm en la primera etapa, presentada en el tratamiento 40-40 de condiciones más húmedas que el resto. El menor consumo se mostró en el tratamiento 100-60 con 24.36 cm lámina de riego bajo contenido de humedad en la etapa vegetativa del girasol.

Cuadro 6. Contenido de humedad en los diferentes tratamientos en el cultivo de 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	35.10	33.60	4.42	0.642
40-80	43.3	82.1	35.10	25.19	3.80	0.630
60-60	58.8	60.5	31.14	28.12	5.46	0.922
60-100	57.7	100	31.14	22.16	2.40	0.452
80-40	79.8	44.4	28.16	32.09	3.94	0.655
80-80	83.3	81.4	28.16	26.21	4.09	0.752
100-60	99.6	60.7	24.36	33.45	2.78	0.475

HAC₁ y HAC₂ = humedad aprovechable consumida en las dos etapas del girasol; LC₁ y LC₂ = lámina consumida en las dos etapas estudiadas; R= rendimiento promedio del grano de girasol; EUA= eficiencia de uso del agua.

4.1 Rendimiento de grano

En el análisis de varianza para esta variable respuesta que se presenta en el Cuadro 1 del apéndice, mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos lo que significa que el girasol responde diferente a los tratamientos de estrés de humedad en el suelo.

En la figura 4. Se muestra el comportamiento del rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$) del girasol como respuesta a los diferentes tratamientos de humedad del suelo. El más alto rendimiento se obtuvo en el tratamiento 60-60, de la HAC en las dos etapas fenológicas del girasol, con un rendimiento de grano promedio de $5.5\ t\ ha^{-1}$. Le siguen en orden decreciente los tratamientos 40-40, 80-80, 80-40, 40-80 del %HAC con una producción de 4.42, 4.09, 3.09, $3.80\ t\ ha^{-1}$ respectivamente por último los tratamientos 100-60 y 60-100, que presentaron los menores rendimientos con 2.78 y $2.40\ t\ ha^{-1}$ respectivamente. Estos dos últimos tratamientos se caracterizaron por crecer bajo condiciones extremas de estrés de humedad durante una de las etapas bajo estudio.

El análisis de comparación de medias para esta variable respuesta Figura 4, señala en forma precisa el comportamiento descrito anteriormente: El tratamiento 3 presentó el mayor rendimiento y fue estadísticamente superior en $t\ ha^{-1}$ al resto de los tratamientos bajo estudio. Este tratamiento de acuerdo al Cuadro 6, se desarrolló en la etapa reproductiva bajo 58.8 y con 60.5 de %HAC que significan condiciones intermedias de la humedad del suelo. Los tratamientos 4 y 7 presentaron estadísticamente el más bajo rendimiento que las restantes

combinaciones de la HAC, estos tratamientos fueron severamente estresados por la restricción de humedad a la que fueron sometidos en una de las etapas bajo estudio, hasta alcanzar el punto de marchitez permanente del suelo.

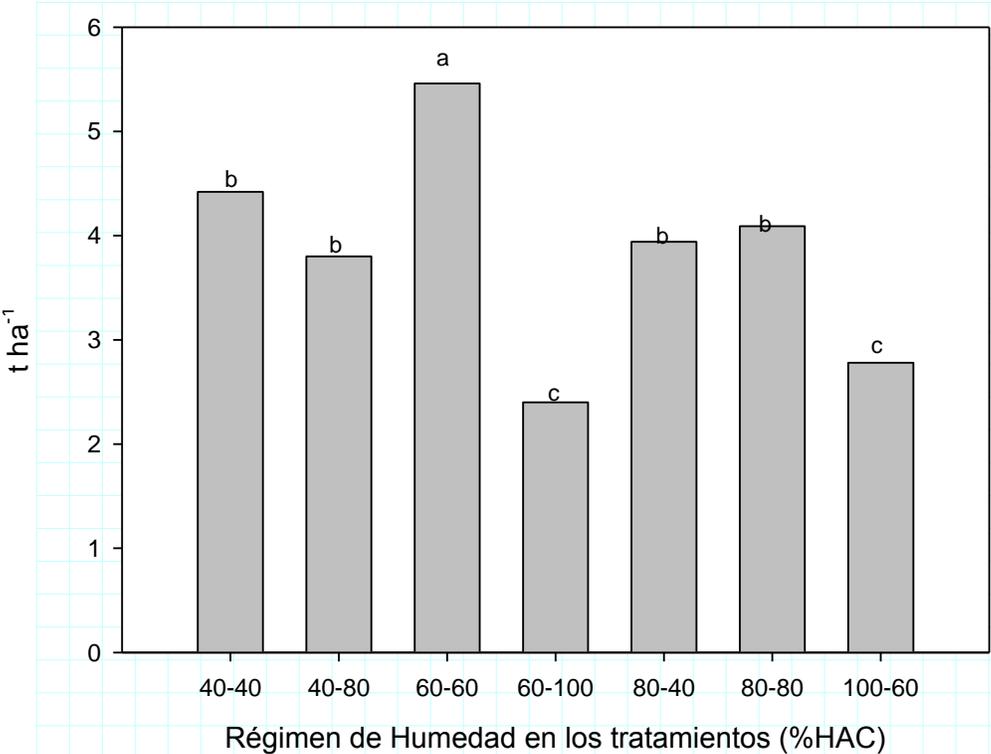


Figura 4. Rendimiento en el cultivo de girasol con diferentes porcentajes de humedad en el suelo

4.2 Eficiencia en uso de agua (kg m⁻³)

La información de los resultados de la eficiencia de uso del agua del girasol fueron analizados estadísticamente mediante el análisis de varianza (Cuadro 2 del apéndice), donde se concluyó que los tratamientos presentaron diferencias altamente significativas por lo que la respuesta del girasol fue diferente a los

diferentes déficit hídricos en el suelo. Los datos observados para esta variable respuesta se muestran en la figura 5 junto con los resultados del análisis de comparación de medias. De acuerdo a esta figura se deduceLa eficiencia de uso de agua del cultivo de girasol se muestra en la figura 5. Donde el tratamiento 3 fue el más eficiente en la conversión del agua a producción de grano, este tratamiento de acuerdo al Cuadro 6, se desarrolló bajo una lámina de riego de 31cm para la primera etapa y 28 cm para la segunda que significan condiciones intermedias de láminas aplicadas. La mayor eficiencia en uso de agua se presentó en el tratamiento 60-60 con una eficiencia promedio de 0.922 Kg/m^3 de agua utilizada, en cambio la eficiencia en los tratamientos 80-80, 80-40, 40-40 y 40-80 se obtuvieron valores de EUAsimilares entre ellos de 0.75, 0.65, 0.64 y 0.63 kg m^{-3} respectivamente, finalmente los tratamientos 60 -100 y 100 – 60, presentaron las mas bajas eficiencias en el uso del agua con 0.475 y 0.752 kg m^{-3} respectivamente debido al alto déficit hídrico en el suelo al que fueron sometidos en una etapa fenológica bajo estudio.

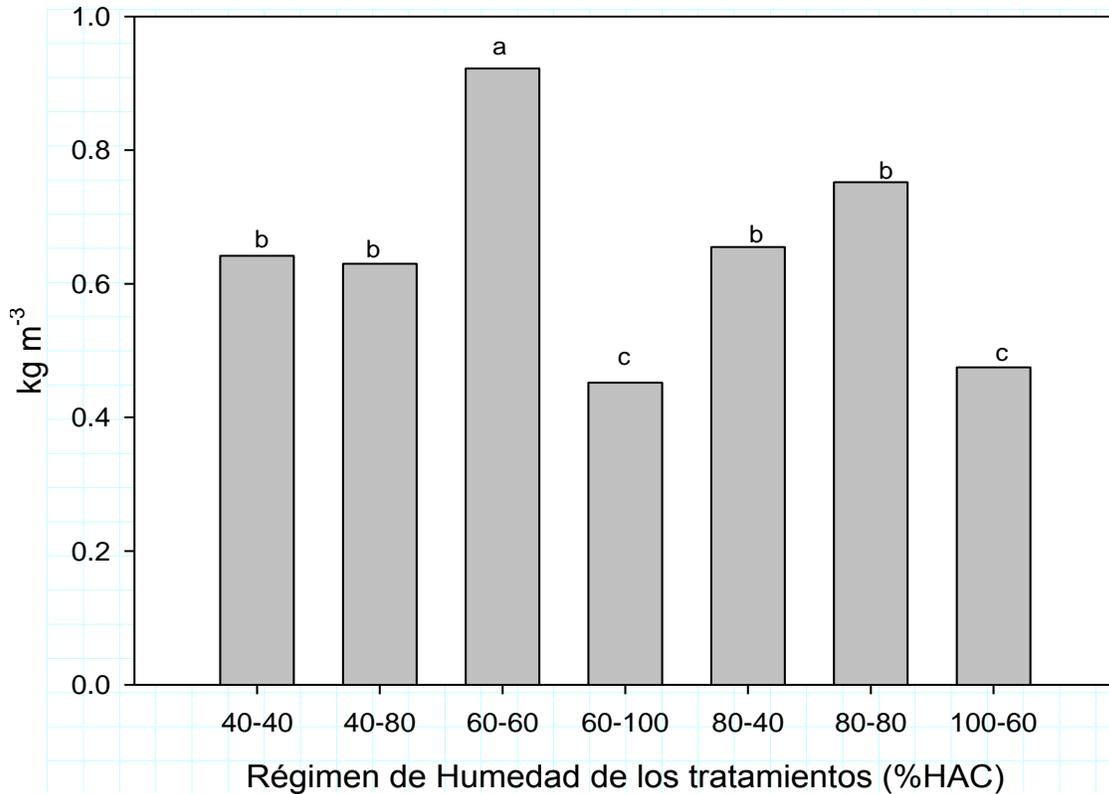


Figura 5. Eficiencia de uso del agua del girasol en los tratamientos ensayados.

4.3 Modelo de producción del rendimiento del grano al régimen de humedad del suelo.

En el análisis realizado en el paquete estadístico SAS, se ajustaron los datos observados del rendimiento del grano de girasol (R) como variable dependiente, y la humedad aprovechable consumida al momento del riego (HAC) como variable independiente, obteniendo el modelo de mayor confiabilidad y se muestra como ecuación 1.

$$R = -5.60445 + 0.16188 \cdot HAC_1 + 0.19991 \cdot HAC_2 - 0.00173 \cdot HAC_1^2 - 0.002 \cdot HAC_2^2 + 0.0008 \cdot HAC_1 \cdot HAC_2$$

$$R^2 = 0.93 \quad CV = 7.5\% \quad (1)$$

Donde los coeficientes de la regresión que integra el modelo, fueron altamente significativos por lo que contribuyen en el modelo de respuesta del girasol. De acuerdo a sus parámetros estadísticos del coeficiente de determinación (R^2) y del coeficiente de variación (CV), el modelo obtenido explica en forma satisfactoria el fenómeno representado.

Posteriormente se realizó el análisis de optimización de la función obtenida de acuerdo a la teoría de máximos y mínimos del cálculo diferencial e integral (Martínez, 1988), de este análisis se concluye que el girasol maximiza su producción de grano a 5.5 t ha^{-1} , al desarrollarse bajo un régimen de humedad del suelo equivalente al 60.5 y 61.6 de la humedad aprovechable consumida del suelo al momento del riego, para la etapa vegetativa y reproductiva respectivamente (Figura 6).

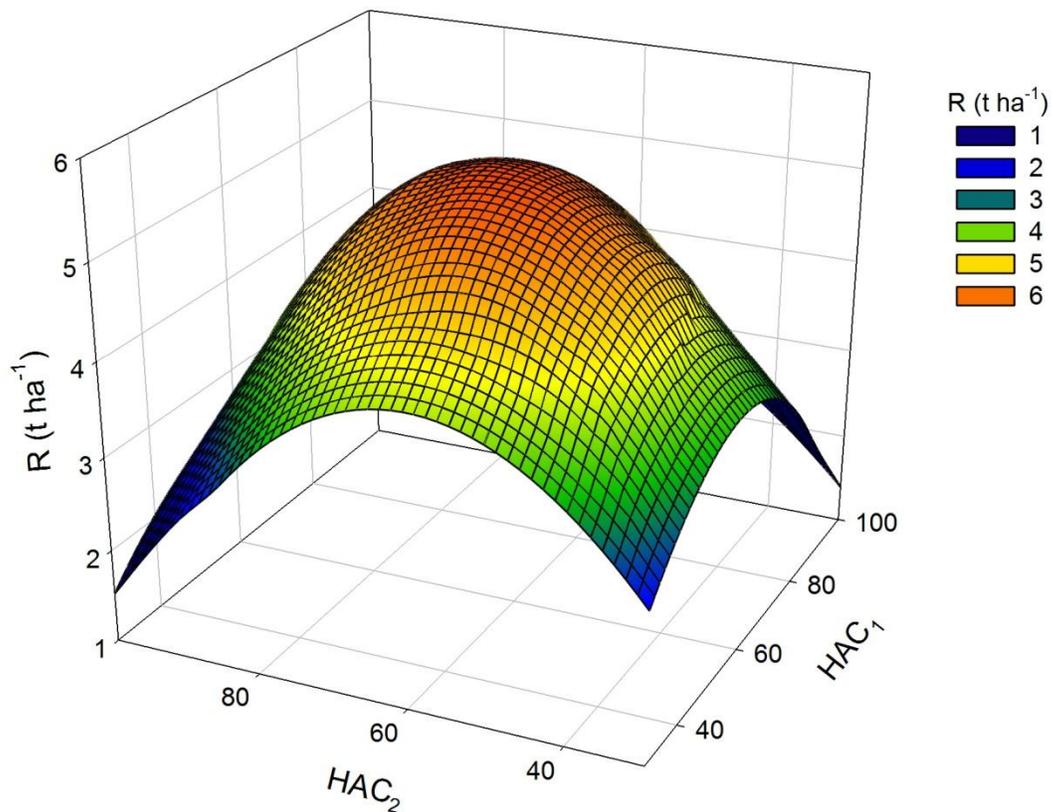


Figura 6. Modelo de producción del rendimiento del grano a régimen de humedad del suelo.

4.4 Modelo de rendimiento de grano en base alámina de agua consumida o evapotranspiración actual.

Después de realizar el análisis de regresión con el SAS, entre ambas variables para determinar la relación entre el rendimiento de grano del girasol y la lámina de agua consumida en cada tratamiento, resulto el modelo 2.

$$R = -50.5588 + 0.9236 \cdot LC_1 + 2.7244 \cdot LC_2 - 0.0188 \cdot LC_1^2 - 0.0519 \cdot LC_2^2 + 0.0109 \cdot LC_1 \cdot LC_2$$

$$R^2 = 0.87 \quad CV = 10.3 \% \quad (2)$$

Donde los coeficientes de regresión estimados, fueron significativos y contribuyeron a explicar la relación de variables bajo estudio. De acuerdo a sus parámetros estadísticos encontrados en el modelo ajustado en este estudio tiene una capacidad de predicción que resulta satisfactoria (Figura 7) para este tipo de relaciones biológicas complejas donde interviene diversos factores de la planta, del suelo y ambientales.

Al realizar el análisis de optimización de la función se obtiene que el girasol maximiza su producción de grano, al consumir 33.1 y 29.7 cm de lámina de agua, en la etapa vegetativa y reproductiva respectivamente (Figura 7).

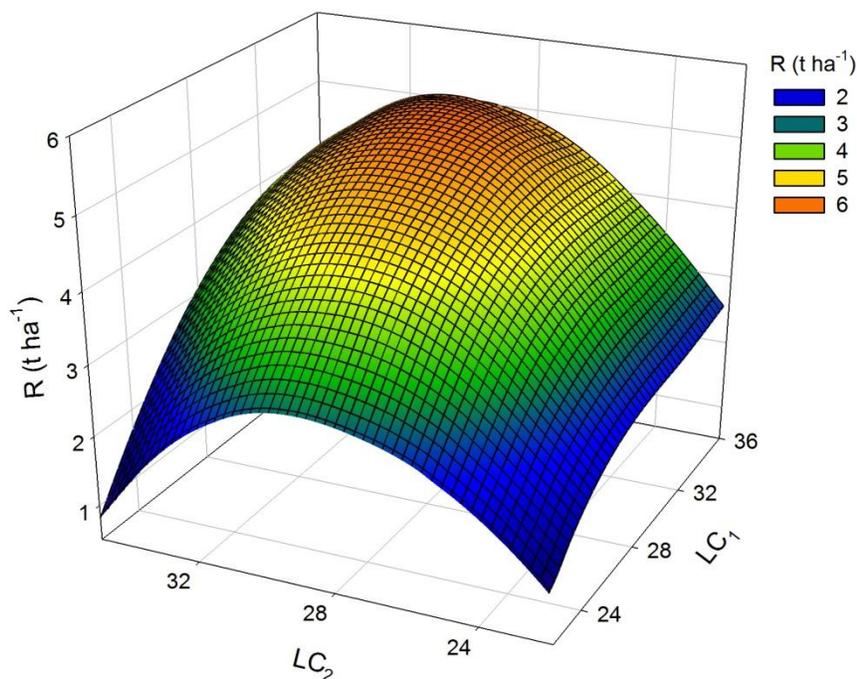


Figura 7. Modelo de rendimiento de grano en base a lámina de agua consumida.

4.5 Requerimientos de unidades calor para girasol.

Los resultados de los requerimientos de grados día de crecimiento para el girasol establecido en el lisímetro de pesada de alta precisión son presentados en la Figura 8. Se tomó como temperatura base para el girasol el valor de 8 °C y de 38°C como temperatura máxima (Villalpando *et al.*, 1991). La figura muestra los valores acumulados de los grados día de crecimiento a los cuales se presentaron los principales eventos fenológicos del cultivo como la emergencia, la formación del receptáculo, el inicio de floración, la floración plena, el llenado de granos y la maduración fisiológica, principalmente. Los grados día de crecimiento fueron un reloj fisiológico de su desarrollo ya que conforme las temperaturas se presentaban más elevadas, las etapas aparecían más temprano que a diferencia cuando la temperatura era baja, existía un retraso en la presentación de los períodos fisiológicos.

4.6 Evapotranspiración máxima (E_{tm}) del girasol

Los datos obtenidos de evapotranspiración máxima del girasol creciendo en el lisímetro gravimétrico de alta precisión fueron generados diariamente y fueron utilizadas como el cociente en la determinación de los coeficientes de desarrollo del girasol. Su comportamiento fue bien definido: tasas evapotranspirativas bajas en el período de emergencia a inicio de floración, posterior a este período, se observan demandas evapotranspirativas más altas por el cultivo justamente durante el período de floración, después de floración y llenado de granos (Figura 8). En este último

evento se presentaron demandas del cultivo de casi 12.5 mm diarios de agua y esta demanda fue sostenida por un periodo corto de tiempo para después declinar hasta alcanzar la madurez del grano donde después de este evento fenológico la demanda de agua del cultivo se reduce drásticamente hasta alcanzar la madurez fisiológica.

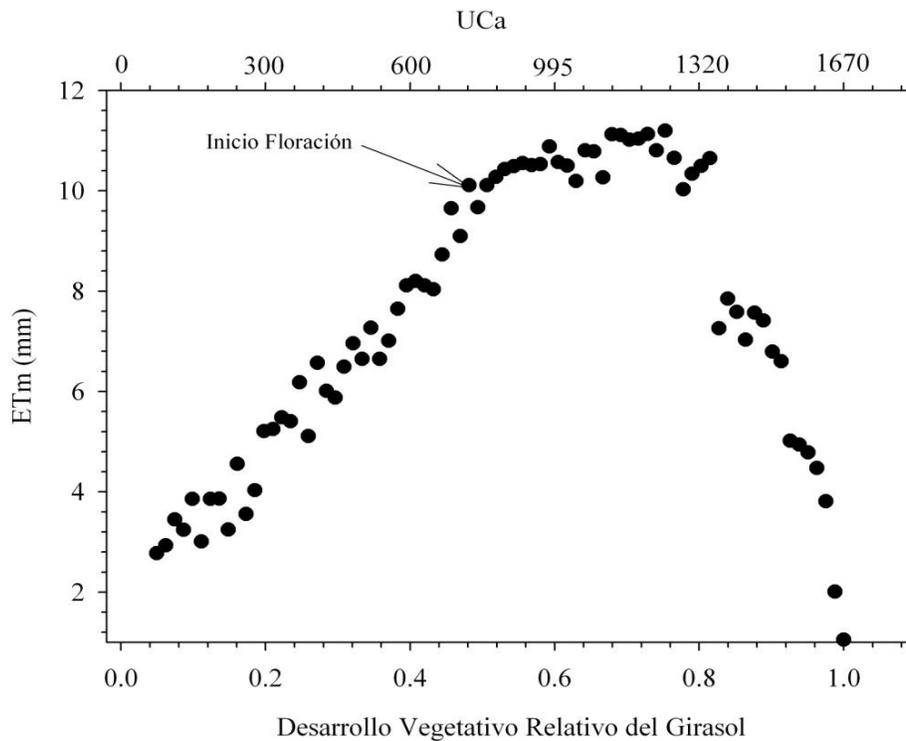


Figura 8. Evapotranspiración máxima del girasol (ETm), obtenida con el lisímetro de pesada durante el desarrollo vegetativo del cultivo y sus requerimientos de grados día de crecimiento (UCa).

4.7 Obtención del coeficiente de ajuste del cultivo

El coeficiente de ajuste por el desarrollo del cultivo del girasol (KC), se determinó de acuerdo con la relación $(ETm ETr^{-1})$ los resultados se presentan en la figura 9. Este parámetro se presenta con su típico comportamiento de los cultivos anuales durante su desarrollo vegetativo, el cual es puntualizado con base a los

grados día de crecimiento para este cultivo. El comportamiento de los KC a través del ciclo vegetativo del girasol fue como sigue: en el inicio del período vegetativo del cultivo y hasta antes de la floración, se presentaron bajos valores del coeficiente de desarrollo entre 0.1 a menos de la unidad, estos se incrementaron conforme al desarrollo del cultivo alcanzaba la floración y el llenado de granos con valores pico de KC superiores a 1.6. Los valores de esta relación empezaron a disminuir drásticamente después de la maduración del grano para acercarse a cero después que el cultivo alcanzó la madurez fisiológica del grano. El valor mayor del coeficiente de ajuste se registró durante la floración y llenado de grano y correspondió al valor de $KC = 1.6$, esto significa que la demanda hídrica del complejo planta-atmósfera superó en un 60% la demanda evaporativa del medio ambiente.

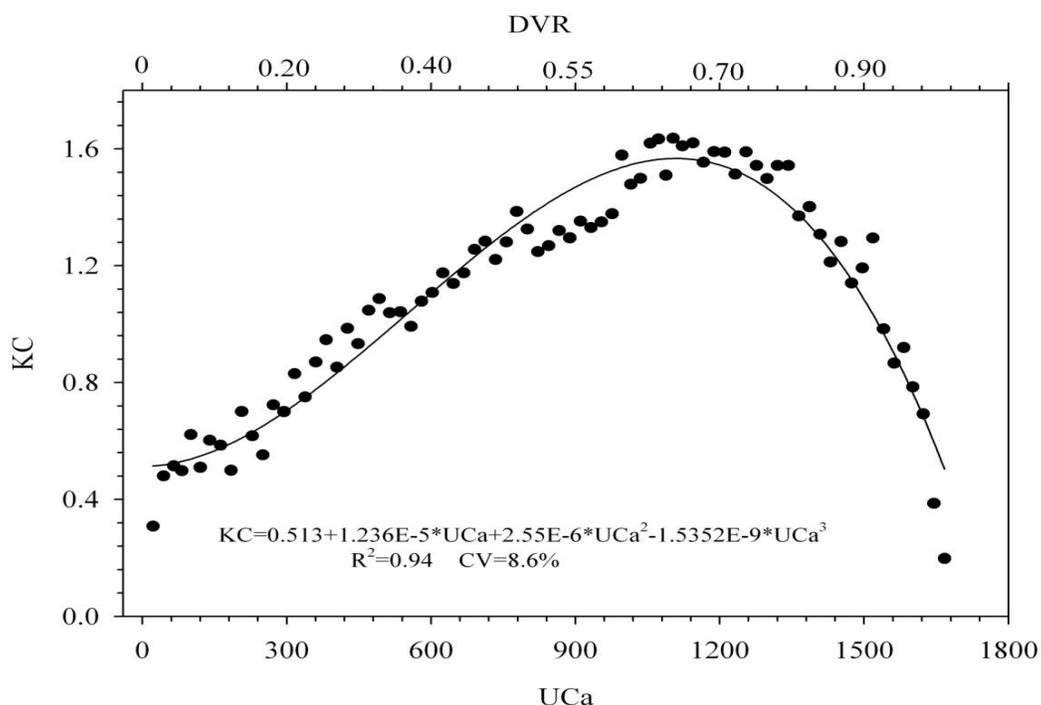


Figura 9. Coeficiente de ajuste por desarrollo del girasol (KC) en base a los grados día de crecimiento (UCa) y desarrollo vegetativo relativo (DVR).

Los valores menores se presentaron como era de esperarse, al iniciarse el ciclo vegetativo y al término de éste por la baja demanda evapotranspirativa del cultivo.

Con el propósito de lograr una mayor generalidad en la predicción de los KC, estos fueron relacionados con los grados día de crecimiento acumuladas (UCa), en lugar del desarrollo vegetativo relativo del girasol. Los datos fueron ajustados al modelo propuesto por Sammis *et al.*, (1985). La función obtenida por regresión múltiple fue el modelo 3

$$KC = 0.0513 + 1.236E-5*UCa + 2.55E-6*UCa^2 - 1.5352E-9*UCa^3 \quad (3)$$

$$R^2 = 0.94 \quad CV = 8.6\%$$

Como se observa gráficamente en la Figura 9, la predicción del modelo obtenido es bastante satisfactoria y esto se comprueba con los parámetros estadísticos del coeficiente de determinación del 94% y del bajo valor del coeficiente de variación de 8.6 %.

V. CONCLUSIONES

El cultivo maximiza su producción de grano de 5.5 t ha^{-1} cuando se desarrolló a un déficit hídrico en el suelo de 65.5 y 61.6% de la humedad aprovechable consumida para la etapa vegetativa y reproductiva respectivamente

El máximo rendimiento se presentó al consumir una lámina de 33.1 y 29.7 cm de agua durante la etapa vegetativa y reproductiva, respectivamente.

El cultivo de girasol mostró mayor eficiencia de uso de agua de 0.922 kg m^{-3} en el tratamiento que se desarrolló con un régimen hídrico en el suelo de 65.5 y 61.6 % de la humedad aprovechable consumida y con un consumo de agua de 33.1 y 29.7 cm, en la etapa vegetativa y reproductiva, respectivamente.

Se determinó un ajuste satisfactorio al modelo polinomial de tercer orden para representar el comportamiento de los datos de los coeficientes de ajuste por desarrollo del girasol, generados por medio de lisimetría, durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo.

El modelo obtenido tiene la característica de proporcionar mayor generalidad de los coeficientes de ajuste por desarrollo ya que involucró parámetros con más carácter físico como son los grados día de crecimiento, en lugar de los modelos que relacionan los KC en función del calendario juliano o el desarrollo vegetativo en días.

VI. LITERATURA CITADA

SIAP-SAGARPA, 2010. Monografía de la Semilla de Girasol.http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd31/texto/agroecologia.htm

ASAGIR, 2003. EL Cultivo de Girasol. Asociación Argentina de Girasol.www.asagir.org.ar/Publicaciones/cuadernillo_web.pdf.

Alfa, A. Llanos, M. 1990. El cultivo del girasol. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España.

Bandyopadhyay, P.K., S. Mallick and S. K. Rana. 2005. Water balance and crop coefficients of summer-grown peanut (*Arachis hypogaea* L.) in a humid tropical region of India. *Irrigation Science* 23:161-169.

Bailón S. A. L. 2002. "Obtención de girasoles (*Helianthus annuus* L.) Compactos para maceta mediante el uso de Retardantes Químicos (Placlobutrazol). Tesis de licenciatura UAAAN_UL Departamento de Horticultura. Torreón Coahuila. México.

Escalante-Estrada L., Y. Escalante Estrada y C. Linzaga-Elizalde. 2007. La fertilización nitrogenada en el rendimiento del girasol en México. *Agronomía Costarricense* 31 (2): 95-100.

FONAIAP, 1989. Divulga N° 31 Enero-Junio.http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd31/texto/agroecologia.htm

- García, M. E. 1988.** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Kope (para adaptarlos a las condiciones de la república Mexicana). 4ª Edición. Talleres Offset Larios. México, D.F. 220 p.
- Hunsaker D. J., P. J. Pinter, H. Cai. 2003.** Alfalfa basal crop coefficients for FAO-56 procedures in the desert southwestern US. Trans. ASAE 45:1799-1815.
- INIA. 2009.** Manual para el cultivo de girasol. Instituto Nacional de investigaciones Agrícolas. Araure, Venezuela. (Serie B N° 20).
- Inzunza, M. A. y F. Mojarro. 1994.** Simulación del coeficiente de cultivo con base en unidades térmicas. Terra 12: 289-296.
- Karam, F, R. Lahoud, R. Masaad, R. kabalan, J. Breidi, C. Chalita, Y. Rouphael 2007.** Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. Agric. Water Manage. 90:213-223.
- Moroke, T S., R.C. Schwartz, K.W. Brown, A.S.R. Juo. 2011.** Water use efficiency of dryland cowpea, sorghum and sunflower under reduced tillage. Soil&TillageResearch 112:76-84.
- Ortegón, M. A. S., Escobedo M. A., Loera G. J., Días F. A., Rosales R. E., 1993.** El girasol. Editorial Trillas. S.A. de C.V. México DF.
- Robles, S. R. 1985.** Guía para la asistencia técnica. Campo de investigación Agrícola Norte-Centro. Matamoros Coahuila México.

Richards L.A. 1977. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos.
Editorial Limusa México.

Sammis, T.W.; C.L. Mapel; D.G. Lugg; R.R. Lansford and J.T. Mc Guckin. 1985.
Evapotranspiration crop coefficients predicted using growing-degree days.
Transactions of the ASAE 28: 773-780.

SAS Institute. 1999. SAS/STAT User's guide, Version 8 edition. Cary, NC, USA.

Saumell, P. 1980. Girasol, técnicas actualizadas para su mejoramiento y cultivo.
Segunda Edición. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina.

Schneiter, A. A. 1992. Producción of semidwarf and dwarf sunflower in Northern
Great Plains of the United States. Field Crops Res. 30: 391-401.

Tyagi, N. K., D. K. Sharma and S. K. Luthra. 2000. Determination of
evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with Lysimeter.
Agricultural water management 45:41-54.

Villalobos R. S., J. Z. Castellanos , L. Tijerina y G. Crespo. 2005. Coeficientes de
desarrollo del cultivo de brócoli con riego por goteo. Terra Latinoamericana
23:329-333.

Villalpando, J.F., S. De la P. Hurtado y R.R. Nuño. 1991. Regiones agrícolas
eficientes para la producción de semillas. Notas de curso. Guadalajara Jal.

APÉNDICE

Cuadro 1. Análisis de varianza para rendimiento de grano del girasol ($t\ ha^{-1}$)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
Bloques	3	0.123	0.0411	0.43
Tratamientos	6	24.908	4.1514	43.4**
Errores	18	1.7219	0.0957	0.0001
CV (%)			8.05	

Cuadro 2. Análisis de varianza para eficiencia del uso de agua ($kg\ m^{-3}$)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
Bloques	3	0.0046	0.0015	0.55
Tratamientos	6	0.6129	0.1032	37.08**
Errores	18	0.0501	0.0027	0.0001
CV (%)			8.15	