

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN DE USO DEL AGUA EN EL CULTIVO DE
CANOLA (*Brassica napus. L*)**

Por

HÉCTOR ARMANDO DÍAZ MÉNDEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN DE USO DEL AGUA EN EL CULTIVO DE
CANOLA (*Brassica napus*. L.)**

POR

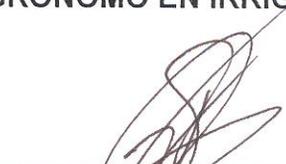
HÉCTOR ARMANDO DÍAZ MÉNDEZ

TESIS

**Que somete a la consideración del Comité asesor, como requisito
parcial para obtener el Título de**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Asesor principal:



Ph. D. VICENTE DE PAÚL ÁLVAREZ REYNA

Asesor :



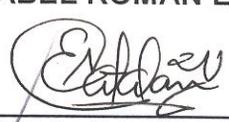
Ph. D. MARCO ANTONIO INZUNZA IBARRA

Asesor :

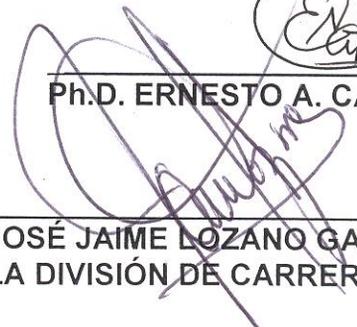


M.C. ABEL ROMÁN LÓPEZ

Asesor:



Ph.D. ERNESTO A. CATALAN VALENCIA



M. C. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Torreón, Coahuila, México

Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

FEBRERO 2006.

00145

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS QUE PRESENTA DEL C. HÉCTOR ARMANDO DÍAZ MÉNDEZ QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

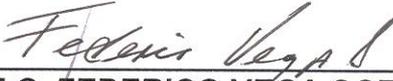
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

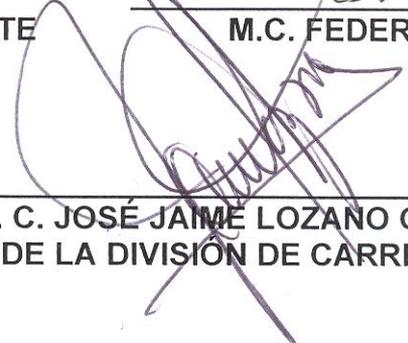
APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO 
Ph. D. VICENTE DE PAÚL ÁLVAREZ REYNA

VOCAL 
Ph.D. MARCO ANTONIO INZUNZA IBARRA

VOCAL 
M.C. ABEL ROMÁN LÓPEZ

VOCAL SUPLENTE 
M.C. FEDERICO VEGA SOTELO


M. C. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

AGRADECIMIENTOS

A MI "ALMA TERRA MATER", por brindarme la oportunidad de formar parte de esta gran familia y haberme cobijado durante cinco años en los cuales me brindo las herramientas suficientes para afrontar mi vida profesional.

Al CENID-RASPA, por permitirme utilizar sus instalaciones, herramientas y personal de trabajo que fueron de importancia para la realización de la presente investigación.

Al Ph.D. MARCO ANTONIO INZUNZA IBARRA, mi más sincero agradecimiento en especial por haber actuado como director de tesis y la oportunidad de realizar la presente investigación bajo su asesoría, orientación, revisión y sobre todo por el apoyo y amistad que me brindo durante la presente.

Al Ph.D. VICENTE DE PAÚL ALVAREZ REYNA, por su colaboración y asesoría en la realización de este trabajo y por su valiosa contribución en mi formación profesional durante mi carrera.

Al Ph.D. ERNESTO ALONSO CATALÁN VALENCIA, por su amistad y su colaboración de revisor en el presente trabajo.

Al M.C. ABEL ROMÁN LÓPEZ, por su valiosa contribución en mi formación profesional y la oportunidad de realizar la revisión de este proyecto.

Al Ing. Segundo Felipe Mendoza Moreno, por su incondicional amistad.

Al M.C. ERNESTO LUNA DAVILA, por el apoyo brindado en la etapa de estudiante y transmitir sin interés alguno todos sus conocimientos que serán de gran utilidad en la vida profesional.

Al M.C. FEDERICO VEGA SOTELO, por su amistad y apoyo incondicional en mi formación profesional.

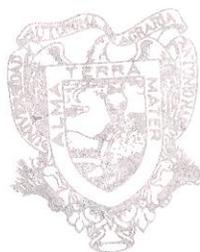
A TODOS MIS PROFESORES DE RIEGO Y Drenaje, gracias por tener la paciencia, comprensión y dedicación para formar grandes profesionistas.

A DIOS

Gracias a
todos los
grupos de

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

El presente trabajo de investigación se realizó en su totalidad en las instalaciones del Centro Nacional de Investigaciones Disciplinaria en Relación- Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA), del Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuaria (INIFAP), en Gómez Palacio, Durango. Bajo la dirección y asesoría del Ph.D. Marco Antonio Inzunza Ibarra, como asesor principal de este proyecto de investigación 2005-2006.



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

DEDICATORIAS

A DIOS.

Gracias te doy, Oh Dios, por otorgarme el amor y la oportunidad de vivir, por estar a mi lado dándome salud, enseñándome a compartir mi vida con los seres que quiero. Y Por alumbrarme mi camino de lograr mi carrera profesional.

A MIS PADRES

A la Sra. Marta Méndez Solís y el Sr. Miguel Díaz Arcos, por el infinito amor, cariño y comprensión, que me ha brindado día a día, y siempre ha luchado para sacarnos adelante, guiados por el buen camino, haciendo de mí un hombre de bien, por su esfuerzo y sacrificio hoy concluyo mi estudio profesional, a usted más que nadie le dedico este tributo con todo corazón gracias por todo.

A MIS HERMANOS

Juan, Nicolás, Porfirio, Alberto, Arturo, M^{te}. Clara, Isabel, Edith, Lucía, Martha y Romelia. Con todo cariño para ellos, por que me han demostrado que no hay meta inalcanzable, cuando existe el verdadero interés. De alguna manera siempre han estado apoyándome, para terminar mi carrera profesional.

A MIS SOBRINOS

Nicolás, José Ángel y Liliana por su compañía y cariño.

A MIS AMIGOS

Esatí, Eugenio, Esteban, Filiberto y Gregorio por su gran amistad de compañerismo que me han ofrecido durante la estancia de mi carrera profesional.

A MIS COMPAÑEROS DE LA XXXIV GENERACIÓN DE INGENIERIA EN IRRIGACIÓN 2001-2005.

Martini, José Carlos, Oscar, Genaro, Ameir Alain, Domitilo, Sergio Alberto y Jesús Antonio. Por ser excelentes compañeros y amigos.

A MI NOVIA

Magdiela Astudillo, con todo mi amor, por ser la persona a quien amo y a quien debo toda mi felicidad, por el apoyo incondicional y comprensión, por que contigo he compartido los momentos más bonitos de mi vida, aun a pesar de la distancia que nos ha separado durante todo este tiempo, hoy concluyo mi estudio profesional sigues estando en mis pensamientos y sobre todo en mi corazón, hemos sufrido mucho por la ausencia, pero recuerda que todo sacrificio tiene su recompensa, por ser el amor más grande que pueda existir, te amo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Páginas
AGRADECIMIENTO -----	i
DEDICATORIA -----	ii
ÍNDICE DE FIGURAS -----	vi
ÍNDICE DE CUADROS -----	vii
RESUMEN -----	viii
ABSTRACT -----	ix
I. INTRODUCCIÓN -----	1
II. OBJETIVOS -----	3
III. HIPÓTESIS -----	3
IV. JUSTIFICACIÓN -----	3
V. REVISIÓN DE LITERATURA -----	4
5.1. Características botánicas del cultivo -----	4
5.2. Origen geográfico de la especie Brassica napus -----	4
5.3. Clasificación -----	4
5.4. Germinación -----	5
5.5. Raíz -----	5
5.6. Tallos y ramificaciones -----	5
5.7. Hojas, Flores y Frutos -----	6
5.8. Requerimientos ambientales -----	6
5.9. Método de siembra -----	7
5.10. Malezas -----	7
5.11. Plagas y enfermedades -----	7
5.12. Fertilización -----	8
5.13. Cosecha -----	8
5.14. Irrigación en canola -----	8
5.15. Eficiencia de riego -----	10
5.16. Lisímetro -----	11
5.17. Coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo (KC) -----	12

VI. MATERIALES Y MÉTODOS	14
6.1. Localización del sitio experimental	14
6.2. Aspectos Climáticos de la Comarca Lagunera	15
6.3. Características del suelo del área experimental	15
6.4. Tratamientos	16
6.5. Diseño experimental	17
6.6. Preparación de terreno	18
6.7. Siembra y Fertilización	18
6.8. Instalación del sistema de riego	18
6.9. Muestreo de humedad del suelo y riego de la canola	19
6.10. Determinación de la evapotranspiración máxima con el lisímetro de pesada de alta precisión.	20
6.11. Calibración del lisímetro	20
6.12. Metodología de toma de datos	21
6.13. Modelo utilizado para representar el comportamiento de los coeficientes de ajuste por desarrollo (K_c) a través del ciclo Vegetativo de la canola.	22
VII. RESULTADO Y DISCUSIÓN	24
7.1. Régimen de humedad del suelo en los tratamientos estudiados	24
7.2. Rendimiento de grano de la canola ($t\ ha^{-1}$)	24
7.3. Eficiencia de uso de agua ($K_g m^{-3}$)	26
7.4. Obtención de la función de producción para rendimiento de grano	27
7.5. Relación de rendimiento de grano en función de la lámina de agua Consumida.	28
7.6. Función de producción de rendimiento de grano de canola al régimen de humedad del suelo (humedad aprovechable residual al momento de riego)	29
7.7. Función de respuesta de rendimiento de grano de canola y el régimen de humedad en el suelo ponderado por consumo de agua (MPa)	30
7.8. Requerimiento de unidades calor por la canola	31
7.9. Evapotranspiración máxima en canola en función de las unidades de calor acumuladas -	32

7.10. Obtención del coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo (Kc) --	33
VIII. CONCLUSIONES -----	36
IX. BIBLIOGRAFÍA -----	38
PÁGINA WEB CITADAS -----	41
X. APÉNDICE -----	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización de la Comarca Lagunera -----	14
Figura 2. Distribución de los tratamientos en el área experimental -----	17
Figura 3. Calibración de la celda de carga electrónica del lisímetro de pesada ubicado en el CENID-RASPA -----	21
Figura 4. Respuesta de rendimiento de grano al régimen de humedad suelo y de comparación de medias. -----	26
Figura 5. Eficiencia en uso de agua de la canola para los tratamientos de riego.-----	27
Figura 6. Función de producción de canola a la lámina de agua consumida. -----	29
Figura 7. Etapas fenológicas de la canola en función de las unidades calor acumuladas. -----	31
Figura 8. Demanda diaria evapotranspirativa máxima de canola registrada el lisímetro de pesada -----	33
Figura 9. Comportamiento de los coeficientes de ajuste por desarrollo de la canola (Kc) en función de las unidades calor. -----	34

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Características Físico - químicas del suelo del área experimental CENID - RASPA, INIFAP -----	16
Cuadro 2. Tratamientos de riegos. CENID-RASPA -----	17
Cuadro 3. Régimen de humedad en el suelo de los tratamientos -----	25
Cuadro 4. Rendimiento medio de grano en ($t\ ha^{-1}$) -----	42
Cuadro 5. Análisis de varianza para producción de canola ($t\ ha^{-1}$). -----	42
Cuadro 6. Prueba del rango múltiple de Tukey de los niveles de humedad para rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$). -----	42
Cuadro 7. Eficiencia media en uso de agua de la canola ($kg\ m^{-3}$). -----	42
Cuadro 8. Análisis de varianza para la eficiencia en uso del agua de la canola ($kg\ m^{-3}$). -----	43

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el campo experimental del CENID RASPA INIFAP, ubicado en la Comarca Lagunera en Gómez Palacio, Durango. El objetivo central del estudio fue determinar la función de producción de la canola y el modelo matemático de los coeficientes de ajuste por desarrollo de cultivo. El estudio consistió siete diferentes niveles de abatimientos de la humedad aprovechable residual en el suelo (>0, 0, 12, 24, 36, 48, 52 y 60 %) durante el ciclo vegetativo de la canola. Los tratamientos se distribuyeron en forma aleatoria en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron; rendimiento de grano (kg ha^{-1}), eficiencia productiva del cultivo (kg m^{-3}), régimen de humedad en el suelo (%) y evapotranspiración real y máxima de la canola (mm) y las unidades térmicas en las etapas fenológicas de la canola.

Se observó que la relación del rendimiento de grano en función de la lámina de agua consumida fue de tipo cuadrática, y que de acuerdo a esta función de producción obtenida, la canola maximiza su producción de grano a 3.3 t ha^{-1} , al consumir el cultivo una lámina de agua de 45 cm. Así mismo se obtuvieron las funciones de producción que representó al régimen de humedad del suelo y el rendimiento de grano de la canola. Con la optimización de dichas funciones, se concluyó que el cultivo debe desarrollarse bajo un contenido de humedad aprovechable residual del suelo de 34 por ciento o su equivalente de -0.70 MPa de tensión de humedad del suelo para obtener la mayor producción de grano de 3.2 t ha^{-1} . Finalmente se determinó un modelo polinomial de tercer orden que explicó el comportamiento de los coeficientes de desarrollo del cultivo (KC) de la canola en función de las unidades térmicas requeridas por el cultivo, que le proporcionan al modelo un carácter más generalizado que al tradicionalmente obtenido al relacionarlo en función del tiempo de desarrollo.

Palabras clave: Brassica napus L., evapotranspiración máxima, unidades calor, modelo polinomial, rendimiento de grano, eficiencia uso de agua.

SUMMARY

The present job was carried out in the experimental field of the CENID RASPA INIFAP, located in the Region Lagunera in Gómez Palacio, Durango. The objective head office of the study went to determine the function of production of the canola and the model mathematical of the coefficients of adjustment by development of cultivation. The study consisted seven different levels of abatimientos of the humidity of value residual in the soil (>0, 0, 12, 24, 36, 48, 52 and 60%) during the cycle vegetative of the canola. The processing were distributed in form aleatoria in an experimental design of blocks to the chance with four repetitions. The variables evaluated were; performance of grain (kg ha^{-1}), productive efficiency of the cultivation (kg m^{-3}), state of humidity in the soil (%) and evapotranspiration real and maximum of the canola (mm) and the thermal units in the phases fenológicas of the canola. It was observed that the relation of the action of grain in the function of the leaf of water consumed went of cuadrática of the type, and that according to this function of production obtained, the canola enlarges to the maximum its production of grain to 3.3 t to have-1, upon consuming the cultivation a leaf of water of 45 cm. Thus same the functions of production were obtained that represented to the state of humidity of the soil and the performance of grain of the canola. With the optimization of said functions, was logged off that the cultivation should be developed under a content of humidity of value residual of the soil of 34 percent or its equivalent one of -0.70 MPa of tension of humidity of the soil to obtain the biggest production of grain of 3.2 t has-1. Finally a model one was determined polinomial of third order that explained the behavior of the coefficients of development of the cultivation (KC) of the canola in function of the thermal units required by the Cultivation, that provide to the model one more character generalized that upon traditionally obtaining upon relating it in function of the development time.

Key words: *Brassica napus* L., evapotranspiration maximum, units heat, polinomial model, performance of grain, water use efficiency.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la canola ha tenido gran aceptación mundial básicamente por su aceite de alta calidad para consumo humano y su adaptación a períodos cortos con temperaturas frías. Canadá es el principal productor de canola en el mundo, seguido por Australia y países de la comunidad económica Europea (Rife y Zeinali, 2003). Este Cultivo ha visto incrementada su demanda a nivel mundial tanto en el ramo alimenticio (humano y animal) como en la industria de lubricantes y artículos de limpieza.

La canola además de generar aceite de alta calidad para consumo humano, tiene la característica de que la paja o rastrojo presenta mejor contenido nutricional que otros rastrojos (trigo y algodón). Además, la canola presenta ventajas como bajo requerimiento de agua, ciclo más corto que otros cultivos oleaginosos como el cártamo, que al igual que éste tiene su raíz de tipo pivotante, que le permite obtener la humedad del suelo desde perfiles profundos (Rife y Zeinali, 2003).

Actualmente, el cultivo de canola es de gran importancia en la producción mundial de aceites vegetales. En el ciclo agrícola de 1996 se cosecharon 34.7 millones de toneladas con un rendimiento promedio de 1.4 t ha^{-1} . Durante el período de 1997–2002, la producción de canola en esa misma área, fue de de 37.1 millones de toneladas, con un rendimiento de 1.5 t ha^{-1} (Willenborg et al., 2004; Castillo, 2003).

En México, la industria aceitera importa cada año cerca de un millón de toneladas. Además, la canola es un cultivo con potencial forrajero, que se caracteriza por su adaptación a condiciones frías, rápido crecimiento, buena calidad de forraje y bajo consumo de agua, la cual lo coloca en una situación privilegiada con respecto a otras especies para cultivarse en zonas agrícolas que presentan problemas de escasez agua (Santa María *et al.*, 2005).

Una alternativa de solución al principal problema agrícola de la Comarca Lagunera, la restricción de agua para riego, es la diversificación del patrón de cultivos. Además de otras estrategias propuestas por la Gerencia Regional de Cuencas Centrales del Norte (GRCCN), como son las implementación de nuevas tecnologías en el manejo del agua de riego. La canola es un cultivo con potencial que

en los últimos años ha generado interés entre agricultores, técnicos, investigadores, y funcionarios del sector agropecuario.

La canola es una especie que tiene tasa baja de evapotranspiración y alta capacidad de autorregulación deseable para su explotación en regiones de baja disponibilidad de agua para riego, como son el 97 % de las áreas del país (Sánchez *et al.*, 2004). De acuerdo a esta problemática, es fundamental conocer la relación que existe entre rendimiento y disponibilidad de humedad en las etapas críticas del cultivo, demandando una función de producción que permita optimizar el uso de agua por la canola, que permita maximizar su producción de grano. Y proyectar su planeación agropecuaria en las distintas regiones susceptibles del país en base a su eficiencia productiva.

El rendimiento

humedad en el

de cultivo

de agua

de producción

de eficiencia

de productividad

de rendimiento

de producción

II. OBJETIVOS

- ◆ Obtener la función de producción para el rendimiento de grano de la canola y diferentes condiciones de humedad del suelo.
- ◆ Determinar los requerimientos hídricos de la canola.
- ◆ Determinar y modelar los coeficientes de ajuste por desarrollo (K_c) de la canola en base a unidades térmicas de crecimiento.

III. HIPÓTESIS

El rendimiento de grano de la canola es similar bajo diferentes condiciones de humedad en el suelo.

IV. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a pruebas experimentales preliminares el cultivo de la canola constituye un cultivo alternativo por sus características de adaptación que le permiten obtener altas producciones con un ahorro sustancial del agua de riego en comparación con otros cultivos regionales. Por lo antes mencionado representa una opción atractiva y de mínimo impacto ambiental que puede ser incorporada al patrón de cultivos de la Región Lagunera. Además, de su alta eficiencia en uso de agua, su producción de aceite comestible de alta calidad para consumo nacional y de gran potencial para su exportación. Su bajo requerimiento hídrico se explica por ser un cultivo de ciclo corto, tener una raíz pivotante y ser altamente eficiente en el uso del agua por su capacidad de autorregulación, lo cual le permite ser más atractivo su explotación comparada con cultivos como cártamo, alfalfa y trigo.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Características botánicas del cultivo

La clasificación taxonómica para el cultivo de la canola, según Valetti (1986) es la siguiente:

Reino: Vegetal
División: Magnoliophyta
Subdivisión: Spermatophyta
Clase: Cotiledones
Subclase: Dilleniidae
Familia: Brassicacea
Orden: Chaparrales
Genero: Brassica L.
Espécie: Brassica napus L.

5.2. Origen geográfico de la especie *Brassica napus* (canola).

La canola o colza es una especie oleaginosa proveniente de Europa y Asia (Valetti, 1986). Originalmente fue una maleza que a partir del mejoramiento genético se fue transformando, primero para la utilización de su aceite en la industria y posteriormente para alimentación animal y humana.

5.3. Clasificación

La canola es un cultivo oleaginoso de otoño-invierno que pertenece a la familia de las crucíferas y género *Brassica*, encontrándose las especies *Brassica napus* y *Brassica campestris*. La mayoría de las variedades cultivadas y disponibles en el mercado pertenecen a la especie *Brassica napus*, y dentro de esta especie existen dos tipos: primaverales e invernales.

Las invernales exigen la acumulación de bajas temperaturas para su floración. La floración se produce cuando se acumula una determinada cantidad de horas-frío, que puede ser variable según el cultivar, ya que existen materiales con bajo y alto requerimiento de temperatura, (Aguilar, 1978).

5.4. Germinación

El éxito de la germinación de la semilla de la canola depende de la temperatura y humedad del suelo (Madison, 2004). Las temperaturas óptimas del suelo para la germinación de la canola, son de 15 a 20°C (Kondra et al., 1983). Las temperaturas más bajas reducen la tasa de germinación. De los 10 a 20 días se presenta la germinación y aparecen los dos cotiledones (falsas hojas). El estado llamado roseta se alcanza cuando la planta presenta 6-8 hojas. En esta fase, aparentemente detiene su crecimiento, las raíces en el subsuelo experimentan su mayor crecimiento, preparándose la planta para las siguientes fases: elongación del tallo, floración y fructificación. Posteriormente después de los tres o cuatro meses a partir de la siembra, cuando la temperatura se incrementa con la llegada de la primavera, se muestra el crecimiento del tallo, fase en la cual la planta alcanza su máximo crecimiento vegetativo. (Robert, 2004).

5.5. Raíz

La canola posee un sistema radicular de tipo pivotante que puede extenderse en el perfil del suelo con numerosas raíces secundarias. La raíz principal es más engrosada por la parte superior y provista de numerosas raicillas en la extremidad apical. En relación a su requerimiento de agua, es una planta que presenta respuesta a la aplicación del agua. Se reporta que tiene un requerimiento mínimo de 400 mm de agua, bien distribuidos a lo largo del ciclo y la época de mayor exigencia corresponde a la floración (Robert, 2004).

5.6. Tallo y ramificaciones

La canola posee un tallo erecto que puede alcanzar una altura de 1.40 a 1.80 m. Además tiene la característica de tener una amplia ramificación, se extiende en una amplia porción de terreno. Después de un periodo vegetativo lento se produce la aparición de las yemas reproductivas sobre el tallo principal y se produce una rápida elongación de los tallos secundarios. En esta etapa aparecen nuevas hojas y se pueden visualizar ramificaciones secundarias en las axilas de las últimas hojas

formadas. Posteriormente, hacen su aparición las yemas reproductivas sobre un tallo principal.

5.7. Hojas, flores y frutos

Inicia su crecimiento con la producción de hojas lanceoladas, alargadas de color verde grisáceo y azulado, formando posteriormente una roseta. Las hojas pueden medir de 20 a 30 cm. de largo y 10 a 15 cm de ancho. Las hojas inferiores tienen bordes sinuosos o peciolados y las superiores son lanceoladas y abrasadoras del tallo y su borde es casi entero.

Las flores son pequeñas de color amarillo intenso y constan de cuatro sépalos dispuestos de cruz, seis estambres y el pistilo. Las flores se agrupan en racimos terminales, la floración inicia con la apertura de la primera flor, y puede durar de 25 a 35 días donde simultáneamente se abren flores y se van formando las vainas.

Los frutos son granos redondos, contenidos en vainas de 5 a 7 cm. de longitud. Al principio los granos son de color verde claro y al alcanzar el llenado de grano toman una coloración oscura la cual se intensifica con la madurez tornándose las semillas totalmente negras y duras al alcanzar la madurez fisiológica. El número de semillas en el interior de las vainas varían de 18 a 20. Sin embargo, la longitud de las vainas, y el número de granos, varían en función de la variedad.

5.8. Requerimientos ambientales

La canola se adapta ampliamente a las temperaturas frías extremas de las zonas templadas. Las temperaturas mínimas para crecimiento están alrededor de 0 °C. La canola puede germinar y emerger con temperaturas del suelo de 9 °C, pero las óptimas son de 18 °C (Oplinger *et al.*, 1989). La canola es un cultivo de estación fresca y requiere noches con baja temperatura para recobrase del calor extremo y clima seco. Temperaturas altas en la etapa tardía del crecimiento reduce el rendimiento de grano. La canola es una especie sensible al termo y foto periodo, razón por la cual responde a un amplio rango de fechas de siembra. Es una especie que por su origen, necesita un cierto número de horas-frío, sobre todo durante la

etapa de formación de roseta, y de la cantidad de horas-frío dependerá en mayor o menor grado la expresión de rendimiento.

5.9. Método de Siembra

La canola es una especie sumamente versátil, la cual responde por igual a los diferentes distanciamientos entre surcos y sistemas. Esta especie puede sembrarse en surcos separados de 70 cm hasta un metro. La distancia universal entre surcos, es de 76 cm. El agricultor implementará la distancia entre surcos más conveniente, dependiendo de la topografía del terreno, estado y capacidad de la maquinaria disponible. La profundidad de siembra oscila de 3 a 5 cm. de profundidad. Siembras más profundas disminuyen el porcentaje de emergencia de plantas o provocan un atraso considerable en la emergencia y desarrollo inicial de la planta originando problemas de baja población y disminución del rendimiento de grano. En cuanto a la densidad de siembra óptima varía de 80 a 100 plantas por m². Esta población de plantas se logra utilizando de 2 a 3 kg ha⁻¹ de semilla con capacidad de germinación arriba del 90 %. Densidades mayores a las mencionadas no influyen sobre el rendimiento (Burton, 2004).

5.10. Malezas

La canola es un cultivo altamente competitivo con la maleza anual, y perenne por su agresividad. Sin embargo, el zacate johnson y corregüela, son malezas que pudieran perjudicar a la canola por lo cual es recomendable mantener libre de maleza el cultivo durante el período crítico de competencia (primeros 45 días). Posterior a este periodo, la canola es muy competitiva y no existe problema resultado de la gran cantidad de forraje que presenta.

5.11. Plagas y enfermedades

La canola, es considerada hasta ahora sin problemas de tipo entomológico. Sin embargo, es importante tomar medidas preventivas para evitar la presencia de organismos que pudieran ser dañinos en las primeras etapas de desarrollo del cultivo. En general, se debe tener cuidado con el gusano trozador, grillos, coleópteros, el complejo de chupadores durante la etapa de floración; y el complejo de defoliadores

durante todo el ciclo. En el cultivo de la canola, durante la emergencia de las plántulas pudiera presentarse el "Damping-Off" o secadera, conocida también como ahogamiento de plántulas, provocada por un complejo de hongos del suelo, organismos que prosperan al haber condición de humedad alta en el suelo y temperatura fría.

5.12. Fertilización

La fertilización en la canola es importante por lo que es necesario mantener un buen equilibrio entre el nitrógeno y fósforo en el suelo (Walley, 2001). La dosis de fertilización nitrogenada para la canola varía de 90 a 120 kg por hectárea, dependiendo del tipo de suelo. La canola por ser una especie productora de aceite, requiere de fósforo, por ser este elemento indispensable en la síntesis de los ácidos grasos. Además de que interviene en el mecanismo de captación de energía para la fotosíntesis, se recomiendan dosis en cantidades menores de 21 kilogramos de fósforo asimilable por hectárea. La canola es una planta que responde a la adición de azufre, sobre todo en las regiones donde existe deficiencia de este elemento en el suelo, lo que se refleja en el desarrollo normal de la canola y su rendimiento.

5.13. Cosecha.

En la cosecha de la canola, puede ser utilizada la misma maquinaria que para cereales, con los ajustes necesarios en el mecanismo de corte de trilla, retrilla y limpieza. El momento óptimo es cuando el 90% de las plantas están en madurez total y la humedad del grano se encuentra alrededor del 10%. El color de las silicuas es pardo claro mientras que el grano presenta un negro intenso.

5.14. Irrigación de la canola

La práctica de la aplicación de agua para el desarrollo de los cultivos se conoce desde la antigüedad. El riego se define como la aplicación artificial de agua al suelo para tener un desarrollo eficiente de las plantas. Satisfacer los requerimientos de agua de las plantas resultado de insuficiente precipitación pluvial, y asegurar los cultivos contra sequías. Se define lámina de riego, (cantidad de agua que debe

aplicarse a un suelo), para satisfacer los requerimientos hídricos de los cultivos, es necesario conocer previamente parámetros de riego como la capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (Da). (Criddle, 1986).

El riego de la canola de acuerdo a las características estructurales del suelo tiene un efecto significativo en su manejo. Así por ejemplo en riego de suelos ligeros, con alto contenido de arena, es necesario aplicar un riego de auxilio durante la etapa de máxima floración e inicio de formación de vainas. En cambio, en suelos de Barrial profundo, la aplicación de uno a dos riegos de auxilio, aplicados en la etapa de inicio de floración y en la formación de vainas, generaron rendimientos de grano de canola similares, de 3.5 t ha^{-1} y 3.42 t ha^{-1} respectivamente (Muñoz y Ortiz, 1999). Así mismo, estos autores concluyen que, en suelos de barrial de pobre drenaje que es necesario aplicar un riego de presiembra y dos riegos de auxilio ubicados de la siguiente manera:

1. En riego de presiembra aplicar una lámina de 24 cm ó 2.4 millares de $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$.
2. Aplicar el primer riego de auxilio en la etapa de inicio de floración (50 a 55 días después de la siembra), con una lámina de 14 cm. ó 1.4 millares de $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$
3. Aplicar el segundo riego de auxilio en la etapa de máxima floración e inicio de formación de vainas (25 días después del primero), aplicar una lámina de 13 cm. ó 1.3 millares de $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Por último, los mismos autores señalan que en suelos de aluvión pesado, es necesario aplicar el riego de presiembra y un riego de auxilio de la siguiente manera:

1. Aplicar el riego de presiembra con una lámina de 24 cm. ó 2.4 millares de $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$.
2. Aplicar el riego de auxilio en la etapa de plena floración (65 a 70 días después de la siembra), con una lámina de 14 cm. ó 1.4 millares de $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

5.15. Eficiencia de riego.

Este término se refiere básicamente a la pérdida de agua que ocurre en un sistema de riego y este incluye desde la fuente de abastecimiento hasta el punto de aplicación del agua a nivel parcelario, esta pérdida es ocasionada principalmente por evaporación, infiltración y el escurrimiento superficial que pueden reducir la eficiencia total de un proyecto de riego. A nivel parcelario, se presenta pérdida por percolación profunda cuando se aplican volúmenes de agua mayores a los requeridos para humedecer por completo la zona radicular del cultivo (Howell, 2001). Esta pérdida depende básicamente de las características del suelo, pendiente, dimensiones de la parcela y capacidad del regador para el manejo del agua. La eficiencia de riego es considerada como un sinónimo de un buen o mal uso del agua. Sin embargo, desde el punto de vista técnico se define como el porcentaje total de agua aplicada a un área dada la cual esta disponible dentro de la zona radicular para satisfacer los requerimientos del cultivo (Merriaw, 1978).

Nielsen (1997), estudió el potencial de la canola bajo condiciones restringidas de humedad prevalecientes en el NE de Colorado. Este autor concluye que un stress hídrico después de la floración, en el inicio de llenado de grano tiene mayor efecto en la disminución de la producción de grano, eficiencia de uso del agua y del contenido de aceite en la semilla. También reportó una función de producción lineal para rendimiento de grano y su uso de agua por el cultivo, para un rango entre 20 y 50.8 cm. Finalmente, señaló que el cultivo extrae la totalidad del agua para su consumo, de una profundidad menor a los 120 cm del suelo.

Por otro lado, Sims et al. (1993), reportó que el rendimiento de grano de la canola se incrementó significativamente con la aplicación de agua al suelo, sin embargo el contenido de aceite del grano fue disminuido. Asimismo, Francois (1994) señaló que el contenido de aceite de canola irrigada en California, promedió 40 por ciento en dos años de estudio y que en Canadá, superó el 43 por ciento. Esto coincide con Johnston *et al.* (2002) que reportan un promedio del contenido de aceite en la semilla de 42 por ciento y un contenido de proteína de alrededor del 21 por ciento.

Wright *et al.* (1988), reportaron la respuesta de la canola a dos tratamientos de riego y seis tratamientos de dosis de nitrógeno. Los resultados del trabajo mostraron un rendimiento de grano máximo de 3.8 t ha^{-1} obtenida en el tratamiento de riego con la aplicación de 100 kg N ha^{-1} . Estos resultados fueron debido a la más alta acumulación de materia seca y más alto índice de área foliar que generaron mayor cantidad de vainas por planta.

Brandt and McGregor (1997) reportaron que el rendimiento de canola se puede explicar al relacionar la temperatura durante floración e inicio de llenado de grano y la precipitación de inicio de formación del grano al llenado del grano. Concluyen que para mejorar el modelo es esencial obtener el rendimiento potencial del cultivo. Los autores muestran el siguiente modelo ajustado:

Yield of *B. napus* = $4323 + 5.90 \times \text{Precip} - 187.7 \times \text{Temp}$.

$R^2 = 0.76$; SE = 221

Donde:

Precip (mm) = 21jun-20 ago; Temp ($^{\circ}\text{C}$) = 15 jun-15 ago. Temperatura media diaria.

De acuerdo al modelo, por cada mm de precipitación que se incrementa a la canola corresponde a 5.9 kg ha^{-1} . Esto da idea de la sensibilidad del cultivo al uso del agua.

5.16. Lisímetros

Los Lisímetros son estructuras adaptadas para contener suelo y acondicionadas para evaluar cuantitativamente los componentes del balance hidrológico. Generalmente son ubicadas en el campo para representar las condiciones naturales del suelo y medio ambiente (Peña, 1974). Los alcances de los estudios lisimétricos son resumidos por Bavel y Myers (1962), de la siguiente manera:

1. Proporcionan medidas directas de evaporación y transpiración de superficies del suelo sobre las cuales las plantas crecen, para permitir estudiar los factores que afectan estos procesos.
2. Proporcionan una medición absoluta y precisa del flujo evaporativo, como un proceso importante en investigación sobre la física de la atmósfera cerca del suelo.

3. Sirven como estándar de comparación para evaluar métodos indirectos de medida de evapotranspiración o predicción de la misma.
4. Permiten medir exactamente las pérdidas de agua del suelo descubierto en estudios de movimiento ascendente de agua como resultado del secamiento superficial.

El lisímetro debe ser grande y profundo para reducir el efecto de frontera y no restringir el desarrollo radicular. En cultivos de poca altura, el lisímetro debe ser al menos de un metro cúbico de volumen. En cultivos altos, especialmente cultivos en hileras, el tamaño de los lisímetros debe ser grande y profundo. Además, las condiciones del suelo dentro del lisímetro deben ser comparables a las del suelo circundante. El suelo no debe ser disturbado a tal grado que la ramificación de la raíz y el movimiento del agua dentro del lisímetro se faciliten. Si los lisímetros están cerrados en el fondo se deben tomar precauciones para evitar la presencia de un manto freático y de un régimen térmico anormal para asegurar el drenaje aproximado al normal Chang (1968).

5.17. Coeficientes de ajuste por desarrollo del cultivo (K_c)

En las estimaciones aceptables de la evapotranspiración actual o real de los cultivos, debe tomarse en cuenta la demanda evapotranspirativa de los factores climáticos corregida por los factores de planta y suelo. La transpiración es una evaporación productiva y es uno de los procesos fisiológicos más importantes de la planta, ya que la evaporación de la superficie foliar produce un gradiente que ocasiona el movimiento del agua del suelo hasta las hojas y que permite conducir los elementos nutritivos a los diferentes componentes de la planta (Al-Ghobari, 2000). Los factores que promueven la evaporación de agua libre actúan en forma similar sobre los cultivos produciendo la transpiración por ser fenómenos cualitativamente semejantes. En consecuencia de lo anterior, se explica la estrecha proporcionalidad entre evaporación medida en un evaporímetro estándar o la evapotranspiración de referencia (E_{Tr}) y la evapotranspiración máxima de un cultivo sin restricciones de humedad en el suelo (E_{Tx}). Sin embargo, los efectos del clima en la vegetación son cuantitativamente diferentes que en un evaporímetro estándar y el factor de proporcionalidad entre ambos

varía al cambiar las características ecofisiológicas de la vegetación. Se ha comprobado con datos que en cultivos anuales este factor ($ET_x ETr^{-1}$) tiene una típica variación que se produce debido a la evolución del follaje y cambios en la cobertura del terreno (Hunsaker *et al.*, 2003a). En la obtención de estimaciones confiables de la evapotranspiración real o actual de los cultivos, se deben considerar los factores edáficos y de 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 mediante la corrección de la evapotranspiración de referencia por el coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo (K_c) que es función del desarrollo del cultivo y de la exigencia del clima. El coeficiente de cultivo representa la relación entre el intercambio del calor latente del cultivo de interés y la evapotranspiración de referencia (Tyagi *et al.*, 2000 y Hunsaker *et al.*, 2003b). Este parámetro es adimensional y se determina en forma empírica con la ecuación (1).

$$K_c = ET_x ETr^{-1} \quad (1)$$

Donde:

K_c = Coeficiente de ajuste por desarrollo de los cultivos (adim),

ET_x = evapotranspiración máxima (mm),

ETr = evapotranspiración de referencia (mm).

Al respecto, se han cuantificado coeficientes de desarrollo para cultivos como alfalfa, algodón, maíz y sorgo para diferentes condiciones climáticas en New México. Los datos generados fueron ajustados a un modelo polinomial de tercer orden al relacionar el K_c ($ET ETr^{-1}$) y las unidades calor acumuladas para cada cultivo. Concluyéndose que los coeficientes de ajuste, son significativos cuando son transferibles de una región a otra.

Al relacionarse los coeficientes de ajuste K_c con las unidades calor acumuladas en lugar del calendario Juliano, pueden desarrollarse curvas de K_c comunes aplicables para diferentes años y lugares con diferentes condiciones climáticas, como se demuestra con los cultivos estudiados. El concepto de relacionar los K_c y las unidades calor acumuladas, es más realista y transferible que relacionarlo con el calendario Juliano, o porcentaje de cobertura vegetal, para los cuales la información requerida no es realmente extrapolable (Sammis *et al.*, 1985; Bandyopadhyay *et al.*, 2005).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización del sitio experimental

El presente experimento se realizó durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2004-2005, en terrenos del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID -RASPA) del INIFAP ubicado en la Comarca Lagunera en el Ejido las Huertas del municipio de Gómez Palacio, Durango. El sitio experimental se localiza entre las coordenadas geográficas de $103^{\circ} 25' 57''$ de longitud Oeste al meridiano de Greenwich $25^{\circ} 31' 57''$ grados latitud Norte con una altura de 1123 msnm, localizada en la parte Sureste del Estado de Coahuila y Noroeste del Estado de Durango (Mendoza *et al.*, 2004).

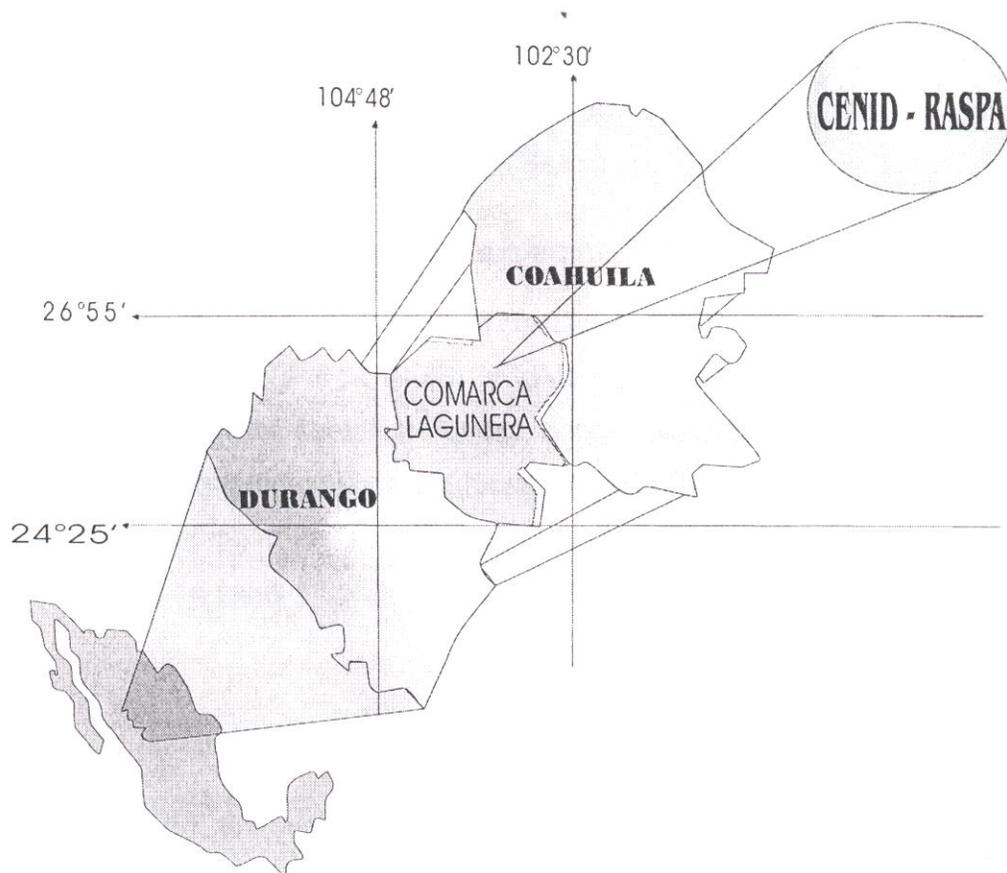


Figura 1. Localización de la Comarca Lagunera.

6.2. Aspectos Climáticos De La Comarca Lagunera

El clima de la Comarca Lagunera es de tipo desértico con escasa humedad relativa atmosférica, precipitación pluvial promedio entre 200 y 300 mm, anuales en la mayor parte de la región y de 400 a 500 mm en la zona montañosa Oeste, con una evaporación anual de 2600 mm. En este último aspecto, el área de la llanura y gran parte de la zona montañosa, presenta dos períodos bien definidos: el primero comprende 7 meses de abril a octubre, en que la temperatura media mensual excede los 20°C; el segundo abarca de noviembre a marzo, en este periodo la temperatura media mensual varía de 13.6°C a los 19.5°C. Los meses más fríos son diciembre y enero registrándose en este último, el promedio de temperatura más bajo de 5.8°C aproximadamente (CNA, 2002). 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 período libre de heladas se ubica entre abril y octubre, pueden presentarse granizadas durante mayo. Las lluvias son en verano, con un porcentaje de lluvias invernales que va de 5 a 10.2 % (García, 1970).

6.3. Características del suelo del área experimental

El suelo del lote experimental es clasificado como Xerosol de acuerdo a la FAO/UNESCO modificada por INEGI y pertenece a la serie Coyote, de gran representatividad regional, suelos profundos, con poca variabilidad de textura (migajón arcilloso). Las características físico químicas del suelo más importantes se muestran en el Cuadro 1. La calidad del agua utilizada en el estudio es clasificada como: C1S1, baja en contenido de sales y sodio (Richards, 1977).

00145

Cuadro 1. Características físico- químicas del suelo del área experimental. CENID - RASPA, INIFAP.

Prof. (cm)	N-No ₃ Mg Kg ⁻¹	P Mg Kg ⁻¹	K Mg Kg ⁻¹	CO ₃ (%)	CE dSm ⁻¹	pH	PSI (%)	RAS (%)
0 - 30	5.50	12.0	1648.0	5.30	0.67	7.7	1.79	2.09
30 - 60	31.50	9.0	1848.0	6.80	1.20	7.7	1.76	2.07
60 - 90	11.00	24.0	1131.0	8.66	1.84	7.7	2.48	2.58
Prof. (cm)	MO (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	CC (%)	PMP (%)	Da (gcm ⁻³)
0 - 30	1.08	38.0	38.0	24.0	Franco arc.	30.6	15.9	1.3
30 - 60	0.67	38.0	38.0	24.0	Franco Arc.	30.0	14.7	1.2
60 - 90	0.33	41.4	35.4	23.2	Franco	29.3	14.4	1.3

Fuente: determinación físico – químicas, Lab. CENID - RASPA.

6.4. Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron siete diferentes abatimientos de humedad aprovechable residual en el suelo. El riego se aplicó cuando se abatió el 0, 12, 24, 36, 48 y 60 por ciento de la humedad aprovechable residual en el perfil de 0-90 cm del suelo. Para inducir estos tratamientos en forma tentativa se programaron los riegos para cada uno de los tratamientos de acuerdo a la humedad aprovechable residual a regar.

Para esto se utilizó la evapotranspiración de referencia estimada con la metodología de Hargreaves y Samani, (1985) la cual fue posteriormente afectada por los coeficientes de ajuste por desarrollo (Kc) para obtener la evapotranspiración máxima de la canola. Este último parámetro se utilizó para la programación de riego en forma tentativa para cada tratamiento. De esta manera se obtuvo que para inducir un déficit hídrico donde el abatimiento sea más del 100 por ciento de la humedad aprovechable del suelo se requería únicamente aplicar el riego de presiembra al cultivo. De esta manera se obtuvo que para inducir los regímenes de riego planeados fue necesario aplicar los riegos mostrados en el Cuadro 2. Una forma más precisa de obtener el abatimiento de humedad del suelo para cada tratamiento fue utilizar el método gravimétrico en cada uno de los tratamientos durante el desarrollo vegetativo de la canola.

Cuadro 2. Tratamientos de riego evaluados. CENID-RASPA, INIFAP.

Tratamiento	No. de Riegos	Humedad aprovechable Residual (%)
I	1	Menor de 0
II	2	0
III	3	12
IV	4	24
V	5	36
VI	6	48
VII	7	60

6.5. Diseño experimental

Los tratamientos estudiados fueron distribuidos en forma aleatoria en un diseño experimental bloques al azar con cuatro repeticiones. Las dimensiones de las unidades experimentales fueron de 4 m de ancho y 5 m de largo para formar un área de 20 m² de parcela experimental. El área total del experimento fue de aproximadamente 1.8 ha, incluyendo el área de lisímetria (Figura 2).

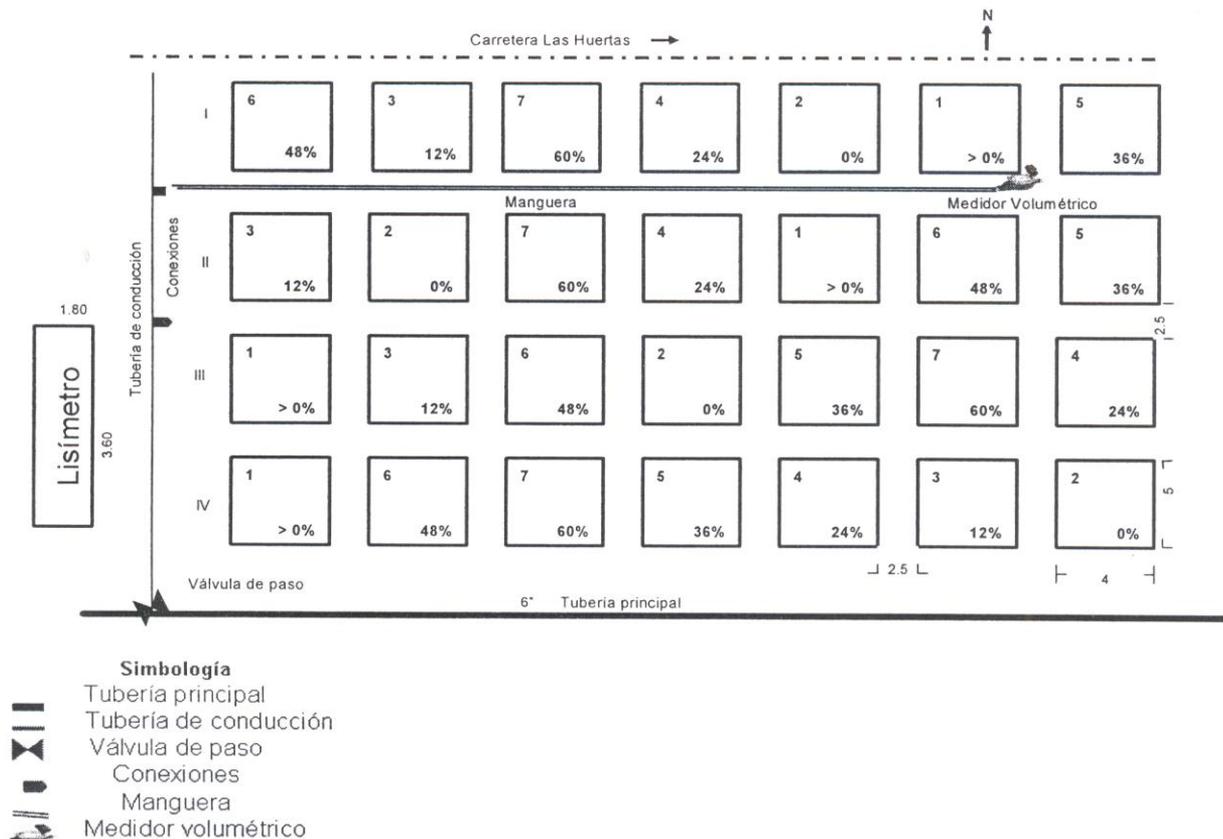


Figura 2. Distribución de tratamientos en el área experimental

6.6. Preparación del terreno

La preparación del terreno consistió de un barbecho profundo, rastreo cruzado y una nivelación láser con el objetivo de lograr una alta eficiencia de distribución del riego, lograr un crecimiento uniforme y evitar encharcamiento. Posteriormente, se procedió al trazo del experimento y limitación de las parcelas experimentales de cada uno de los tratamientos. El área de de cada parcela fue de 20 m² y un espacio entre ellas de 2.5 m.

6.7. Siembra y fertilización

La siembra de la canola se realizó el 15 de diciembre del 2004 utilizando el híbrido Hyola-401 con una densidad de siembra de 2 kg ha⁻¹ en surco sencillo de 80 cm entre si. La separación entre plantas fue de aproximadamente 5 cm para una población de plantas de 250,000 plantas por ha. La fertilización se realizó aplicando la formula 120-60-00, la mitad al momento de la siembra y la parte restante en el siguiente riego de auxilio.

Se realizaron labores de cultivos únicamente con escarda, cuando fueron requeridos durante el desarrollo de la canola.

6.8 Instalación del sistema de riego

La aplicación del riego a las parcelas experimentales y al lisímetro de alta precisión, se realizó instalando tubería presurizada de la fuente de abastecimiento hasta el área experimental. La tubería de conducción a lo largo del lote experimental fue de un diámetro de 6 pulgadas en la cual se le instalaron hidrantes cada 36 m para la conexión de tubería de compuertas para el riego del área experimental y el lisímetro de pesada.

Con el objetivo de aplicar el volumen requerido a las parcelas experimentales en los diferentes tratamientos, se instaló tubería de 38.1 mm de diámetro, con conexiones a lo largo del área experimental para la instalación de manguera tipo bombero y así llevar el agua de riego a cada uno de las parcelas experimentales. Para una aplicación en forma precisa del volumen de agua a cada uno de los tratamientos, se utilizó un medidor volumétrico previamente calibrado. Este

dispositivo fue conectado al final de la manguera referida, para la aplicación del volumen de agua para cada uno de los tratamientos. El medidor volumétrico usado fue un medidor volumétrico mecánico similar al instalado en las viviendas por el departamento de agua y alcantarillado.

6.9 Muestreo de humedad del suelo y riego de la canola.

Se realizó muestreo de humedad del suelo en forma continua durante todo el desarrollo vegetativo de la canola. Primeramente se realizó el muestreo para conocer el estado de humedad antes del riego de presiembra y posteriormente se realizó durante el transcurso y operación del experimento con el fin de monitorear el abatimiento de humedad del suelo para cada uno de los tratamientos y conocer y si se alcanzo el nivel de humedad prefijado para cada tratamiento para reponer la humedad consumida por la canola a capacidad de campo en el perfil de suelo de 90 cm. El muestreo de humedad se realizo con una barrena tipo vehimeyer. El tamaño de muestra fue de aproximadamente 150 gr. Una vez realizado el muestreo de cada tratamiento, se determinó rápidamente el peso del suelo húmedo, y después es sometido a una estufa con una temperatura de 105°C durante 24 horas para determinar el peso de suelo seco. Con estos datos y el peso vacío de los botes de muestreo, se calculó el contenido de humedad en porciento (Ecuación 2), para el nivel de abatimiento de la humedad disponible o residual del suelo.

$$PS = \frac{PSH - PSS}{PSS} * 100 \quad (2)$$

Donde:

PS = Contenido de humedad del suelo (%)

PSH = peso de suelo húmedo (gr)

PSS = peso de suelo seco (gr)

6.10. Determinación de evapotranspiración máxima con el lisímetro de pesada de alta precisión

El lisímetro de pesada de alta precisión utilizado en este trabajo tiene las siguientes dimensiones: 1.8 m ancho y 3.6 m de largo creado especialmente para submúltiplos de espaciamentos más comunes para cultivos en surcos o para cobertura completa, el monolito de suelo inalterado tiene una profundidad de 1.50 m y en su base tiene un sistema de drenaje formado por ocho cámaras de succión distribuidas en cuadrícula. El objetivo de este sistema es simular el drenaje natural que ocurre a esta profundidad. El sistema de pesada se compone de una báscula tipo comercial con capacidad de 28 toneladas, consta de un contrapeso colocado al final de una palanca de extensión que equilibra el "peso muerto" formado por el peso del monolito de suelo con un contenido de humedad al punto de marchitez permanente (PMP) y además del peso de la lámina de acero que lo cubre, este peso corresponde al cero del indicador digital. También, consta de una celda de carga electrónica con capacidad de 500 kg, la cual recibe el "peso vivo" del tanque de observación que correspondería al contenido de humedad de PMP a capacidad de campo (CC) el cual se registra en forma digital a la caseta de control.

6.11. Calibración del Lisímetro de pesada

Con el fin de demostrar el buen funcionamiento del sistema de pesada del lisímetro, se procedió a realizar una calibración de la celda de carga electrónica previo al estudio. La calibración consistió en agregar y quitar pesos conocidos en la maceta de observación o monolito de suelo del lisímetro. Para evitar pérdidas por humedad se cubrió con un polietileno negro y de esta manera se relacionaron directamente los pesos agregados con las lecturas del indicador digital. Se agregaron pesos conocidos iniciando con 10 kg hasta alcanzar los 390 kg que fue lo que permitió por no estar el suelo del monolito a punto de marchitez permanente (PMP).

Los datos obtenidos con este procedimiento fueron relacionados mediante un análisis de regresión para obtener así un modelo de calibración que indique la precisión de la celda de carga electrónica (Figura 3). Al relacionar los pesos añadidos al lisímetro como variable independiente con las lecturas de la celda de carga

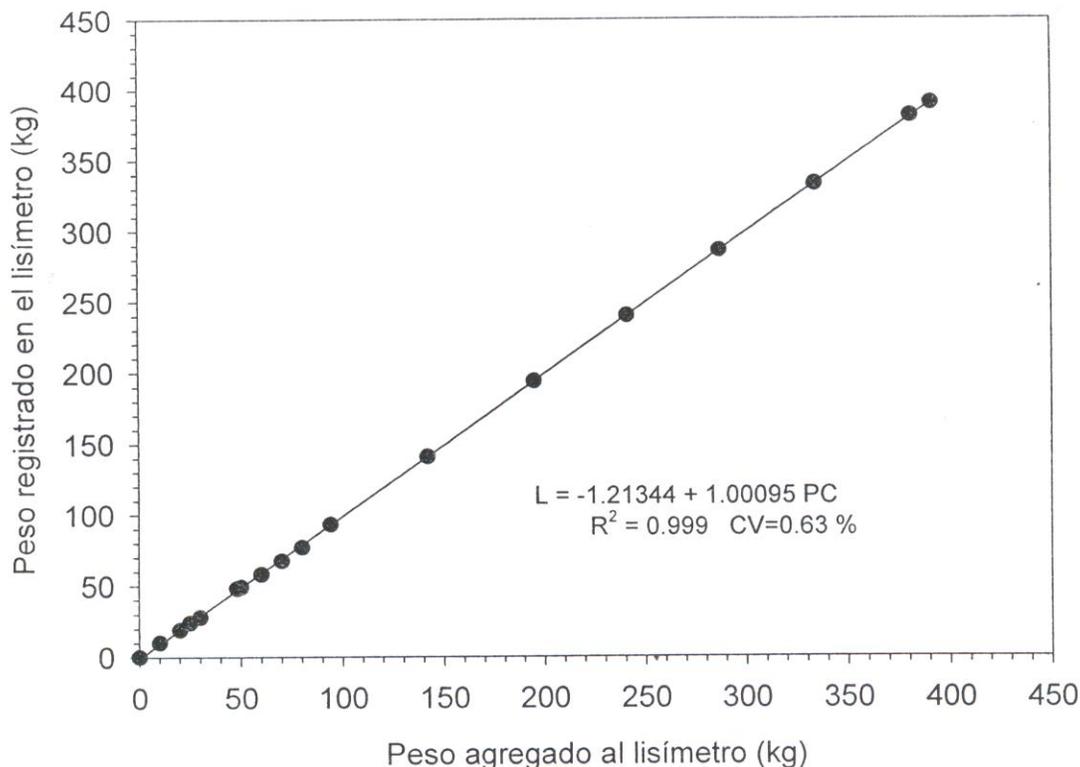


Figura 3. Calibración de la celda de carga electrónica del lisímetro de pesada ubicado en el CENID RASPA INIFAP.

electrónica como variable dependiente se obtuvo una excelente correlación entre ambas variables. Así el coeficiente de determinación fue de 0.999, y el coeficiente de variación significativamente bajo y una pendiente muy cercana a la unidad, indica que la celda de carga electrónica corresponde en forma casi perfecta a los pesos añadidos al monolito de suelo. Lo expresado anteriormente se ilustra gráficamente en la figura 3.

6.12. Metodología de toma de datos

El cultivo de canola sembrado en el lisímetro se desarrolló bajo condiciones no restrictivas de humedad; condición indispensable para obtener la evapotranspiración máxima de este cultivo, manteniendo el contenido hídrico del monolito del suelo a 0.05 –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 las condiciones de advección.

Los datos se tomaron del indicador digital en forma diaria y durante todo el ciclo vegetativo de la canola; dicha lectura fue corregida por el volumen de agua recolectada del sistema de drenaje. Además de los datos de evapotranspiración máxima (ET_x), fueron registrados los datos de evaporación de un tanque Evaporímetro tipo A con el fin de estimar la evapotranspiración de referencia. En la determinación de las unidades calor durante el ciclo de la canola se utilizó la metodología de la curva seno, la cual toma en cuenta las temperaturas máximas y mínimas, la temperatura base de la canola y su temperatura máxima a la cual su desarrollo no es afectado.

6.13. Modelo utilizado para representar el comportamiento de los coeficientes de ajuste por desarrollo (K_c) a través del ciclo vegetativo de la canola

En base a que el desarrollo de un cultivo no es función del tiempo sino en realidad de las unidades calor de crecimiento acumuladas, las cuales 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 esta en función de las unidades calor acumuladas durante el ciclo vegetativo de la canola (Sammis *et al.*, 1985; Inzunza y Mojarro, 1994). Este modelo podría tener una mayor generalidad de resultados a los modelos generados por ser este un parámetro con más carácter físico que el tiempo en días julianos.

Los citados autores proponen en lugar del calendario juliano, utilizar las unidades calor acumuladas como un parámetro climático con mayor carácter físico y extrapolabilidad de resultados a otras regiones de condiciones climáticas diferentes donde se realizó el estudio. Dicha relación esta contenida en la polinomial de tercer orden en la ecuación (3).

$$Kc = b_0 + b_1 \Sigma UC + b_2 \Sigma UC^2 + b_3 \Sigma UC^3 \quad (3)$$

Donde:

UC = unidades calor acumuladas al período i;

b_i = coeficientes de la regresión.

Los datos generados en este trabajo fueron ajustados a los modelos arriba mencionados por medio de la técnica de regresión múltiple para lo cual se utilizó el paquete estadístico SAS.

Cuadro 3. Régimen de humedad en el suelo de los tratamientos evaluados CENID RASPA

Tratamiento	Lámina consumida (cm)	Humedad aprovechable residual (%)	Tensión de humedad del suelo (MPa)
1	14.92	0.00	-1.520
2	28.11	8.12	-1.270
3	34.79	19.90	-0.996
4	42.96	34.36	-0.855
5	49.11	35.60	-0.640
6	57.38	47.10	-0.347
7	60.13	56.20	-0.263

Los rendimientos más bajos se obtuvieron con los tratamientos 1 y 2 (Figura 4) alcanzando un rendimiento de 1.03 a 2.17 t ha⁻¹ en los cuales el cultivo se desarrolló a tensiones de humedad de -1.52 y -1.27 MPa respectivamente. Estos tratamientos se sometieron a condiciones de extrema sequía a lo largo del desarrollo vegetativo de la canola alcanzando abatimientos de la humedad del suelo por debajo del punto de marchitez permanente y de 8.12 por ciento de la humedad aprovechable residual en el suelo. (Figura 4), estos tratamientos (1 y 2) resultaron ser estadísticamente inferiores en rendimiento de grano con respecto al resto de los tratamientos (3,4, 5, 6 y 7).

El análisis anterior permite concluir que los resultados muestran una respuesta no lineal del rendimiento de grano de la canola a condiciones de diferentes regímenes de humedad del suelo al momento del riego. Es decir, existió un efecto negativo sobre el rendimiento debido a los diferentes niveles de abatimiento de humedad estudiados.

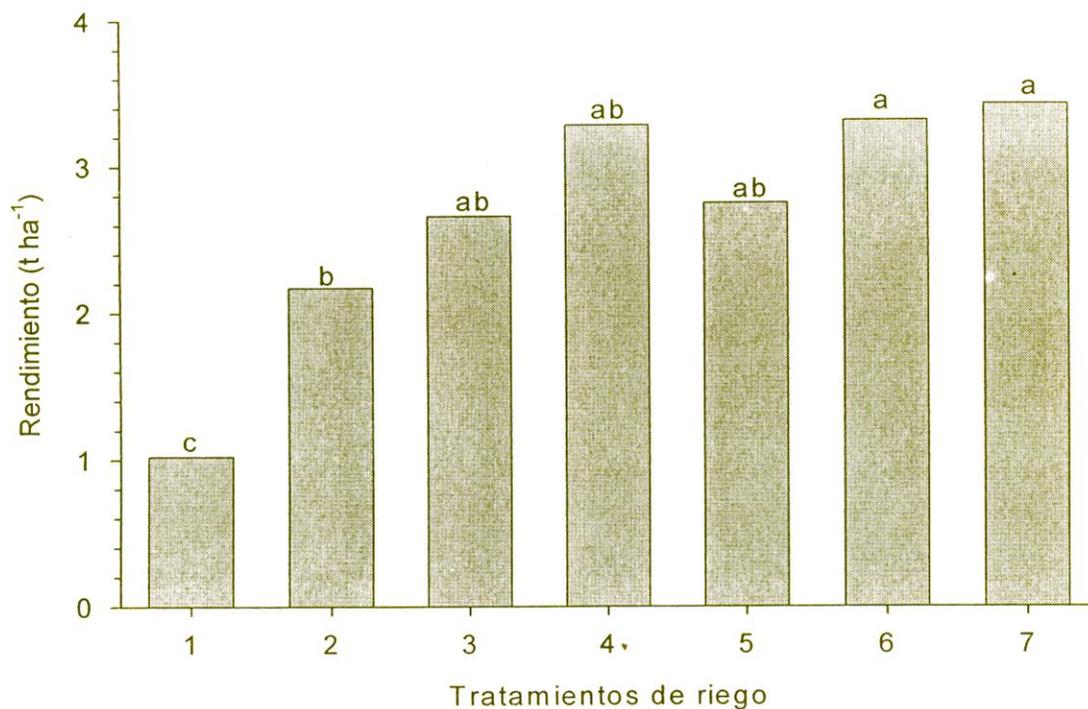


Figura 4. Respuesta del rendimiento de grano al régimen de humedad del suelo.

7.3. Eficiencia de uso de agua (kg m⁻³)

La eficiencia de uso de agua del cultivo de la canola se muestra en la figura 5. La mayor eficiencia en uso del agua se presentó en los tratamientos de 2, 3, y 4 con una eficiencia promedio de 0.77 kg m⁻³ que correspondió a un promedio de humedad aprovechable residual en el suelo, al momento del riego de 29.95 por ciento. Esto significó la aplicación de 2, 3 y 4 riegos durante el ciclo vegetativo del cultivo.

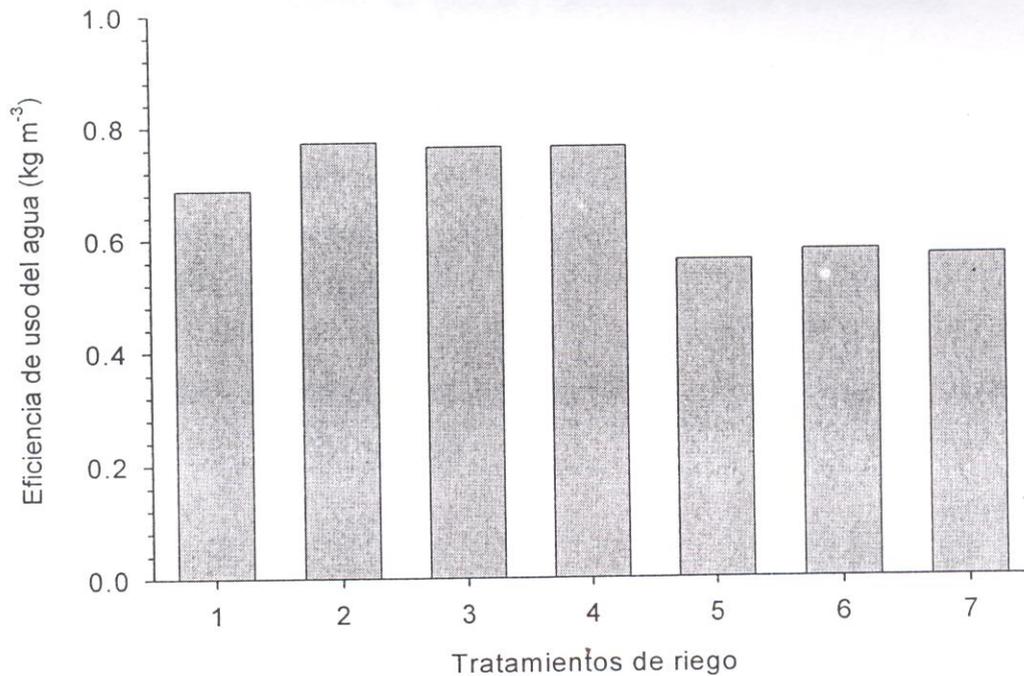


Figura 5. Eficiencia productiva del agua de la canola para los tratamientos de riego

El análisis de varianza que se presenta en el Cuadro 5 del anexo, muestra que los tratamientos para esta variable respuesta no mostraron significancia estadística, entre tratamientos ($\alpha = 0.295$), el cual fluctuó entre 0.56 a 0.77 Kg m⁻³. Estos valores de rendimiento resultaron estadísticamente iguales entre sí ($\alpha = 0.05$) y fueron obtenidos al aplicar el riego a niveles de tensión de humedad (-0.64 a - 1.52) durante el período de desarrollo de la canola.

7.4. Función de producción para rendimiento de grano

Uno de los objetivos principales planteados en este trabajo de investigación fue el encontrar una función de respuesta que relacione el rendimiento de grano de la canola como una función de los niveles de humedad residual en el suelo durante su ciclo vegetativo del cultivo.

7.5. Relación del rendimiento de grano y lámina de agua consumida

Al relacionar la producción de grano de la canola con la lámina de agua consumida correspondiente para cada tratamiento, se encontró que entre ambas variables existió una relación de tipo cuadrática (Figura 6); la función obtenida después de realizar un análisis de regresión entre ambas variables usando la herramienta estadística del SAS, fue la siguiente:

$$\begin{aligned} R_g &= -0.70662 - 0.13461 L_c - 0.00113 L_c^2 \\ R^2 &= 0.73 \quad \quad \quad CV = 18.14 \% \end{aligned} \quad (1)$$

Donde:

R_g = Rendimiento de grano (tha^{-1})

L_c = Lámina consumida (cm)

R^2 = Coeficiente de determinación

CV = Coeficiente de variación

Posteriormente se realizó un análisis de optimización de la función obtenida de acuerdo a la teoría de máximos y mínimos del cálculo diferencial e integral (Martínez, 1985). De este análisis se concluye que la canola maximiza su producción de grano a 3.3 t ha^{-1} , al consumir el cultivo una lámina de agua de 59.6 cm durante su desarrollo. Sin embargo al analizar la pendiente de la función de producción obtenida Figura 6, se deduce que si la lámina consumida es reducida a 45 cm, el rendimiento de grano obtenido es prácticamente el mismo (3.1 t ha^{-1}).

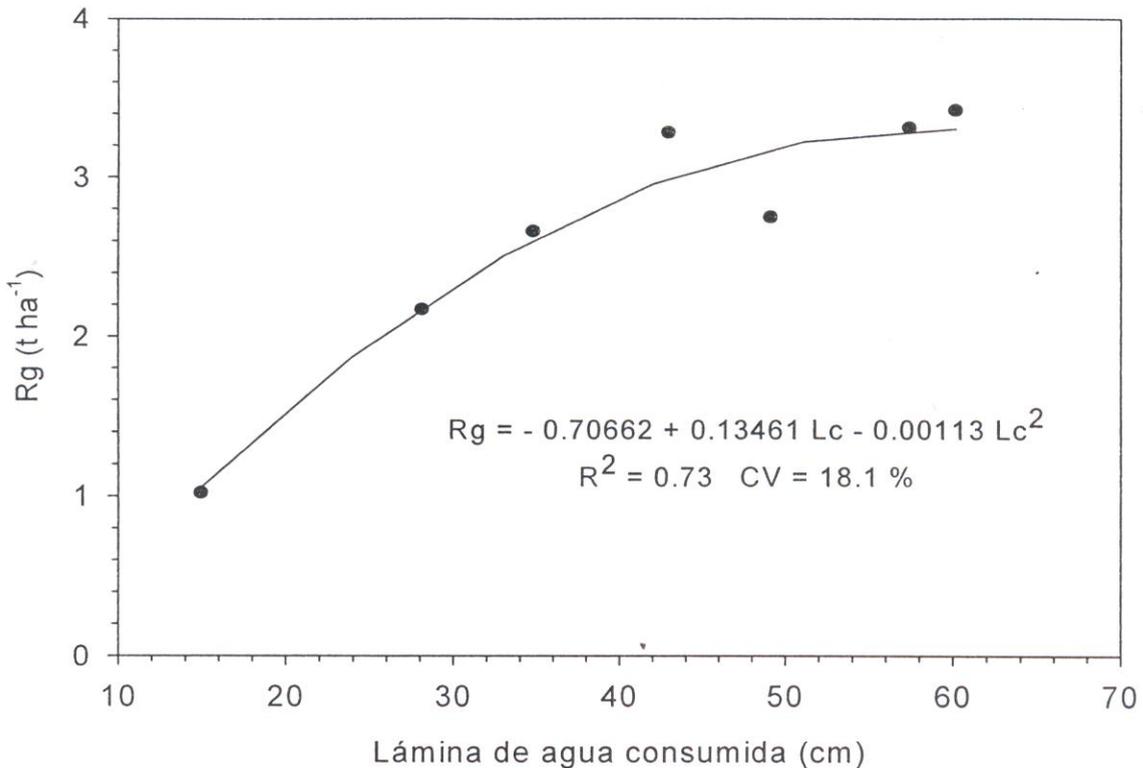


Figura 6. Función de producción de la canola a la lámina de agua consumida

7.6. Función de producción del rendimiento de grano de la canola y régimen de humedad del suelo (humedad aprovechable residual al momento de riego)

Por medio del análisis de regresión se encontró una función que relacionó el rendimiento de grano del cultivo de canola como variable dependiente y la humedad aprovechable residual del suelo al momento del riego como variable independiente, la función encontrada se presenta como la ecuación (2).

$$Rg = 1.25429 + 0.08223 Har - 0.00080828 Har^2$$

$$R^2 = 0.72 \quad CV = 18.5 \% \quad (2)$$

Donde:

Har = Humedad aprovechable residual del suelo al momento del riego (%)

Enseguida se realizó un análisis de optimización de la función obtenida de acuerdo a la teoría de máximos y mínimos del cálculo diferencial e integral (Martínez y castillo, 1987).

De este análisis se concluyó que la canola maximiza su producción de grano a 3.35 t ha⁻¹ al desarrollarse bajo un régimen de humedad del suelo equivalente al 51 % de la humedad aprovechable residual del suelo al momento del riego. Sin embargo, al analizar la pendiente de la función de producción obtenida, se deduce que si la humedad aprovechable residual en el suelo es reducida a 34 %, el rendimiento de grano obtenido es prácticamente el mismo (3.1 t ha⁻¹) debido a que en esa región de la función, la pendiente tiene una tasa de cambio muy pequeña.

7.7. Función de respuesta del rendimiento de grano de canola y el régimen de humedad en el suelo ponderado por consumo de agua (MPa)

Al relacionar la respuesta del grano de la canola con el contenido de humedad del suelo expresado en el parámetro tensión de humedad ponderado por consumo de agua, se encontró que se ajusta en forma satisfactoria a un modelo cuadrático. La función obtenida mediante el análisis de regresión (SAS) se presenta como la ecuación (3).

$$\begin{aligned} R_g &= 3.041 + 0.14034 T_p - 0.01778 T_p^2 \\ R^2 &= 0.72 \quad \quad \quad CV = 18.7 \% \end{aligned} \quad (3)$$

Donde:

T_p = Tensión ponderada (MPa)

El análisis de varianza de la regresión resulta ser altamente significativa para esta fuente, con lo que se concluye que las variables independientes bajo estudio explican satisfactoriamente la respuesta en rendimiento de la canola.

Al realizar el procedimiento de optimización de la función se obtiene que el régimen de humedad óptimo resultó ser de -0.40 MPa al cual debe desarrollarse la canola para lograr la mayor producción de grano de 3.32 t ha⁻¹. Sin embargo, al analizar la pendiente de la función de producción se concluye que si el cultivo se desarrolla a una tensión de humedad del suelo al momento del riego de -0.70 MPa se obtiene prácticamente el mismo rendimiento de grano de 3.2 t ha⁻¹.

7.8. Requerimiento de unidades calor por la canola

Dentro de los objetivos planteados en este trabajo fue el encontrar un modelo de respuesta predictivo para la estimación del coeficiente de ajuste por el desarrollo de la canola en base a requerimientos de unidades calor de crecimiento. Donde fue establecida el cultivo bajo un lisímetro de pesada con el propósito de determinar las tasas evapotranspirativas máximas diarias durante el ciclo del cultivo. Los resultados de los requerimientos de unidades calor de crecimiento para la canola son presentados en la Figura 7. Para el calculo de este parámetros se tomó como temperatura base para la canola el valor de 5 °C y de 30 °C como temperatura máxima (Shaykewich, 2005). La

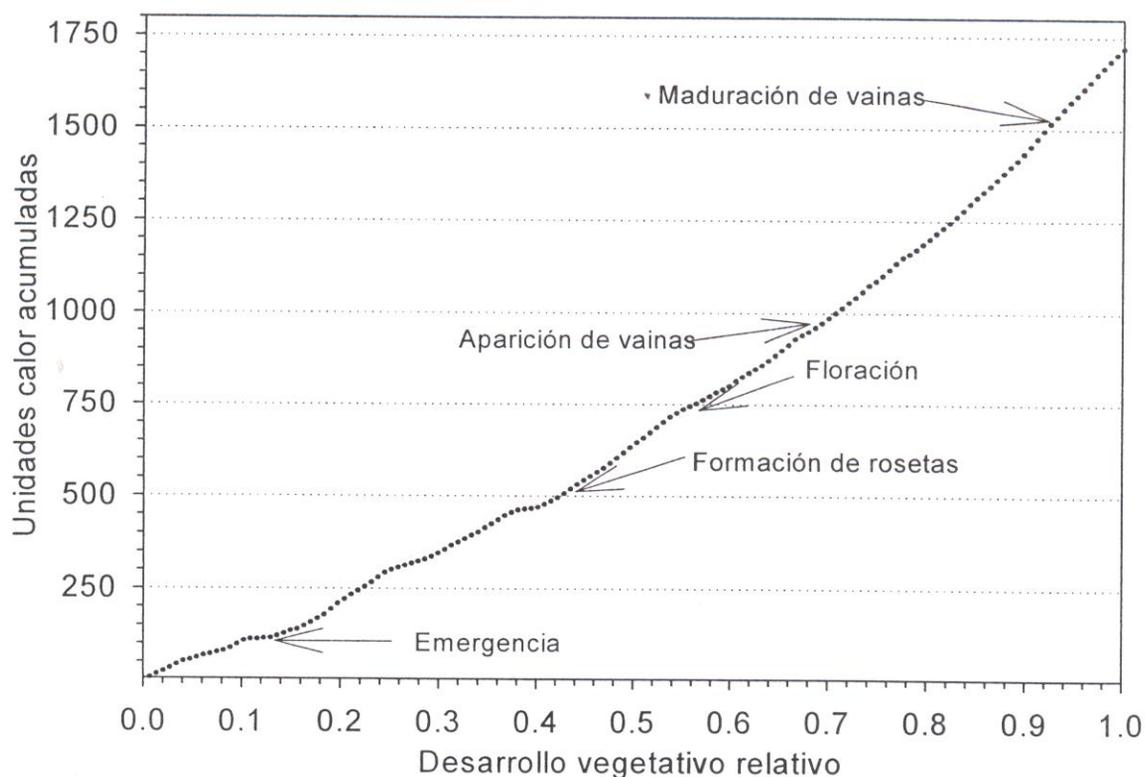


Figura 7. Etapas fenológicas de la canola en función de las unidades calor acumuladas.

figura 7 muestra los valores acumulados de las unidades calor a las cuales se presentaron los principales eventos fenológicos del cultivo como emergencia, formación de rosetas, inicio de floración la aparición de vainas, maduración de vainas, entre otras. Las unidades calor fueron un reloj fisiológico del crecimiento ya que conforme las

temperaturas se presentaban más elevadas, las etapas aparecían más temprano que a diferencia cuando las temperaturas eran bajas, existía un retraso en la presentación de los períodos fenológicos.

7.9. Evapotranspiración máxima en la canola en función de las unidades de calor acumuladas

Los valores de requerimiento de evapotranspiración máxima de la canola determinados en el lisímetro gravimétrico de alta precisión, en función de las unidades calor de crecimiento acumulada se presentan en la figura 8. Estos datos, fueron generados diariamente, presentando un comportamiento bien definido: tasas evapotranspirativas bajas en el período de emergencia a inicio de floración, posteriormente a este período, se observan la demandas evapotranspirativas más altas por la canola y fue justamente durante el período después de floración, aparición de vainas y llenado de vainas. En este último evento se presentaron demandas del cultivo de casi 14 mm diarios de agua y esta demanda fue sostenida por un periodo corto de tiempo para después declinar hasta alcanzar la madurez de vainas donde después de este evento fenológico la demanda de agua del cultivo se reduce drásticamente hasta alcanzar la madurez fisiológica (Figura 8).

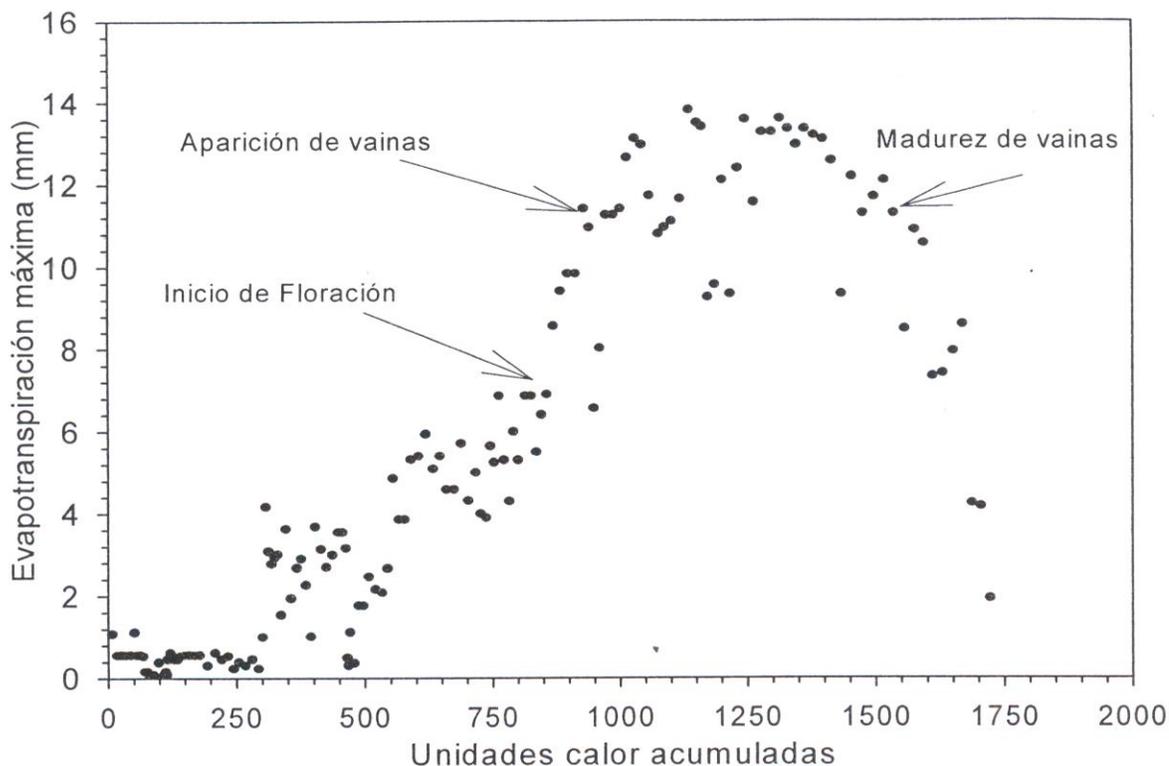


Figura 8. Evapotranspiración máxima diaria de la canola registrada con el lisímetro de pesada.

7.10. Coeficiente de ajuste por desarrollo de cultivo (kc)

Para obtener los coeficientes de ajuste por desarrollo de cultivo (K_c), en el lisímetro de pesada de alta precisión, se determinó de acuerdo con la relación (1). Dichos coeficientes se muestran en la figura 9 y fueron ajustados mediante la técnica de promedios móviles, para eliminar las variaciones bruscas. Este parámetro se presenta con su típico comportamiento de los cultivos anuales durante su desarrollo vegetativo, el cual es

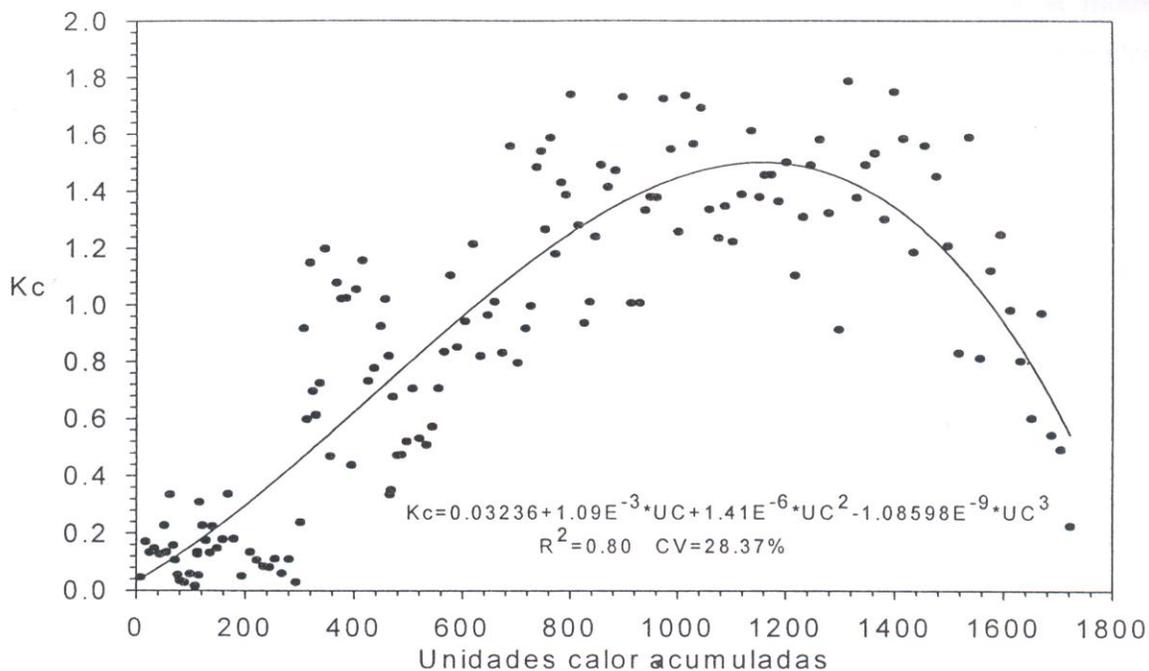


Figura 9. Comportamiento de los coeficientes de ajuste por desarrollo de la canola (K_c) en función de las unidades calor de crecimiento del cultivo.

puntualizado en base a las unidades calor de crecimiento para este cultivo. El comportamiento de K_c a través del ciclo vegetativo de la canola fue el siguiente: en el inicio del período vegetativo del cultivo y hasta antes de la floración, se presentaron bajos coeficientes de desarrollo entre 0.1 a menos de la unidad, incrementándose conforme al desarrollo del cultivo alcanzaba la aparición de vainas y llenado de las mismas con valores máximos de K_c de 1.80. Los valores de esta relación empezaron a disminuir drásticamente después de la maduración de vainas de la canola para acercarse a cero después que el cultivo alcanzó la madurez fisiológica del grano. El valor mayor del coeficiente de ajuste se registró durante el llenado de las silicuas o vainas y correspondió al valor de $K_c = 1.80$, esto significa que la demanda hídrica del complejo planta-atmósfera superó en un 80 por ciento la demanda evaporativa del medio ambiente. Los valores menores se presentaron como era de esperarse, al iniciarse el ciclo vegetativo y al término de éste.

Con el propósito de lograr una mayor generalidad en la predicción del K_c , estos fueron relacionados con las unidades calor de crecimientos acumulados, en lugar del

desarrollo vegetativo relativo de la canola. Los datos fueron ajustados al modelo propuesto por Sammis *et al.* (1985) La función ajustada obtenida por regresión múltiple fue la siguiente:

$$Kc = 0.03236 + 1.09 \cdot 10^{-3} \cdot UC + 1.41 \cdot 10^{-6} UC^2 - 1.08 \cdot 10^{-9} UC^3 \quad (4)$$
$$R^2 = 0.80$$

Donde los coeficientes fueron significativos al uno por ciento, UC son las unidades calor de crecimiento del cultivo de la canola.

Los datos observados y la función ajustada se ilustran en la Figura 9, de acuerdo a esta gráfica y al coeficiente de determinación puede afirmarse que el ajuste de los datos a este modelo fue muy bueno y por consecuencia su poder predictivo que proporciona mayor generalidad al modelo, ya que toma en cuenta parámetros físicos del clima como lo es las unidades calor.

VIII. CONCLUSIONES

De acuerdo a la condición bajo las cuales se desarrollo el presente estudio se concluye que:

Los rendimientos de grano de la canola muestran una respuesta no lineal a las condiciones de diferentes regímenes de humedad del suelo propiciados por los tratamientos de riego.

Los tratamientos desarrollados en el rango de 19.9 a 56.2 por ciento condición de la humedad aprovechable residual al momento del riego, presentaron los mayores rendimientos de grano variado de 2.66 a 3.42 t ha⁻¹.

La mayor eficiencia en uso de agua se presentó en los tratamientos de 2, 3, y 4 no hubo diferencias son similares con una eficiencia promedio de 0.77 kg m⁻³ al regar a la canola con un promedio de la humedad aprovechable residual en el suelo, al momento del riego de 29.95 por ciento.

Al optimizar la función de producción agua se obtuvo que la canola maximizó su rendimiento de grano al consumir 45 cm de agua en su ciclo vegetativo.

El análisis de la función de producción obtenida para el régimen de humedad en el suelo permite deducir que la canola debe desarrollarse bajo un contenido de humedad del suelo de 34 por ciento de la humedad aprovechable residual a (-0.70 MPa) del suelo para optimizar su rendimiento de grano de 3.1 t ha⁻¹.

El ajuste fue satisfactorio para el modelo polinomial de tercer orden para representar el comportamiento de los datos de los coeficientes de ajuste por desarrollo de la canola.

El modelo obtenido proporciona mayor generalidad de los coeficientes de ajuste por desarrollo ya que involucró parámetros con más carácter físico (unidades calor) que los modelos que relacionan el Kc en función del calendario juliano o el desarrollo vegetativo en días.

La canola alcanzó la etapa de roseta a las 500 unidades calor de crecimiento, el Kc tuvo un valor de 0.70, que se incrementó a la unidad al alcanzar la floración como a las 750 unidades calor. El máximo valor del coeficiente de ajuste de 1.5 se presentó en la etapa de llenado de vainas y fue aproximadamente a las 1200 unidades térmicas de crecimiento de la canola.

IX. REVISIÓN DE LITERATURA

- Al-Ghobari H. M. 2000. Estimation of reference evapotranspiration for southern region of Saudi Arabia. *Irrigation Science*. 19: 81-86.
- Aguilar F., P. Ortiz. 1978. *Larousse Agricole*. Herssey-Francia, p. 1207
- 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.
- Burton L., Johnson. 2004 "Physiological and Harvest Maturity of canola in relation to seed quality. *American Society of Agronomy. Agron. Journal*. 96: 454 – 461.
- Brandt, S.A., and D.I. McGregor. 1997. Canola response to growing season climatic conditions. p. 322–328. *In Proc. Workshop on Soils and Crops '97*, Saskatoon, SK, Canada. 20–21 Feb. 1997. Univ. Ext. Press, Saskatoon, SK, Canada.
- Castillo T. N. 2003. Tecnologías de Producción de canola "Memoria del Agricultor 2003". *Publicación especial 10: 1- 21 CEMAY - INIFAP*.
- Criddle S. D. *Methods of Computing Use of Water. Journal of Irrigation and Drainage Divisions' American society of Civil Engineering* 45: 1 25.
- Francois, L. E. 1994. Growth, seed yield, and oil content of canola grown under saline conditions. *Agron. J.* 86:233-237.
- García E. 1970. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Instituto de Geografía de la UNAM, para la Comisión de Estudios del Territorio Nacional. 235 p.
- Godwin C. Robert. 2004. Response of wheat, canola and alfalfa to simulated acidic precipitation. *Springer Science*. 40(3-4): 399 - 407
- G.C. Wright, C.J. Smith y M.R. Woodroffe. 1988. The effect of irrigation and nitrogen fertilizer on rapeseed (*Brassica napus*) production in South-Eastern Australia. *Irrig. Sci*: 9:1-13.
- Hargreaves G.H. y Z.A. Samani. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture* 1(2):96-99.
- Hunsaker D. J., P. J. Pinter, E. M. Barnes and B. A. Kimball. 2003a. Estimating cotton evapotranspiration crop coefficients with a multispectral vegetation index. 22:95 - 104.
- Hunsaker D. J., P. J. Pinter, H. Cai. 2003b. Alfalfa basal crop coefficients for FAO-56 procedures in the desert southwestern US. *Trans. ASAE* 45: 1799-1815.

- Inzunza I M. A. y F. Mojarro D. 1994. Simulación del coeficiente de cultivo con base en unidades térmicas. *Terra*. 12: 289-296.
- Johnston A. M., D. L. Tanaka, P. R. Miller, S. A. Brandt, D. C. Nielsen, G. P. Lafond, and N. R. Riveland. 2002. Oil seed Crops for Semiarid Cropping Systems in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*. 94:231-240
- Johnson L. 2004 Genotype seed size. *American Society of Agronomy. Agron. J.* 96:454 - 461.
- Mendoza M. S. F., M. A. Inzunza I., M. M. Villa C., E. A. Catalán V., A. Román L., J. Martínez S., H. Macías R., C. Potisek T. 2004. Respuesta del chile jalapeño al acolchado plástico y niveles de humedad con riego por goteo (cintilla). *In: XV Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED*. 8-12 Sept. Venecia, Durango. pp: 489-494.
- Merriaw J. L and J. K. Keller. 1978 Farm irrigation system Evaluation. A guide for Management Department of Agriculture an irrigation Engineering. UTA. State University Logan UTAH. USA.
- Montero J. Martinez, 1995. Analysis of water application cost with permanent set sprinkler irrigation systems *Irrigation Science*. 23 (3):103 – 110.
- Muñoz V. S. y Ortiz E. J. E 1999. Guía para producir Canola en el sur de Sonora. Folleto 33:1- 28. YAQUI- INIFAP.
- Nielsen C. D. 1997. Water use of canola under dryland conditions in the Central Great Plains. *J. Prod. Agric.*, 10(2):307-313.
- Oplinger E. S., Hardman, 1989. Canola. *Alternative Field Crops Manual*. Departments of agronomy and soil Science, university of Minnesota, St. Paul. 9p.
- Peña P. E. 1974. Proyecto de construcción de lisímetro de pesada y estructura inalterada. Tesis Chapingo, México, Colegio Postgraduados. 66 p.
- Richards, L.A. 1977. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa México.
- Rife C. L. and H. Zeinali. 2003. Cold tolerance in oilseed rape over varying acclimation durations. *Crop Science*. 43:96 - 100.
- Rod J. Smith y Hossein Fardad. 2004. Effect of water quality on soil structure and infiltration under furrow irrigation. *Irrigation Science Springer* 23(2):55 -60.
- 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.

Sánchez C. I., F. C. Espinoza M. M Villa J. L. González G. González A. Estrada. 2004. Plan Indicativo de Investigación, Centra Nacional de Investigación en Relación Agua –Suelo-Planta-Atmósfera, INIFAP, SAGARPA. Gómez Palacio Dgo. p. 9

Santa María C. J., D.G. Retas., F. J. Chávez G., J. A. Cueto W. 2005. Potencial productivo de canola (*Brassica napus L*) como cultivo forrajero alternativo

Comarca

Páginas Web citadas

<http://www.canolacouncil.org/pubs/canolaoriginandhistoryspa.pdf> Programa leguminosa.

<http://www.canola-council.org/pubs/canolacouncilspa.pdf>

Canola Council of Canada. 2000. Canola Growers manual.
<http://www.canola-council.org/manual/>.

http://www.canolacouncil.org/production/icp/cropproduction/growing/growthstages/growth_stages/growth_stages_su.pdf.

00145

APÉNDICE

Cuadro 4. Rendimientos de grano (t ha⁻¹) de la canola

Bloques					
tratamiento	I	II	III	IV	media
1	1.25	1.30	1.35	0.20	1.025
2	1.91	2.06	2.87	1.85	2.173
3	2.24	3.02	2.71	2.67	2.660
4	3.21	3.07	3.50	3.36	3.285
5	2.47	2.02	3.19	3.34	2.755
6	3.19	4.00	2.74	3.33	3.315
7	3.04	4.11	3.09	3.44	3.420

Cuadro 5. Análisis de varianza para producción de canola (t ha⁻¹)

F.V.	G.L	S.C.	C.M.	F.C	Pr > F
Trat	6	17.268	2.878	12.35	< 0.0001
Bloque	3	0.501	0.167		0.554
error	18	4.194	0.233		
Total	27	21.964			

** Mínimo significativo

CV. = 18.1 %

R² = 0.81

Cuadro 6. Prueba del rango múltiple de Tukey de los niveles de humedad para rendimiento de grano (t ha⁻¹).

Trat. y números de riegos	Rendimiento t ha ⁻¹	Tukey $\alpha = 0.5$
1	1.02	c
2	2.17	b
3	2.66	ab
4	3.28	ab
5	2.75	ab
6	3.31	a
7	3.42	a

Cuadro 7. Eficiencia media en uso de agua de la canola (kg m⁻³).

Bloques						
tratamiento	I	II	III	IV	Eficiencia Media	Lámina consumida (cm)
1	0.841	0.873	0.906	0.132	0.6880	14.92
2	0.679	0.733	1.022	0.659	0.7733	28.11
3	0.644	0.868	0.778	0.768	0.7645	34.79
4	0.748	0.714	0.814	0.781	0.7643	42.96
5	0.504	0.412	0.649	0.681	0.5615	49.11
6	0.555	0.698	0.477	0.581	0.5778	57.38
7	0.505	0.684	0.514	0.573	0.5690	60.13

Cuadro 8. Análisis de varianza para la eficiencia en uso del agua de la canola (kg m⁻³).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C	Pr > F
Trat	6	0.237	0.039	1.33	0.295
Bloque	3	0.088	0.029	0.99	0.421
error	18	0.536	0.030		
Total	27	0.861			

** Mínimo significativo

CV. = 25.7 %

R² = 0.38