

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**REQUERIMIENTOS AGROCLIMÁTICOS
Y MODELOS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO
DE LA CANOLA (*Brassica napus* L.)**

POR

JESÚS ANTONIO PINALES BORBOLLA

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

**REQUERIMIENTOS AGROCLIMÁTICOS Y MODELOS DE CRECIMIENTO DEL
CULTIVO DE LA CANOLA (*Brassica napus* L.)**

**TESIS DEL C. JESÚS ANTONIO PINALES BORBOLLA ELABORADA
BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y
APROBADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

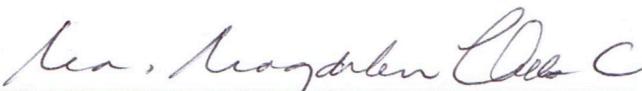
APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:



M.C. ABEL ROMÁN LÓPEZ

ASESOR PRINCIPAL:



DRA. MA. MAGDALENA VILLA CASTORENA

ASESOR:



DR. ERNESTO ALONSO CATALÁN VALENCIA

ASESOR:



DR. ÁNGEL LAGARDA MURRIETA



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

Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

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

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**REQUERIMIENTOS AGROCLIMÁTICOS Y MODELOS DE CRECIMIENTO DEL
CULTIVO DE LA CANOLA (*Brassica napus* L.)**

**TESIS DEL C. JESÚS ANTONIO PINALES BORBOLLA QUE SE
SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR,
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

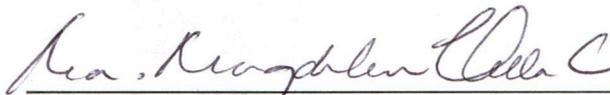
APROBADA POR:

PRESIDENTE:



M.C. ABEL ROMÁN LÓPEZ

VOCAL:



DRA. MA. MAGDALENA VILLA CASTORENA

VOCAL:



Ph. D. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA

VOCAL SUPLENTE:



DR. ANGEL LAGARDA MURRIETA



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

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MARZO DEL 2006

El presente trabajo de investigación se realizó en su totalidad en las instalaciones del Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Gómez Palacio, Durango, bajo la dirección y asesoría de la Dra. Ma. Magdalena Villa Castorena.



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

DEDICATORIAS

A Dios:

Por darme la vida y la oportunidad de concluir satisfactoriamente una etapa mas de ella.

A mis Padres:

Antonio Pinales Espinoza y Ma. Matilde Borbolla Figueroa. Por su amor, cariño, respeto, comprensión y apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mis Hermanos:

Cesar, Rafael y Alan.

A mi Familia:

A mi tía Leonor, Raquel, Mario, Juanito, Hermelinda Por el inmenso apoyo que siempre me han brindado

A mi tíos Manuela y Julio, por su apoyo, motivación y confianza.

A toda mi familia que de alguna u otra manera colaboraron en el desarrollo de mis estudios.

A mis Amigos:

De Generación de Ingeniero Agrónomo en Irrigación: Aimer, Armando, Oscar, Martini, Carlos, Sergio, Genaro, Domitilo por esos momentos inolvidables que pasamos juntos. Osviel, Jorge, Marco. A todos mis amigos del campo Esperanza que de algún modo u otro estuvieron conmigo y de aquí de Ricardo flores Magón Por brindarme su amistad y el apoyo incondicional en todo este Tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Al congreso Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Coahuila por otorgarme el estímulo de la "BECA TESIS", que sirvió para costear los gastos ocasionados por la realización de la tesis. Agradecer al Lic. Andrés Farias Cortes, Director Regional y de la Lic. Maria de Lourdes Hernández Castillo por ser promotores de este programa importante.

A mi "ALMA MATER" por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios profesionales.

A Dra. Ma. Magdalena Villa Castorena, por su amistad, apoyo, así como la dedicación en la colaboración, asesoramiento y revisión de este trabajo.

A M.C. Abel Román López por su valiosa colaboración en la revisión del presente trabajo.

A Dr. Ernesto Alonso Catalán Valencia y al Dr. Ángel Lagarda Murrieta por la asesoría para concluir este trabajo.

A Dr. Vicente de Paul Álvarez Reyna por sus enseñanzas y apoyo durante el desarrollo de mis estudios.

AL CENID – RASPA (Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera), por brindarme su apoyo y las herramientas necesarias para la elaboración de este proyecto.

A todos mis maestros que intervinieron a lo largo de mi carrera y contribuyeron en mi formación académica.

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera colaboraron en el desarrollo de mis estudios y la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE CUADROS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
RESUMEN.....	VI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
III. META.....	3
IV. HIPOTESIS.....	3
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
5.1 Clasificación de la canola.....	4
5.2 Origen de la canola.....	4
5.3 Características botánicas.....	5
5.4 Adaptación de la canola.....	7
5.5 Usos de la canola.....	8
5.6 Producción de la canola en el mundo.....	9
5.7 Producción de canola en México.....	10
5.8 Fenología.....	12
5.9 Estudios fenológicos y su importancia.....	14
5.10 Temperatura y desarrollo.....	16
5.11 Parámetros de crecimiento.....	19

5.11.1 Índice de área foliar.....	19
5.11.2 Acumulación de biomasa.....	20
5.12 Modelos de crecimiento.....	20
5.12.1 Funcionamiento y aplicación de los modelos.....	21
VI. MATERIALES Y METODOS.....	24
6.1 Localización de los sitios experimentales.....	24
6.2 Características edáficas de los sitios experimentales.....	25
6.3 Cultivo.....	25
6.4 Preparación del terreno.....	25
6.5 Método de siembra.....	25
6.6 Fechas de siembra.....	26
6.7 Fertilización.....	26
6.8 Control de plagas.....	26
6.9 Riegos.....	27
6.10 Cosecha.....	28
6.11 Diseño experimental.....	28
6.12 Variables evaluadas.....	28
6.12.1 Muestreos de plantas.....	28
6.12.2 Materia seca.....	29
6.12.3 Índice de área foliar.....	29
6.13 Determinación de grados día.....	30
6.14 Determinación de índice de cosecha.....	32
6.15 Análisis de resultados.....	32

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
7.1 Requerimientos de grados día de cada fase fenologica.....	34
7.2 Modelos de crecimiento de materia seca.....	38
7.3 Modelos de crecimiento de área foliar.....	40
7.4 índice de área foliar e índice de cosecha.....	42
VIII. CONCLUSIONES.....	44
IX. LITERATURA CITADA.....	45

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
5.1 Composición química de la semilla de la canola.....	6
5.2 Contenido de ácidos grasos (%) en el aceite de la semilla de la canola.....	6
5.3 Anuario estadístico de la producción agrícola 2003-2004/canola /año agrícola(oi+pv)/riego+temporal.....	11
5.4 Indicadores de canola en México Durante los años 2000-2001.....	11
6.1 Ubicación geográfica y clima de los sitios experimentales.....	24
6.2 Características físicas de los suelos de cada sitio experimental.....	25
6.3 Programación de riegos.....	27
6.4 Ecuaciones para calcular grados día en el periodo de 12 horas en seis posibles relaciones.....	31
7.1 Fechas de aparición de las diferentes fases fenológicas de la canola en los sitios experimentales.....	35
7.2 Grados Día acumulados para cada fase de desarrollo en los diferentes sitios experimentales.....	37
7.3 Requerimientos de grados día para la aparición de las diferentes fases de desarrollo de la canola.....	38
7.4 Datos de materia seca g por planta en los diferentes muestreos.....	40
7.5 Datos de área foliar por planta en cm ² en los diferentes muestreos.....	41
7.6 índice de área foliar de la canola a diferentes grados día acumulados.....	43
7.7 Rendimiento de grano de la canola en Kg por ha obtenido en el experimento del CENID RASPA	43

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
6.1 Medidor electrónico digital de área foliar	29
7.1 Relación entre el porcentaje de desarrollo y los grados día acumulados a partir de la siembra del cultivo de la canola.....	39
7.2 Producción de materia seca por planta (g) en función de los grados día acumulados.....	40
7.3 Area foliar por planta en cm ² en función de los grados día acumulados.....	42

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue cuantificar el crecimiento del cultivo de la canola en términos del índice de área foliar y la acumulación de biomasa con el fin de obtener los modelos de crecimiento, determinar el índice de cosecha, además obtener los requerimientos agroclimáticos del cultivo para generar un modelo de predicción del desarrollo.

La investigación se desarrollo en cuatro campos experimentales del INIFAP localizados en diferentes lugares geográficos: Pabellón, Aguascalientes; Morelia, Michoacán; Navojoa, Sonora y la Región Lagunera (CENID-RASPA). Se Hicieron muestreos de plantas cada 15 días para registrar las fechas de aparición de las fases fenológicas siguientes: Siembra, emergencia, formación de rosetas, aparición de botones florales, floración, aparición de primeras vainas, maduras de vainas y cosecha. Durante estas fases fenológicas se acumularon los grados-día. Los cuales fueron estimados con las temperaturas máximas y mínimas del aire y las temperaturas cardinales de crecimiento del cultivo. Los grados-día se estimaron con la metodología curva de seno modificada y usando un programa de computo. Los datos de índice de área foliar y la acumulación de biomasa se ajustaron a modelos matemáticos de crecimiento mediante regresión.

Los resultados demostraron que la relación área foliar por planta y grados días se ajusto a un modelo de crecimiento exponencial cuadrática. La producción de materia seca durante el crecimiento del cultivo en función a los grados-día se ajusto mejor al modelo de crecimiento Sigmoidal. La canola para acumular su ciclo de cultivo requiere acumular 1441 ± 76.57 grados-día.

I. INTRODUCCIÓN

México tiene una gran diversidad de regiones ecológicas en su territorio y además cuenta con una gran variedad de especies vegetales que pueden prosperar en ellas. Se estima que el 50 por ciento de la superficie de México es árida o semiárida donde la precipitación anual es de 100 a 500 mm (FAO, 1995), por lo que la aplicación del riego es necesaria para la producción agrícola. Los sistemas de producción de estas regiones giran en torno a la explotación de los cultivos básicos y la mayor parte de la investigación agrícola se ha enfocado principalmente hacia estos cultivos. Sin embargo existen varias especies vegetales que en un momento dado pueden representar una alternativa de cultivo para las regiones áridas donde el uso eficiente y la conservación del agua son prioritarios.

En este aspecto los programas de investigación deben ser enfocados hacia el uso más eficiente del agua a través de mejores prácticas de riego o mediante el uso de especies que requieren menos agua para su producción y además que tengan un alto potencial económico con el fin de elevar el nivel de vida de los productores de las regiones con escasez de agua. Así la generación de información básica sobre los requerimientos de agua, nutrimentos y de clima de cultivos alternativos que tienen alta posibilidad de producción en áreas con fuertes restricciones de agua es necesaria. Dentro de estos cultivos se incluyen a la canola (*Brassica napus* L.) que produce un aceite de alta calidad tanto para consumo humano como para la industria.

México tiene un déficit en el abastecimiento de materia prima para cumplir con las demandas de materia prima para la producción de aceites y sus derivados, entre estas semillas destacan las de canola. Durante el período del año 2000 al 2002, la industria de producción de aceites, grasas y proteínas en México utilizó en promedio 5.62 millones de toneladas de semillas de oleaginosas, del cual el 15.95 por ciento comprenden semillas de canola. Sin embargo, la producción de esta oleaginosa no es suficiente para la utilización de esta en la industria por lo que se tienen que importar de otros países. En ese período se importaron en promedio un millón de toneladas de semilla de canola lo que representa una gran dependencia del exterior (Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles, A.C. <http://www.aniname.com>).

II. OBJETIVOS

- ❖ Cuantificar el crecimiento del cultivo de la canola en términos de índice de área foliar y acumulación de biomasa con el fin de obtener los modelos de crecimiento, determinar el índice de área foliar máximo e índice de cosecha.
- ❖ Obtener los requerimientos agroclimáticos del cultivo de la canola para generar un modelo de predicción del desarrollo.

III. META

Obtener información del desarrollo y crecimiento de la canola que sirvan en los estudios de zonificación de este cultivo.

IV. HIPOTESIS

La aparición de las fases fenológicas del cultivo de la canola requieren de una acumulación constante de Grados día.

V. REVISION DE LITERATURA

5.1 Clasificación de la canola.

La clasificación botánica de la canola es la siguiente (Jones, 1988):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Brassicales

Familia: Cruciferae (Brassicaceae)

Género: *Brassica*

Especie: *napus*

5.2 Origen de la canola.

La canola es una especie derivada de la colza, planta milenaria que tiene su origen en la India, donde se ha cultivado desde hace mas de 2 mil años; después se introdujo a Japón, a través de China, y su distribución en Europa se llevo a cabo en el siglo XVIII, donde el aceite se convirtió en la principal fuente de combustible para lámparas hasta que fue reemplazado por el petróleo (Ortegón, 1999).

Sin embargo otros mencionan como centro de origen el Mediterráneo y Asia Menor, pero hacen referencia como probables centros primarios a Francia, Dinamarca y España. A pesar de la diversidad de opiniones en cuanto al centro de origen de este cultivo, la más aceptada es la primera (Robles, 1986).

En 1974, el Dr. Baldur Stefansson, fitogenetista de la Universidad de Monitoba, desarrollo la primera variedad "doblé cero" que reducía tanto el acido erúxico como los niveles de glucosolinatos. Esta variedad de *Brassica napus*,

fue la primera en satisfacer los requisitos específicos nutritivos desarrollados para identificar un cultivo enormemente mejorado que se llegaría a conocer como canola (Hartley, 1987).

El nombre de la canola proviene desde los años setenta cuando la Asociación de Extractores de Oleaginosas de Canadá Occidental registro el nombre o termino de canola. Canola hace referencia al aceite, grano molido, extractos de proteína, semilla y cáscara de semilla de la variedad o variedades con una presencia de 5.0 por ciento o menos de ácido erúxico en el aceite, y tres miligramos por gramo o menos de glucosinolatos en el grupo molido. Algunos señalan que el nombre se obtuvo de la contracción de Canadian Oil Low Acid (Hume, 1992).

En nuestro país se cultiva principalmente en los estados de Jalisco, México, Sinaloa, Sonora, Nuevo León, Tamaulipas y Tlaxcala (SIACON, 2005).

5.3 Características botánicas.

La canola (*Brassica napus* L.) es una crucifera de raíz pivotante y profunda (más de un metro). Cuando esta raíz principal encuentra obstáculos para profundizar, tiene la facilidad para desarrollar raíces secundarias. El tallo es erecto y ramificado con alturas que van desde 0.50 hasta 1.70 metros. Las hojas son ásperas, color verde azulado, las inferiores son pecioladas y más grandes que las superiores que son lanceoladas y enteras. Las flores son pequeñas, amarillas y se encuentran en una inflorescencia racimosa. Los frutos son silicuas (vainas) de 3 a 4 mm de ancho y 6 cm de largo y el número de granos por vaina es de 20 a 25, según la variedad. Las semillas son esféricas, de 2 a 2.5 mm de diámetro y una vez maduras, tienen un color castaño rojizo o

negro (Sánchez, 1999; Morrison y Stewart, 2000), su composición química se presenta en el Cuadro 5.1.

Cuadro 5.1. Composición química de la semilla de la canola (FAO, 1980).

Componente	%
Proteínas	21.08
Grasas	44.55
Fibra	6.42
Cenizas	4.54
Extractos no nitrogenados	19.41
Total	100.00

El contenido de aceite de la semilla varía de 40 a 45 por ciento; constituido por más del 60 por ciento de ácido graso oleico y un bajo contenido de grasas saturadas. En el Cuadro 5.2 se presenta el contenido de ácidos grasos en el aceite de la semilla de canola de dos materiales genéticos (Ortegón, 1999).

CUADRO 5.2. Contenido de ácidos grasos (%) en el aceite de la semilla de canola (Ortegón, 1999).

Ácidos Grasos	Híbrido	
	Hyola 401	Hyola 420
Saturados		
Palmitito	3.8	3.6
Esteárico	2.3	2.7
No saturados		
Oleico	65.8	66.0
Linoleico	18.1	17.7
Linolénico	9.1	9.4
Erúcico	0.3	0.4
Aceite %	42.3	41.6

La pasta obtenida después de extraer el aceite, contiene un 40 por ciento de proteína y es destinada a la formulación de alimentos balanceados para ganado bovino y porcino (Sánchez, 1999).

5.4 Adaptación de la canola.

Existen una amplia gama de variedades con distintas exigencias climáticas, lo que hace que su área de cultivo se extienda a casi todos los climas. Las bajas temperaturas, inferiores a -2°C son letales para la planta hasta que esta alcanza la fase de roseta. A partir de este momento soporta temperaturas del orden de 10 a 15 grados bajo cero (Wright *et al.*, 1996).

La canola prospera bajo diversas condiciones ecológicas y produce satisfactoriamente a temperaturas diurnas de 25 a 30°C y nocturnas de aproximadamente 20°C ; es tolerante a heladas, pues en las etapas de floración soporta temperaturas de 0°C , por lo que representa una opción para aquellas regiones donde ocasionalmente las bajas temperaturas, pero el calor junto con la sequía, causan reducción en el tamaño del grano y en el contenido de aceite. Temperaturas del aire arriba de 32°C causan reducciones considerables en el rendimiento de la canola (Angadi *et al.*, 2000).

La canola es sensible al encharcamiento del terreno y resiste bien la sequía invernal. A partir de la floración las temperaturas muy elevadas pueden perjudicar la granazón (Castillo, 1996).

La producción comercial de la canola puede realizarse en regiones donde se registren lluvias de 400 a 700 mm anuales y de 200 a 300 mm durante el desarrollo del cultivo. Los mayores requerimientos de agua los tiene

durante el periodo comprendido de inicio de floración a llenado de grano (Robles, 1986).

5.5 Usos de la canola.

Como la gran mayoría de las oleaginosas, su importancia en el mercado mundial tiene que ver con la relación que guarda con un basto número de industrias, principalmente en la alimenticia y la de alimentos balanceados. El aceite canola es uno de los más demandados por su excelente calidad, debido a la baja proporción de ácidos saturados y a la alta concentración de ácidos grasos monoinsaturados (Diepenbrock, 2000).

La semilla contiene Omega 3 y 6 que son ácidos grasos naturales que protegen contra ataques cardiacos e infartos en varias formas. Penetran las membranas celulares del cuerpo haciéndolas mas fluidas y flexibles, mejoran el nivel de lípidos en la sangre, disminuyen la viscosidad de las plaquetas sanguíneas y ayudan a mantener un ritmo cardiaco regular. Estas acciones ayudan a mantener a las arterias y al sistema cardiovascular en estado saludable, reduciendo así el riesgo de posibles ataques cardiacos e infartos (Daisy, 1989). Por estas cualidades el aceite de canola se ubica entre los mejores para la alimentación humana ya que juega un papel benéfico como parte de una dieta nutritiva (www.as.com.mx/aceite_as.html). También de la canola se obtienen otros productos como los aceites para las ensaladas y las margarinas (Duarte, 2003).

Por otra parte, se estima que en promedio la pasta que se obtiene de la trituration del grano de canola contiene entre 30.0 y 35.0 por ciento de proteína. En consecuencia esta pasta se usa comúnmente en los alimentos balanceados

para animales en todo el mundo. Las aplicaciones concretas que se ha otorgado, son como suplemento proteico en raciones de productos lácteos, carnes de res y aves (Robles, 1986). El aceite de canola se usa también en la fabricación de lubricantes y combustible (Jonson *et al.*, 1995).

5.6 Producción de canola en el mundo.

En la producción mundial de las semillas oleaginosas la canola juega un papel importante. Tomando como referencia a las siete principales semillas oleaginosas que se cultivan en el mundo, la canola durante el periodo 1998-2004, se ubico en el segundo lugar con cerca del 12 por ciento del total mundial, solo detrás de la semilla de soya. En este período la producción promedio fue de 37 millones de toneladas (*Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles, A.C.*, <http://www.aniame.com>).

La producción de canola se lleva actualmente en cerca de 36 países, entre los que destacan: China, Canadá, India, Alemania y Francia, los que durante el periodo de 1995/96 – 2002/03 concentraron cerca del 80 por ciento del total mundial. China tuvo una participación durante ese mismo periodo de 28.3 por ciento y Canadá con un 17.7 por ciento (<http://www.infoaserca.gob.mx>).

Canadá, se ubica como el principal país exportador de semillas de canola, ya que durante el periodo 1998-1999, contribuyo con el 39.8 por ciento del total. Se estima que se exporta la mitad de la semilla producida a países como Japón, Estado Unidos y México, mientras que la mitad es procesada a fin de cumplir con los compromisos adquiridos en el mercado mundial de subproductos como aceite y pasta proteica (Sánchez, 1999).

Los otros países exportadores que le siguen en importancia son Francia, Australia, Alemania, Republica Checa, Polonia con el 22.3, 14.9, 8.2, 3.7 y 2.2 por ciento respectivamente. Es importante resaltar que este grupo aparecen dos países del centro de Europa (Sánchez, 1999).

Para el ciclo 1998/1999, los volúmenes importados de esta oleaginosa alcanzaron la cifra de 5.8 millones de toneladas, lo que represento 24.1 por ciento menos con respecto al ciclo anterior, es decir, casi una cuarta parte deo de importarse. Entre los países que absorben las importaciones destacan Japón, que ha sido un mercado tradicional para el consumo de aceites de excelente calidad y saludables, con casi una cuarta parte (24.6 por ciento) de la canola que se importa en el mundo. China con el 21.0 por ciento ha incrementado su demanda de aceite en los últimos años, a tal grado que la producción domestica de semilla ha sido insuficiente. Alemania, México, Bélgica y Gran Bretaña con el 14.0, 9.0, 7.9 y 4.2 por ciento. (Ortegón, 1999).

5.7 Producción de Canola en México.

El interés por la canola, se ha dado en el litoral del pacifico sur del estado de Sonora, que es una región tradicionalmente importante en la producción de oleaginosas. Los primeros trabajos experimentales con dicho cultivo se iniciaron en el año de 1989, enfocándose a la introducción y caracterización de cultivares desarrollados por universidades y empresas Canadienses (Camarillo *et al.*, 2004). A nivel nacional se produjeron 4346.7 ton en los años 2003 y 2004 Cuadro 5.3 (SIACON, 2005).

Cuadro 5.3 Anuario Estadístico de la Producción Agrícola
2003-2004 / canola / año agrícola (oi + pv) / riego + temporal.

Estado	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Superficie siniestrada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)
Jalisco	267.00	267.00	00.00	581.70	2.179
México	251.00	170.00	81.00	437.00	2.571
Nuevo León	1.00	1.00	00.00	1.20	1.200
Sonora	110.00	100.00	10.00	148.00	1.480
Tamaulipas	745.60	483.60	262.00	717.00	1.317
Tlaxcala	1239	1226.00	13.00	1293.90	1.085

Sin embargo la producción obtenida en México es insuficiente para cubrir las demandas de la nación, puesto que en los últimos cuatro años se han importado cerca de un millón de toneladas (*Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles, A.C.*, <http://www.aniname.com>). En el Cuadro 5.4 se presentan algunos indicadores de la canola en México.

CUADRO 5.4. Indicadores de la canola en México durante los años 2000 y 2001 (ASERCA con datos del SIAP, 2002).

INDICADORES NACIONALES DE CANOLA

INDICADORES	2000	2001
superficie cosechada (Ha)	842	842
Rendimiento (Ton./Ha.)	2.38	1.31
Volumen de producción (Ton.)	2,006	1,101
Precio medio rural (\$/Ton.)	2,248	1,454
Valor de producción (miles de \$)	4,510	1,601

5.8 Fenología.

La fenología es el estudio de los fenómenos periódicos de los seres vivos y sus relaciones con las condiciones ambientales como luz, temperatura, humedad. La emergencia de los cultivos, la brotación de los frutales, la floración, la fructificación y la madurez corresponden a etapas de la fenología (Keatley *et al.*, 2002).

Desde la germinación de la semilla, las células vegetales se dividen y se multiplican, alargándose después. Simultáneamente las células modifican la estructura de su protoplasma, las células difieren unas de otras y las plantas desarrollan tejidos y órganos. Por lo general, el crecimiento y la diferenciación trascurren al mismo tiempo y a este proceso integral se le llama desarrollo (Baker y Reddy, 2001).

Cuando la semilla germina. El embrión se transforma en una plántula, que al emerger inicia el estado de desarrollo llamado vegetativo, durante el cual, la planta atraviesa por un proceso de rápido crecimiento. El estado vegetativo va desde la emergencia hasta que se inicia la formación de botones florales. Después del estado vegetativo se presenta el estado reproductivo, que va desde la formación de los botones florales hasta la madurez fisiológica (Money, 1997).

En los estudios fenológicos es muy común usar los siguientes términos:

Fase.- La aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos vegetales se llama fase. La emergencia de las plantas pequeñas, el espigamiento del trigo, la floración del manzano, la brotación de la vid, la madurez del maíz, etc., son verdaderas fases fenológicas.

Etapas.- Un fenómeno meteorológico puede ser benéfico o perjudicial según en que época se presente del ciclo vegetativo de un cultivo. Para conocer las características ecológicas de un vegetal es indispensable dividir la vida en etapas. Una etapa fenológica está delimitada por dos fases sucesivas. Si se comparan las áreas donde se siembra diferentes especies y sus rendimientos medios, se observará que cada cultivo prospera con buenos rendimientos en regiones diferentes. Si en una localidad se realizan siembras experimentales de cada una especie durante todo el año, sucede que las mejores fechas de siembras son las adoptadas comúnmente por los agricultores, ya que el cultivo tiene en tal época la mínima cantidad de adversidades meteorológicas durante su desarrollo. Esto indica que el cultivo remunerativo de una planta es posible solamente durante su ciclo vegetativo tiene condiciones favorables de temperaturas, lluvia, etcétera.

Periodos críticos.- Por lo general, las exigencias meteorológicas de los vegetales no cambian gradualmente durante su ciclo vegetativo, aunque es frecuente que varíen demasiado después de cada fase, para mantenerse semejantes hasta la fase siguiente.

Dentro de ciertas etapas se presentan periodos críticos, que son el intervalo breve durante el que la planta presenta la máxima sensibilidad a determinado elemento, de manera que las oscilaciones en los valores de este fenómeno meteorológico se reflejan en el rendimiento del cultivo. Los periodos críticos generalmente se presentan poco antes o después de la fase, durante dos o tres semanas. Por ejemplo, el trigo tiene un periodo crítico respecto a la lluvia, que ocurre durante las dos semanas que proceden a la floración. Si en esas dos semanas de lluvia son abundantes (o se riega), los rendimientos serán

elevados; si no, serán muy bajos. Aun, cuando haya habido suficiente humedad. Es muy importante tener presente que para los valores de los elementos afecten positivamente a los rendimientos, deberán encontrarse dentro de cierto intervalo de utilidad para cada cultivo, fuera del cual los efectos serán negativos tanto por defecto como por exceso (de lluvia, de temperatura, etcétera) (Torres, 1995, Castillo y Castellvi, 1996).

5.9 Estudios Fenológicos y su importancia.

Las investigaciones fenológicas se centran en la observación de los cambios de la morfología externa de la planta, con aparición, transformación o desaparición relativamente rápida de determinados órganos o distintos acontecimientos, que se denominan fenómenos fenológicos (Snyder *et al.*, 2001).

Los modelos fenológicos pueden resultar de utilidad con diversos enfoques así, para el manejo de plagas, manejo de malezas, programar actividades como riegos, cosechas, etc. (Baker *et al.*, 2001; Gungula *et al.*, 2003). El conocimiento de la fenología de la floración resulta de interés en aquellos casos en que durante esta fase la planta sea más vulnerable a déficits hídricos o algún ataque de insectos. Con información de este tipo se podrá mejorar la capacidad del manejo de plagas y ayudar al desarrollo de recomendaciones de control. El sorgo, por ejemplo, resulta vulnerable a la oviposición durante la floración, por lo que una evaluación precisa de la duración de esta fase resulta crítica para llegar a entender la relación entre la abundancia de la plaga y la pérdida de grano (Ordóñez, 1990).

Los modelos fenológicos permiten evaluar las consecuencias de estrategias alternativas de manejo, así como de predecir la fecha de cosecha. Permiten resolver problemas de comercialización y de industrialización de los productos. Tales modelos pueden basarse, entre otros, en datos de temperaturas máximas y mínimas diarias, así como en información fenológica, como las fases o subfases de desarrollo del fruto (Volpe, 1992). Para calcular el rendimiento del arroz (*Oriza sativa* L.). El desarrollo de sistemas integrados de manejo de malas hierbas requiere información detallada sobre las interacciones cultivo-mala hierba, así como del impacto de la aptitud competitiva relativa del cultivo durante las distintas fases de desarrollo sobre el crecimiento de las malas hierbas (Schwartz, 1999). El estudio de los cambios fenológicos tiene también en interés en la determinación de las características nutritivas de los pastos de dehesa (Villalpando y Ruiz, 1993).

A partir de las observaciones fenológicas se puede elaborar mapas isolíneas que unan puntos en los que un determinado fenómeno fenológico, para una determinada variedad, comienza en la misma fecha o a partir del mismo número de días desde un determinado momento cero. Estas curvas se denominan isófonas (o isofenas). La isófana de la floración se conoce como isoante. Puede resultar de interés el estudio de la distribución espacial de un acontecimiento fenológico dado, por ejemplo, en fenología floral, la representación de las isoantes que unen puntos en los que coinciden la época de floración de una misma variedad en un año determinado. Estos estudios pueden ayudar a interpretar las causas de determinadas producciones (Castillo y Castellvi, 1996).

00251

El estudio de los acontecimientos fenológicos de un cultivar durante varios años permite establecer relaciones entre el fenómeno fenológico observado y las condiciones ambientales (Torres, 1995).

5.10 Temperatura y desarrollo.

La temperatura controla la tasa de desarrollo de muchos organismos, que requieren de la acumulación de cierta cantidad de calor para pasar de un estado en su ciclo de vida a otro. La medida de este calor acumulado se conoce como Tiempo Fisiológico y teóricamente este concepto que involucra la combinación adecuada de grados de temperatura y el tiempo cronológico, es siempre el mismo (WMO,1993).

El concepto de constante térmica o unidad calor se relaciona con la cantidad de calor requerida por un organismo para el desarrollo o maduración bajo condiciones óptimas de otros factores ambientales o tecnológicos. Las unidades calor acumuladas se pueden estimar por decenas, anuales y estacionales para cada estación meteorológica utilizando los registros originales de temperaturas máximas y mínimas (Terrones, 2000).

Una planta, para completar su ciclo vegetativo, debe acumular cierto número de grados de temperatura; por lo tanto, se han ideado varios métodos para controlar la acumulación progresiva de grados a partir de la fase inicial.

En términos generales, debajo de una temperatura umbral mínima, determinada genéticamente para cada organismo, el desarrollo no ocurre o es insignificante. Sobre dicha temperatura, el desarrollo se incrementa hasta llegar a un pico o intervalo, donde la velocidad del desarrollo es máxima. A partir de ahí, el desarrollo decrece nuevamente hasta llegar a ser nulo en una

temperatura umbral máxima, estos valores se conocen como Temperaturas Cardinales (Ruiz, 1991).

La temperatura es considerada como la variable esencial del clima, por lo que es el elemento climático más estudiado y del que mejor se conocen sus relaciones con el desarrollo de las plantas. Una forma de analizar el efecto de la temperatura sobre el desarrollo de los cultivos es a través de índices térmicos, los cuales han servido para caracterizar las fases fenológicas de diversos cultivos como manzano (Valentini *et al.*, 2001), melón (Baker y Reddy, 2001) y cártamo (Villa y Catalán, 1992) y son por lo tanto útiles para predecir el desarrollo de los cultivos (Baker y Reddy 2001; Cesaraccio y Donatella 2001).

El concepto de tiempo térmico o grados día asume que el desarrollo fenológico es constante por grado de temperatura entre una temperatura base y un umbral de temperatura máxima, arriba y abajo del cual la tasa de desarrollo es cero (Hsiu-Ying *et al.*, 2001). Se han usado diversos índices térmicos para predecir fechas de floración y maduración en diversos cultivos (Snyder *et al.*, 2001; Valentini *et al.*, 2001). El índice más comúnmente usado es el de grados día después de la siembra (GD) y existen diferentes metodologías para estimarlo, una de ellas es la curva seno modificada la cual utiliza datos de temperatura máxima y mínima diaria del aire y las temperaturas cardinales para el crecimiento de los cultivos (Allen, 1976).

El crecimiento y desarrollo de las plantas e insectos puede ser caracterizado por el número de días entre eventos observables, tales como floración y madurez de frutos, etc. El número de días entre eventos, sin embargo, puede constituir una mala herramienta porque las tasas de crecimiento varían con las temperaturas. La medición de eventos puede ser

mejorada si se expresan las unidades de desarrollo en términos de tiempo fisiológico en lugar de tiempo cronológico, por ejemplo en términos de acumulación de temperatura. Es así como surge el término de días grado o Grados Día (GD) que puede ser definido como días en términos de grado sobre una temperatura umbral. De manera que para completarse una etapa fenológica es necesario la acumulación del Requerimiento Térmico, RT; este se mide en grados-días sobre la temperatura base (Alvarez, 1992).

El concepto de GD al aplicarse a observaciones fenológicas ha sido de gran utilidad en la agricultura. Entre las múltiples aplicaciones de este parámetro se encuentran la programación de fechas de siembra o ciclos de cultivo, pronóstico de fechas de cosecha (Carberry *et al.*, 1992), pronosticar evapotranspiración de cultivos (Ajayi y Olufayo, 2004) y pronóstico de plagas y enfermedades (Alvarez, 1992).

La mayoría de estas aplicaciones se sustentan en modelos de grados día para describir el desarrollo de plantas e insectos, de ahí que el concepto de GD se utilice más bien como Grados Día de Desarrollo (GDD) (Ruiz, 1991).

Algunos autores señalan que el éxito de los grados días depende de una relación estrecha entre radiación y temperatura, fotoperíodo y temperatura y de cultivares adaptados a fotoperíodo locales (Torres, 1995). En la mayoría de los modelos desarrollados para describir el desarrollo de cultivos y plagas donde se han considerado factores climáticos, los que presentan más aplicación se fundamentan en la temperatura o la interacción de esta con el fotoperíodo y se basan en relaciones no lineales con posibilidad de transformación lineal (Ruiz, 1991).

5.11 Parámetros de crecimiento.

5.11.1 Índice de área foliar.

El índice de área foliar es el área total de las hojas que se proyectan verticalmente sobre la unidad de superficie del terreno (Tanaka y Yamaguchi, 1984). Existen varios métodos para medir el área de las hojas de las plantas:

- 1) reproduciendo el contorno de la hoja y planimetrando el área;
- 2) mediante la relación peso – superficie;
- 3) midiendo la longitud y anchura de la hoja;
- 4) mediante el uso de fotografías por comparación visual con las hojas;
- 5) métodos fotocásticos, etc.

Para una intensidad determinada de la radiación, el crecimiento de una planta aumenta con el índice de área foliar hasta un máximo para descender después. La situación más ventajosa será la presencia de un índice de área foliar máximo cuando las condiciones climáticas sean más favorables para la fotosíntesis, en particular cuando se alcancen valores elevados en la radiación solar (Westwood, 1982).

Bajo condiciones normales en el campo, la luz es poco aprovechable en las primeras fases de crecimiento, siendo aconsejable favorecer el desarrollo foliar mediante una fertilización adecuada, elevar la temperatura del agua de riego si fuera posible, etc. Un mejor aprovechamiento de la luz puede lograrse ajustando convenientemente el espaciamiento entre filas y plantas, eligiendo una época adecuada para la plantación o bien mediante el trasplante de cultivos como el arroz, tabaco y tomate (Castillo y Castellvi, 1996).

5.11.2 Acumulación de biomasa.

La acumulación de materia seca es resultante de la fotosíntesis y la respiración. Las velocidades de estos procesos fisiológicos defieren entre los órganos, por la edad, las condiciones del cultivo, etc. (Tanaka y Yamaguchi, 1984). La materia seca se expresa en g por m². Para su determinación generalmente se eliminan las raíces. La parte aérea de la planta se lava y después se seca en una estufa a 70 u 80°C durante mas de 3 días; posteriormente se pesa (Melo, 2004).

5.12 Modelos de crecimiento.

Al seguir el crecimiento de una planta a través de su ciclo fenológico, midiendo periódicamente la altura o pesando su biomasa (peso de materia seca). Se observa que la curva de crecimiento de la planta, así como cualquiera de sus órganos, tiene una forma de letra S o sigmoide parciales del crecimiento de cada uno de los órganos del vegetal. Todos los seres vivientes presentan una curva de crecimiento con una forma S o sigmoide (Torres, 1995).

La mayoría de modelos de crecimiento se basan en la distinción de tres fases; una inicial de crecimiento exponencial, una posterior de crecimiento lineal y una final de meseta de maduración-senescencia (Hunt, 1990). Varios modelos han sido desarrollados para cultivos ornamentales en invernaderos, principalmente para determinar crecimiento del tallo floral en crisantemo, *lilium* (Larsen *et al.*, 1993) y *poinsetia* (Fisher *et al.*, 1996), asociando en este último caso las fases de crecimiento con eventos de desarrollo, como la iniciación

floral y la aparición del brote floración por tanto, pudiéndose emplear dicho modelo en la programación de este cultivo.

Los modelos de crecimiento pueden servir para incorporar factores que afectan a la longitud del tallo, como la práctica común en la producción de planta en maceta del empleo de retardadores del crecimiento para controlar la elongación del tallo (García, 1988).

Existen varios modelos matemáticos, basados en los anteriores, que incorporando una función son capaces de explicar el efecto de la aplicación de los retardadores del crecimiento, bajo la suposición de que otros factores que pueden afectar a dicha longitud temperatura y luz, resultan constantes. El modelo puede llegar a describir como afecta tanto la concentración del producto, como la fecha de su aplicación, en el tamaño final del tallo en especies como el crisantemo (Larsen y Lieth, 1993).

5.12.1 Funcionamiento y aplicación de los modelos.

Desde la década del 70 se han desarrollado numerosos modelos para simular el desarrollo (fenología) y crecimiento de los cultivos. Existen modelos de diferente complejidad, tanto por la cantidad y calidad de los datos de entrada necesarios para que funcionen, como por los parámetros que pueden simular. Por ejemplo, los modelos que simulan el momento de ocurrencia de los estados fenológicos, la evolución de la producción de materia seca por cada fracción de la planta y el rendimiento en función de variables de suelo, clima, manejo y del híbrido o la variedad empleada. Permiten definir estrategias de producción en la etapa de planificación de un cultivo futuro o bien ayudar a tomar decisiones tácticas durante el ciclo del cultivo (Carpenter, 1990). Los resultados obtenidos

trabajando con estos modelos, demuestran que pueden ser usados para predecir eventos fenológicos, como así también el rendimiento, en distintas condiciones de manejo, con un bajo error medio entre los valores estimados u observados (Carberry *et al.*, 1992).

Para demostrar las posibilidades de aplicación de dichos modelos, es necesario realizar ensayos de los cultivos predominantes en la región, con los híbridos y variedades más difundidos, en diferentes fechas de siembra, con densidad y fertilización variables, con diferentes contenidos de agua útil (con y sin aporte de riego), durante varias campañas (Ordoñez, 1990).

Son necesarios estudios detallados de suelo en el momento inicial y seguimiento de humedad en el perfil durante todo el ciclo; observaciones de los eventos fenológicos más relevantes de los cultivos; mediciones de:

- a) la evolución de la superficie foliar en distintos momentos;
- b) la evolución de la materia seca de cada componente de la planta (hojas, tallo, espiga/panoja/vainas/capullo) y
- c) evolución del peso del grano (estos momentos de muestreo tienen como objetivo caracterizar los coeficientes genéticos de los cultivares).

Los modelos más complejos permiten realizar análisis de sensibilidad del rendimiento a distintos factores, combinando diferentes suelos, climas, cultivares y manejo. La mayoría de las aplicaciones de los modelos están relacionadas a aspectos de manejo, como estrategias de fertilización o riego, fechas de siembra o cultivares de diferente ciclo, que deben ser evaluados en una serie climática histórica (<http://www.inta.gov.ar/santacruz/novedades.htm>).

Con los modelos se determina la duración de las fases de crecimiento y desarrollo de cada cultivo, evaluando la dinámica del crecimiento de la parte

aérea y el efecto de variables como temperatura y fotoperíodo, cuantificados a través de la duración de los estadios entre siembra y antesis. También se define el ritmo y la duración de la fase de llenado de frutos hasta alcanzar la madurez fisiológica (Castillo y Castellvi, 1996).

La información obtenida lleva a determinar los coeficientes genéticos de desarrollo y de crecimiento necesarios para la caracterización de los cultivares a utilizar, requeridos por los modelos. La información y el conocimiento del ambiente serán en el futuro un insumo imprescindible para diseñar estrategias y tecnologías de producción, tendrán un valor económico creciente (Westwood, 1982).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Localización de los sitios experimentales.

La presente investigación se llevó a cabo en cuatro campos experimentales del INIFAP localizados en diferentes Estados de la República Mexicana. En el Cuadro 6.1 se presentan los datos de latitud, longitud, altitud y clima de cada sitio experimental. Se puede ver que se tuvieron climas desde húmedos hasta áridos.

Cuadro 6.1 Ubicación geográfica y clima de los sitios experimentales.

Localidad	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Clima
Región				
Lagunera (CENID RASPA), Dgo.	25° 30' N	104° 48' W	1135	Subtrópico árido
Pabellón, Ags.	22° 09' N	102° 17' W	1936	Subtrópico semiárido
Morelia, Mich.	19° 48' N	101° 03' W	1828	Subtrópico subhúmedo
Navojoa, Son.	27° 04' N	109° 27' W	38	Trópico árido

6.2 Características edáficas de los sitios experimentales.

En el Cuadro 6.2 se presentan las texturas de los suelos usados en este estudio, donde se observa que se tuvieron diferentes suelos.

Cuadro 6.2. Características físicas de los suelos de cada sitio experimental.

Localidad	Textura
Región Lagunera (CENID RASPA), Dgo.	Migajón arcilloso
Pabellón, Ags.	Franco
Morelia, Mich.	Arcilloso
Navojoa, Son.	Arcilloso

6.3 Cultivo.

El cultivo que se estableció en este estudio fue la canola y se utilizó el híbrido Hyola 401.

6.4 Preparación del terreno.

Las labores efectuadas para preparar el terreno de los lotes experimentales consistieron en: un barbecho a 30 cm. de profundidad, dos pasos de rastra con el fin de romper los terrones y un paso de escrepa.

6.5 Método de siembra.

La siembra se hizo en húmedo "a tierra venida" con tractor y sembradora con una densidad de semilla de 3 kg por ha en plano con hileras a 76 cm de separación y a una profundidad de 1 a 3 cm.

6.6 Fechas de siembra.

Las siembras se realizaron el 17 de Diciembre del 2004 en Gómez Palacio, Dgo. y Morelia, Michoacán. En Navjoa, Sonora se tuvieron dos fechas de siembra en dos años diferentes: 17 de Diciembre en el 2002 y el 12 de Diciembre en el 2003. En Pabellón, Ags. se sembró a finales de primavera (04 Jun) del 2004.

6.7 Fertilización.

La dosis de fertilización utilizada fue 120-60-00, se aplicó una tercera parte de nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y el resto de nitrógeno en el primer riego de auxilio. Se utilizó el fosfato monoamónico y la urea como fuentes de fósforo y nitrógeno.

6.8 Control de plagas.

Se hizo una aplicación de insecticida para acabar con el pulgón, usando como producto el malathion con una dosis de 1.5 L por ha.

6.9 Riegos.

La programación de los riegos se hizo mediante el uso de la aplicación computacional PRORIEGO desarrollada en el CENID RASPA la cual determina el cuanto y cuando regar los cultivos a partir de datos del clima en cada lugar (Catalán *et al.*, 2005). El riego de las parcelas experimentales se realizó en el CENID-RASPA con tuberías multicompuertas. Se aplicaron 4 riegos: Cuadro 6.3 Programación de riego de la canola.

Riegos	Fecha de aplicación	Intervalo de riego (días)	Lamina de aplicación cm
Presiembra	26 de noviembre 2004	0	13
1° auxilio	19 de enero 2005	40	7.3
2° auxilio	9 de marzo 2005	79	7.3
3° auxilio	1 de abril 2005	102	7.3
			Lamina total aplicada = 34.9

6.10 Cosecha.

La cosecha se realizó manualmente, arrancando todas las plantas dentro de la parcela útil y después se quitaron las vainas, se desgranaron y se pesó el grano. La parcela útil comprendió tres hileras de plantas por dos metros de largo, la cual se localizó en la parte central de las seis melgas.

6.11 Diseño Experimental.

Se tuvo un diseño experimental en franjas que consistió en seis melgas de 10 m de ancho por 100 metros de largo. Donde se tuvieron 13 hileras de plantas.

6.12 Variables evaluadas.

6.12.1 Muestreo de plantas.

Durante el desarrollo del cultivo se hicieron muestreos de plantas cada 15 días con el fin de cuantificar los parámetros de crecimiento, área foliar y producción de materia seca. Estos muestreos se hicieron en seis melgas, tomando una planta al azar por melga en cada fecha de muestreo. También se estuvo monitoreando el cultivo cada semana para registrar la fecha de aparición de los eventos fenológicos siguientes:

- Siembra
- Emergencia
- Formación de roseta
- Aparición de botones florales
- Inicio de floración
- Aparición de primeras vainas
- Madurez de vainas
- Cosecha

6.12.2 Materia seca.

Las plantas se cortaron al ras del suelo se llevaron a un invernadero tipo túnel para un presecado durante 48 horas y luego se trasladaron al laboratorio y se secaron en una estufa a 65° C durante 24 horas y determinar el peso seco total por planta.

6.12.3 Índice de Área Foliar.

A cada una de las plantas muestreadas se le cortaron las hojas y se les midió el área foliar con un integrador de área foliar modelo LI 3100 marca LICOR, el cual iba sumando el área foliar por planta (Figura 6.1).



Fig. 6.1 Medidor electrónico digital de área foliar

El índice de área foliar es el área foliar por área unitaria de suelo y es un índice de la eficiencia funcional de las partes productivas de la planta.

Representa la frondosidad del cultivo y es representado por la siguiente ecuación (Fageria *et al.*, 1991):

$$IAF = \frac{AF}{P}$$

00251

Donde AF es el área foliar por planta en cm² y P es la superficie ocupada por una planta en cm².

6.13 Determinación de los Grados Día.

Los grados día se estimaron con un programa de cómputo, el cual usa la metodología curva seno modificada (Allen, 1976), reportado por Villa *et al.*, 2005. Esta metodología asume que el ciclo diario de la temperatura del aire se aproxima a una curva seno, toma en cuenta una temperatura límite superior e inferior de crecimiento (en este caso 35 y 5 °C) y considera el hecho de que la segunda temperatura mínima diaria no necesariamente es la misma que la primera. De esta forma pueden existir seis posibles relaciones entre el ciclo de la temperatura del aire y los límites de crecimiento y estos son los siguientes:

1. Completamente sobre ambos límites
2. Completamente debajo de ambos límites
3. Completamente entre ambos límites
4. Interceptado por el límite inferior
5. Interceptado por el límite superior
6. Interceptado por ambos límites

Se requieren diferentes ecuaciones para calcular los grados-día en cada caso, mismas que se presentan en el Cuadro 6.4.

Cuadro 6.4. Ecuaciones para calcular grados-día en periodos de 12 horas en las seis posibles Relaciones.

Caso	Ecuación
1	$GD = \frac{1}{2}(K_2 - K_1)$
2	$GD = 0$
3	$GD = \frac{1}{2}(\bar{T} - K_1)$
4	$GD = \frac{1}{2\pi}\{(\bar{T} - K_1)(\frac{\pi}{2} - \theta) + \alpha \cos(\theta)\}$ $\theta = \text{sen}^{-1}\{\frac{(K_1 - \bar{T})}{\alpha}\}$
5	$UC = \frac{1}{2\pi}\{(\bar{T} - K_1)(\theta + \frac{\pi}{2}) + (K_2 - K_1)(\frac{\pi}{2} - \theta) - \alpha \cos(\theta)\}$ $\theta = \text{sen}^{-1}\{\frac{(K_2 - \bar{T})}{\alpha}\}$
6	$UC = \frac{1}{2\pi}\{(\bar{T} - K_1)(\theta_2 - \theta_1) + \alpha(\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2)) + (K_2 - K_1)\dots\dots\dots(\frac{\pi}{2} - \theta_2)\}$ $\theta_1 = \text{sen}^{-1}\{\frac{(K_1 - \bar{T})}{\alpha}\}$ $\theta_2 = \text{sen}^{-1}\{\frac{(K_2 - \bar{T})}{\alpha}\}$

K_2 es la temperatura límite superior de crecimiento

K_1 es la temperatura límite inferior de crecimiento

\bar{T} es la temperatura promedio en las 12 horas de la mitad del día y es igual a:

$$\bar{T} = \frac{(T \text{ max} + T \text{ min})}{2}$$

$$\alpha(\text{amplitud}) = \frac{(T \text{ max} - T \text{ min})}{2}$$

θ_1, θ_2 hora del día (en las 12 horas de la mitad del día) en la cual el ciclo de temperatura cruza un límite y es expresado en radianes.

El cálculo de los grados día se hicieron en forma diaria y se iban acumulando a partir de la siembra hasta cada una de las fases de desarrollo definidas.

6.14 Determinación del Índice de cosecha.

El índice de cosecha es la relación entre el rendimiento económico, gramos de semilla por planta (RGP) y el rendimiento de materia seca total (RmsT) en gramos y se estimó mediante la siguiente ecuación:

$$IC = \frac{RGP}{RmsT}$$

6.15 Análisis de resultados.

Los resultados se analizaron en dos partes: Obtención del modelo fenológico y determinación de los modelos de crecimiento. La primera parte se hizo mediante la relación de las diferentes fases fenológicas con los grados día acumulados registrados en cada sitio experimental. A cada fase de desarrollo se le asignó un número y la relación se determinó mediante regresión usando el Proc Reg del paquete estadístico SAS versión 8 (SAS, 1997).

La segunda parte consistió en determinar los modelos de crecimiento y para ello los datos de área foliar y acumulación de materia seca se ajustaron a los modelos de crecimiento señalados por (Hunt, 1990) y fueron los siguientes:

$$Y = \frac{A}{1 + BX^n}$$

$$Y = \frac{A}{1 + be^{-cx}}$$

$$Y = \exp(a_0 + a_1t + a_2t^2)$$

$$Y = \exp(a_0 + a_1x + a_2x^2)$$

Donde:

Y : Es la materia seca acumulada o área foliar.

X : Son los días después de la siembra o grados día. La letra A es el máximo valor observado de MS o IAF y las demás letras son constantes determinadas por regresión. Esta parte se hizo mediante regresión usando el procedimiento PROC REG del SAS Versión 8 (SAS Institute, 1999).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Requerimientos de grado día de cada fase fenológica.

En el Cuadro 7.1 se presentan las fechas de aparición de las fases fenológicas de la canola registradas en los diferentes sitios experimentales. Se puede ver que hubo una gran variación en los días después de la siembra (dds) para la aparición de las diferentes fases fenológicas. Por ejemplo, para el inicio de la floración en la Región Lagunera los dds fueron 75, en Morelia, Mich., 72, en Navojoa ciclo 20002-20003 51 y para este mismo sitio ciclo 2003-2004 los dds fueron 60 y en Pabellón, Ags. donde se sembró en verano los días fueron mucho menor (45). Igualmente los días a cosecha variaron desde 87 en Pabellón, Ags. hasta 139 en Navojoa, Son para el ciclo 2003-2004. Es decir en las siembras de verano el ciclo fue más corto que en las de invierno, lo cual se debe a las mayores temperaturas registradas en el verano. En los lugares donde se sembró en invierno (Región Lagunera, Morelia y Navojoa) también se observó algunas diferencias en los días para la aparición de los diversos eventos fenológicos pero fueron en menor magnitud, por ejemplo, para la cosecha se observó una diferencia máxima de diez días y esta fue entre la Región Lagunera y Navojoa 2003-2004.

Cuadro 7.1 Fechas de aparición de las diferentes fases fenológicas de la canola en los sitios experimentales.

Fase fenológica	Sitio experimental			
	Región Lagunera (CENID RASPA)	Pabellón, Ags.	Morelia, Mich.	Navojoa, Son.
Siembra	17-Dic-04	04 Jun-04	17-Dic-04	17-Dic-02
Emergencia	28-Dic-04	8-Jun-04	23-Dic-04	25-Dic-02
Formación de roseta	15-Feb-04	5-Jul-04	10-Feb-05	18-Ene-03
Aparición de botones florales	25-Feb	12-Jul-04	22-Feb-05	4-Feb-03
I. de Floración	2-Mar-04	19-Jul-04	27-Feb-05	6-Feb-03
Aparición de primeras vainas	17-Mar-04	28-Jul-04	18-Mar-05	18-Feb-03
Madurez de vainas	23-Abr-04	28-Ago-04	24-Abr-05	10-Abr-03
Cosecha	25-Abr-04	30-Ago-04	29-Abr-05	26-Abr-03
				12-Dic-03
				19-Dic-03
				17-Ene-04
				7-Feb-04
				10-Feb-04
				25-Feb-04
				14-Abr-04
				30-Abr-04

Los grados día acumulados en cada una de las fases de desarrollo en cada sitio experimental se presentan en el Cuadro 7.2. Se puede observar que aún cuando la canola se estableció en diferentes fechas de siembra (en invierno y verano) los grados día requeridos para la aparición de las fases de desarrollo fueron muy similares, lo cual soporta la hipótesis establecida en el presente trabajo.

Cuadro 7.2 Grados día acumulados para cada fase de desarrollo en los diferentes sitios experimentales.

Fase fenológica	Unidades calor acumuladas				
	Región Lagunera (CENID RASPA)	Pabellón, Ags.	Morelia, Mich.	Navjoa, Son. (02-03)	Navjoa, Son. (03-04)
Siembra	0	0	0	0	0
Emergencia	52.15	67.06	65.53	79.30	75.46
Formación de roseta	469.2	457.85	442.64	357.00	383.44
Aparición de botones florales	595.46	555.06	559.87	588.93	572.34
Floración	636.42	649.79	606.60	614.10	598.50
Aparición de primeras vainas	798.34	773.80	796.65	930.96	826.30
Madurez de vainas	1347.71	1210.71	1231.77	1375.15	1401.94
Cosecha	1385.77	1239.68	1296.02	1618.86	1665.36

El Cuadro 7.3 muestra los requerimientos de grados día para cada fase de desarrollo estudiada. La canola requiere acumular 68 ± 4.2 grados día para germinar, 621 ± 8.55 para la floración y 1441 ± 76.57 grados día para la cosecha. En este mismo Cuadro se muestra el porcentaje de desarrollo que representa cada una de las fases fenológicas; así por ejemplo, la emergencia es el 4.72 por ciento, mientras que el inicio de floración es el 43.09 por ciento; estos datos se relacionaron para obtener el modelo fenológico mediante regresión lineal, el cual se representa en la Figura 7.1.

Cuadro 7.3. Requerimientos de grados día para la aparición de las diferentes fases de desarrollo de la canola.

Fase fenológica	Grados día acumulados	Error std	% de desarrollo
Emergencia	68	± 4.20	4.72
Formación de roseta	422	± 19.65	29.28
Aparición de botones florales	574	± 7.05	39.83
Floración	621	± 8.55	43.09
Aparición de primeras vainas	775	± 9.24	53.78
Madurez de vainas	1313	± 34.66	91.12
Cosecha	1441	± 76.57	100.00

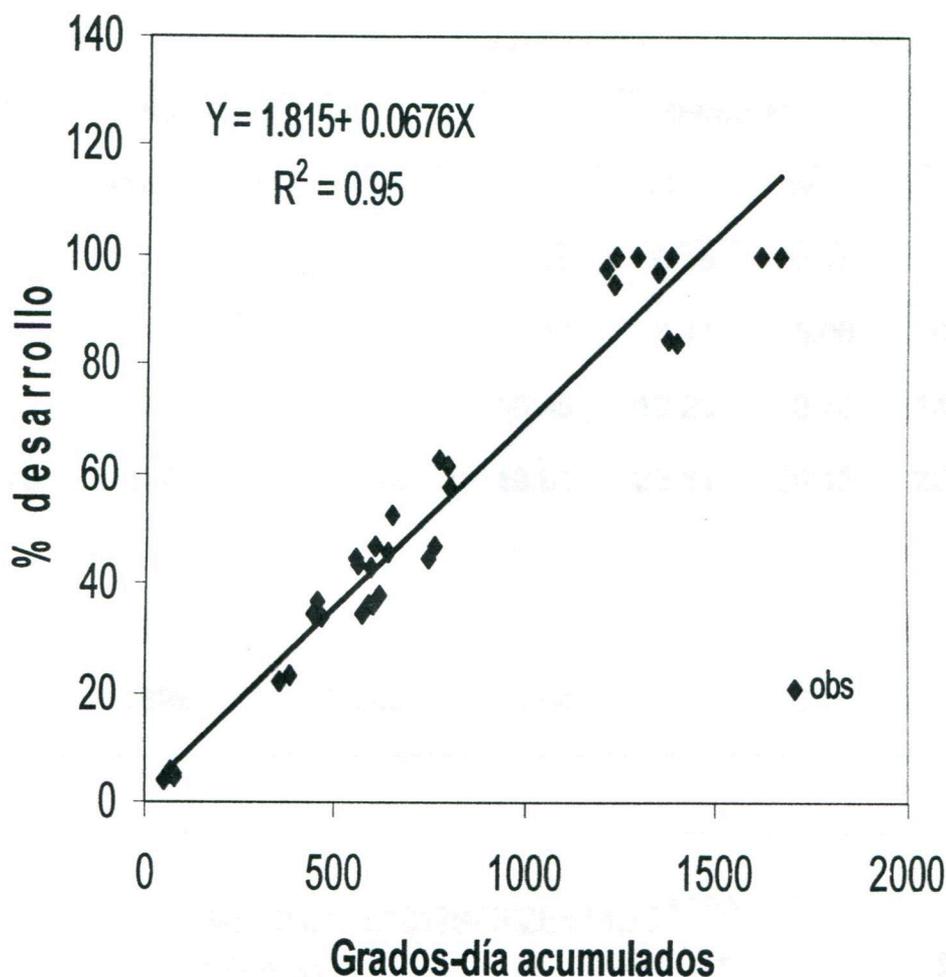


Figura 7.1. Relación entre el porcentaje de desarrollo y los grados día acumulados a partir de la siembra en el cultivo de canola.

7.2 Modelos de Crecimiento de Materia Seca.

En el Cuadro 7.4 se presentan los resultados de la materia seca producida por planta en los diferentes muestreos, así como los grados día acumulados. Estos datos fueron ajustados a los modelos de crecimiento exponencial cuadrático, logístico y sigmoideal, siendo este último el de mayor ajuste (Figura 7.2).

Cuadro 7.4 Datos de materia seca g por planta en los diferentes muestreos.

DDS	Grados-día acumulados	Repetición					
		I	II	III	IV	V	VI
29	212	0.11	0.15	0.15	0.15	0.11	0.11
51	361	5.76	7.17	6.11	5.06	6.74	7.77
65	509	9.31	10.49	13.28	8.73	14.31	15.23
78	646	30.68	18.91	22.81	20.13	22.81	18.12
93	798	38.30	39.67	50.05	48.73	46.05	43.90
113	995	65.65	63.17	80.75	65.30	59.00	60.43
137	1386	79.05	75.64	80.75	63.30	78.30	73.99

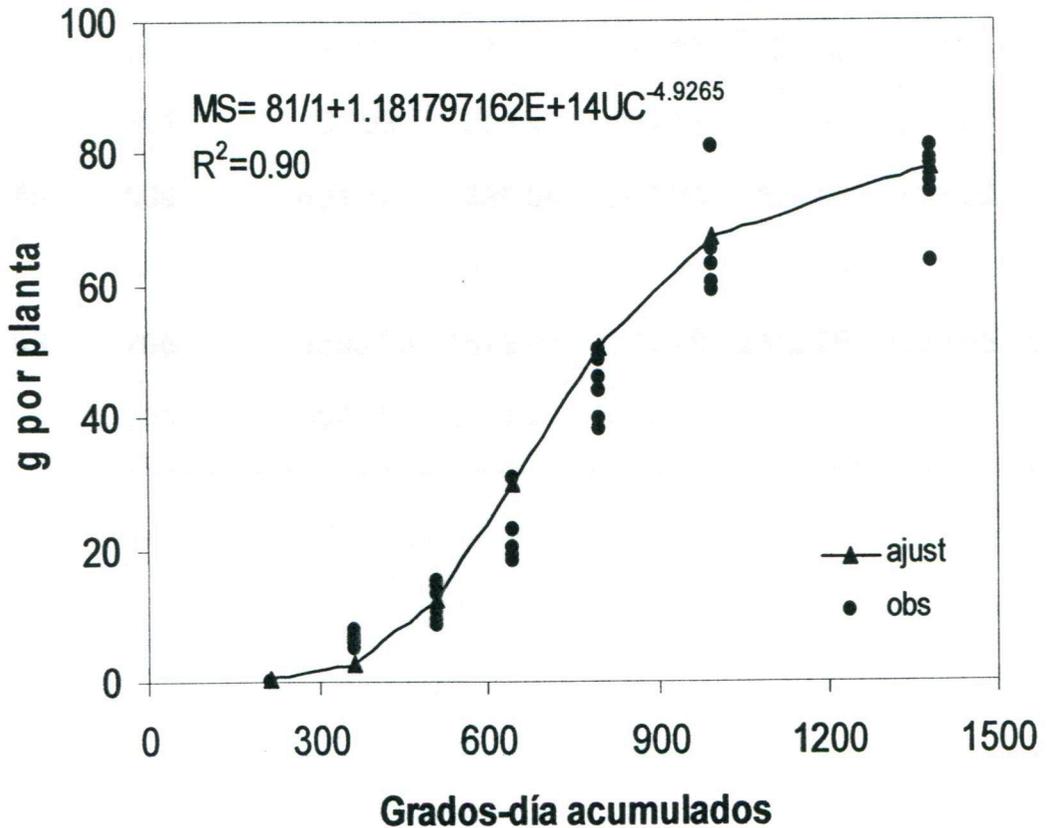


Figura 7.2. Producción de materia seca por planta (g) en función de los Grados día acumulados.

7.3 Modelos de Crecimiento de Área Foliar.

Los resultados de área foliar por planta en cm^2 y grados día acumulados durante el desarrollo del estudio se presentan en el Cuadro 7.5. Con estos datos se obtuvo el mejor modelo de ajuste del área foliar, en este caso fue el exponencial cuadrático y se muestra en la Figura 7.3. Se puede observar que el AF fue incrementando hasta alcanzar un máximo de 1851 cm^2 a los 798 grados día, después de esto disminuyó bruscamente debido a que el cultivo iba alcanzando la madurez y las hojas se iban secando.

Cuadro 7.5. Datos de área foliar por planta en cm^2 en los diferentes muestreos.

DDS	Grados-día acumulados	Repetición					
		I	II	III	IV	V	VI
29	212	21.80	37.43	30.82	31.37	30.27	31.56
51	361	151.03	209.49	165.38	121.97	212.05	275.55
65	509	401.12	335.94	761.96	554.83	632.99	743.18
78	646	1180.77	694.66	855.56	579.75	1401.01	1000.68
93	798	1383.93	1578.65	2251.79	2512.66	1529.56	1720.20
113	995	897.19	1344.09	854.30	942.49	235.71	390.48

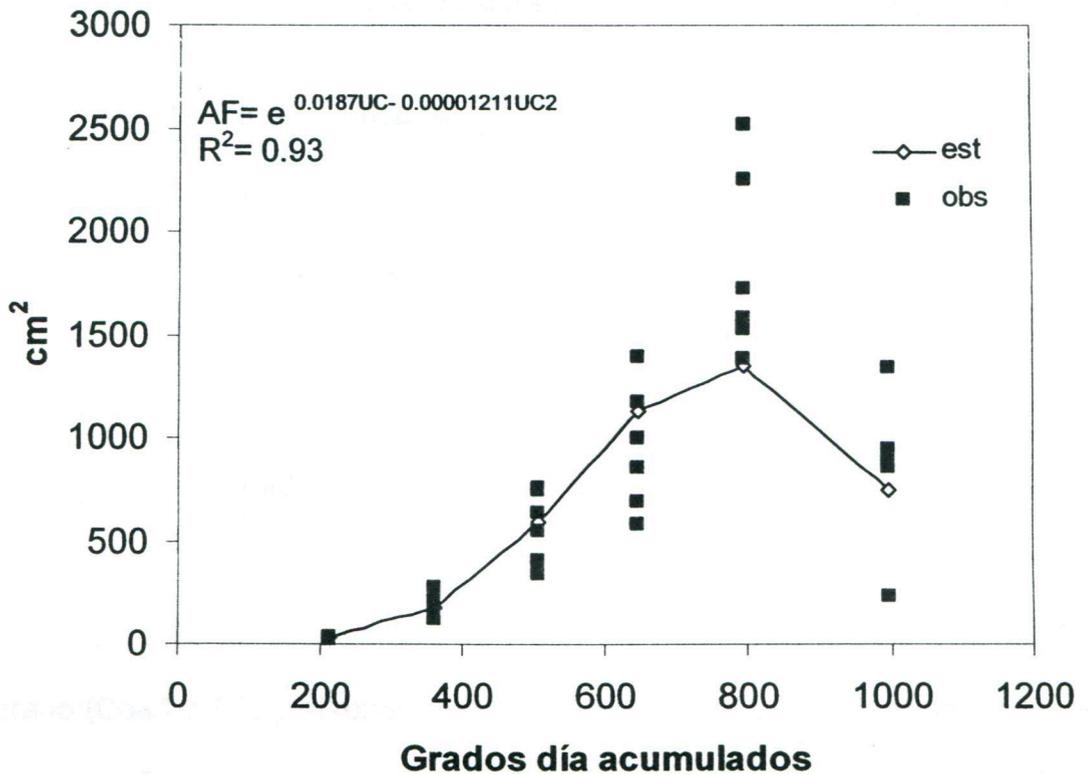


Figura 7.3. Área foliar por planta en cm^2 en función de los grados día acumulados.

7.4 Índice de Área Foliar e Índice de Cosecha.

Con el modelo de área foliar y el dato de superficie de terreno ocupada por una planta (400 cm^2) se estimó el índice de área foliar (IAF) para diferentes grados día acumulados, mismos que se presentan en el Cuadro 7.6. El IAF máximo fue de 4.10 y se obtuvo cuando se acumularon 770 grados-día que coincidió con la fase fenológica aparición de primeras vainas y representa el 53.53 % del desarrollo. Este dato de IAF es de suma importancia en los modelos de predicción y simulación del rendimiento de cultivos tales como lo reporta (Diepenbrock, 2000; Gungula *et al.*, 2003).

Cuadro 7.6. Índice de área foliar de la canola a diferentes grados día acumulados.

Grados día acumulados	IAF
200	0.08
400	0.77
600	2.86
650	3.42
700	3.85
750	4.08
760	4.09
770	4.10
800	4.06
850	3.81
1000	2.91
1400	0.03

El índice de cosecha (IC) se obtuvo con los resultados del rendimiento de grano (Cuadro 7.7) y el rendimiento de materia seca evaluado al momento de la cosecha. El valor de este índice fue de 0.12 y se estimó para la Región Lagunera.

Cuadro 7.7. Rendimiento de grano de la canola en kg por ha obtenido en el experimento del CENID RASPA.

Repetición	Kg por ha
M1	2 516
M2	2 117
M3	2 280
M4	2 826
M5	2 107
M6	2 505
Media	2 392

VIII. CONCLUSIONES

En base a los objetivos del presente trabajo se concluye lo siguiente:

La relación área foliar por planta y grados día se ajustó al modelo de crecimiento exponencial cuadrático. El índice de área foliar máximo fue de 4.1 y se manifestó a los 770 grados día.

La producción de materia seca durante el crecimiento del cultivo en función de los grados día se ajustó mejor al modelo de crecimiento sigmoideal y la máxima producción fue de 81 g por planta.

La canola requiere acumular 621 ± 8.55 para el inicio de floración y 1441 ± 76.57 grados día para cumplir su ciclo de cultivo. El índice de cosecha fue de 0.12.

IX. LITERATURA CITADA

- Ajayi A. E. and A. A. Olufayo. 2004. Evaluation of two temperature stress indices to estimate Grain sorghum Yield and evapotranspiration. *Agronomy Journal* 96: 1282-1287.
- Allen J. C. 1976. A modified sine wave method for calculating degree days. *Env. Ent.* 5:388-396.
- Álvarez V. 1992. Compendio de apuntes de meteorología. UACH. Chapingo, México. p. 143.
- Angadi S. V., H. W Cutforth. , B. G McConkey., M.H Entz,., K Volkmar,. and S. Brandt ,. 2000. Response of three *Brassica* species to high temperature injury during reproductive growth. *Can. J. Plant Sci.* 80:693-701.
- Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles, A.C. <http://www.aniname.com>. Consultado 4 de Noviembre del 2005.
- Baker J.T. and V. R Reddy. 2001. Temperature effects on phonological development and yield of muskmelon. *Annals of Botany*. doi: 10.1006/anbo.2001. 605-613.
- Camarillo P. M., S. Guzmán R., F. López I. 2004. Evaluación de tres cultivares en tres fechas de siembra en el valle de Mexicali, B.C. VII Congreso internacional en ciencias agrícolas. INIFAP-CIRNO, Mexicali, Baja California, México.
- Carberry P. S., R.C. Muchow, R. Williams. 1992. A simulation model of kenaf for asisting fibre industry in Norhern Australia. *Journal agriculture* 43: p. 1503-1509.
- Carpenter P. 1990. Modeling stem elongation and leaf unfolding of Easter lily during greenhouse forcing. *Scientia Horticulturae*, 44: 149-151.

- Castillo F. E. y Castellvi S. 1996. Agrometeorología. Editorial Mundi- prensa. España, Barcelona. p. 317- 319.
- Catalán V. E. Sánchez C., M Villa C., M. Inzunza I y S. Mendoza M. 2005. Aplicación computacional en red para la estimación de las demandas de agua y la calendarización de los riegos de los cultivos en los distritos del riego del país. Agrofaz.5: p. 51.
- Cesaraccio C., S. Donatella, P. Duce. 2001. An improved model for determining degree-day values from daily temperatura data. International Journal Biometeorol 45: 161-169.
- Daisy E. Kay. 1989. Legumbres Alimenticias. Editorial ACRIBIA, Zaragoza, España. p. 116.
- Diepenbrock W. 2000. Yield análisis of winter oilseed rape (*Brassica napus L.*) Field crops research 67: 36-42.
- Duarte R. J. 2003. Respuesta del cultivo de canola a la fertilización y humedad aprovechable en el valle del mayo, Sonora. Ciclo otoño-invierno 2002.2203. Reporte técnico. Cemay-cirno-inifap Navojoa, Sonora, México.
- Fageria N. K. V. C. Baligar and Ch. A. Jones. 1991. Growta and mineral nutrition of field crops. Merced Dekker, Inc. New York.
- F.A.O. 1980 Contenido en aminoácidos de los alimentos y datos biológicos sobre las proteínas F.A.O. Roma.
- F.A.O. 1995. Conservación y utilización sostenible de los recursos fitogenéticos en América Central y México. Conferencia Técnica Internacional de la FAO sobre los Recursos Fitogenéticos. Anexo 2 del informe de la reunión subregional sobre los recursos fitogenéticos para América Central, México y el Caribe. San José, Costa Rica.

Fisher P.R., J.H Leith, R.D Heins. 1996. Modeling flower bud elongation in Easter lily (*Lilium longiflorum* Thunb.) in response to temperature. HortScience 31(3):349-352.

García M. 1988. Fisiología vegetal aplicada. Mc Graw-Hill. México. p. 46.

Gungula D. T., J. KLind and Togun A. O. 2003. Predictions of maize phenology under Nitrogen-stressed conditions in Nigeria. Agronomy Journal 95: 892-899.

Hartley C. 1987. Cultivos de plantación, editorial trillas, México. p. 24.

Hsiu-Ying L., L. Chun-Tang, Lit-fu and W. Meng-li. 2001. Seasonal variation in linear increase of taro Harvest Index Explained by growing degree days. Agronomy Journal 93: 1136-1141.

<http://www.aniame.com>

http://www.as.com.mx/aceite_as.html

<http://www.home.satx.rr.com/avargas/canola.asp>

<http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/115/ca115.pdf#page=3>

<http://www.inta.gov.ar/santacruz/novedades.htm>

http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comdeanuadin.html

Hume W. 1992. Producción comercial de coliflores y coles de Bruselas y otros cultivos afines. Editorial Acribia, Zaragoza España. p.15.

Hunt R. 1990. Basic Growth Analysis. Plant Growth Analysis for Beginners. Published by the Academic Division of London Unwin Hyman. p. 245.

Johnson B.L., K. R. Mckay and A. Scheirter. 1995. Influencia of planting date on canola and production. Journal of production agriculture 8: p. 594-599.

- Jones S. B. 1988. *Sistemática Vegetal*. Mc Graw-Hill. Segunda edición. Mexico, p.47.
- Keatley M. R., T.D. Fletcher, I.L. Hudson and P.K. Ades. 2002. Phenological studies in Australia: potential application in historical and future climate analysis. *International Journal of Climatology* 22. 1769-1780.
- Larsen, R.U., J.H. Leith. 1993. Shoot elongation retardation owing to daminozide in chrysanthemum: 1. Modeling single applications. *Scientia Horticulturae*, 53: 109-125.
- Melo M. 2004. Evaluación de híbridos de Maíz (*Zea mays L.*) forrajero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UL, Torreón, México. p. 23-24.
- Morrison M.J. and D.W. Stewart. 2000. Heat stress during flowering in summer Brassica. *Crop science* 42: 797-803.
- Money R. 1997. *Como crecen los árboles*. Editorial OMEGA. Barcelona, España. p.25.
- Ordóñez A. 1990. *El cultivo del girasol*. Editorial mundi-prensa, Madrid España p. 16.
- Ortegón M.A.S. 1999. Guía para la producción de canola en el norte de Tamaulipas. Reporte Técnico. CIRNE-INIFAP, Río Bravo Tamaulipas.
- Robles R. 1986 producción de granos y forrajes. Editorial Limusa. México: 589-891.
- Ruiz A. 1991. Caracterización Fenológica del Guayabo (*Psidium guayava L.*). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p. 78.

- Sánchez A. 1999. Cultivos oleaginosos. Editorial Trillas, S.A. de C. V. México, D.F. p. 59-62.
- SAS Institute Inc. 1999. SAS/STAT User's guide, Version 6, Fourth edition Volume 2.
- Schwartz M. D. 1999. Advancing to full bloom: planning phenological research for the 21st century. 42:113-118.
- SIACON (2005) Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, México. <http://www.siea.sagarpa.gob.mx> revisado el 5- Noviembre-2005.
- Snyder R.L., D.Spano, P. Duce and C. Cesaraccio. 2001. Temperature data for Phenological models. Journal Biometeorol 45: 179-184.
- Tanaka A., J. Yamaguchi. 1984. Producción de materia seca, componentes del rendimiento del grano de maíz. Colegio de Posgraduados Chapingo México p.118.
- Terrones R. L. 2000. Índices agroclimáticos. Reporte Técnico INIFAP Campo experimental del Bajío, Celaya Gto. México. p. 44.
- Torres R. E. 1995. Agrometeorología. Editorial Trillas, S.A. de C. V. México, D.F. p. 154-160.
- Valentini N., G. Me, R. Ferrero y F. Spanna. 2001. Use of bioclimatic indexes to characterize phenological phases of apple varieties in Northern Italy. Int. J. Biometeorol 45: 191-195.
- Villa C. M., Catalán V. E. A. y Inzunza I. M. 2005. Evaluación de la metodología curva seno modificada para estimar grados-día en tres localidades del norte de México. AGROFAZ 5:851-856.

- Villa C. M. y Catalán Valencia E. A. 1992. Requerimientos agroclimáticos de la variedad de cártamo 'Gila' (*Carthamus tinctorius* L). TERRA.10: 37-42.
- Villalpando J. y A. Ruiz, 1993. Observaciones Agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Editorial Lumusa, México. p. 133.
- Volpe C. A. 1992. Citrus Phelogy in: proceedings of the second internacional seminar on Citrus Phisiologi: 103-122.
- Westwood N. 1982. Fruticultura de zonas templadas, Mundi-prensa, Madrid, España. p. 157.
- WMO. 1993. Practical use of agrometeorological data and information for planning and operational activities in agriculture. WMO. Publication N° 60. Geneva.
- Wright P. R., J. Morgan, R. S. Jessop. 1996. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B.Juncea*) to soil water deficits: plant water relations and growth. Field crops research 49, Amsterdam. p. 51.