

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



Crecimiento y Desarrollo del Cilantro Coriandrum sativum L.
por Efecto del Fotoperiodo y la Temperatura
y su Control con Fitoreguladores

Por:

JOSE HERNANDEZ DAVILA

Como Requisito Parcial para Obtener el Grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS

Con Especialidad en Mejoramiento de Plantas

MARIN, N. L.

MAYO DEL 2003

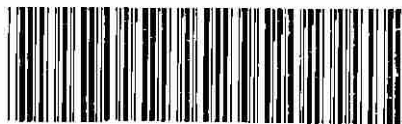
TD

Z5071

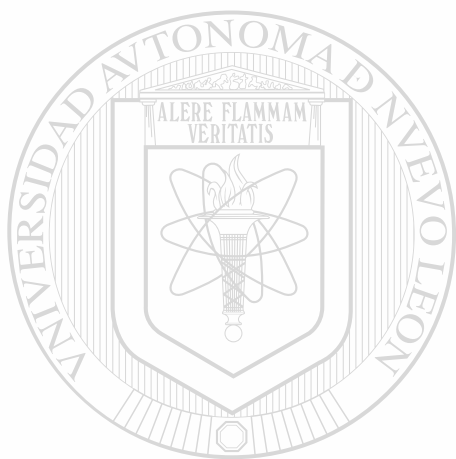
FA

2003

.H4



1020148421



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CILANTRO *Coriandrum sativum* L.
POR EFECTO DEL FOTOPERIODO Y LA TEMPERATURA Y SU CONTROL
CON FITOREGULADORES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

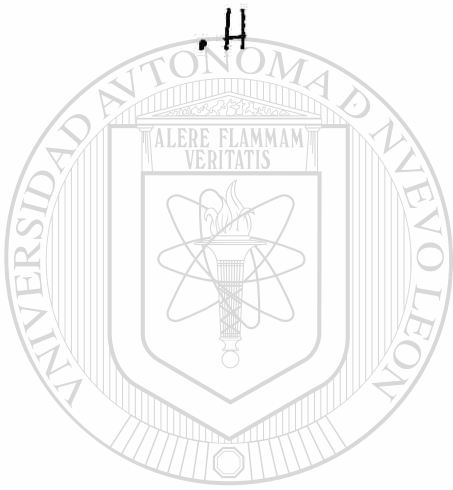
POR

JOSÉ HERNÁNDEZ DÁVILA

COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CON ESPECIALIDAD EN MEJORAMIENTO DE PLANTAS

MARÍN N. L., MAYO DEL 2003

T
07
FA



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



FONDO
TESIS

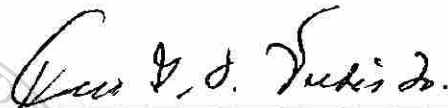
**CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CILANTRO *Coriandrum sativum* L.
POR EFECTO DEL FOTOPERIODO Y LA TEMPERATURA Y SU CONTROL
CON FITOREGULADORES**

APROBACIÓN DE TESIS



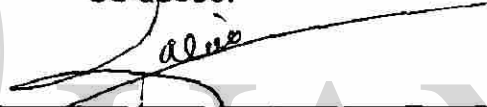
DR. FRANCISCO ZAVALA GARCÍA

Asesor Principal



DR. CIRO G. S. VALDÉS LOZANO

Co-asesor



DR. GILBERTO E. SALINAS GARCÍA

Co-asesor



DRA. ELIZABETH CARDENAS CERDA

Co-asesor



DRA. HILDA GÁMEZ GONZÁLEZ

Co-asesor



M.Sc. FERMÍN MONTES CAVAZOS

Co-asesor



DR. HUMBERTO IBARRA GIL

**Director de la División de Estudios de Posgrado de la
Facultad de Agronomía de la U. A. N. L.**

DEDICATORIA

A MIS PADRES

JUAN HERNÁNDEZ RAMÍREZ

DESCIDERIA DÁVILA LÓPEZ

A MI ESPOSA

PROFRA. ROSA OFELIA RAMOS PADILLA

A MIS HIJOS

DIANA FABIOLA HERNÁNDEZ RAMOS

JOSÉ JUAN HERNÁNDEZ RAMOS

DIEGO ANTONIO HERNÁNDEZ RAMOS

A MIS HERMANOS

MA DEL CARMEN y EMILIO

MA DEL PILAR, qepd

ESTHER

LAURA OLIVIA y JAIME

JUAN ANTONIO y LAURA

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

A MIS TÍOS

ING. PEDRO HERNÁNDEZ RAMÍREZ

SRA. MA DE JESUS MORALES TOSTADO

A MIS CUÑADOS, CUÑADAS, SOBRINOS y PRIMOS

A MIS PRIMOS: ISAIAS DÁVILA AVIÑA y GLORIA ANGÉLICA, NORMA,

ALMA, MANUEL y PEDRO HERNÁNDEZ MORALES

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

**A la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de
Nuevo León (FAUANL)**

**Al Programa de Apoyo a la Investigación Científica y
Tecnológica (PAICYT) de la UANL**

Al Comité de Asesores:

Dr. Francisco Zavala García

Dr. Ciro G. S. Valdés Lozano

Dr. Gilberto E. Salinas García

Dra. Elizabeth Cárdenas Cerda

Dra. Hilda Gámez González

M. Sc. Fermín Montes Cavazos

A mis Compañeros de Estudios

Javier de Jesús Cortés Bracho, Noé Flores Durán, José Luis Carlos Rimoldi, Mario Dena Silva, Rafael Zúñiga Tarango, José Butrón, Elvia Margarita Romero Treviño, Clemente Gallegos Vásquez, José Luis Woo Reza, Neptalí Gómez, Manuela Bolívar Duarte, José Elías Treviño Ramírez, Ismael Hemández.

A Mis Amigos y Compañeros de Trabajo

Elyn Bacópulos Téllez, Valentín Robledo Torres, Eliseo González Sandoval, Reynaldo Alonso Velasco, María Guadalupe Ortiz Ortiz, Dora Elia Guevara Banda, Laura Durón de Mancha, J. Gerardo Ramírez Mezquitic, Alberto Sandoval Rangel, Adalberto Benavides Mendoza y Homero Ramírez Rodríguez

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

José Hernández Dávila

Candidato para el Grado de Doctor en Ciencias Agrícolas con Especialidad en
Mejoramiento de Plantas.

Tesis

CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CILANTRO *Coriandrum sativum* L. POR EFECTO DEL FOTOPERIODO Y LA TEMPERATURA Y SU CONTROL CON FITOREGULADORES

Áreas de estudio:

Fisiología y Productividad del Cilantro.

Biografía

Nacido el 25 de Febrero de 1951 en el Ejido San Ignacio, Municipio de San Pedro de las Colonias Coahuila. Hijo del Sr. Juan Hernández Ramírez y de la Sra. Descideria Dávila López.

Educación:

Egresado de la Escuela Superior de Agricultura Antonio Narro (ESAAN) como Ingeniero Agrónomo, en Junio de 1975.

Egresado de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) con grado de Maestro en Ciencias en Suelos, en Junio de 1979

Experiencia Profesional

- Investigador del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) durante 1981 a 1984 en Saltillo, Coahuila
 - Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) durante 1984 a 1989 en La Paz Baja California Sur
 - Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) de 1989 a la fecha en Saltillo, Coahuila
 - Autor de los libros:
 - 1) Edafología, manual de prácticas de laboratorio y campo
 - 2) Manual de prácticas de fertilidad de suelos
 - 3) Olericultura, manual de prácticas de laboratorio y campo.
 - Coautor de los libros:
 - 1) Bioquímica y fisiología del estrés en plantas
 - 2) Olericultura
 - Autor de seis artículos científicos publicados en revistas nacionales y extranjeras
 - Asesor y coasesor de 101 tesis de licenciatura y maestría.
-
- Jefe de departamento:
 - 1) Departamento de Agronomía, en la UABCS,
 - 2) Departamento de Plásticos en la Agricultura, en CIQA y
 - 3) Departamento de Horticultura, en la UAAAN.

INDICE GENERAL

	Pág
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
APÉNDICE	xiv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY	xviii
I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo General.....	2
1.1.1 Objetivos Específicos.....	2
1.2 Hipótesis General.....	3
1.2.1 Hipótesis Particulares.....	3
II REVISION DE LITERATURA.....	5
2.1 El cultivo del cilantro.....	5
2.1.1 Origen y distribución.....	5
2.1.2 Descripción botánica.....	5
2.1.3 Condiciones ecológicas.....	6
2.1.4 Labores culturales.....	7
2.1.5 Fitosanidad.....	8
2.1.6 Cosecha e importancia económica.....	8
2.2 Temperatura y fotoperíodo.....	9
2.2.1 Efectos de la temperatura en la germinación.....	9
2.2.2 El sistema de unidades calor.....	11
2.2.2.1 Aplicación del sistema de unidades calor.....	13
2.2.2.2 Unidades calor en cultivos hortícolas.....	14
2.2.3 Efectos de la temperatura en el crecimiento.....	16
2.2.4 Efectos del fotoperíodo en el crecimiento.....	17
2.3 Análisis de crecimiento	18
2.3.1 Generalidades	18
2.3.2 Aplicaciones.....	21
2.3.3 Modelos matemáticos.....	23

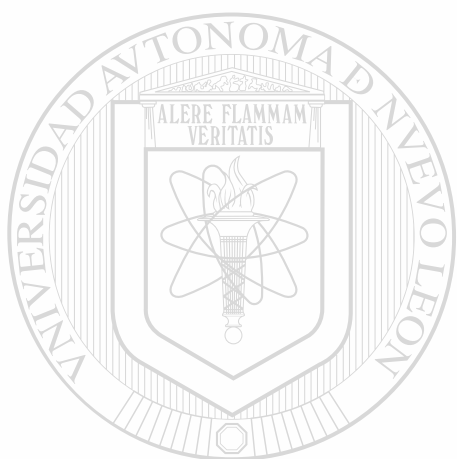
2.4 Reguladores de crecimiento.....	25
2.4.1 Generalidades.....	25
2.4.2 Auxinas.....	26
2.4.3 Giberelinas.....	27
2.4.4 Citocininas.....	28
2.5 Antecedentes regionales de investigación en cilantro.....	29
2.5.1 Cultivares.....	29
2.5.2 Fertilización y riegos.....	30
2.5.3 Abonos orgánicos.....	31
2.5.4 Reguladores de crecimiento.....	32
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1 Estimación del umbral mínimo de temperatura y unidades calor en cilantro <i>Coriandrum sativum</i> L.....	35
4.1.1 Resumen.....	35
4.1.2 Summary.....	36
4.1.3 Antecedentes.....	36
4.1.4 Metodología.....	39
4.1.5 Resultados.....	43
4.1.6 Discusión.....	49
4.1.7 Conclusiones.....	53
4.1.8 Bibliografía.....	54
4.2 Análisis de crecimiento en cilantro <i>Coriandrum sativum</i> L. en relación a la interacción genotipo – ambiente.....	57
4.2.1 Resumen.....	57
4.2.2 Summary.....	58
4.2.3 Antecedentes.....	58
4.2.4 Metodología.....	63
4.2.5 Resultados.....	67
4.2.6 Discusión.....	77
4.2.7 Conclusiones.....	82
4.2.8 Bibliografía.....	83

4.3 Análisis cuantitativo del crecimiento en cilantro.....	87
4.3.1 Resumen.....	87
4.3.2 Summary.....	88
4.3.3 Antecedentes.....	89
4.3.4 Metodología.....	93
4.3.5 Resultados y discusión.....	96
4.3.6 Conclusiones.....	105
4.3.7 Bibliografía.....	106
4.4 Variación hormonal endógena en dos genotipos de cilantro por efecto del fotoperíodo y la temperatura.....	110
4.4.1 Resumen.....	110
4.4.2 Summary.....	111
4.4.3 Antecedentes.....	111
4.4.4 Metodología.....	114
4.4.5 Resultados y discusión.....	124
4.4.6 Conclusiones.....	130
4.4.7 Bibliografía.....	131
4.5 Retraso de la floración en cilantro con reguladores del crecimiento..	133
4.5.1 Resumen.....	133
4.5.2 Summary.....	133
4.5.3 Antecedentes.....	134
4.5.4 Metodología.....	137
4.5.5 Resultados.....	139
4.5.6 Discusión.....	146
4.5.7 Conclusiones.....	148
4.5.8 Bibliografía.....	148
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	151
VI LITERATURA CITADA.....	153
VII APÉNDICE.....	163

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1 Temperatura del suelo requerida para la germinación de tres especies hortícolas (Castaños, 1993, Lorenz <i>et al</i> citados por Galván, 1994) . . .	10
2 Días a germinación a diferentes temperaturas del suelo para tres especies hortícolas (Castaños, 1993: Lorenz <i>et al</i> citados por Galván, 1994)	10
3 Influencia de la temperatura y del genotipo en la germinación de semillas de cilantro	45
4 Estimación de la temperatura base (TB) específica en siete genotipos y de la TB general en el cultivo de cilantro.....	47
5 Temperatura óptima de germinación, observada y estimada, para siete genotipos de cilantro y promedio del cultivo.....	47
6 Etapas del cultivo, en días y UC, en cuatro genotipos de cilantro sembrados en dos ambientes de producción.....	49
7 Comparación de medias de área foliar ($\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$) y peso seco (mg planta^{-1}) de cilantro en diferentes fechas de muestreo.....	97
8 Días a punteo en cilantro por efecto de la temperatura y del fotoperíodo.	126
9 Comparación de medias en la variable días a punteo en cilantro cv Marroquí (Expenmento 1) y cv. Criollo Poblano (Experimento 2), por efecto de la clase de fitoregulador dentro de cada nivel del número de aplicación Cada valor representa la media de tres repeticiones y su error estándar	141
10 Comparación de medias en la vanable días a punteo en cilantro cv. Marroquí (Experimento 3) por efecto de la clase de fitoregulador dentro de cada nivel del número de aplicación. Cada valor representa la media de cuatro repeticiones y su error estándar	142
11 Comparación de medias en la variable altura de planta (cm) en cilantro cv Marroquí (Experimento 1) por efecto de la clase de fitoregulador dentro de cada nivel del número de aplicación Cada valor representa la media de tres repeticiones y su error estándar	143

- 12 Comparación de medias en la variable altura de planta (cm) en cilantro cv C Poblano (Experimento 2) por efecto de la clase de fitoregulador y del número de aplicación. Cada valor representa la media de tres repeticiones y su error estándar..... 144
- 13 Comparación de medias en la variable altura de planta (cm) en cilantro cv Marroquí (Experimento 3) por efecto de la clase de fitoregulador dentro de cada nivel del número de aplicación. Cada valor representa la media de cuatro repeticiones y su error estándar..... 145



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

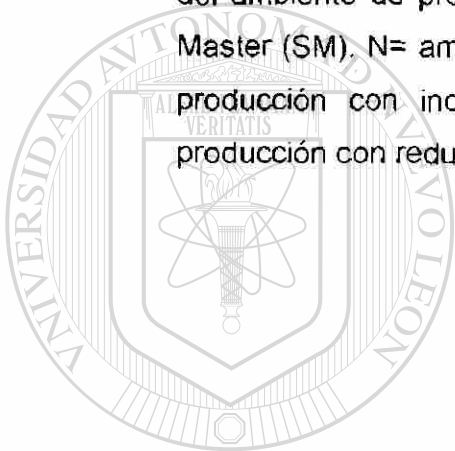


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Influencia de la temperatura en la capacidad de germinación de siete genotipos de cilantro y promedio general	44
2	Acumulación de área foliar (a) y peso seco (b) en interacciones seleccionados.....	68
3	Relación lineal entre valores primarios (a) y curva sigmoide de crecimiento (b).....	69
4	Tasa de crecimiento del cultivo en cilantro por efecto de la interacción genotipo-ambiente.....	71
5	Tasa relativa de crecimiento en cilantro por efecto de la interacción genotipo-ambiente.....	72
6	Tasa relativa de crecimiento foliar por efecto de la interacción genotipo-ambiente.....	73
7	Tasa de asimilación neta en cilantro por efecto de la interacción genotipo-ambiente.....	74
8	Duración del área foliar en cilantro por efecto de la interacción genotipo-ambiente.....	75
9	Relación de área foliar en cilantro por efecto de la interacción genotipo-ambiente.....	76
10	Relación lineal entre el área foliar y el peso seco del cilantro (Marroquí).....	98
11	Curva sigmoide de crecimiento en cilantro (Criollo de Ramos). I fase logarítmica, II fase lineal, III fase de senilidad.....	99
12	Tasa de crecimiento del cultivo en cinco genotipos de cilantro.....	100
13	Tasa relativa de crecimiento en cinco genotipos de cilantro.....	101
14	Tasa relativa de crecimiento foliar en cinco genotipos de cilantro.....	103
15	Tasa de asimilación neta en cinco genotipos de cilantro.....	104
16	Duración de área foliar en cinco genotipos de cilantro.	105
17	Relación de área foliar en cinco genotipos de cilantro.	105
18	Variación en la concentración endógena de giberelinas por efecto del ambiente de producción en los genotipos Marroquí (M) y Sun	

	Master (SM). N= ambiente de producción normal, T = ambiente de producción con incremento de temperatura, F = ambiente de producción con reducción del fotoperíodo.....	126
19	Variación en la concentración endógena de auxinas por efecto del ambiente de producción en los genotipos Marroquí (M) y Sun Master (SM) N= ambiente de producción normal, T = ambiente de producción con incremento de temperatura, F = ambiente de producción con reducción del fotoperíodo.....	128
20	Variación en la concentración endógena de citocininas por efecto del ambiente de producción en los genotipos Marroquí (M) y Sun Master (SM). N= ambiente de producción normal, T = ambiente de producción con incremento de temperatura, F = ambiente de producción con reducción del fotoperíodo.....	130



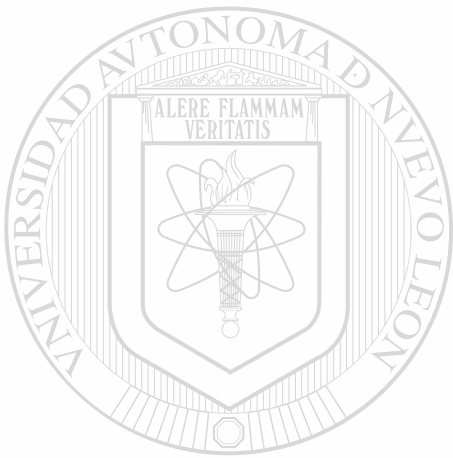
UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

	variación (C.V.) y la significancia.....	171
9A	Cuadrados medios para días a punteamiento en los genotipos Marroquí (MA) y Criollo Poblano (CP). Se incluyen el coeficiente de variación (C. V.) y la significancia.....	172



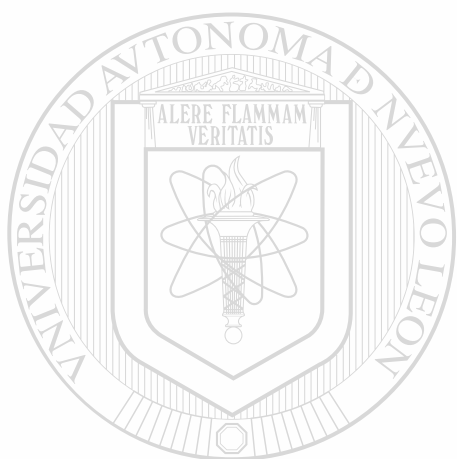
UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



varación (C V.) y la significancia.....	171
9A Cuadrados medios para días a punteamiento en los genotipos Marroquí (MA) y Criollo Poblano (CP). Se incluyen el coeficiente de varación (C V) y la significancia.....	172



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



RESUMEN

José Hernández Dávila

Fecha de graduación: Mayo del 2003

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Agronomía

Título del Estudio: Crecimiento y Desarrollo del Cilantro *Coriandrum sativum* L. por Efecto del Fotoperiodo y la Temperatura y su Control con Fitoreguladores.

Número de páginas: 173

Candidato para el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas con especialidad en Mejoramiento de Plantas.

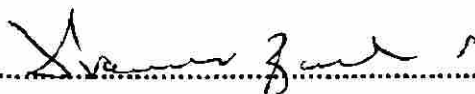
Áreas de Estudio: Fisiología y Productividad del Cilantro.

Propósitos y Métodos de Estudio: En el Noreste de México el cultivo del cilantro es considerado como una hortaliza de gran importancia; aunque, en esta región, uno de los principales problemas al que se enfrentan los productores de cilantro en las siembras de primavera-verano, es el "punteamiento prematuro", cuyas consecuencias son tan graves que es preferible no cosechar el producto por no reunir las características de calidad que exige el mercado. Sin embargo, es en esta época cuando mayor valor económico tiene el cilantro; ya que el precio medio rural es superior en 100 % comparado con el precio de invierno. Se cree que el problema citado es un proceso fotomorfogénico que se debe a las altas temperaturas y al fotoperiodo largo, característicos de esta época del año, ocasionando un desbalance en la concentración endógena hormonal. Una alternativa de solución a este problema puede ser la aplicación exógena de reguladores de crecimiento y probablemente, una mejor selección de los cultivares que se siembran. Los objetivos del presente trabajo de investigación fueron: a) caracterizar el crecimiento de diversos cultivares de cilantro, así como realizar estudios que permitan entender mejor el comportamiento hormonal del cultivo y con ello proponer alternativas de solución con el uso de fitoreguladores, b) Determinar la temperatura base y la relación del crecimiento con unidades calor, c) Realizar un análisis matemático del crecimiento a través de índices fisiotécnicos y construir modelos de regresión para predecir el "punteamiento del cilantro", d) Determinar la concentración hormonal en genotipos de cilantro cultivados en microtúneles de crecimiento, e) Evaluar la aplicación exógena de fitoreguladores sobre el crecimiento del cilantro, sembrado en verano". Para tal efecto el estudio comprendió una serie de siete experimentos. Experimento 1: en cámaras de crecimiento, se evaluaron ocho temperaturas y siete genotipos

de cilantro para determinar el umbral mínimo de este cultivo. Experimento 2: se evaluaron en campo, cinco ambientes de producción y cuatro genotipos de cilantro para determinar unidades calor y hacer un análisis de crecimiento. Experimento 3: los genotipos de cilantro Criollo Poblano, Criollo de Ramos, Sun Master, Slow Bolt y Marroquí fueron evaluados para hacer un análisis de crecimiento. Experimento 4: se muestrearon plantas en el Experimento 2 y en laboratorio se analizó la concentración endógena de giberelinas, auxinas y citocininas en dos genotipos de cilantro para determinar la variación endógena hormonal. Experimento 5: en el genotipo Marroquí, se aplicó una, dos o tres veces ácido giberélico, la auxina AIA y la citocinina kinetina, solas o combinadas entre ellas para determinar su efecto en el “punteamiento del cilantro”. Experimento 6: en el genotipo Criollo Poblano, se aplicó una, dos o tres veces ácido giberélico, la auxina AIA y la citocinina kinetina, solas o combinadas entre ellas para determinar su efecto en el “punteamiento del cilantro”. Experimento 7: En el genotipo Marroquí se aplicó una, dos o tres veces AIA a dosis de 0, 5, 10 y 15 ppm y Kinetina a dosis de 0, 5 y 10 ppm para determinar su efecto en el “punteamiento del cilantro”.

Contribuciones y Conclusiones: Los resultados mostraron que la temperatura óptima de germinación del cilantro fue de 18 °C. La temperatura base del cilantro fue de 4.8 °C y entre genotipos varía de 4.1 a 5.8 °C. Las unidades calor del cilantro, variaron en función del genotipo y del ambiente de producción. El modelo logístico específico para cilantro mostró buen ajuste para describir el crecimiento de esta hortaliza. El área foliar y el peso seco del cilantro guardan una relación lineal entre ellos. El patrón de crecimiento del cilantro, fue afectado por el incremento de temperatura, por la reducción del fotoperiodo y por el genotipo. Los índices TCC, TAN y DAF mostraron tendencia creciente a través del tiempo. La TRC mostró tendencia variable entre genotipos. La TRCF se mantuvo constante hasta los 63 dds y luego disminuyó. La RAF fue decreciente a través del tiempo. En función, principalmente, de la TRCF y la DAF el mejor genotipo para la producción comercial de follaje de cilantro es el Marroquí. En función de todos los índices de crecimiento, es posible sembrar diferentes genotipos de acuerdo al ambiente de producción. Durante la diferenciación floral, la concentración de giberelinas y citocininas endógenas mostraron tendencia creciente, en cambio, en las auxinas es decreciente. La aplicación de los fitoreguladores AIA y KIN retrasó la floración en cilantro y la magnitud de la respuesta esta en función del genotipo. La aplicación de ácido giberélico solo ó en combinación con otros fitoreguladores adelanta la floración en cilantro. La mejor combinación de fitoreguladores para retrasar el punteo, fue aplicar una vez AIA+KIN a dosis de 5 + 5 ppm o 15 + 10 ppm, respectivamente.

FIRMA DEL ASESOR PRINCIPAL:.....



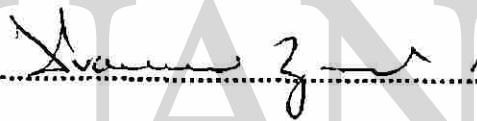
SUMMARY

Title: Photoperiod and Temperature Effects in the Growth and Differentiation of Coriander *Coriandrum sativum* L. and your Control with Regulators Substances.

Purposes and methods of this study: In the northeast of Mexico, coriander is a vegetable crop of great importance, even though in this region one of the main problems the producers in the spring – fall season, deal with, is the premature bolting, whose consequences are so grave that it is preferable not to harvest the product because it does not reunite the characteristics of quality for the market. Nevertheless, it is in this season when the coriander reaches his bigger economic value; since the price is 100 % higher compared with the winter season price. It is believed that the mentioned problem is a photomorphogenic process due to high temperatures and large photoperiod, distinctive of the period of the year, causing a disarrange in the concentration of endogenous hormones. An alternative solution to this problem could be the application of exogenous growing regulators and probably a better selection of the genotypes to sow. The objectives of the present research work were: a) to characterize the growth of diverse coriander genotypes, as well as, to carry out studies that will permit to know better the hormonal behaviour of the crop and with it, to propose alternative solutions with the use of phytoregulators. b) to determine the base temperature and the relation of growing with unites of heat, c) to realize a mathematic analysis of growing through the phytotechnics indices and construct regression models to predict the bolting of coriander, d) to determine the hormonal concentration of genotypes of coriander cultivated in microtunels, e) to evaluate exogenous application of phytoregulators about coriander growing produced in the spring season. To do this, the study included a series of seven experiment. Experiment 1: in growing chambers, eight temperatures and seven genotypes of coriander were evaluated to determine the minimum threshold of this crop. Experiment 2: Five environments of production and four genotypes of coriander were evaluated in the field to determine heat unites and make growth analysis. Experiment 3: Genotypes of coriander Cnollo Poblano, Criollo of Ramos, Sun Master, Slow Bolt and Marroqui were evaluated to make a growing analysis. Experiment 4: Plants of the Experiment 2 were taken to analyse in the laboratory about the endogenous concentration of gibberellins, auxins and cytokinins in two coriander genotypes to determine the endogenous hormonal variation. Experiment 5: to Marroqui genotype were applied once, twice or three times giberelic acid, auxin AIA and cytokinin Kinetin, alone and combined among them to determine its effects in the bolting of coriander. Experiment 6: to Cnollo Poblano genotype were applied once, twice or three times giberelic acid, auxin AIA and cytokinin Kinetin, alone and combined among them to determine its effects in the bolting of coriander. Experiment 7: to Marroqui genotype were applied once twice or three times the auxin AIA with doses of 0, 5, 10 and 15 ppm and the cytokinin Kinetin with doses of 0, 5 and 10 ppm to determine its effects in the bolting of coriander.

Contributions and Conclusions: the results showed that the optimum germinating temperature on coriander was 18 °C, the base temperature of coriander was 4.8 °C and among genotypes varies from 4.1 to 5.8 °C. The heat unites of coriander varied in function of the genotype and the production environmental. The specific logistic model for coriander showed good fitting to describe the growing of this vegetable. The foliar area and dry weight of coriander keep a lineal relation between them. The growing pattern of coriander, was affected by the increment of temperature, the reduction of photoperiod and genotype. The TRCF was constant until 63 days and then it decreased. The RAF decreases with time. In function of the TRCF and DAF the best genotype for commercial production of foliage of coriander was the Marroqui. In function of all the growing indices, it is possible to sow different genotypes accordingly to the production environmental. During the floral differentiation, the concentration of endogenous gibberellins and cytokines showed increasing tendency; on the other hand in auxins is decreasing, the application of phytohormones AIA and KIN delayed flowering in coriander and magnitude of the delay is in function of the genotype. The application of the gibberelic acid alone or combined with others phytohormones speeds up flowering in coriander. The best combination of phytohormones to delay the bolting is the application once of AIA + KIN at 5 + 5 ppm or 15 + 10 ppm, respectively.

FIRMA DEL ASESOR PRINCIPAL: _____



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

I. INTRODUCCION

El cilantro *Coriandrum sativum* L. es uno de los primeros miembros cultivados de la familia Apiaceae, antes Umbelliferae, pues existe bajo cultivo desde 5000 años A.C. Es originario de la región del Mediterráneo y actualmente se cultiva en la mayoría de las regiones templadas del mundo; los principales países productores son La Unión Soviética, India, Marruecos, México, Rumania, Argentina, Irán y Pakistán. México ocupa el 4° lugar mundial como productor de cilantro. Los principales países importadores de cilantro son Alemania, USA, Sri Lanka y Japón (Diederichsen, 1996). En la República Mexicana, entre 1991-1998 se cultivaron en promedio 8000 ha anuales con un rendimiento de 12.83 ton.ha⁻¹: destacan los estados de Puebla, Hidalgo, Baja California y Michoacán con el 61% de la superficie cultivada (INPOFOS, 1998; SAGAR, 1991-1995). En el Noreste de México (Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas) durante 1999 se sembraron 334 ha con una producción de 13.8 ton.ha⁻¹ y un valor económico de 16.6 millones de pesos (SAGAR, 2000; Reyes, 2000). Sin embargo, en esta región, uno de los principales problemas al que se enfrentan los productores de cilantro en las siembras de primavera-verano, es el "punteamiento prematuro", cuyas consecuencias son tan graves que es preferible no cosechar el producto por no reunir las características de calidad que exige tanto el mercado nacional como el de exportación; sin embargo, es en esta época cuando mayor valor económico tiene el cilantro, ya que el precio medio rural es superior en 100 % comparado con el precio de invierno (Yañez, 1988; Reyes, 2000)

Se tiene evidencia que el problema citado es un proceso fotomorfogénico que se debe a las altas temperaturas y al fotoperíodo largo (Yañez, 1988) característicos de esta época del año, ocasionando un desbalance en la concentración endógena hormonal que puede variar entre genotipos. Una alternativa de solución a este problema pudiera ser el uso de la aplicación exógena de reguladores de crecimiento y probablemente, una mejor selección de los cultivares que se siembran.

1.1 Objetivo general

El objetivo general del trabajo fue caracterizar el crecimiento de diversos cultivares de cilantro, así como realizar estudios que permitan entender mejor el comportamiento hormonal del cultivo y con ello proponer alternativas de solución al problema del “punteamiento prematuro”, con el uso de fitoreguladores.

1.1.1 Objetivos específicos

Para cumplir con el objetivo general, se establecieron los siguientes objetivos específicos.

a) Determinar la temperatura base y la relación del crecimiento con las unidades calor.

b) Realizar un análisis matemático del crecimiento a través de índices fisiotécnicos y construir modelos de regresión para predecir el "punteamiento" del cilantro.

c) Determinar la concentración hormonal en genotipos de cilantro cultivados en microtúneles de crecimiento.

d) Evaluar la aplicación exógena de fitoreguladores sobre el crecimiento y la reducción del punteamiento del cilantro, sembrado en verano.

1.2 Hipótesis General

El patrón de crecimiento, desarrollo y concentración endógena hormonal de plantas de cilantro es afectado por el genotipo y el ambiente de producción.

1.2.1 Hipótesis asociadas a los objetivos particulares

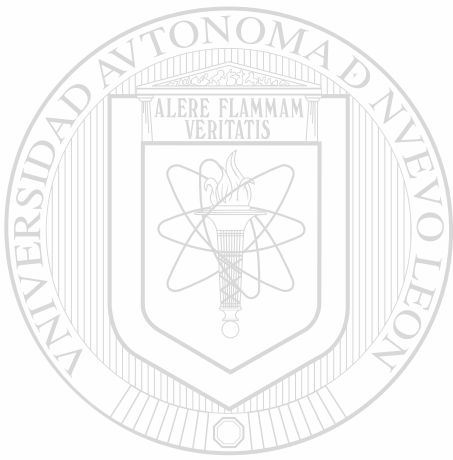
a) La temperatura afecta la germinación de las semillas de cilantro y su temperatura base, tiene un valor entre los 4 y 8 °C y varía entre genotipos.

b) La respuesta de plantas de cilantro al "punteamiento prematuro" es mayor cuando dichas plantas son cultivadas bajo condiciones de fotoperíodo largo y temperaturas altas.

c) La concentración endógena hormonal en plantas de cilantro varía a través del ciclo de cultivo y entre genotipos.

d) Con el análisis de crecimiento a través de los índices fisiotécnicos es posible determinar los efectos del punteamiento prematuro sobre la productividad del cultivo de cilantro

e) Con el uso de fitoreguladores es posible disminuir el problema del "punteamiento prematuro" en plantas de cilantro sembradas bajo condiciones inductivas.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 El cultivo del Cilantro

2.1.1 Origen y distribución.

Raymond (1982) y Reed (1993) comentaron que el cilantro pertenece a la clase Dicotiledónea, es un miembro de la familia Apiaceae y se considera que es originario de Europa Meridional, Asia Menor y Norte de África, encontrándose espontáneamente en algunas regiones Españolas. Su introducción a América Latina fue en 1519 durante la colonización y después a través de Massachussets, Estados Unidos en 1670 por inmigrantes Europeos (Anónimo, 1999). Se cultiva en Europa, Medio Oriente, Norte de la India, Asia Menor y América (Rodale, 1961).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

2.1.2 Descripción botánica.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El sistema radical del cilantro es fino y sencillo; su raíz principal, es axonomorfa, muy delgada y altamente ramificada, por estas características es muy difícil su trasplante. El tallo es dicotómico, delgado, cilíndrico, hueco, suave, herbáceo y erecto, llega a medir hasta 90 cm de altura. Las hojas son compuestas con dos tipos de folíolos; los inferiores, son anchos, ovales y provistos de lóbulos dentados; los superiores, están divididos en cuatro o cinco segmentos largos y estrechos. El color de las hojas es verde intenso, aunque

en ocasiones puede ser verde-amarillo. La inflorescencia es una umbela compuesta, tiene flores hermafroditas y estaminadas, de color blanco o ligeramente rozado, pentámera. El fruto es un esquizocarpo de tres a cinco milímetros de diámetro, color amarillo oscuro, esférico, formado por dos pequeñas mitades semiesféricas acopladas una contra la otra (diaquenio) y tiene estrías que son pequeños conductos que contienen aceite esencial. Cada fruto contiene dos semillas aplanadas de dos a tres milímetros de largo. Para que las semillas tengan capacidad de germinación, es necesario dejarlas secar a la sombra por tres meses después de la cosecha. La viabilidad de la semilla puede durar de seis a ocho años (Esau, 1959; Font, 1978; Simonetti, 1991; Diederichsen, 1996).

2.1.3 Condiciones ecológicas.

El cilantro es una planta anual de fácil y rápido crecimiento, prefiere el sol pero crece bastante bien en sombra parcial. Diversos autores citaron que la temperatura óptima de germinación varía de 15 a 30 °C y que los mejores resultados se obtienen con temperaturas de 27 y 22 °C durante el día y la noche, respectivamente, con un tiempo necesario para germinar de 10 a 21 días (Putievsky, 1983; Jethani, 1984; ISTA, 1985). Valadez (1990) clasificó al cilantro como una hortaliza de clima frío cuya temperatura media mensual de crecimiento debe ser de 15 a 18 °C; por lo cual, es probable que este cultivo requiere de días cortos y de noches con temperatura fresca. Por su parte,

Sergeeva y Sill'Chenco (1984) reportaron que el cilantro resiste bajas temperaturas siendo críticas de - 8 a -9 °C para el sistema radicular y de -13 a -14 °C para el follaje. En México se cultiva en altitudes que van desde los 14 msnm en el norte de Tamaulipas hasta los 2350 msnm en el Valle de México, esto hace que los climas donde se le cultiva sean muy variados e incluye el seco estepario (Bs), seco desértico (Bw), templado lluvioso con invierno seco (Cw) y tropical lluvioso con invierno seco [AC_(w)] (Andrio. 1989). En cuanto al fotoperíodo, el cilantro prospera bien en días cortos, pues en días largos el peso del follaje se reduce por la presencia del punteamiento prematuro. El cilantro, para obtener altos rendimientos prefiere suelos de textura ligera, fértiles, ricos en materia orgánica y pH ligeramente ácido (Morales, 1994). Sus requerimientos de humedad son altos al principio del ciclo del cultivo, para permitir la germinación, emergencia y establecimiento; por lo cual, se recomiendan riegos ligeros cada 5 o 6 días; de los 20 días en adelante, los riegos son una vez por semana (Ramírez, 1994).

2.1.4 Labores culturales

Para realizar la siembra se requiere que el suelo este bien mullido. La siembra se hace colocando la semilla entre 2-5 cm de profundidad con una densidad de siembra de 80-100 kg.ha⁻¹. En la región sur de Coahuila, se realizan dos escardas; la primera, a los 15-20 días después de la siembra y la segunda a los 15 días después de la primera, utilizando un implemento conocido como "calavera" (Yañez, 1988; Ramírez, 1994).

2.1.5 Fitosanidad

Como en todo cultivo, en el cilantro es necesario controlar las malezas, plagas y enfermedades. Así, las malezas se controlan con aplicaciones de CME 127 a dosis de 2.4-3.6 kg.ha⁻¹ o aplicar Afalon 50 PH a dosis de 1-2 kg.ha⁻¹. Por otra parte, tanto las plagas como las enfermedades no son de importancia; sin embargo, se llegan a presentar plagas como *Diabrotica balteata*, *Nezara viridula*, *Trialeurodes spp*, *Empoasca spp* y *Aphis spp*, las cuales se pueden controlar con Lucatión a dosis de 1 L.ha⁻¹. El damping-off se llega a presentar cuando las condiciones de humedad del suelo y la temperatura ambiental son altas, su control se puede hacer con Tecto 60 a dosis de 0.8 kg ha⁻¹ o bien con Prozycar 50 % PH a dosis de 1.5 kg.ha⁻¹ (Yañez, 1988; Ramírez, 1994).

2.1.6 Cosecha e importancia económica

El cilantro, para producción de follaje fresco, se cosecha cuando la planta alcanza una altura de 25 a 30 cm y su coloración es verde intensa. Esto se logra a los 50-60 días después de la siembra en verano y a los 115-125 días después de la siembra en invierno. Los rendimientos promedio para exportación varían de 1000 a 1200 cajas.ha⁻¹, incrementándose para mercado nacional hasta 2500 cajas.ha⁻¹. La importancia del cilantro se pone de manifiesto considerando la superficie sembrada, la generación de divisas y los usos tan diversos que tiene esta hortaliza. Así, 23 estados de la República Mexicana son los que cultivan cilantro en una superficie total de 10,853 ha. con lo cual,

generan una importante actividad económica, tanto por la comercialización nacional del producto, como por la generación de divisas a causa de la exportación de cilantro (SAGAR, 2000). El cilantro es usado principalmente como verdura para consumo fresco, como aceite en perfumería, como condimento substituyendo a la pimienta, como medicamento cuando hay debilidad estomacal y de las vías digestivas, como saborizante en confituras, licores y alimentos enlatados, además es ampliamente usado en la industria de embutidos y también por sus efectos bactericidas, larvicidas y fungicidas (Rodale, 1961; Raymond, 1982; UNPH, 1986; HEH, 1996; SAGAR, 1991-1995).

2.2. Temperatura y fotoperíodo

2.2.1. Efectos de la temperatura en la germinación.

En el proceso de germinación de una semilla viable, intervienen agua, temperatura, oxígeno y luz. Así, las semillas tienen la capacidad de germinar dentro de un rango definido de temperaturas, característico para cada especie. En este sentido, autores como Maroto (1989), Serrano (1990) y Lorenz *et al.* (citados por Galván, 1994) reportaron las temperaturas cardinales para la germinación de apio, perejil y zanahoria (especies de la misma familia que el cilantro); la temperatura mínima varió entre 4 y 8 °C, la óptima varió entre 15 y 25 °C y la máxima de 23.9 a 35 °C. Así mismo, citaron que los días a germinación en apio y perejil a temperatura óptima fueron de 10 días en un germinador y de 15 a 25 días en suelo. Estos mismos autores citaron que para

tener buena germinación con temperaturas altas, se requirió una diferencia entre el día y la noche de 8-10 °C. Como complemento, Castaños (1993) y Lorenz *et al.* (citados por Galván, 1994) presentaron las temperaturas del suelo apropiadas para la germinación de algunas hortalizas de la familia Apiaceae (Cuadro 1) y los días requeridos para la germinación a diferentes temperaturas del suelo sembradas a una profundidad de 2.5 cm en suelo franco con buenas condición de humedad (Cuadro 2).

Cuadro 1. Temperatura del suelo requerida para la germinación de tres especies hortícolas (Castaños, 1993; Lorenz *et al.* citados por Galván, 1994).

Cultivos	Mínima °C		Óptima °C		Máxima °C	
	Castaños	Lorenz	Castaños	Lorenz	Castaños	Lorenz
Apio	5	4.4	21	21.1	30	29.4
Perejil	5	4.4	24	24.0	33	32.2
Zanahoria	5	4.4	27	26.6	35	35.0

Cuadro 2. Días a germinación a diferentes temperaturas del suelo para tres especies hortícolas (Castaños, 1993; Lorenz *et al.* citados por Galván, 1994).

Cultivos	Temperatura del suelo, °C									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	
Apio	NG	41	16	12	7	NG	NG	NG	NG	
Perejil	ND	ND	29	17	14	13	12	ND	ND	
Zanahoria	NG	51	17	10	7	6	6	9	NG	

NG. no germinó, ND: no disponible

2.2.2 El sistema de unidades calor

La temperatura afecta el desarrollo de las plantas a través de su influencia sobre la velocidad de los procesos metabólicos. Temperaturas bajas retardan el desarrollo, mientras que las altas lo aceleran y acortan el ciclo vegetativo. Para describir la influencia de la temperatura sobre la fenología de las plantas, desde el siglo XVIII se usa el concepto de sumas de temperaturas, más conocido como unidades calor (UC), grados día (GD, °D), unidades térmicas de crecimiento ó constante térmica. Este concepto postula que el crecimiento y desarrollo de un cultivo depende de la cantidad de unidades calor que la planta recibe. Es decir, que un cultivo alcanzará una determinada etapa fenológica cuando haya recibido cierta cantidad de calor, independientemente del tiempo requerido para ello (Hodges y Doraiswamy citados por Villalpando, 1984; Preece y Read, 1993).

El concepto de unidades calor definido por Galván (1994), indicó que 1 °C-día es equivalente a una temperatura de 1 °C por encima del umbral mínimo para la especie en cuestión, y por un período de 24 horas. Existen diversos métodos para determinar las unidades calor acumuladas, entre los cuales Castañón (1993) y Carballo (1998) citaron los siguientes: 1.- Método directo. Se suman las temperaturas medias diarias, desde la siembra hasta la maduración de un cultivo. Cuando la temperatura de un día es menor a 0 °C no se considera dentro del cálculo 2 - Método residual o del promedio Es similar al anterior, consiste en sumar las temperaturas máximas y mínimas del día,

dividir las entre dos (temperatura media diaria) y restarle el valor del umbral inferior ó temperatura base.

$$CT = \sum_i^n (t_i - c) \quad \text{donde:}$$

CT = Constante Térmica, t_i = Temperatura media diaria y c = Temperatura base

3.- Método exponencial. Se basa en la ley de Van't Hoff o del Q_{10} , que indica que la velocidad de reacción de un organismo se duplica por cada 10 °C del aumento en la temperatura. 4.- Método de unidades totales de calor. Estas unidades se han desarrollado con las etapas fenológicas (EF) con muy buenos resultados. Se cree que por medio de éste método es posible calendarizar las diferentes etapas de una planta. 5.- Método de unidades específicas de calor. Fue utilizado para el desarrollo del maíz por Crane en 1977 y permite conocer los días de desarrollo efectivo. 6.- Método de triangulación simple. Fue diseñado por Lindsey y Newman en 1956 y utiliza las temperaturas máximas y mínimas diarias, el Umbral Inferior de Desarrollo (UI, UID) y el Umbral Superior de Desarrollo (US, USD); con la idea de que la cantidad de calor acumulado se obtiene estimando el área de un triángulo ABC. En este método se utilizan seis fórmulas para obtener las UC efectivas, las cuales dependen del comportamiento de las temperaturas. 7.- Método de triangulación doble. Fue propuesto por Sevacherian *et al.* (citados por Galván, 1994), en este caso, el cálculo se hace para periodos de 12 horas (medios días), limitados por una recta vertical (altura) en el triángulo. Los grados-día se estiman calculando el área dentro de cada medio triángulo y entre los dos umbrales. 8.- Método de seno simple. Fue desarrollado por Arnolde en 1960, considerando exclusivamente el umbral inferior de desarrollo. Posteriormente, para aumentar

la confiabilidad del método Baskerville y Emin en 1968, realizaron una modificación para utilizar ambos umbrales de temperatura. Este método asume que la curva diaria de temperatura es similar a la curva sinusoidal, que es simétrica y uniforme, lo cual no siempre se presenta en la realidad. 9.- Método de seno doble. Fue elaborado por Allen en 1976, mediante una modificación al método de seno simple. Opera por promedios de periodos de 12 horas (medios días), con la cual no se considera la curva de temperatura simétrica, aumentando así la precisión del cálculo. Este método utiliza seis fórmulas diferentes de acuerdo con el comportamiento de las temperaturas en un día determinado.

2.2.2.1 Aplicación del sistema de unidades calor.

La aplicación del sistema de Unidades Calor (UC) a la producción moderna de hortalizas, esta siendo una de las formas más destacadas para poder realizar las diferentes actividades agronómicas que se requieren. Las aplicaciones más importantes son (Galván, 1994):

- a) Constituye la base para predecir la fecha de cosecha de los cultivos (es más preciso el tiempo fisiológico que el tiempo cronológico). Se ha empleado en hortalizas para procesado (chicharo, maíz dulce, etc.) y para mercado fresco (pepino, tomate, brócoli, etc.). Empleándose temperaturas mínimas y máximas históricas, se elaboran los programas de siembras.
- b) Como en cada etapa fenológica de un cultivo se realizan prácticas agronómicas específicas, el conocimiento de las UC requeridas permite

programar de una mejor manera los riegos, fertilización, aplicaciones de agroquímicos, etc.

- c) En el Manejo Integrado de Plagas (MIP), permitiendo establecer mejores estrategias de control.

2.2.2.2 Unidades calor en cultivos hortícolas.

Perry *et al.* (1986) compararon 14 métodos para calcular UC, considerando las temperaturas máximas y mínimas. Evaluaron dos épocas de crecimiento por cinco años consecutivos en pepino (*Cucumis sativus* L.) en Carolina del Norte, EE.UU. El coeficiente de variación (CV) fue utilizado para determinar cual de los métodos era el más seguro en la predicción al primer día a cosecha. El mejor método fue la diferencia entre la temperatura máxima diaria y una temperatura base de 15.5 °C.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Rudich (1986) desarrolló un programa de predicción del tiempo de floración a cosecha en tomate para procesado (*Lycopersicon esculentum* Mill.). El programa fue validado y calibrado de 1972 a 1980 con datos tomados de 44 campos en dos localidades en Israel. El desarrollo del tomate se dividió en cuatro estados fenológicos. La acumulación de días fisiológicos durante los dos primeros estados está basado en una función lineal. Durante los dos últimos estados, una función cuadrática es utilizada para calcular las unidades calor diarias. Usando éste modelo es posible una predicción a cosecha con una precisión de más o menos tres días.

Kreuzer (1993) en un trabajo con siete especies de plantas que producen aceites en sus semillas (incluyendo el cilantro), encontró que en cinco especies, el período de siembra a emergencia tuvo un número fijo de grados- día, independientemente de la temperatura. La tasa de iniciación floral fue más baja a temperaturas más bajas pero medida en grados-día ésta fue constante a 2-3 hojas por 100 grados-día para la mayoría de las especies.

Perry y Wehner (1990) usaron dos métodos (Límite y Estándar) de unidades calor para predecir el momento óptimo a cosecha en el cultivo de pepino, tanto para mercado fresco como para procesado. Durante tres años, en tres temporadas y localidades diferentes de Carolina del Norte. EE.UU., se utilizaron cultivares y líneas mejoradas elegidas a conveniencia para representar el mayor rango de variabilidad disponible en rendimiento y madurez. Los dos métodos de predicción a cosecha fueron diferentes significativamente para procesado pero no para mercado fresco. Para el primer caso, el mejor modelo fue el método Estándar.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Hernández (1991) desarrolló dos estudios de la duración de las etapas fenológicas de la papa en seis localidades. Se compararon 13 métodos de UC y uno de Unidades Fototérmicas. En el primer estudio los resultados indicaron que los métodos de seno simple y seno doble resultaron iguales entre sí, pero diferentes entre los demás, teniendo los coeficientes de variación (CV) más bajos. En el segundo se seleccionó los métodos directo, UC específicas, seno simple y unidades fototérmicas. El mejor fue el directo con el menor CV.

Sandoval (1993) concluyó que en el cultivo de la zanahoria cv. Nantes Strong, la mayor acumulación de unidades calor y el mayor incremento en el rendimiento lo registraron los tratamientos con 13, 26 y 32 días con cubierta flotante, con 1643, 1657 y 1664 UC acumuladas y un rendimiento de 33.8, 36.1 y 34.2 ton.ha⁻¹ respectivamente, incrementándolo en promedio 6.11% con relación al testigo.

2.2.3 Efectos de la temperatura en el crecimiento

He y Wang (1985) encontraron que cuando las semillas de cilantro en germinación fueron sometidas a bajas temperaturas (3 a 4 °C) por 15 días, la diferenciación del primordio floral ocurrió nueve días antes que en aquellas no tratadas. Por su parte, Peneva y Krilov (1977) citaron que la temperatura y la luz provocan cambios fenológicos y bioquímicos en el cultivo del cilantro. Entre sus resultados encontraron que las condiciones de luz tienen mayor efecto sobre la duración de la etapa de crecimiento que la temperatura y la brotación temprana del tubo floral fue más común en verano que en invierno. Estos resultados coinciden con Kreuzer (1993), quien en un trabajo con siete especies evaluó el efecto de la duración del día y la temperatura; para el caso del cilantro, la formación del botón floral fue más rápida a temperaturas altas y el inicio de la floración ocurrió primero por las altas temperaturas. También, procesos como la fotosíntesis, respiración y la acumulación de azúcares y almidón son afectados por la temperatura (Taiz y Zeiger, 1991). Además, las altas temperaturas por lo común provocaron el cierre de estomas, lo cual pudo deberse a una respuesta

indirecta al estrés hídrico o a un aumento en las tasas respiratorias, que a su vez pudieron provocar un incremento en el contenido de CO₂ en el interior de la hoja. Esto, hace que poco a poco disminuya la eficiencia fotosintética de la planta (Preece y Reed, 1993; Salisbury y Ross, 1994). Todo lo anterior, afectó el rendimiento, tal y como lo mencionó Tinajero (1993), quien citó que aún y cuando el cilantro se puede sembrar todo el año, los rendimientos mas altos se obtienen en la época de Otoño-Invierno. En las siembras de Primavera-Verano, probablemente debido a las altas temperaturas y al largo fotoperíodo, se acelera el crecimiento de las plantas y el rendimiento disminuye, o bien el producto es de mala calidad.

2.2.4. Efectos del fotoperíodo en el crecimiento

Gordon y Barden (1984) mencionaron que para que alcance la floración una planta de día corto, el fotoperíodo debe ser menor que la llamada duración crítica del día. Por el contrario, la planta de día largo debe tener un fotoperíodo mayor que la duración crítica correspondiente. Así, Putievsky (1983) al estudiar dos regímenes de temperatura (18/12 °C y 24/12 °C, día y noche) y dos fotoperíodos (10 y 16 horas luz) en tres especies; encontró que el cilantro florece y alcanza la madurez más rápido en los tratamientos de día largo que en los de días cortos, aunque el cilantro cumple su ciclo vegetativo en ambos casos. En ambas longitudes de día, la floración y madurez fueron mas tempranas en la temperatura alta. Con 16 horas luz y temperaturas de 24/12 °C, la floración fue a los 55 días con una altura de planta de 25 cm, mientras que

con 10 horas de luz y la misma temperatura, la floración ocurrió a los 90 días y una altura de planta de 50 cm. Con 16 horas de luz y temperatura de 18/12 °C la floración fue a los 70 días a una altura de planta de 35 cm, mientras que con 10 horas de luz y la misma temperatura, la floración fue a los 90 días y una altura de planta de 30 cm. Por su parte, Mohr y Schopfer (1995) y Sivori *et al.* (1980) mencionaron que además de la formación de la flor, procesos como el grado de ramificación, la actividad cambial, la formación y dormición de las yemas, la fijación fotosintética de CO₂, el tamaño y forma de las hojas y el alargamiento de los entrenudos son controlados por el fotoperíodo. En este sentido, Medina (1977) reportó que las plantas superiores responden fotosintéticamente a las condiciones en que se han desarrollado, y que su adaptación y tolerancia a las condiciones de luz y temperatura esta determinada genéticamente. Kreuzer (1993) encontró que en el cilantro, el período entre la emergencia y el inicio de la floración fue mucho más corto con el fotoperíodo largo. Finalmente, Hernández (1994) mencionó que en días largos el peso del cilantro se redujo por la presencia de la floración prematura y fue apoyado por Lan Chow *et al.* (1984), quienes citaron que las cosechas más precoces resultaron en producciones más bajas, particularmente en verano.

2.3 Análisis de Crecimiento

2.3.1. Generalidades

Bidwell (1979) separó arbitrariamente crecimiento y desarrollo y citó que el primero denota aumento en tamaño y el segundo es un cambio ordenado o

progreso, a menudo hacia un estado superior, más ordenado o más complejo. Este mismo autor mencionó que un modelo típico de crecimiento de una planta anual se divide en tres fases: 1) logarítmica o exponencial, 2) lineal y 3) de envejecimiento o senilidad. Por su parte, Kvet *et al.* (1971) citaron que en el análisis de crecimiento, el crecimiento es definido como incremento en peso seco de las plantas. El análisis de crecimiento fue originada por Blackman en 1919, quien por primera vez usó dicha técnica. Por su parte, Radford (1976) definió al análisis de crecimiento como el conjunto de técnicas empleadas para el estudio cuantitativo del crecimiento de las plantas y publicó los índices en los cuales se apoya el análisis de crecimiento. Señaló que generalmente se hace un uso indiscriminado de dichas fórmulas y recomienda hacer una selección apropiada de estas de acuerdo a la situación que se presente. Para realizar un análisis de crecimiento, las mediciones más comunes son: el peso seco total y el área foliar total de la planta. También mencionó que para apreciar una curva bien ajustada, esta técnica requiere la toma de muestras pequeñas pero frecuentes.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Kvet *et al.* (1971) argumentaron que una ventaja del análisis de crecimiento es que los valores primarios, en el cual se basa, son relativamente fáciles de obtener sin gran demanda en equipo de laboratorio. Esos valores normalmente son el peso seco de toda la planta y/o de sus partes y las dimensiones del aparato asimilatorio que son estimadas en material vegetal en crecimiento a ciertos intervalos de tiempo: de ellos, varios índices y características son calculados para describir el crecimiento de las plantas y sus

partes, así como las relaciones entre el aparato asimilatorio y la producción de materia seca. Estos índices son: tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de crecimiento relativo (TRC), área foliar específica (AFE), índice de clorofila (IC), duración de área foliar (DAF), tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento relativo foliar (TRCF) y relación de área foliar (RAF), entre otros.

Pearson y Hunt (1981) generaron un método para ajustar las curvas de crecimiento, consiste en un programa computacional el cual deriva las cantidades analíticas más usuales del crecimiento y sus errores. Estas curvas son exponenciales y cúbicas polinomiales. Hunt (1982) indicó que para evaluar el crecimiento de manera cuantitativa, se ha utilizado la metodología denominada análisis de crecimiento, mediante la cual se cuantifica tanto la producción primaria (peso seco) como la eficiencia con la cual se obtuvo y esta en función del tiempo. Aunque en un principio este análisis se aplicaba principalmente para comparar diversas especies o genotipos dentro de cada especie, en la actualidad también se emplea para evaluar el efecto de las prácticas de producción.

Russell et al. (1984), determinaron que las funciones TCC, TRC, RAF y TAN se incrementan con la temperatura dentro de un rango específico, para un cultivo dado, también citaron que el objetivo del cálculo de las funciones de crecimiento, es explicar la respuesta de un cultivo al medio ambiente.

2.3.2 Aplicaciones

Ascencio y Fargas (1973) analizaron las características de crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a través de índices de crecimiento como TRC, TAN y RAF. Su cálculo se hizo en base a la metodología de Blackman (análisis de regresión y correlación). Se estableció que la eficiencia fotosintética de una planta de frijol depende de la RAF y de un número elevado de hojas por planta. La TRC tuvo un valor promedio de $0.69 \text{ g.g}^{-1}.\text{sem}^{-1}$, la TAN de $0.35 \text{ g.dm}^{-2}.\text{sem}^{-1}$ y la RAF de $1.79 \text{ dm}^2 \text{ g}^{-1}$.

Valverde y Sáenz (1985) realizaron un análisis de crecimiento de chayote (*Sechium edule*), con los datos de área foliar y materia seca, se procedió a calcular los siguientes componentes del crecimiento: Razón de peso foliar (RPF), RAF, área foliar específica (AFE), índice de área foliar (IAF), TCC, TRC,

TRCF y TAN. En este estudio la RAF disminuyó a través del ciclo del cultivo iniciando con valores de $156.25 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}.\text{día}^{-1}$ y terminar en $64.69 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}.\text{día}^{-1}$ en cambio, la TCC tuvo valores muy bajos. En relación a la TRC y TRCF su comportamiento fue muy variable pero ambas mostraron una tendencia a disminuir a través del ciclo de cultivo. Los valores máximos y mínimos para la TRC fueron 0.11 y $0.02 \text{ g.g}^{-1}.\text{día}^{-1}$, respectivamente. En cambio, la TRCF mostró valores de 0.43 y $0.01 \text{ cm}^2.\text{cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$. La TAN tuvo un comportamiento similar a la TRC y TRCF con un valor máximo al inicio de $2.76 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$ y un valor mínimo de $0.10 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$.

Pedro *et al.* (1985) utilizaron los datos de peso seco y área foliar de tres cultivares de soya para efectuar un análisis de crecimiento mediante la determinación de los siguientes índices: tasa de asimilación líquida (TAL), TRC, TCRF, TCC, e IAF; notaron que la máxima TCC estimada fue de 750, 950 y 1400 g.m⁻² para los cultivares Paraná, Santa Rosa y UFV-1, respectivamente. Los IAF fueron de 6.5, 6.8 y 7.3, respectivamente y los valores máximos de TCC fueron de 17, 18 y 23 g.m⁻².día⁻¹.

Solórzano *et al.* (1982) realizaron un análisis de crecimiento de seis colecciones de haba (*Vicia faba* L.) y concluyeron que: a) la máxima producción de área foliar se presentó entre las etapas nodales 30 y 35 del tallo principal, b) el IAF se incrementó rápidamente después de que el tallo principal produjo 18 nudos, c) la TAN decreció rápidamente a través del tiempo (de la etapa nodal 5 a la 21) con valor inicial de 7.14 g.m⁻².día⁻¹, valor intermedio de 4.3 g.m⁻².día⁻¹ y valor final menor a los citados. Además, encontró que la TRC se incrementó rápidamente al inicio del ciclo del cultivo pero posteriormente decreció, con lo cual disminuye la eficiencia para producir materia seca. La disminución del área foliar fue atribuida a una menor penetración de luz a los estratos inferiores de la planta.

Ramírez *et al.* (1986) realizaron muestreos en el híbrido H-131 de maíz y de sus progenitores, el propósito fue estimar la dinámica y distribución de materia seca; se calcularon la TAN, TRC, TCC, de la planta total y de cada una de sus estructuras. En general, encontraron que el peso seco total de la planta

y sus estructuras resultó mayor en el híbrido que en sus progenitores. La TAN decreció a través del tiempo hasta el inicio del llenado del grano donde aumentó ligeramente, sus valores variaron de 0.24 a 0.03 g.dm⁻² día⁻². La TRC tuvo un comportamiento similar a la TAN.

Según Wallace y Munger (1985), las variaciones en la acumulación de materia seca de frijol estuvieron asociadas con diversos factores como el área foliar, la TAN, la RAF y la TRC; los resultados, indicaron que las variedades más productivas fueron las que alcanzaron los valores más altos de área foliar.

Hedge (1986) determinó la respuesta del pimiento (*Capsicum annuum*) a la humedad del suelo y dosis de nitrógeno, utilizando el análisis de crecimiento. Obtuvo que el mejor tratamiento fue el que se regó al 40 % de la humedad disponible, pues fue donde se presentó la mayor producción de materia seca, además de los valores más altos de los diferentes índices de crecimiento.

Causton (1991) trabajó el análisis de crecimiento para observar la variabilidad de la TRC en diferentes especies, sus resultados mostraron que en col de bruselas y girasol la TRC no cambió a través del tiempo pero, en tomate y trigo la TRC declinó con el tiempo.

2.3.3 Modelos matemáticos

Un modelo puede definirse como una replica de algo y, para la ciencia los más importantes son los modelos matemáticos cuyo objetivo es ayudar al análisis de los procesos naturales que son afectados por diversos factores o fuentes de variación; así, Bidwell (1979) estableció que recientemente se han elaborado modelos matemáticos para entender el crecimiento de plantas cultivadas, que aplican parámetros de ambiente (luz, temperatura, agua, etc.). Han resultado algunos modelos de crecimiento vegetal muy interesantes que relacionan el crecimiento actual con las capacidades fisiológicas o bioquímicas de las partes en crecimiento, mencionó que lo único que puede determinar con seguridad el verdadero papel del factor o factores en cuestión es un análisis matemático de crecimiento, en términos de un modelo matemático que a menudo debe ser desarrollado para una situación particular. De acuerdo a esto, algunos de los modelos que se han aplicado al análisis de crecimiento son: Von Bertalanffy, Chapman-Richards, Monomolecular, Logístico, Gompertz, Weibull,

Levakovic I, Korf y Sloboda (Zamudio y Ayerde, 1997).

Por ser uno de los modelos más utilizados y recomendados para estudios de fisiología vegetal, a continuación se citan algunas aplicaciones del modelo logístico: Rodríguez y Palacios (1986) caracterizaron el curso de la enfermedad del virus rayado del maíz (VRFM), mediante un modelo matemático logístico. Mencionaron que es posible caracterizar a la epidemia mediante las tasa de infección promedio y el tiempo a que se presenta la máxima tasa de incremento. Concluyeron que la epidemia causada por el VRFM es bien caracterizada por el modelo logístico.

En una evaluación de los modelos Gompertz, Bertalanffy, Weibull y logístico, se concluyó que este último fue el más apropiado para caracterizar 50 epidemias causadas por *Phytophthora parasitica* var. *Nicotianae* en tabaco. Esta se basó en el valor del coeficiente de determinación y la figura de la curva. También se mencionó que la mejor descripción del modelo logístico es dada al aplicarlo a estudios de fisiología vegetal (Campbell y Powell citados por Rodríguez y Palacios, 1986).

2.4 Reguladores del Crecimiento

2.4.1 Generalidades

Según Weaver (1982) los fitoreguladores son compuestos orgánicos que en pequeñas dosis fomentan, inhiben o modifican, cualquier proceso fisiológico

de los vegetales. Cantidades mínimas, por ejemplo 1 ppm, ejercen efectos fisiológicos que son medibles. Por su parte, Salisbury y Ross (1994) los definen como un compuesto orgánico que se sintetiza en alguna parte de la planta y se trasloca a otra parte, en donde concentraciones muy bajas causan una respuesta fisiológica. En la actualidad se conocen compuestos que inducen o inhiben la floración. En ocasiones, en una concentración determinada, un compuesto inhibe y en otra promueve. Por lo cual, hay un importante potencial para la aplicación práctica de este conocimiento, ya que la inducción o represión de flores, con frecuencia tiene una participación importante en la agricultura. Los reguladores como el ácido giberélico (AG), las auxinas y el

etileno han probado tener influencia en el crecimiento y/o desarrollo de muchas especies. Así por ejemplo, en muchas plantas de día corto o en otras cuya floración no responde a variación en el periodo de iluminación, la aplicación de AG retrasa por lo común, la iniciación floral (Rappaport, 1978).

Estos mismos autores citaron que si la hoja detecta el fotoperíodo pero la yema se transforma en flor, debe haber entonces algún estímulo, que es una sustancia química y no un estímulo nervioso la responsable en mandar a la planta a florear. En este mismo sentido, Rojas y Ramírez (1993) mencionaron que en problemas de origen termo y fotoperiódicos, un aspecto fisicotécnico es el tratamiento hormonal, puesto que el estímulo de frío o luz se traduce en la planta en estímulo hormonal.

Bidwell (1979) citó que la concentración hormonal de promotores e inhibidores del crecimiento es muy baja o proporcionalmente igual durante el invierno, cuando ocurre la vernalización, pero a medida que avanza la primavera, al cambiar las condiciones de temperatura y fotoperíodo, dicha concentración se modifica prevaleciendo los promotores sobre las inhibidores del crecimiento

2.4.2 Auxinas

Salisbury y Ross (1994) citaron que en muchas especies las auxinas inhiben la floración. En plantas de día corto, la inhibición ocurre antes de que se

complete la transferencia del florigen desde la hoja, luego de lo cual quizá haya efectos de promoción marginales. También se han observado efectos de promoción en plantas de día largo mantenidas en días muy cortos para la inducción. Las concentraciones de auxinas necesarias para inhibir la floración, por lo general producen epinastias graves y otras respuestas, y los niveles de auxinas medidos pocas veces se correlacionan con la floración de manera significativa, es probable que no la controlen, al menos no en todas las especies. Así, en un trabajo realizado por Badgujar y Warhal (1988) con semillas de cilantro, a dosis de 10 ppm de IAA, 20 ppm de NAA o 50 ppm AG reportaron incremento en el porcentaje de germinación y la producción de hojas. En cambio, Prakash y Kumar (1984) encontraron que la morfología de las umbelas y el estatus sexual de las flores en cilantro fueron afectadas al tratar las plantas con varios reguladores de crecimiento a diferentes concentraciones. El más alto número de flores fue producido a 50 ppm de AIA mientras que la

más alta frecuencia de flores bisexuales (93.91 %) fue producido con 50 ppm de ácido ascórbico.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2.4.3 Giberelinas

West y Beilly (1961), Painter y Stembridge (1972), Rappaport (1978). Weaver (1982) y Rojas y Ramírez (1993) mencionaron que las giberelinas son productos naturales que se encuentran principalmente en las hojas y raíces jóvenes. Actúan en la elongación celular, por lo cual el efecto más típico del ácido giberélico (AG) sobre las plantas se da en el desarrollo del tallo y las

hojas, observándose un mayor crecimiento de los entrenudos. En muchas plantas de día corto, la aplicación de giberelinas retrasa por lo común, la iniciación floral o la bloquea del todo; quizá, por que da por resultado una gran competencia entre el crecimiento vegetativo y el desarrollo floral. También citaron que las giberelinas estimulan la floración en numerosas especies, sobre todo en aquellas que requieren bajas temperaturas y días largos. Aunque la naturaleza de la floración inducida por las giberelinas no es típica, por ejemplo, en plantas de día largo las giberelinas invariablemente inducen primero la elongación de los tallos y luego la floración. El ácido giberélico es quizá la única hormona que interacciona con el fitocromo, el receptor que "dice" a la planta las horas de luz diarias que recibe y que hace que las plantas se ajusten a su fotoperíodo para florecer. En algunos trabajos para observar la respuesta a la floración, autores como Amruthavalli (1978) reportaron algunos resultados con AG que aceleró la floración y el ácido benziladenina (AB) que produjo lo opuesto y este, en combinación con el AG, no alteró la influencia de este último en acelerar la floración. En cambio, según Maroto (1989) en apio, una hortaliza de la misma familia que el cilantro, para forzar el crecimiento vegetativo, se puede utilizar el ácido giberélico a la dosis de 25 ppm.

2.4.4 Citocininas

Las citocininas son compuestos con estructura parecida a la adenina, los cuales promueven la división celular y otras funciones. La kinetina fue la primera citocinina descubierta y se llamó así por su habilidad para promover la

citocinesis. Las concentraciones de las citocininas son más altas en las regiones meristemáticas y áreas de continuo crecimiento potencial, tales como raíces, hojas jóvenes, frutos en desarrollo y semillas. Se cree que son sintetizadas en las raíces y traslocadas vía el xilema al vástago. La respuesta a las citocininas varía dependiendo del tipo de citocinina y de la especie vegetal. Entre sus efectos fisiológicos están los siguientes: estimula la división celular, estimula la morfogénesis en cultivo de tejidos, estimula el crecimiento de las yemas laterales, estimula la expansión foliar como resultado del alargamiento de las células, puede mejorar la apertura estomática en algunas especies y promueve la conversión de etioplastos a cloroplastos vía la estimulación de la síntesis de clorofila (Salisbury y Ross, 1994; Raven, 1994; Arteca, 1998).

2.5. Antecedentes regionales de investigación en cilantro

2.5.1. Cultivares

Fernández (1988) trabajó con 12 genotipos de cilantro y reportó que los genotipos San Francisco del Rincón, Gto., Tepeaca, Puebla y Fresnillo, Zacatecas presentaron los valores mas altos en los componentes de rendimiento y también fueron los que menos días a emergencia y ciclo vegetativo mostraron. Por su parte, Andrio (1989) evaluó el comportamiento de 15 colecciones de cilantro sembradas en verano. Encontró que dos colecciones de San Francisco del Rincón, Gto., una de Fresnillo, Zacatecas y otra de Tepeaca, Puebla fueron promisorios por su tolerancia a la floración prematura;

sin embargo, la altura de planta al momento de la cosecha vario de 11.3 a 27.3 cm. En este mismo sentido, Flores (1992) evaluó la susceptibilidad / tolerancia a la floración de 44 genotipos de cilantro provenientes de diferentes partes de la República Mexicana. Los días a inicio de floración para los cultivares susceptibles y los tolerantes fueron en promedio de 69 y 110 días, respectivamente.

2.5.2 Fertilización y riegos

En un ensayo con cilantro cv Criollo de Ramos, sembrado en invierno, se evaluaron dosis de fertilización nitrogenada. La máxima respuesta a número de peciolas, altura de planta, longitud de raíz y peso fresco se obtuvo con la aplicación de $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrógeno (Torres, 1993). Por su parte, Ramírez (1994) para evaluar la influencia en la floración prematura, condujo un ensayo

con tres frecuencias de riego y cinco dosis de fertilización nitrogenada en cilantro cv. Criollo de Ramos. La interacción de estos factores no tuvo efecto en el inicio de floración. En cambio, Hernández (1994) en un experimento con cilantro cv. Criollo de Ramos sembrado en Primavera-Verano, evaluó tres frecuencias de riego y seis densidades de siembra para observar su efecto en la floración prematura. No hubo diferencias significativas en el número de plantas estimuladas a floración en las dos fechas evaluadas. Sin embargo, dos días después de la última evaluación, casi el total de las plantas presentaron dicha estimulación, por lo que concluyeron que altas temperaturas y fotoperíodo largo llevan al cilantro a la floración.

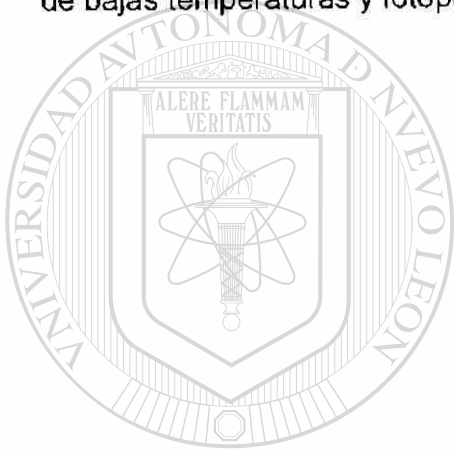
2.5.3 Abonos orgánicos

Dorantes (1992) condujo un experimento en cilantro al que se le aplicaron dosis de algas mannas y no hubo diferencias significativas entre tratamientos. La cosecha se realizó a los 80 días después de la siembra con una altura de planta entre 24 y 30 cm debido a la presencia del "punteamiento" prematuro. El rendimiento más alto y con el mayor contenido de proteína se presentó con el tratamiento de 8 L.ha⁻¹ de alga enzimas aplicadas al suelo. Diferentes resultados encontró Tinajero (1993) en un experimento con cilantro var. Marroquí sembrado en invierno, donde probó diferentes dosis de alga enzimas aplicadas al suelo y tres dosis de estiércol bovino. Altura de planta, número de hojas, días a cosecha y rendimiento mostraron diferencias significativas. El incremento en el rendimiento, con relación al control, fue de un 60% al aplicar 20 ton.ha⁻¹ de estiércol y 36 L.ha⁻¹ de alga enzimas; además, los días a cosecha disminuyeron en 18 días. Así mismo, Arellano (1993) estudio el efecto de los ácidos húmicos y estiércol bovino en cilantro var. Marroquí sembrado en invierno. La altura de planta al momento de la cosecha tuvo un incremento del 60% al aplicar 40 ton.ha⁻¹ de estiércol, con respecto al testigo. El mejor rendimiento de follaje, 38 ton.ha⁻¹ se obtuvo aplicando 40 ton.ha⁻¹ de estiércol. En este mismo sentido, Solorio (1993) estudió el efecto de la aplicación de ácidos húmicos y estiércol bovino en la producción de follaje fresco de cilantro var. Marroquí. La producción más alta de follaje se obtuvo al aplicar 50 kg.ha⁻¹ de ácidos húmicos y 50 ton.ha⁻¹ de estiércol bovino

2.5.3 Reguladores de crecimiento

Blanco (1992) condujo un experimento aplicando a semillas recién cosechadas de cilantro var. Marroquí, diferentes dosis de ácido giberélico con el objetivo de incrementar el porcentaje de germinación. Se obtuvo una respuesta de 12 % de germinación contra 0.0 % en el testigo. Por otra parte, Zavala (1992) en un experimento con cilantro var. Marroquí sembrado en verano-otoño, evaluó dos productos comerciales a base de giberelinas y dosis de cada uno de ellos. La cosecha se realizó a los 52 días con altura de planta de 30 cm en la mayoría de los tratamientos. El control solo tuvo 22 cm de altura de planta. El área foliar se incrementó en un 30 y 23% al aplicar 70 y 50 ppm de giberelinas, respectivamente. La producción de follaje fresco se incrementó al aplicar 50 y 70 ppm de Activol con 1.81 y 1.99 kg.m⁻², respectivamente. De la misma manera, Simón (1993) realizó tres aplicaciones de 5, 10 y 15 ppm de giberelinas a plantas de cilantro var. Marroquí en primavera - verano. Los tratamientos superaron al testigo en la producción de materia seca, ya que al aplicar 10 ppm de giberelinas, se obtuvo un incremento del 32% con respecto al testigo. En todo el experimento se presentó el "punteamiento" prematuro; sin embargo, al aplicar 15 ppm de giberelinas en una sola ocasión, el número de plantas punteadas disminuyó un 30%. En este mismo orden de ideas, Santiago (1993) condujo un experimento con cilantro var. Marroquí con el fin de inhibir el "punteado" prematuro con aplicaciones de reguladores de crecimiento. En una evaluación realizada a los 52 días después de la siembra, se encontró menos del 3% de plantas punteadas, ya con altura para corte (33 cm en promedio)

Morales (1994), con el fin de obtener cilantro de calidad en verano, condujo un ensayo aplicando etileno. Se observó que al aplicar 200 ppm de etileno se superó al testigo con un 20% de producción de follaje y presentó una floración más tardía. Barboza (1994) evaluó el efecto de giberelinas, ácidos húmicos y algas marinas en un experimento con cilantro var. Marroquí establecido en invierno. La producción de biomasa se incrementó un 52.8 %. Hasta el momento de la cosecha, la floración no se presentó, quizá por las condiciones de bajas temperaturas y fotoperíodo corto.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se desarrollo en las localidades siguientes:

a).- Área de Campo y Laboratorios de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL), ubicada en Marín N. L. situado entre las coordenadas 25° 52' de latitud norte y 100° 03' de longitud oeste con una altitud de 375 msnm.

b).- Campo Agrícola Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en General Terán, N. L., situado entre las coordenadas 25° 15.5' de latitud norte y 99° 41.1' de longitud oeste con una altitud de 310 msnm.

c).- Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL), ubicado en La Ascensión, Municipio de Galeana, N. L., situado entre las coordenadas 24° 19' de latitud norte y 99° 55' de longitud oeste con una altitud de 1960 msnm.

d).- Terrenos y Laboratorios de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, situado entre las coordenadas 25° 23' de latitud norte y 101° 02' de longitud oeste con una altitud de 1723 msnm.

El estudio comprendió una serie de seis experimentos los cuales se presentan de manera secuenciada, con un formato de artículo científico incluyendo los materiales y métodos utilizados en cada uno de ellos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estimación del umbral mínimo de temperatura y unidades calor en cilantro *Coriandrum sativum* L.

Estimation of the minimum threshold temperature and heat units in coriander *Coriandrum sativum* L.

4.1.1 Resumen

Durante 1997 y 1998 dos experimentos fueron realizados en el Noreste de México. En el primero se evaluaron en cámaras de crecimiento, ocho temperaturas y siete genotipos de cilantro y en el segundo se evaluaron en campo, cinco ambientes de producción y cuatro genotipos de cilantro. Los resultados mostraron que la respuesta del cultivo a las temperaturas varió significativamente entre genotipos. Se observó que la capacidad de germinación fue nula a 5 °C y a 30 °C fue del 31 %. El genotipo con mayor capacidad de germinación fue el Marroquí con 61 %. La máxima capacidad de germinación fue 80 % y se presentó a 15 °C. La velocidad de germinación, en días, fue 72 % más lenta a temperaturas menores de 10 °C; a 15 °C fue donde el cilantro germinó más rápido en 8.2 días. El genotipo Santo fue el más tardío para germinar con 11.5 días y el Criollo de Ramos fue el más precoz con 8.7 días. La temperatura base del cilantro fue 4.8 °C y entre genotipos varió desde

4.15 hasta 5.85 °C. Las unidades calor variaron en función del ambiente de producción y del genotipo

Palabras clave: **germinación, temperatura base, unidades calor, cilantro.**

4.1.2 Summary

Two trials were conducted during 1997 and 1998 in the Northeast of Mexico. Eight temperatures and seven genotypes of coriander were evaluated in a growth chambers. Five environments and four genotypes were evaluated in the second field experiment. The results showed a crop response to temperatures significantly different among genotypes. Germination was zero at 5 °C, but at 30 °C was 31 %. The genotype with the greatest germination was Marroquí with 61 %. The maximum germination ability was 80 % at 15 °C. The germination velocity was 72 % slowest at temperatures less to 10 °C. At 15 °C the coriander germination was the fastest with 8.2 days. The coriander base temperature was 4.8 °C and it varied among genotypes from 4.15 to 5.85 °C.

The heat units varied with the environment and the genotype.

Key words: **germination, base temperature, heat units, coriander.**

4.1.3 Antecedentes

En la producción moderna de hortalizas es importante programar las actividades por realizar para alcanzar el éxito de la misma. El sistema de unidades calor (UC) se ha aplicado en la producción hortícola ya que constituye

la base para predecir la fecha de cosecha, la programación de prácticas agronómicas específicas en función de las etapas fenológicas y para el manejo integrado de plagas. Este sistema postula que el crecimiento y desarrollo de un cultivo depende de la cantidad de UC que la planta recibe, la cual es específica para cada etapa fenológica y que esta cantidad es determinante para alcanzar la madurez, independientemente del tiempo requerido para ello (Zalom, 1983). Por tanto, la velocidad de desarrollo no depende necesariamente del tiempo "cronológico" sino que está en función del tiempo "fisiológico" el cual, depende a su vez, de la cantidad de calor que haya recibido la especie, variedad y aún la planta misma; el calor acumulado, actúa como "reloj interno" que afecta la velocidad de crecimiento y desarrollo de la planta (Preece y Read, 1993; Díaz, 1996). En este sentido, Zalom (1983) citó que las UC están en función de la temperatura base o umbral mínimo (UM) específico para cada genotipo, que tiene su fundamento en que la temperatura es un factor ambiental que provoca cambios fenológicos y bioquímicos en los vegetales. Por lo anterior, es importante determinar el UM de diversos cultivos utilizando el método de germinación de semillas ó el de crecimiento vegetativo (Díaz, 1996); sin embargo, en el cultivo de cilantro no se tienen registros sobre la temperatura base ó UM específico (Putievsky, 1981; Lan *et al.*, 1984; He y Wang, 1985; Villalpando *et al.*, 1991; Moskalenko, 1993); en la bibliografía, solo hay reportes (Putievsky, 1983; Jethani, 1984; ISTA, 1985) que citan que la temperatura óptima para la germinación del cilantro es de 22-27, 20-30 y 15 ° C, respectivamente, tardando desde 10 hasta 21 días para una completa germinación. Por similitud, lo más cercano que se conoce acerca del UM para el

cilantro son los valores reportados para apio, perejil y zanahoria, que varían desde 4 hasta 8 °C (Maroto, 1989; Serrano, 1990; Castaños, 1993).

Para la estimación de las UC se han utilizado diversos métodos que contabilizan la temperatura para el crecimiento y desarrollo del cultivo como °D (grados-día) y el requerimiento total de temperatura durante el ciclo como constante térmica. Entre éstos métodos se pueden citar: Básico, Residual, 10/30, Directo, Seno simple, Seno doble, Exponencial, Unidades totales de calor, Unidades calor específicas, Triangulación simple y Triangulación doble (Castaños, 1993). Estos métodos, en general, consideran las temperaturas máximas y mínimas, así como el umbral mínimo y el umbral máximo para cada cultivo. Así, Zalom (1983) reportó que se puede reconocer para cada genotipo un umbral mínimo y un umbral máximo de temperatura, fuera de los cuales se tiene una tasa de crecimiento igual a cero. Así mismo, se tiene una temperatura ó rango de temperatura óptima, en donde la tasa de crecimiento es máxima. En este sentido, algunos estudios como el de Murrieta (1993) en vid, han reportado que las UC y por tanto la constante térmica, varían en función del genotipo; en zanahoria, Sandoval (1993) reportó que la constante térmica de este cultivo varía según el ambiente de producción, dicha constante tuvo un valor mayor en aquellos ambientes donde la temperatura fue alta. Por su parte, (Kreuzer, 1993) al trabajar con siete especies vegetales, incluido el cilantro, encontró que el periodo de siembra a emergencia tuvo un número fijo de grados-día, independientemente, de la temperatura. Cuando las especies tenían de 2 a 3 hojas las UC fueron constantes con 100 grados-día.

Considerando lo anterior, se realizó el presente trabajo con el objetivo de estimar el umbral mínimo y calcular las unidades calor necesarias para alcanzar diversas etapas fenológicas en el cultivo de cilantro *Coriandrum sativum* L.

4.1.4 Metodología

Umbral mínimo (Experimento 1)

Este experimento se realizó en laboratorios de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL) ubicada en Marín, N.L. y en la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN) ubicada en Saltillo, Coahuila, durante 1997 y 1998. Se trabajó en cámaras de crecimiento, con ocho tratamientos de temperatura (5, 7, 9, 10, 15, 20, 25 y 30 °C) y siete genotipos de cilantro (Marroquí, Santo, Tipo Marroquí, Criollo de Ramos, Criollo Poblano, Slow Bolt y Sun Master). La metodología utilizada fue:

1. Se desinfectó el área de trabajo con alcohol para prevenir la contaminación por hongos.
2. En una caja de petri se colocaron las semillas para dar un tratamiento con fungicida. Para esto, se les aplicó 0.5 g de Captan PH, para prevenir la contaminación por hongos.
3. En una charola de plástico se colocaron toallas de papel secante extendidas una sobre otra; se saturaron con agua y después el exceso de agua se drenó.

4. Tres toallas húmedas se colocaron una sobre otra y se depositaron 10 semillas tratadas en dos hileras de cinco cada una y separadas homogéneamente
5. Se cubrieron las semillas con dos toallas húmedas adicionales y se enrollaron, las toallas de papel se identificaron y se colocó una liga en los extremos para evitar que la semilla se saliera.
6. Cada tratamiento se sembró en cuatro repeticiones, se introdujeron a bolsas de plástico y se colocaron dentro de una cámara de crecimiento a una temperatura determinada, según el tratamiento en cuestión.

Para evaluar los tratamientos se midieron las siguientes características:

- a) Capacidad de germinación. Se hizo contando las semillas germinadas (germinación fisiológica) cada tercer día por un periodo de 20 días; después, por regla de tres se calculó el porcentaje de germinación,
- b) Días a germinación. Se consideró el periodo desde siembra hasta que el 50% de las semillas germinaron,
- c) Temperatura óptima observada. Se determinó utilizando el valor máximo del porcentaje de germinación de cada genotipo al considerar las diferentes temperaturas en estudio.
- d) Umbral mínimo específico. Esta variable se calculó relacionando la germinación con las temperaturas de trabajo, obteniendo una ecuación de regresión considerando como temperatura base aquel valor en que se obtuvo al menos un 10% de germinación y
- e) Temperatura óptima estimada. Se estimó con la ecuación de regresión tomando el valor más alto de la curva de germinación.

Estimación de unidades calor (Experimento 2)

Se estableció un experimento en campo en la UAAAN, donde cinco ambientes de producción (factor A) y cuatro genotipos (factor B) fueron establecidos en un diseño experimental de bloques al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas con tres repeticiones. En el factor A fueron evaluados cinco niveles: testigo o ambiente normal, microtúnel para incrementar la temperatura cubierto con una película de polietileno transparente (PPT), microtúnel para incrementar la temperatura cubierto con dos PPT, microtúnel para disminuir el fotoperíodo en 1.5 horas con película de polietileno oscuro (PPO) y microtúnel para disminuir el fotoperíodo en 3.0 horas con PPO. En el factor B los genotipos fueron Criollo de Ramos, Marroquí, Sun Master y Slow Bolt. Las unidades experimentales constaron de seis surcos a 20 cm de separación entre ellos y un metro de longitud. La metodología utilizada fue:

1. Se construyeron las camas de siembra separadas a 1.50 m, se hicieron los surcos a una profundidad de tres centímetros. Se sembraron los genotipos a la densidad comercial recomendada (desde 20 hasta 80 kg.ha⁻¹) y se tapó la semilla con suelo.
2. Los riegos se aplicaron con el sistema de cintilla, se colocaron dos cintillas en sentido transversal a los surcos por cada cama de siembra
3. Se colocaron los microtúneles en cada tratamiento. La estructura fue de alambón, haciendo un arco, y se cubrieron con película transparente o negra según el caso

4. En los microtúneles para incrementar temperatura, la película transparente estuvo colocada día y noche cubriendo las plantas; en cambio, donde el objetivo fue disminuir el fotoperíodo, la película se colocaba al oscurecer y se retiraba 1.5 o 3.0 horas después de la salida del sol según el tratamiento evaluado.
5. Los microtúneles fueron retirados del experimento a los 70 días después de siembra debido a que las plantas ya estaban en contacto con la película de polietileno y empezaron a sufrir quemaduras leves en las hojas.
6. En los ambientes normal y microtúnel con dos cubiertas de PPT se usaron termómetros de máximas y mínimas para llevar un registro diario de temperaturas.

Se midieron las variables: a) días a emergencia (50 % de los surcos de cada unidad experimental con plantas), b) días a primer par de hojas verdaderas (10 plantas por unidad experimental), c) días a corte (altura de planta de 25 a 30 centímetros) y d) días a punteamiento (10 % de plantas con hojas filiformes). Para ello, se contaron los días que pasaron desde siembra hasta que se presentaron las fases citadas. Para cada fase se estimaron las unidades calor utilizando el método Residual o del Promedio con la fórmula:

$$UC = \sum_{i=1}^n (t_i - c)$$

donde: UC = Unidades calor, c = Temperatura base y t_i = Temperatura media del i ésimo día.

Los datos de las variables Capacidad de Germinación (%) y Días a Germinación fueron sometidos a análisis de varianza por lo cual, el experimento fue tratado como un bloques completos al azar con arreglo de tratamientos en

parcelas divididas. Los datos originales se transformaron con las fórmulas de $\sqrt{\text{Arcsen}}$ y $\sqrt{X+1}$, respectivamente; en su caso, se realizó la comparación de medias según Tukey con $P < 0.01$ (Little y Hill, 1985). La variable Temperatura Óptima Observada se determinó en el punto más alto de la curva al graficar las temperaturas de trabajo contra el porcentaje de germinación. La variable Temperatura Óptima Estimada se determinó al generar modelos de regresión cuadrática, donde la variable independiente fue temperatura y la dependiente fue el porcentaje de germinación. Para estimar las UC se usó el método residual.

4.1.5 Resultados

Determinación del umbral mínimo (Experimento 1)

La respuesta en la capacidad de germinación varió marcadamente entre genotipos y temperaturas, así mismo la interacción temperatura x genotipo fue significativa ($P < 0.01$). En la Figura 1 se muestra la respuesta a la capacidad de germinación de siete genotipos de cilantro por influencia de la temperatura. En todos los casos, la capacidad de germinación disminuyó en forma drástica a la temperatura de 30 °C. Los genotipos Marroquí y Criollo Poblano fueron los que mostraron mayor capacidad de germinación; el primero, a temperaturas de 10, 15 y 20 °C y el segundo a 15, 20 y 25 °C. A 5 °C los genotipos no germinaron; además, el genotipo Santo y Criollo de Ramos tampoco lo hicieron a 7 °C.

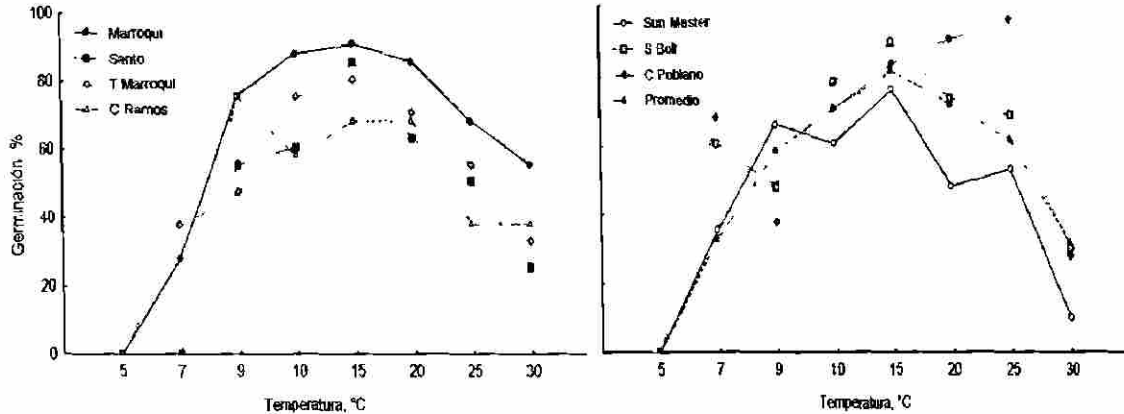


Figura 1. Influencia de la temperatura en la capacidad de germinación de siete genotipos de cilantro y promedio general. T = tipo, C = criollo, S = slow.

Al considerar las medias de todos los genotipos, se obtuvo la influencia de la temperatura en la germinación del cultivo de cilantro (Cuadro 3). A temperatura de 15 °C el cultivo de cilantro mostró la mayor capacidad de germinación aunque, fue significativamente igual a la obtenida con temperaturas de 9, 10, 20, y 25 °C; en cambio, a 7 y 30 °C dicha capacidad disminuye significativamente ($P < 0.01$) y a 5 °C la germinación no ocurrió. Al considerar la media de todas las temperaturas se obtuvo la capacidad de germinación de cada genotipo (Cuadro 3). Los genotipos Marroquí, Criollo Poblano, Slow Bolt, T. Marroquí y Sun Master mostraron la mayor capacidad de germinación y fueron significativamente diferentes ($P < 0.01$) a los genotipos Santo y Criollo de Ramos que mostraron la menor capacidad de germinación.

La respuesta en los días a germinación varió significativamente entre genotipos y temperaturas ($P < 0.01$). En el Cuadro 3 se muestra la influencia de la temperatura en el cultivo de cilantro al considerar la media de todos los genotipos. Temperaturas de 15 a 30 °C redujeron significativamente los días a

Cuadro 3. Influencia de la temperatura y del genotipo en la germinación de semillas de cilantro.

CULTIVO DE CILANTRO			GENOTIPOS DIVERSOS			
Temperatura, °C	Germinación		Genotipo	Germinación		
	%	Días		%	días	
5	0.0 d*	0.0 e*	Marroquí	61.0 a*	9.3 ab*	
7	32.5 c	13.4 ab	C. Poblano	58.8 a	10.6 ab	
9	57.6 a	14.7 a	Slow Bolt	54.7 a	8.9 ab	
10	69.6 a	14.4 a	T. Marroquí	49.7 a	9.3 ab	
15	80.4 a	8.2 c	Sun Master	43.2 ab	9.4 ab	
20	70.7 a	9.1 bc	C. de Ramos	42.8 b	8.7 b	
25	60.7 a	9.9 bc	Santo	42.2 b	11.5 a	
30	31.1 b	7.4 d				
Significancia	**	**		**	**	
C.V. %	13.16	15.85		13.16	15.85	

*medias con la misma letra son estadísticamente iguales según Tukey con $P < 0.01$

germinación. A temperaturas de 7, 9 y 10 °C la germinación fue significativamente más lenta ($P < 0.01$). Además, a 5 °C la germinación no ocurre. Los días a germinación de cada genotipo se obtuvo al considerar la media de todas las temperaturas (Cuadro 3). El genotipo Criollo de Ramos germina significativamente más rápido y el genotipo Santo lo hace significativamente más lento.

Al analizar la información presentada en el Figura 1 se puede observar que la temperatura óptima fue 9 °C para el genotipo Criollo de Ramos y 25 °C para el genotipo Criollo Poblano. El resto de los genotipos tuvo una temperatura óptima de 15 °C. La temperatura óptima promedio fue 15.57 °C. La temperatura óptima estimada se obtuvo del punto más alto de las curvas de regresión construidas a partir de los modelos citados en el Cuadro 4. Así, la temperatura óptima estimada fue más baja para el genotipo Sun Master y más alta para el genotipo Marroquí. La temperatura óptima estimada para el cultivo del cilantro fue 18 °C (Cuadro 5). Para determinar la temperatura base del cultivo del cilantro, se consideró que los siete genotipos en estudio fueron representativos de este cultivo y en términos prácticos, la temperatura base se determinó cuando ocurrió un 10 % de germinación. Así, al resolver la primera ecuación de regresión del Cuadro 4 el valor de esta variable fue de 4.8 °C. Sin embargo, tomando en cuenta lo expuesto por Díaz (1996) en cuanto a que la temperatura base varía dependiendo de la especie y aun entre variedades, se obtuvo éste valor para cada genotipo. Así, en el Cuadro 4 se puede observar que las temperaturas base de los siete genotipos de cilantro varió entre 4.15 y 5.85 °C. El valor más bajo fue para el genotipo Slow Bolt y el más alto fue para el genotipo Santo. Es importante mencionar que el valor del coeficiente de determinación R^2 es alto y la regresión significativa con $P < 0.01$ en todas las ecuaciones excepto, para aquella del genotipo Criollo de Ramos.

Estimación de unidades calor (Experimento 2)

En los ambientes de producción normal e incremento de temperatura con dos cubiertas de PPT se registraron las temperaturas máximas y mínimas que se presentaron durante el ciclo del cultivo (Cuadro 1A). En el ambiente para incrementar la temperatura se observaron valores de temperatura máxima de 46 °C; en cambio, en el ambiente normal, la temperatura máxima registrada fue de 26.7 °C. En las temperaturas mínimas, prácticamente, no se observaron diferencias en los valores de temperatura registrados en cada ambiente. La duración de las etapas del cultivo consideradas en esta investigación variaron significativamente ($P < 0.01$) entre ambientes. El período de siembra a cuando se presentaron las etapas de desarrollo consideradas (emergencia, primer par de hojas verdaderas, altura para corte y punteamiento), fue menor en el ambiente donde se incremento la temperatura. Entre genotipos, la duración de las fases también fue diferente (Cuadro 6). En la fase de emergencia, los genotipos más precoces fueron Marroquí y Slow Bolt; en cambio, los más tardíos fueron Criollo de Ramos y Sun Master. En la etapa de primer par de hojas verdaderas y en la de altura para corte, el comportamiento de los genotipos fue muy similar al que presentaron en la etapa de emergencia, aunque las diferencias fueron más grandes. En la etapa de punteamiento, el genotipo más precoz fue el Marroquí y el más tardío fue el Criollo de Ramos y Slow Bolt con una diferencia de hasta 14 días (Cuadro 6). Al estimar las UC (Cuadro 6), se pudo observar que en el ambiente normal se requirieron menos UC para que se presentara cada etapa del cultivo, comparado con el ambiente donde se incrementó la temperatura. Los genotipos presentaron un comportamiento muy similar en cuanto al

requerimiento de unidades calor para las cuatro etapas consideradas. Sin embargo, los genotipos Criollo de Ramos y Marroquí requirieron menos UC que los genotipos Sun Master y Slow Bolt, independientemente del ambiente de producción donde se establecieron.

Cuadro 6. Etapas del cultivo, en días y UC, en cuatro genotipos de cilantro sembrados en dos ambientes de producción.

AMBIENTE	GENOTIPO	FASE DEL CULTIVO							
		Emergencia		1 ^{er} par de hojas		Altura para corte		Punteamiento	
		días	UC ¹	Días	UC	días	UC	días	UC
Normal	C. de Ramos	11.7	158	19.7	257	54.7	711	88	1051
	Marroquí	11.0	152	18.3	255	53.3	723	81	1041
	Sun Master	11.7	168	19.0	284	54.7	771	82	1077
	Slow Bolt	11.0	157	18.3	266	55.3	776	88	1141
Incremento de Temp.	C. de Ramos	10.3	215	17.3	368	51.3	1132	78	1556
	Marroquí	9.7	222	16.0	356	50.0	1144	74	1577
	Sun Master	10.0	224	16.7	384	51.3	1178	76	1615
	Slow Bolt	9.7	226	16.7	388	50.7	1189	78	1652

¹Unidades Calor

4.1.6 Discusión

Determinación del umbral mínimo (Experimento 1)

Los resultados indicaron que la germinación estuvo influenciada por los genotipos y por las temperaturas. Así, el material Marroquí tuvo alta germinación en temperaturas de 10, 15 y 20 °C; en cambio, materiales como Santo y Sun Master mostraron muy baja germinación a las mismas temperaturas. Estos últimos materiales son de reciente introducción al mercado regional, se conocen como variedades mejoradas y es posible que estén diseñadas para ambientes con temperaturas más altas o bien que sus semillas, por alguna razón desconocida, tuvieron una baja germinación.

Por lo que hace a la temperatura y su efecto en la capacidad de germinación, los resultados indicaron que a temperaturas bajas (5 °C) las semillas de cilantro no mostraron capacidad de germinación y a temperaturas altas (30 °C) esta disminuyó, en cambio a temperaturas que van de los 9 a 25 °C la capacidad de germinación varía del 57.6 al 80.4 %, siendo el valor

máximo para la temperatura de 15 °C. Estos resultados no coincidieron con el límite inferior de 20 °C citado por ISTA (1985) y por Putievsky (1981) quienes mencionaron que a temperaturas entre 20 y 30 °C ocurre la mayor capacidad de germinación. La diferencia entre resultados, es probable se deba a que los genotipos trabajados por estos investigadores están adaptados para siembras cuyo objetivo es la producción de semilla y no para producción de follaje, como es el caso de los genotipos aquí estudiados.

En función de la temperatura, los días a germinación disminuyeron al pasar la temperatura de 15 a 30 °C; es decir, que a estas temperaturas se

aceleran los procesos de la germinación y a temperaturas de 7 a 10 °C dichos procesos ocurren más lentamente, hasta el límite inferior de 5 °C donde la semilla no germinó. De acuerdo con los resultados de ISTA (1985), Jethani (1984) y Putievsky (1981) quienes al trabajar con cilantro determinaron que la fase de germinación varió de 10 a 21 días, nuestros resultados indicaron que variedades como Santo y Criollo Poblano están en el intervalo de tiempo citado, pero las variedades Marroquí, Tipo Marroquí, Criollo de Ramos, Slow Bolt y Sun Master requirieron menos tiempo para germinación, que el límite inferior citado por los investigadores mencionados. En todo caso, los resultados obtenidos coincidieron más con este límite y no con el límite superior de 21 días. Lo anterior, probablemente se debe a la adaptación de los materiales a la región donde se establecieron y/o al mejoramiento genético de las variedades. Esto, puede ayudar a entender el porque la variedad Criollo Poblano, material de reciente introducción a la región, requiere más días para completar la fase de germinación.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



La temperatura óptima observada para germinación varió considerablemente, pues en algunos genotipos fue de 15 °C y en otros, como el Criollo de Ramos y el Criollo Poblano fue de 9 y 25 °C, respectivamente; el primer valor, fue encontrado en genotipos que son comercializados como variedades mejoradas y los valores de 9 y 25 °C fueron encontrados en genotipos que son conocidos como Criollos Regionales; en cambio, la temperatura óptima estimada no varía tanto (2 °C), debido a que se estimó mediante una ecuación de regresión de segundo grado la cual, generó

48421

modelos que ajustaron bien (R^2 entre .747 a .886) y por tanto describieron bien el fenómeno de germinación en cilantro. Estos resultados estimados coinciden con los citados por ISTA (1985), Jethani (1984) y Putievsky (1981), quienes mencionaron como temperatura óptima un rango de 15 a 30 °C.

La estimación de la temperatura base para el cultivo del cilantro dio como resultado un valor de 4.8 °C. Dicho valor, coincidió con lo citado por Castaños (1993), Maroto (1989) y Serrano (1990), quienes reportaron un valor de 4 a 8 °C para apio, perejil y zanahoria; estos cultivos, igual que el cilantro, pertenecen a la familia Apiaceae y por tanto era de esperarse el valor encontrado para cilantro. Por otra parte y de acuerdo con Díaz (1996), Preece and Reed (1993) y Villalpando *et al.* (1991), en este trabajo se comprobó que la temperatura base varió entre genotipos. Así, el valor mínimo de esta variable fue 4.15 y 5.87 como límite superior. Estos valores correspondieron a los genotipos Slow Bolt y Santo, respectivamente. Las diferencias observadas, pueden deberse a la capacidad genética y/o a la adaptación de los genotipos a la región. Pues, el genotipo Slow Bolt es de reciente introducción y el genotipo Santo tiene varios años de usarse en siembras comerciales.

Estimación de unidades calor (Experimento 2)

A diferencia de lo citado por Preece y Reed (1993) y Díaz (1996) en relación a que una etapa fenológica se alcanza hasta que se haya recibido cierta cantidad de unidades calor (UC), nosotros observamos que un mismo

genotipo establecido en ambientes diferentes, requiere diferente cantidad de UC para cumplir la misma etapa. Por ejemplo, el genotipo Criollo de Ramos demandó 711 UC en ambiente normal y 1132 en ambiente donde se incrementó la temperatura, para alcanzar la etapa de altura de planta para corte. Lo mismo ocurrió, para la etapa de punteamiento, donde este mismo genotipo demandó 1051 y 1556 UC en cada ambiente, respectivamente. Estos resultados coincidieron con lo citado por Murrieta (1993) y Sandoval (1993) quienes al trabajar con vid y zanahoria, encontraron diferentes requerimientos de UC en función del ambiente de producción donde se establecieron estos cultivos probablemente, estos resultados se deben al método utilizado para estimar las UC, ya que el método residual sólo utiliza el umbral mínimo y no el umbral máximo; por tanto, en el ambiente donde se incrementó la temperatura se consideraron valores de temperatura máxima hasta de 46 °C; con lo cual, el valor diario de UC fue mayor en este ambiente comparado con el valor obtenido en el ambiente normal. Esto puede ser demostrado en trabajos posteriores.

4.1.7 Conclusiones

La capacidad de germinación, así como los días a germinación del cilantro, varían en función de la temperatura y el genotipo. El genotipo con mayor capacidad de germinación fue el Marroquí. Los días a germinación variaron desde 7.4 a 30 °C hasta 14.7 a 9 °C. La temperatura óptima de germinación del cilantro fue de 18 °C, aunque entre genotipos varía de 17 a 19 °C. La temperatura base estimada del cilantro fue de 4.8 °C y es diferente para

—

cada uno de los genotipos en estudio, oscilando su valor entre 4.1 y 5.8 °C. Las unidades calor necesarias para alcanzar las distintas etapas de desarrollo en el cultivo del cilantro, variaron en función del genotipo y del ambiente de producción.

4.1.8 Bibliografía

Castaños C., M. 1993. Horticultura, Manejo Simplificado. Editorial Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 527 p.

Díaz P., J. C. 1996. El calor acumulado es su reloj de tiempo. Productores de hortalizas. Ed. Meister Publishing Company. No. 10. Sinaloa, México. pp. 20-23.

He, C. K. and C. Q. Wang. 1985. An investigation of flower bud differentiation and flowering in (*Coriandrum sativum* L.). Journal of Fijian, Agricultural College Fujian Nongxueyuan Xuebao. 14 (2): 165-170.

International Seeds Testing Association (ISTA). 1985. International Rules for seed testing. Zurich, Switzerland. 687 p.

Jethani, I. 1984. Revised studies on the seed testing procedures of coriander. Horticultural Abstracts (54) 8:5709.

Kreuzer, A. D. H. 1993. The Effects of daylength and temperature on the development of seven oil seed spices. Verslag Centrum voor agrobiologisch onderzoek. No. 180, pp. 35. Wageningen, Netherlands.

Lan Chow, W. K. F., M. A. Busawon and I. Rajkamar. 1984. Foliage yield and bolting in coriander at different times of harvest. Technical Bulletin

Ministry of Agriculture, Fisheries and Natural Resources, Mauritius. No. 4: 24-27.

Little, M. T. and F. J. Hill. 1985. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. 1era edición. Anatolio de Paula Crespo (traductor). Ed. Trillas. 270 p.

Maroto J., V. 1989. Horticultura herbácea especial. 3a. Edición, Editorial Mundi Prensa, Madrid. 566 p.

Moskalenko, U. S. 1993. Autumn sowing of coriander (*Coriandrum sativum* L.). In: Mezhdunarodnyi Kongress pe Efimim Maslam, Tbilisi. Moscow, URSS.

Murrieta F., R. 1993. Influencia del diámetro del tallo madre y unidades calor en la producción de cuatro cultivares de rosas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Preece, J. E. and Read, P. E. 1993. The Biology of Horticulture, an Introductory Text Book. John Wiley Sons. Inc. USA.

Putievsky, E. 1981. Germination studies with seed of caraway, coriander and dill. Horticultural Abstract (51) 11 : 8766.

Putievsky, E. 1983. Effects of day length and temperature on growth and yield components of three seed spices. Horticultural Abstracts (53) 61:16.

Sandoval M., M. 1993. Determinación de unidades calor en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Nantes Strong con el uso de cubiertas flotantes. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Serrano C., Z. 1990. Técnicas de invernadero. Editorial Mundi Prensa, España.

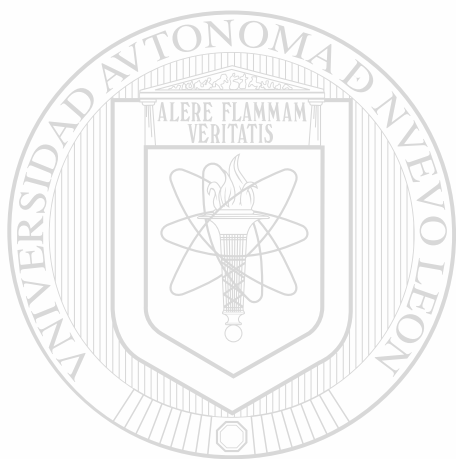
645 p

Szujkó-Lacza J. 1995. Architecture and inner structure of the *Coriandrum sativum*

L. by Akadémiai Kiadó, Budapest.

Villalpando J., F ; I. del R. Laborde y J. A. Ruiz 1991. Notas del curso:

Capacitación en agricultura y meteorología agrícola. Agrometeorología, temperatura y fenología. Guadalajara, Jalisco, México.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

4.2 Análisis de crecimiento en cilantro *Coriandrum sativum* L. en relación a la interacción genotipo-ambiente

Genotype-environment interaction and growth analysis in coriander (*Coriandrum sativum* L.)

4.2.1 Resumen

El trabajo fue establecido en el Noreste de México en tres ambientes de producción y cuatro genotipos de cilantro con el objetivo de estudiar el crecimiento del cilantro. Las variables medidas fueron área foliar y peso seco; se estableció la relación que existe entre ellas y se encontraron las curvas de crecimiento del cultivo y seis índices de crecimiento. Los resultados mostraron que el área foliar y el peso seco del cilantro, a través del tiempo, son descritos por una curva sigmoide de crecimiento y que entre ellos existe una relación lineal. El modelo logístico específico para cilantro tuvo un buen ajuste para describir las curvas de crecimiento de este cultivo. Además, se encontró que la interacción genotipo-ambiente influyó en los diferentes índices de crecimiento calculados; por ejemplo, la TAN en el periodo de 17 a 52 días después de siembra, mostró los mayores valores en el genotipo Slow Bolt cuando este se cultivo en una temperatura más alta y los valores menores de TAN se obtuvieron en el genotipo Marroquí cuando se cultivo en un ambiente donde el fotoperíodo fue más corto.

Palabras Clave: **fotoperiodo, temperatura, genotipos, ambientes de producción.**

4.2.2 Summary

This work was established in the Northeast of Mexico. Four genotypes of coriander were evaluated in three production environments with the objective of carrying out a growth analysis. The measured variables were leaf area, dry weight and six growth indexes based in leaf area and dry weight. The results showed that leaf area and dry weight adjusted to a sigmoid curve through the time, and a linear relationship was established between them. On the other hand, the specific logistic model for coriander had good adjustment in order to describe the curves of growth in all the environments. Genotype-environment interaction influenced several growth indexes like CGR, RGR, NAR, etc. In high temperature conditions the variety Slow Bolt evidenced the highest values of NAR between 17 to 52 days after showing, while variety Marroquí demonstrated the lowest levels in response to a reduction in photoperiod.

Key words: **growth analysis, genotype, by environment interaction, coriander.**

4.2.3 Antecedentes.

En los últimos años, el conocimiento, cultivo y manejo de las hortalizas ha tenido un amplio desarrollo y se han obtenido paquetes tecnológicos

específicos para una determinada región. Sin embargo, en el caso del cilantro aún no se han perfeccionado las técnicas de producción y se tienen aún problemas que afectan su crecimiento. En la producción de cultivos, es necesario entender las relaciones que hay entre la planta y el medio ambiente; por ejemplo, la fotomorfogénesis la cual que juega un papel regulador e influye en el tamaño, forma y composición de los órganos vegetales (Sivori *et al.*, 1980). Así, la ontogenia de una planta esta determinada por las características genéticas y por el efecto de los factores ambientales (Medina, 1977; Mohr y Schopfer, 1995). Procesos fisiológicos como la formación de la flor, la ramificación, el tamaño y forma de las hojas, la actividad cambial, la formación y latencia de las yemas, el alargamiento de los entrenudos, la formación de bulbos y tubérculos y la fijación fotosintética de CO₂ son controlados fotoperiodicamente (Mohr y Schopfer, 1995; Sivori *et al.*, 1980).

Por otra parte, la temperatura es el factor que más influye sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas y tiene una influencia directa sobre la velocidad de la división celular que ocurre entre 5 y 30 °C (Maeda, 1986). Además, la fotosíntesis y la respiración son inhibidas a altas temperaturas; aunque, con incrementos de temperatura, las tasas fotosintéticas decrecen más rápido que las tasas respiratorias, por que comienza la desnaturalización enzimática y una pérdida más rápida de CO₂ por fotorespiración (Salisbury y Ross, 1994; Taiz y Zeiger, 1991; Valverde y Sáenz, 1985) .

Cuando una variedad o cultivo se introduce a una zona de producción, puede estar genéticamente menos adaptada que en la zona climática donde usualmente se produce, según fue reportado por Poehlman (1986), coincidiendo con Ortiz (1991) en cuanto a que no todos los genotipos responden de igual manera al estímulo ambiental. Medina (1977) señaló que la adaptación y tolerancia de las plantas a las condiciones de luz y temperatura están determinadas genéticamente.

Para entender las relaciones entre la planta y su entorno, una herramienta útil es el análisis de crecimiento, que ha utilizado modelos como el Gompertz, Von Bertalanffy, Logístico, etc., los cuales cuantifican tanto la producción primaria como la eficiencia con la que esta se produce. La técnica, fue originada por Blackman en 1919. Radford (1976) y Beadle (1988) la definieron como el conjunto de técnicas empleadas para el estudio cuantitativo

del crecimiento de las plantas; también publicaron los índices en los cuales se apoya dicho análisis.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Algunas aplicaciones del análisis de crecimiento fueron reportadas por (Sivori *et al.*, 1980), quienes citaron que la tasa relativa de crecimiento es constante durante la fase exponencial y declina progresivamente durante el resto de la vida del individuo; probablemente, porque a medida que aumenta la edad de la planta, se va haciendo cada vez menor la proporción de tejidos meristemáticos con respecto a los tejidos vasculares de protección.

Hedge (1987), señaló que el objetivo del cálculo de las funciones de crecimiento, es explicar como un cultivo responde a un medio ambiente dado, ya que según Pérez y Martínez (1994) cuando existen alteraciones en algún factor externo a lo largo del ciclo de vida de las plantas, su curva de crecimiento irá separándose paulatinamente de la curva teórica esperada u obtenida en un ambiente dado.

Bidwell (1993) aclaró que un modelo matemático a menudo debe ser desarrollado para una situación particular. Así Salisbury y Ross (1994) reportaron que cultivos como tomate, fresa, pepino y melón, muestran curvas sigmoides de crecimiento; en cambio los cultivos de vid, frambuesa y olivo muestran curvas doble sigmoides. Estos investigadores y Russell *et al.* (1984) determinaron que las funciones: tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa relativa de crecimiento (TRC), relación de área foliar (RAF) y tasa de

acumulación neta (TAN), se incrementan con la temperatura y el flujo de luz dentro de un rango específico para un cultivo dado.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Causton (1991) al trabajar con diversas especies, encontró que en col de bruselas y girasol la TRC no cambió a través del tiempo, aunque en tomate y trigo sí lo hicieron. Por su parte, Ascencio y Fargas (1973) en frijol, estableció que la eficiencia fotosintética (EF) de este tipo de planta depende de la RAF y de un número elevado de hojas por planta, aunque paralelamente la EF origina una disminución en los valores de la TAN por hoja.

Wallace y Munger (1985) al trabajar con frijol, indicaron que las variedades más productivas fueron las que alcanzaron los valores más altos de área foliar. Otro reporte señaló que la EF decrece durante las primeras etapas del crecimiento, ocasionado posiblemente por la alta producción y competencia entre hojas (Medina, 1986).

En chayote *Sechium edule*, Valverde y Sáenz (1990) concluyeron que es una planta de rápido crecimiento, y que probablemente por las condiciones de cultivo, mostró una baja TAN. En girasol, Pérez *et al.* (1992) determinaron que la TRC inició con valores entre 125-140 mg.mg⁻¹.día⁻¹ y bajó hasta valores cercanos a cero a los 100 días después de la siembra (dds). El comportamiento de la TAN fue similar al de la TRC y sus valores estuvieron entre 0.2 y 0.3 mg.cm⁻².día⁻¹. La TRCF inició con valor de 125-150 cm².cm⁻².día⁻¹ y los sostuvo hasta los 50 dds, enseguida sus valores disminuyeron hasta llegar casi a cero a los 90 dds.

Serrato *et al.* (1998) en cempoalxóchitl, determinaron valores de 17 mg.cm⁻².día⁻¹ en la TAN con un comportamiento bajo al inicio del ciclo, creciendo hasta llegar a un máximo y finalmente disminuir. La tendencia de la TRC fue similar a la de la TAN con valores entre 0.0-0.25 mg.mg⁻¹.día⁻¹. En su trabajo con *Gypsophila paniculata*, Medina y Bolívar (1993) reportaron que la TAN declina en algunas especies, especialmente cuando la importancia relativa de la respiración aumenta durante la producción de nuevas hojas para descender durante la época de proliferación de tallos florales.

El cilantro se clasifica como una hortaliza de clima frío, cuyo crecimiento es mejor en ambientes con temperatura media mensual entre los 15 y 18 °C (Valadez, 1990). En México, se cultiva en una superficie de 4500-8000 ha y la mayor cantidad se siembra en otoño-invierno (INPOFOS, 1998; SAGAR, 1991 - 1995).

En la planta de cilantro, la temperatura y la luz provocan cambios fenológicos y bioquímicos y hay efecto sobre la altura de la planta y rendimiento de semilla; la longitud del día antes de la floración, tiene mayor efecto que la temperatura sobre el crecimiento del cilantro (Peneva y Krilov, 1997). También se reportó que el peso del cilantro se redujo en días largos a causa de la floración prematura, por lo que para obtener buena producción es probable que este cultivo necesita de noches frescas y días cortos (Hernández, 1994).

Por lo anterior, se planteo el objetivo de describir matemáticamente el crecimiento del cilantro en tres ambientes de producción con diferencias en el fotoperíodo y en la temperatura media, por medio de una función logística específica y basándose en índices fisiotécnicos.

4.2.4 Metodología

Esta investigación se realizó en el periodo septiembre-diciembre de 1998 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tres ambientes de producción (factor A) y cuatro genotipos de cilantro (factor B) fueron

establecidos en un diseño experimental de bloques al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas. Los niveles del factor A (parcela grande) fueron: testigo o ambiente normal (Normal) con 18.1 °C de temperatura promedio y 11:55 horas de fotoperíodo; ambiente con incremento de temperatura (Temp) con 27.4 °C de temperatura promedio y fotoperíodo de 11:55 hs; y ambiente con fotoperíodo reducido en 3.0 horas (Foto) con 18.1 °C de temperatura promedio y 8:55 horas de fotoperíodo. Los niveles del factor B (parcela chica) fueron: Criollo de Ramos (CR), Marroquí (MA), Sun Master (SM) y Slow Bolt (SB). Las dimensiones de la parcela grande fueron 6.5 m de longitud y 1.1 m de ancho, mientras que la parcela chica constó de 1.2 m de longitud y 1.1 m de ancho. Para realizar los muestreos de material vegetal se consideraron tres metros lineales. Cada unidad experimental constó de seis surcos a 20 cm de separación entre ellos y un metro de longitud. El procedimiento fue el siguiente:

1. El terreno se barbecho, se aplicó estiércol equivalente a 40 ton.ha⁻¹ al voleo y se incorporó con un paso de rastra . Se formaron las camas de siembra con longitud de 19 m, ancho de 1.10 m y altura aproximada de 15 cm.
2. El sistema de riego fue por goteo (cintilla T-tape con goteros a 30 cm de separación entre ellos). Se regó cada tercer día por 3.5 horas.
3. La semilla se pesó en balanza granataria y fue depositada en sobres de papel. Se hicieron surcos de 1.25 centímetros de profundidad y se sembró a "chorrillo" el 6 de septiembre de 1998, colocando la semilla de manera uniforme y se tapó con tierra.

4. Los microtúneles se colocaron al día siguiente de la siembra, los extremos de los arcos de alambón se insertaron 20 cm en el suelo, con lo cual la altura de cada microtúnel fue de 70 cm. Sobre los arcos se colocaron las películas de polietileno (42 μ de espesor), se extendieron, se amarraron los extremos a una estaca clavada en el suelo y con hilo de rafia se fijaron las películas a los arcos de alambón.

5. En el tratamiento Temp, el microtúnel se cubrió con dos películas de polietileno transparente. Dentro de éste, para el registro diario de temperatura se colocó un termómetro de máximas y mínimas. En el tratamiento Foto el microtúnel fue cubierto con dos películas de polietileno color negro.

6. En el tratamiento Temp, la película estuvo colocada día y noche; en cambio, en aquellos donde el objetivo fue disminuir el fotoperíodo, la película se colocaba al oscurecer y se retiraba 3 horas después de la salida del sol.

7. Los microtúneles fueron retirados del experimento a los 70 días después de siembra (dds), porque las plantas ya estaban en contacto con la película de polietileno.

Para evaluar los tratamientos se midieron las siguientes variables: Área foliar y peso seco: Se obtuvieron de ocho muestreos que se realizaron a los 24, 31, 38, 45, 52, 59, 69 y 89 dds. Se cosechó la parte aérea de plantas con competencia completa en 10 cm de surco. De estas, se eligieron cinco plantas representativas que fueron procesadas en el analizador de área foliar (equipo portátil modelo LI-3000, Licor, Lincoln, Nebraska). Se secaron en una estufa a

60 – 70 °C durante 72 horas y se pesaron en una balanza analítica. Los datos de área foliar y peso seco fueron sometidos a análisis de varianza.

Con los datos de campo de área foliar y peso seco se calculó la relación que existe entre ellos al ser analizados mediante regresión simple donde la variable dependiente fue el área foliar y la independiente fue el peso seco. Estas mismas variables fueron usados para construir un modelo logístico específico para cilantro, con el propósito de determinar el tipo de curva que describe el crecimiento de este cultivo.

Índices fisiotécnicos: Primero, con los datos de área foliar y peso seco y el modelo logístico específico para cilantro, se estimaron las constantes β_0 , β_1 , β_2 ; éstas se usaron para calcular los valores estimados de área foliar y peso seco. El modelo fue el siguiente (Cortés, 1999):

$$Y = e^{\beta_0 X} / (1 + \beta_0 e^{(\beta_1 + \beta_2) X})$$

Donde: Y = Variable (Área Foliar ó Peso Seco)

X = Días después de la siembra

β_0 , β_1 , β_2 = Constantes

(se usó el programa computacional Statistica de Stat Soft Inc. 1993). Segundo, con los datos estimados de área foliar y peso seco se construyeron seis índices fisiotécnicos por tratamiento y repetición. Las fórmulas utilizadas para estimar los índices de tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa relativa de crecimiento foliar (TRCF), tasa de asimilación neta (TAN), duración de área foliar (DAF) y relación de área foliar (RAF), fueron:

$$\text{TCC} = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1); \text{ mg.día}^{-1}$$

$$\text{TRC} = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1); \text{ mg.mg}^{-1}.\text{día}^{-1}$$

$$\text{TRCF} = (\ln A_2 - \ln A_1) / (t_2 - t_1); \text{ cm}^2.\text{cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$$

$$\text{TAN} = (W_2 - W_1)(\ln A_2 - \ln A_1) / (A_2 - A_1)(t_2 - t_1); \text{ mg.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$$

$$\text{DAF} = (A_2 - A_1)(t_2 - t_1) / 2; \text{ cm}^2.\text{día}^{-1}$$

$$\text{RAF} = AW; \text{ cm}^2.\text{mg}^{-1}$$

Donde: W_1 y W_2 = peso seco al tiempo 1 y 2, respectivamente

A_1 y A_2 = área foliar al tiempo 1 y 2, respectivamente

t_1 y t_2 = tiempo 1 y 2, respectivamente

\ln = logaritmo natural.

Tercero, éstos índices fueron sometidos a análisis de varianza y en los casos en que se detectaron diferencias significativas a comparación de medias según Tukey ($P < 0.05$). Cuarto, se construyeron gráficas utilizando los promedios de cada índice fisiotécnico.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

4.2.5 Resultados

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Área foliar y peso seco. Los resultados en cada fecha de muestreo, mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el factor A, factor B y en la interacción genotipo-ambiente (Cuadro 2A); por ejemplo, en la Figura 1 se puede observar que en la acumulación de área foliar hasta los 45 dds, los cuatro genotipos se comportaron de forma similar; sin embargo, a partir de esta fecha, las combinaciones SM-Temp y SB- Normal mostraron los valores promedio más altos, con clara superioridad de la primera en las dos últimas

fechas de evaluación (Figura 2a). Por su parte, en la Figura 2b se observa la acumulación de materia seca, donde las cuatro combinaciones seleccionadas mostraron un comportamiento similar hasta los 52 dds. Sin embargo, hacia el final del periodo evaluado, las combinaciones MA-Temp y SB - Foto fueron superiores a las interacciones CR-Temp y SM-Foto.

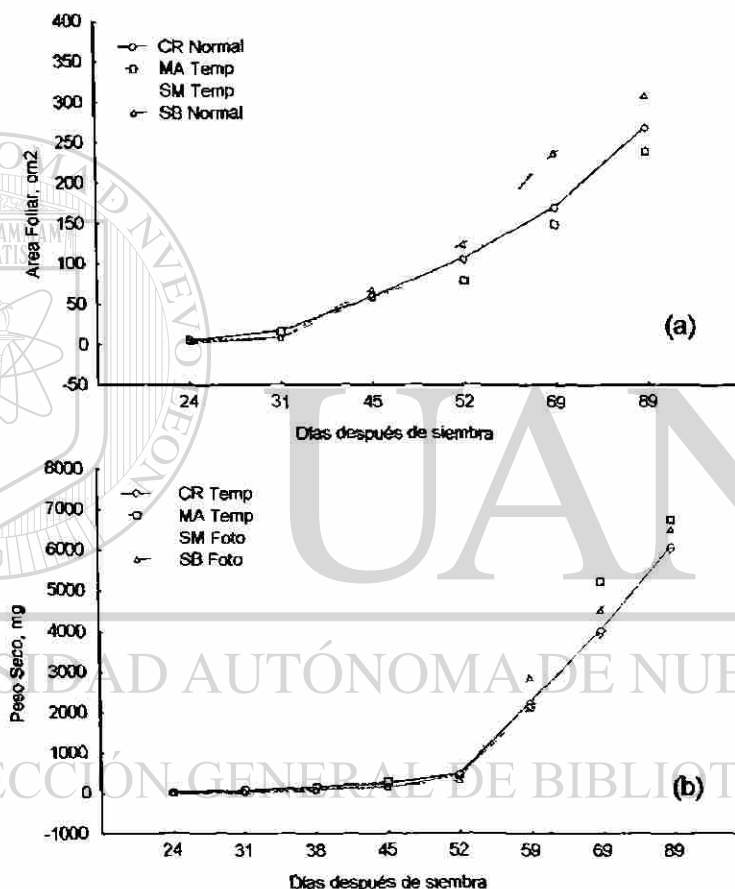


Figura 2. Acumulación de área foliar (a) y peso seco (b) en interacciones seleccionadas. CR = Criollo de Ramos, MA = Marroquí, SM =Sun Master, SB = Slow Bolt, Temp. = ambiente con incremento de temperatura, Foto = ambiente con reducción del fotoperiodo.

Relación entre valores primarios. Con el objetivo de determinar el tipo de relación que existe entre el peso seco y el área foliar del cilantro, los datos se sometieron a análisis de regresión; los resultados indicaron que existe una relación lineal (Figura 3a) y por tanto permitieron seleccionar las

fórmulas propuestas por Radford (1976), Hunt (1982) y Beadle (1988) para estimar los índices fisiotécnicos.

Curva sigmoide de crecimiento. Al graficar cada uno de los valores observados de área foliar y peso seco con respecto al tiempo, se pudo observar que el modelo logístico específico para cilantro describe su proceso de crecimiento a través de una curva sigmoide. En la Figura 3b, se muestra la curva sigmoide de crecimiento ($R^2 = 0.997$) del genotipo Marroquí donde se pudieron observar las tres fases de crecimiento de un vegetal.

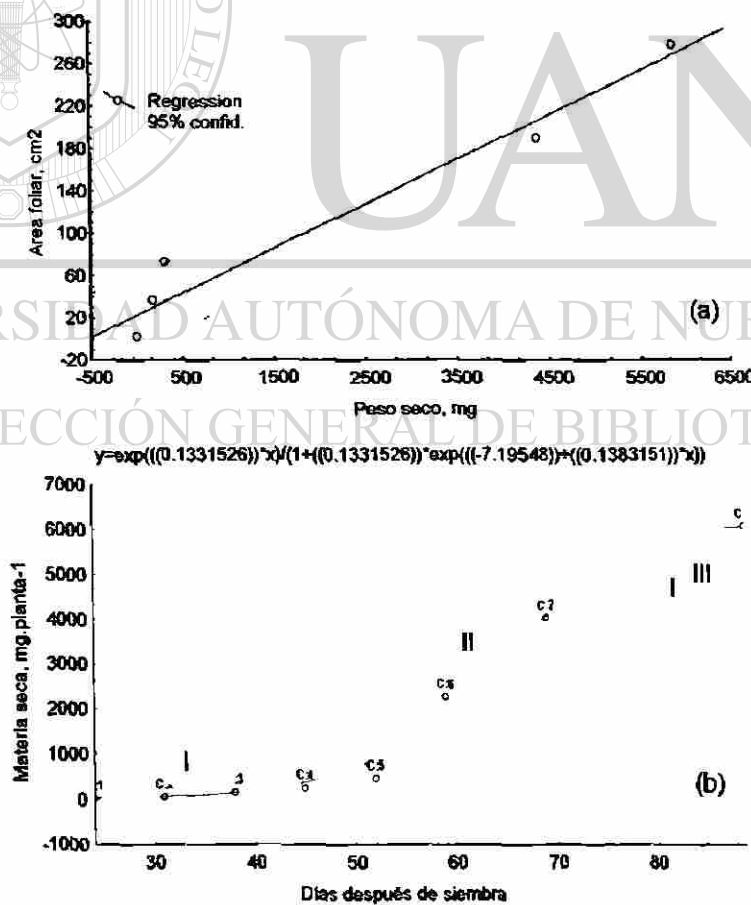


Figura 3. Relación lineal entre valores primarios (a) y curva sigmoide de crecimiento (b). I fase exponencial, II fase lineal y III fase de senilidad.

Índices de crecimiento.

Tasa de crecimiento del cultivo. Al realizar los análisis de varianza para cada una de las fechas de muestreo, se detectaron diferencias significativas ($P < 0.01$) en la interacción genotipo-ambiente, desde los 17 a los 59 dds (Cuadro 3A). La tendencia de este índice fue iniciar con valores promedio bajos ($25 \text{ mg} \cdot \text{día}^{-1}$, aproximadamente), hasta llegar a un valor máximo a los 66 dds (valor variable para cada combinación) y, posteriormente disminuir (Figura 4). En general, la tendencia de las curvas de este índice es ascendente hasta llegar a un máximo y luego decrece siguiendo el comportamiento del crecimiento típico de un organismo vivo. A los 66 y 73 dds la combinación Foto-SM fue superior al resto de los tratamientos.

Tasa relativa de crecimiento. Al realizar los análisis de varianza para cada una de las fechas de muestreo, se detectaron diferencias significativas

($P \leq 0.01$) en la interacción genotipo-ambiente, a los 24, 31 y 52 dds (Cuadro 4A). La TRC se presenta en la Figura 5 donde se reportaron las curvas de tendencia de las interacciones estudiadas. Se pudo observar, que al inicio la TRC fue alta pero, esta eficiencia disminuyó a través del tiempo. En la misma figura, se pudo observar que la combinación SB-Normal, en el periodo de 17 a 38 dds fue superior al resto de las combinaciones pero, luego decayó su valor hasta ser de los más bajos. Sin embargo, la combinación SM-Foto mantiene la TRC con valores altos por más tiempo. Así, valores de $0.12 \text{ mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ son mantenidos hasta los 59 dds y tasas de menor valor aunque superiores al resto de las combinaciones hasta el final del período evaluado

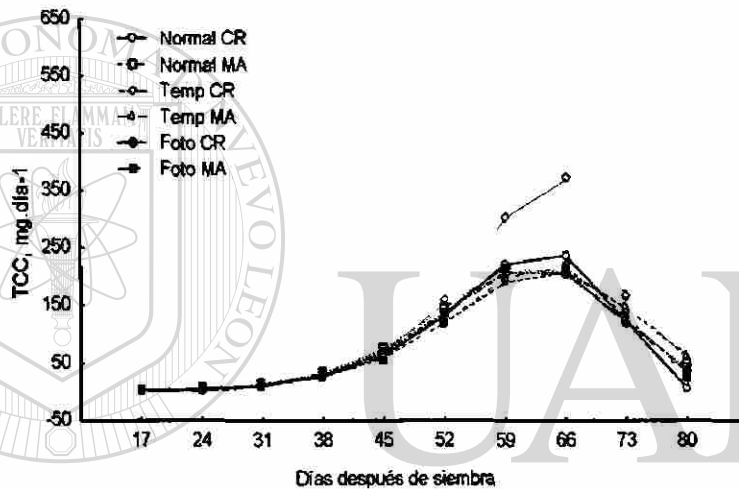
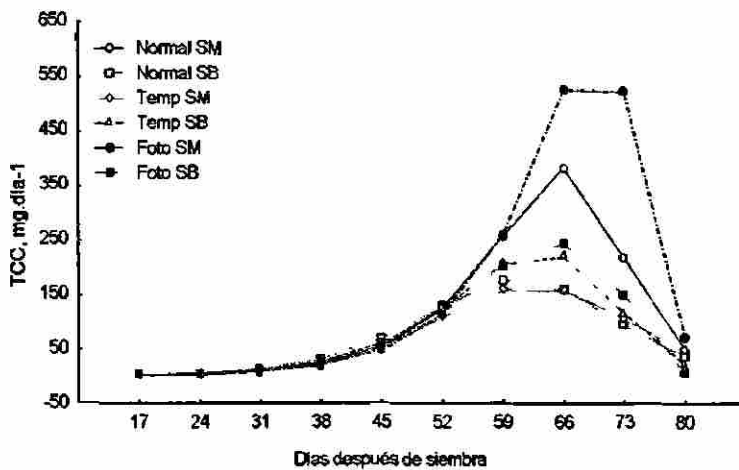


Figura 4. Tasa de crecimiento del cultivo de cilantro por efecto de la interacción genotipo -ambiente. CR = Criollo de Ramos, MA = Marroquí, SM = Sun Master, SB = Slow Bolt, Normal = ambiente normal, Temp. = ambiente con incremento de temperatura, Foto = ambiente con reducción del fotoperiodo.

Tasa relativa de crecimiento foliar. Al realizar los análisis de varianza para cada una de las fechas de muestreo, se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en la interacción genotipo-ambiente, de los 45 a los 66 dds (Cuadro 5A). Al considerar que en cilantro lo que se vende es el follaje, el índice de TRCF es uno de los más importantes e interesan valores altos y

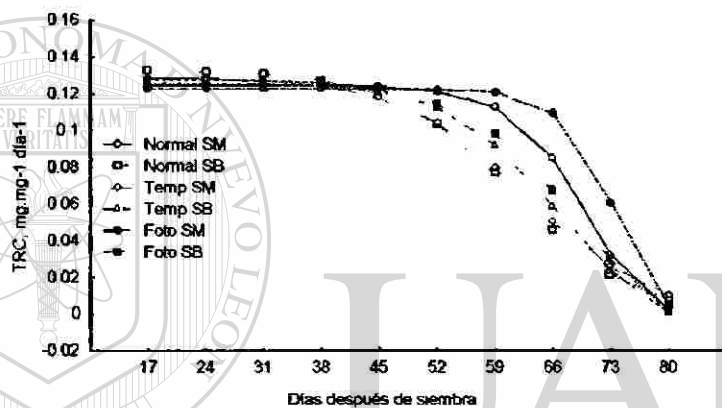
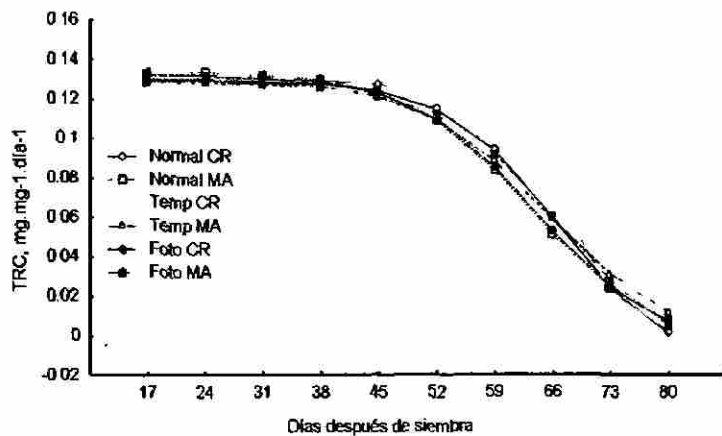


Figura 5. Tasa relativa de crecimiento en cilantro por efecto de la interacción genotipo-ambiente. CR = Criollo de Ramos, MA = Marroquí, SM = Sun Master, SB = Slow Bolt, Normal = ambiente normal, Temp. = ambiente con incremento de temperatura, Foto = ambiente con reducción del fotoperíodo.

sostenidos durante la mayor parte del ciclo de cultivo, con lo cual se pueda obtener más producto comercial (follaje). Así, independientemente del ambiente de producción, las variedades mejoradas SM y SB mostraron este comportamiento; en cambio, las variedades CR y MA, criollo de la región y el material que más se siembra, respectivamente, iniciaron con valores altos de TRCF ($0.095 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$) pero disminuyeron rápidamente (Figura 6).

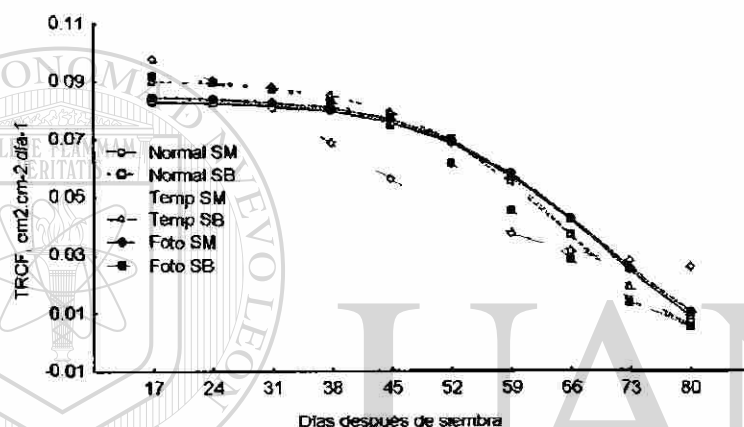
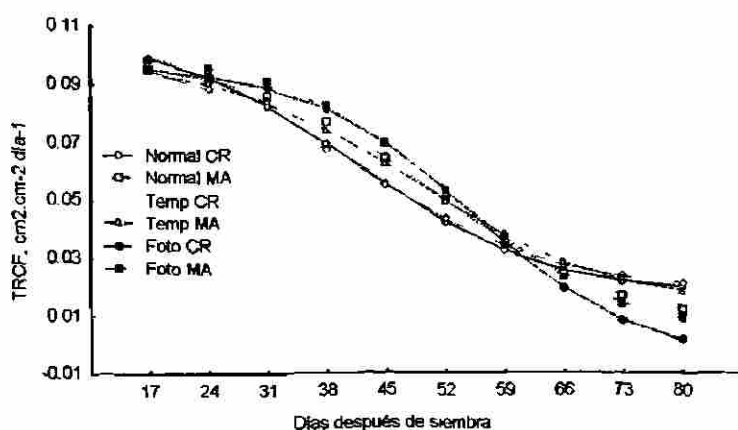


Figura 6. Tasa relativa de crecimiento foliar por efecto de la interacción genotipo-ambiente. CR = Criollo de Ramos, MA =Marroquí, SM = Sun Master, SB = Slow Bolt, Normal = ambiente normal, Temp. = ambiente con incremento de temperatura, Foto = ambiente con reducción del fotoperíodo.

Tasa de asimilación neta. Al realizar los análisis de varianza para cada una de las fechas de muestreo, se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en la interacción genotipo-ambiente en todas las fechas de evaluación (Cuadro 6A). Este es uno de los índices que más fueron afectados por la interacción genotipo-ambiente como lo demuestran las curvas de tendencia tan variables de la Figura 7. En ésta, se pudo observar que la combinación CR-Temp mostró alta eficiencia fotosintética de los 52 a los 73 dds. En cambio, la combinación SB-Normal mostró altos valores de TAN desde los 17 hasta los 45

dds, aunque después de esta fecha fue de las combinaciones que mostraron valores más bajos. Por su parte, la combinación SM-Foto, aunque inicia con valores de TAN relativamente bajos, termina el período de evaluación con valores altos por ejemplo, $2.5 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$.

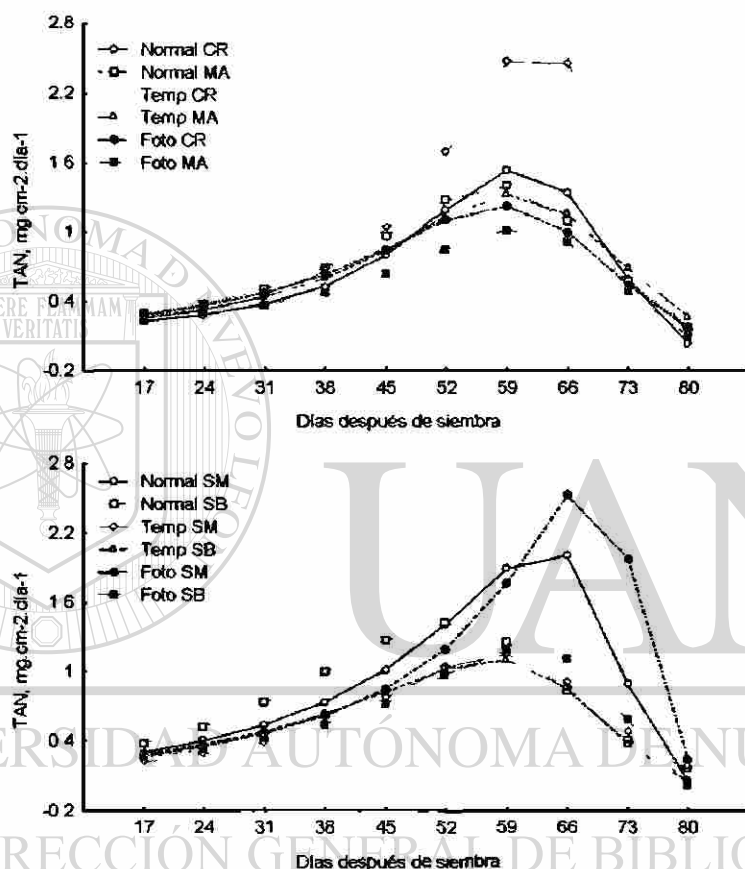


Figura 7. Tasa de asimilación neta en cilantro por efecto de la interacción genotipo-ambiente. CR = Criollo de Ramos, MA = Marroquí, SM = Sun Master, SB = Slow Bolt, Normal = ambiente normal, Temp. = ambiente con incremento de temperatura, Foto = ambiente con reducción del fotoperíodo.

Duración de área foliar. Al realizar los análisis de varianza para cada una de las fechas de muestreo, se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en la interacción genotipo-ambiente, a los 17, 24, 31, 52, 59 y 66 dds (Cuadro 7A). El comportamiento de la DAF mostró dos tendencias, una creciente a través del

tiempo hasta llegar a un valor máximo a los 52 y 59 dds para luego disminuir, la otra con incremento a través del tiempo hasta llegar a un valor que es sostenido a través del periodo de evaluación (Figura 8). En el primer caso, la combinación SB-Temp fue la que alcanzó los máximos valores con casi 260 $\text{cm}^2 \cdot \text{día}^{-1}$ a los 59 dds, después de esta fecha su DAF disminuyó rápidamente. En cambio, en combinaciones como SM-Temp y CR-Temp las tasas de DAF son menores pero sostenidas a través del tiempo.

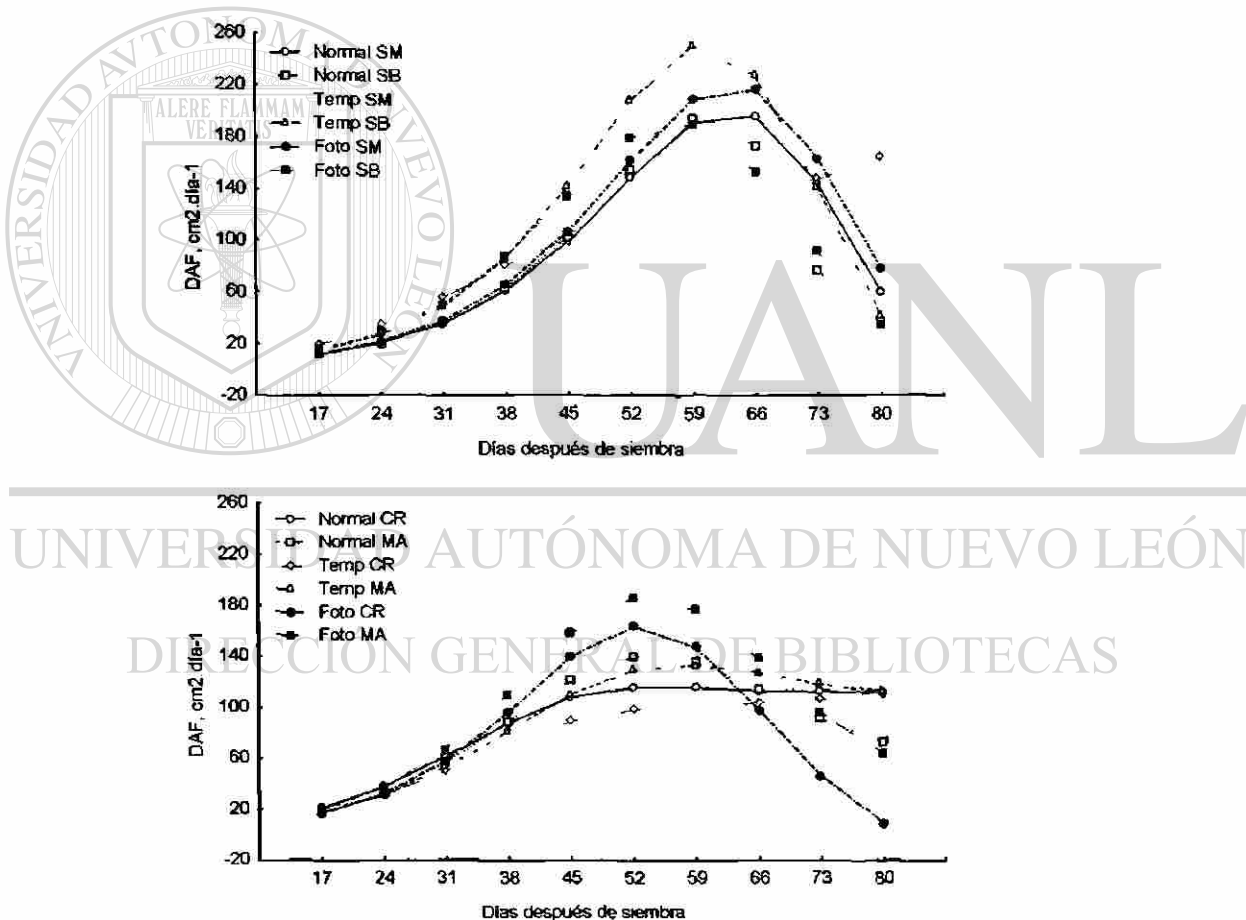


Figura 8. Duración del área foliar en cilantro por efecto de la interacción genotipo-ambiente. CR = Criollo de Ramos, MA =Marroquí, SM = Sun Master, SB = Slow Bolt, Normal = ambiente normal, Temp. = ambiente con incremento de temperatura, Foto = ambiente con reducción del fotoperíodo.

Relación de área foliar. Al realizar los análisis de varianza para cada una de las fechas de muestreo, se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en la interacción genotipo-ambiente, a los 17, 24, 31, 38, 52, 59 y 66 dds (Cuadro 8A). La tendencia de la RAF fue decreciente a través del tiempo ya que a los 17 dds inició con valores entre 0.4 y 0.7 $\text{cm}^2.\text{mg}^{-1}$ y terminó a los 80 dds, con valores entre 0.0 y 0.1 $\text{cm}^2.\text{mg}^{-1}$ (Figura 9). Durante el período comprendido entre los 17 y 45 dds la mayor RAF se presentó con la combinación SM-Temp; en cambio, en la combinación SB-Normal fue donde se encontraron los valores más bajos de RAF desde los 17 hasta los 52 dds.

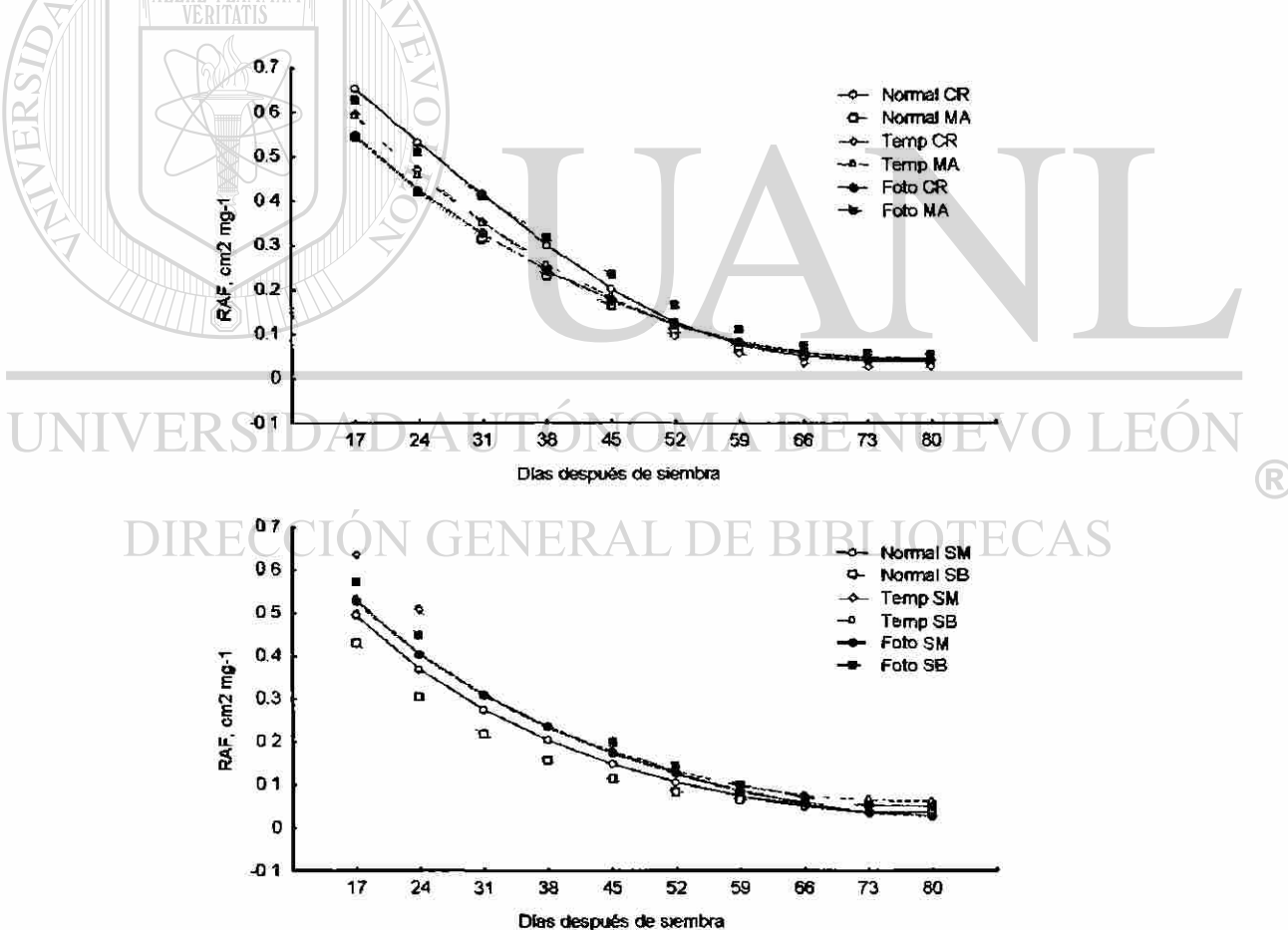


Figura 9. Relación de área foliar en cilantro por efecto de la interacción genotipo-ambiente. CR = Criollo de Ramos, MA =Marroquí, SM = Sun Master, SB = Slow Bolt, Normal = ambiente normal, Temp. = ambiente con incremento de temperatura, Foto = ambiente con reducción del fotoperíodo.

4.2.6 Discusión

Área foliar y peso seco. De acuerdo a los resultados presentados en la Figura 2 se observa que al trabajar con variedades mejoradas (SM y SB) se logró una mayor acumulación de área foliar, esto coincidió con lo citado por Medina (1977) y por Mohr y Schopfer (1995) en relación a que la ontogenia de una planta esta determinado por las características genéticas y por la modificación de los factores ambientales y con Ortiz (1991) quién citó que los genotipos responden de manera diferencial al estímulo ambiental. Esto, fue más relevante al observar que durante el mismo periodo de evaluación, la interacción MA-Temp mostró los valores promedio más bajos de área foliar. En la Figura 1b se observó que la respuesta al ambiente de producción dependió del genotipo ya que unos, como el MA y SB, funcionaron bien con temperaturas altas y fotoperíodo reducido, mientras otros, como el CR y SM, no funcionaron bien bajo las mismas condiciones. Estos resultados coincidieron con Peneva y Krilov (1977).

Curva sigmoide de crecimiento. El uso de un modelo específico coincidió con Bidwell (1993) quién mencionó que a menudo un modelo matemático debe ser desarrollado para una situación particular. Los resultados coincidieron también con las curvas sigmoides de crecimiento reportadas en los cultivos de tomate, fresa, pepino y melón y fueron diferentes de las curvas doble sigmoides de los cultivos vid, frambuesa y olivo citadas por Salisbury y Ross (1994).

Tasa de crecimiento del cultivo. Las combinaciones con mayor valor de TCC fueron CR-Temp, SM-Normal y SM-Foto; es probable que los resultados en la primera interacción, pudieron ser efecto de las características de adaptabilidad que posee el genotipo CR (Criollo de Ramos), por ser un material originario de la región donde se estableció el trabajo. Sin embargo, es más probable que fuera el efecto de una baja densidad de población en las parcelas sembradas con este genotipo, ocasionada por un ataque severo de damping-off. La combinación SM-Foto fue la que alcanzó los máximos valores de TCC durante el período de 59 a 80 dds, donde el promedio presentó valores superiores en un 46 % con respecto a la combinación SM-Normal. Estos resultados, indican que la velocidad de crecimiento del cilantro, representada por la TCC, responde favorablemente al reducir el fotoperíodo, a un valor promedio de 9:55 horas, y posiblemente obedecen a que procesos como la fijación fotosintética de CO₂, el tamaño y forma de las hojas, la ramificación y el

largo de los entrenudos, son controlados fotoperiódicamente de acuerdo a lo citado por Mohr y Schopfer (1995) y por Sivori *et al.* (1980). Los resultados coincidieron con Hernández (1994) y con Peneva y Krilov (1977) quienes reportaron que la longitud del día tuvo mayor efecto que la temperatura en el crecimiento del cilantro; y que el peso del cilantro se redujo en días largos. En el caso del cilantro, estos procesos se ven favorecidos con la reducción del fotoperíodo con lo cual, se incrementó la TCC y por tanto, la acumulación de materia seca.

Tasa relativa de crecimiento. La eficiencia general del crecimiento, medida por la TRC es inicialmente alta y decae con el tiempo (Figura 5) lo cual, coincide con lo reportado por Causton (1991), Sivori *et al.* (1980) y con Valverde y Sáenz (1985) en tomate, trigo y chayote, pero se contrapone con los resultados de TRC para col de bruselas, girasol y haba reportados por Causton (1991) y con Serrato *et al.* (1998). En estos últimos cultivos, la TRC no cambia a través del tiempo. En la misma figura se pudo observar que la interacción SB-Normal, en el periodo de 17 a 38 dds fue superior al resto de las interacciones, posteriormente decae su valor hasta ser de los más bajos. Estos resultados pueden indicar que al inicio del cultivo, las condiciones de temperatura (18.1 °C) y de fotoperíodo (11:55 horas) fueron apropiadas para que el genotipo SB (Slow Bolt) acumulara materia seca en forma eficiente a partir de la materia seca ya existente. Sin embargo, la interacción SM-Foto mantuvo la TRC con valores más altos por más tiempo. Así, valores de 0.12 mg.mg⁻¹.día⁻¹ se mantuvieron

hasta los 59 dds y posteriormente las tasas de menor valor aunque superiores al resto de las interacciones se mantuvieron hasta el final del período evaluado.

Estos resultados pueden ser la consecuencia de que esta interacción es la que mayor TCC mostró, al menos en la segunda parte del período evaluado. Por tanto, la explicación citada para los resultados de la TCC puede ser aplicada al índice de TRC. En girasol Pérez *et al.* (1992), determinaron la TRC con valores entre 125-140 mg.mg⁻¹.día⁻¹, valores muy diferentes a los reportados aquí para cilantro.

Tasa relativa de crecimiento foliar. Independientemente del ambiente de producción, las variedades mejoradas SM y SB, mostraron valores altos y sostenidos de TRCF; en cambio, las variedades CR y MA iniciaron con valores altos de TRCF ($0.095 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$) pero disminuyeron rápidamente (Figura 6). Estos resultados coinciden con lo citado por Medina (1977), quién señaló que la adaptación y tolerancia de las plantas a las condiciones de luz y temperatura, están determinadas genéticamente. En la misma figura se puede observar que las interacciones que mejor se comportaron a lo largo del período evaluado fueron SB-Temp y SM-Foto; esta información sugiere que el genotipo SB (Slow Bolt) puede ser usado para siembras de primavera-verano y el genotipo SM (Sun Master) para siembras de otoño-invierno. Estos resultados son corroborados al analizar la interacción SM-Temp cuya TRCF disminuyó casi linealmente a través del tiempo; lo cual, indicó baja eficiencia de esta variedad para acumular área foliar a partir del tejido asimilatorio preexistente, en ambientes con temperatura alta (27.4 °C , promedio). En girasol Pérez *et al* (1992), reportaron tendencia similar en la TRCF pero con valores superiores ($125\text{-}150 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$) a los aquí reportados para cilantro.

Tasa de asimilación neta. En la Figura 7 se pudo observar que la interacción CR-Temp mostró alta eficiencia fotosintética; sin embargo, este efecto puede ser el resultado de la baja densidad de población ocasionada por un ataque severo de damping-off. En cambio, la interacción SB-Temp mostró altos valores de TAN desde los 17 hasta los 52 dds, coincidiendo con lo citado por Russell *et al*. (1984), Bidwell (1993), Pérez y Martínez (1994) y con

Salisbury y Ross (1994), quienes señalaron que la TAN se incrementa con incrementos de temperatura dentro de un rango específico para un cultivo dado. Además, coincide con Ascencio y Fargas (1973) y con Wallace y Munger (1985) quienes establecieron que en frijol, la eficiencia fotosintética y la productividad dependen de un número elevado de hojas por planta; en este caso, fue la interacción SB-Temp la que mostró los mayores promedios de TRCF. Por su parte, la interacción SM-Foto aunque inicia con valores de TAN relativamente bajos, termina el período de evaluación con valores altos. Este comportamiento permite establecer la posibilidad de sembrar diferentes genotipos de acuerdo al ambiente de producción. Además, este comportamiento de la TAN en cilantro, coincidió con lo citado por Medina y Bolívar (1993) y Serrato *et al.* (1998) y es diferente a lo citado por Pérez *et al.* (1992) para *Gypsophila paniculata*, cempoalxóchitl y girasol, respectivamente. El comportamiento decreciente de la TAN fue reportado por Medina y Bolívar (1993) en algunas especies; por ejemplo, en aquellas donde la importancia relativa de la respiración aumenta con la edad de la planta y que la TAN aumenta durante la producción de nuevas hojas; aunque Ascencio y Fargas (1973) mencionaron que la TAN por hoja disminuye pero la TAN de la planta como un todo, se incrementa.

Duración de área foliar. La tendencia de la DAF con incremento a través del tiempo hasta llegar a un valor máximo para luego ir disminuyendo. la interacción SB-Temp fue la que alcanzó los máximos valores con casi 260 $\text{cm}^2 \cdot \text{día}^{-1}$ a los 59 dds. Después de esta fecha, la DAF disminuyó rápidamente; es decir, que la planta inicia su senescencia por lo cual, hay poco tiempo para

realizar la cosecha del follaje sin que este pierda su calidad. Esta disminución coincide con la presencia del punteamiento. En la tendencia de la DAF con incremento a través del tiempo hasta llegar a un valor sostenido a través del periodo de evaluación, interacciones como SM-Temp y CR-Temp mostraron tasas menores pero sostenidas a través del tiempo, lo cual permitiría ampliar el período de cosecha del cilantro sin pérdida de la calidad del mismo.

Relación de área foliar. Los resultados en este índice mostraron que la interacción SM-Temp tuvo los valores más altos de RAF, en cambio la interacción SB-Normal fue la de valores más bajos. Estos resultados fueron coincidentes con Russell *et al.* (1984) y Serrato *et al.* (1998), quienes reportaron que la RAF se incrementó con incrementos de temperatura dentro de un rango específico para un cultivo dado y con Ascencio y Fargas (1973), quien estableció que la TAN depende de la RAF y de un número elevado de hojas por planta y con Solórzano *et al.* (1982) quien en haba, indicó que las variedades más productivas fueron las de mayor área foliar.

4.2.7 Conclusiones

El modelo logístico específico para cilantro mostró buen ajuste con $R^2 = 0.997$, para describir el crecimiento de esta hortaliza. El área foliar y el peso seco del cilantro guardan una relación lineal entre ellos. El patrón de crecimiento del cilantro, fue afectado por el incremento de temperatura y por la reducción del fotoperiodo. Los índices TCC, TAN y DAF mostraron tendencia

ascendente hasta llegar a un máximo y luego decrecen siguiendo el comportamiento del crecimiento típico de un organismo viviente. Los índices TRCF y RAF mostraron un comportamiento decreciente a través del tiempo. El índice TRC mostró valores sostenidos ($0.13 \text{ mg.mg}^{-1}.\text{día}^{-1}$) hasta los 59 días después de siembra y luego su valor fue menor.

4.2.8 Bibliografía

Ascencio, J. y J. E. Fargas. 1973. Análisis de crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. Turrialba-4) cultivado en solución nutritiva. Turrialba, 23 (4): 20-42

Beadle, C.L. 1988. Análisis del crecimiento vegetal. *In*: Técnicas en fotosíntesis y bioproduktividad. Editado por: Coombs, J., D.O. Hall, S.P. Long, J.M.O. Scurlok. Editorial Futura, S.A. México.

Bidwell, R. G. S. 1993. Fisiología Vegetal. Editorial AGT S.A. México D. F.

Causton, D.R. 1991. Plant growth analysis: the variability of relative growth rate within a sample. *Annals of Botany* 67 (2): 137-144.

Clarke, J. M.; T. F. Towley-Smith; T. N. Mc Craig and D.G. Green. 1984.- Growth analysis of spring wheat cultivars of varying drought resistance. *Crop Science* 24 (3) : 537-541.

Cortés B., J. J. 1999. Modelo logístico específico para cilantro. Notas sin publicar. FAUANL, Marín, N.L. México.

Hedge, D. M. 1987. Growth analysis of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) in relation to soil moisture and nitrogen fertilization. *Scientia Horticulturae* (33) 179-187.

Hernández C., C. 1994. Producción de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) en estaciones cálidas bajo diferentes frecuencias de riego y densidades de siembra. Tesis Licenciatura. UAAAN. México.

Hunt, R. 1982. Plant Growth analysis; second derivatives and compounded second derivatives of splinted plant growth curves. *Ann. Bot.* 50: 317-328.

INPOFOS. 1998. Informaciones Agronómicas. Núm. 3 Vol. 2.

Little, M. T. and F. J. Hill. 1985. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. 1era edición. Anatolio de Paula Crespo (traductor). Ed. Trillas. 270 p.

Maeda M., C. 1986. Análisis de crecimiento. Un método para cuantificar el rendimiento de las plantas. Seminarios técnicos. PRONAPA-CIAN-INIFAP-SARH. Vol. 9, No. 5, 101-138.

Medina, A. y R. Bolívar. 1993. Análisis de crecimiento y acumulación de nutrientes de *Gypsophila paniculata* cv. Perfecta bajo condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá. Tesis de grado. Facultad de Ciencias. Univ. Nal. de Colombia. Santa Fé de Bogotá.

Medina, E. 1977. Introducción a la ecofisiología vegetal. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Depto. de Asuntos Científicos. Secretaría General de la OEA. Washington, D.C

- Mohr, H. and P. Schopfer. 1995. Plant physiology. Springer – Verlag, Berlin. Heidelberg, New York. 659 p.
- Ortiz C., J. 1991. Aspectos históricos y justificación del área de fisiotecnia del Centro de Genética en el Colegio de Postgraduados. Rev. Fitotec. Mex. 14. 89-95.
- Peneva, P. and A. Krilov. 1977. The influence of ecological conditions on the productivity of some Russian coriander cultivars. Rastenices, dni Nauki, Sofía, Bulgaria. 14 (1): 67-76.
- Pérez G., F. y J. B. Martínez-Laborde. 1994. Introducción a la fisiología vegetal. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 228 p.
- Pérez, N. J.; M. V. Cágál y C. R. Zavaleta. 1992. Análisis de crecimiento y su relación con el rendimiento económico en girasol (*Helianthus annuus* L). Revista Chapingo 16 (77): 48-51.
- Poehlman, J. M. 1986. Mejoramiento genético de las cosechas. Editorial Limusa, México. 453 p.
- Radford, P. J. 1976. Growth Analysis formulae – Their use and abuse. Crop Science 3 (7) 171-175.
- Rojas G., M. 1979. Fisiología Vegetal. MC Graw-Hill de México S.A. de C.V. México D. F. 262 p.
- Russell, M. P.; W. W. Wilhelm; R. A. Olson and J. F. Power. 1984. Growth analysis based on degree days. Crop Science 24: 28-32.
- SAGAR. 1991-1995. Anuario Estadístico. Dirección de Estadística y Cálculo de México

Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. 1era edición. Virgilio González V. (traductor). Grupo Editorial Iberoamericano S.A. de C.V México 759 p.

Serrato, C.; O. G. Juárez y V. A.G. Hernández. 1998. Análisis de crecimiento y evolución bajo domesticación en dos especies de cempoalxóchitl. Revista Chapingo, Serie Horticultura. 4 (2):75-82

Sivori, M. E.; E. R. Montaldi y O. H. Caso. 1980. Fisiología vegetal. Ed. Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, Argentina. 680 p.

Solórzano V., E.; C. J. Ortiz y O. L. Mendoza. 1982. Análisis de crecimiento en haba (*Vicia faba* L) Agrociencia, 103-106.

Taiz, I. and E. Zeiger. 1991. Plant Physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Co. Inc. Redwood City, Cal., U.S.A. 559 p.

Valverde, E. y M. V. Sáenz. 1985. Análisis de crecimiento del Chayote (*Sechium edule* Sw.). Turrialba 35 (4): 395-402.

Valadez, A. 1990. Producción de Hortalizas. Noriega Editores, Editorial Limusa, S.A. de C.V. México. 298 p.

Wallace, D. H. and H. M. Munger. 1985. Studies of the physiological basis for yield differences. I. Growth analysis of six dry bean varieties. Crop Science, 5: 343-347.

Warren, W.; R. Hunter and D. Hand. 1986. Philosophical aspects of measurements equations and inferences in plant growth studies. Annals of Botany. 58: 73-80.

4.3 Análisis cuantitativo del crecimiento en cilantro

Quantitative growth analysis in coriander

4.3.1 Resumen

En las siembras comerciales de cilantro *Coriandrum sativum* prevalece el genotipo Marroquí; sin embargo, cada vez hay más variedades disponibles para la siembra sin información que permita predecir su comportamiento. Por ello, se estableció un trabajo en el Noreste de México, durante 1999, donde los genotipos de cilantro Criollo Poblano, Criollo de Ramos, Sun Master, Slow Bolt y Marroquí se evaluaron en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con el objetivo de analizar y describir matemáticamente el crecimiento del cilantro. Las variables medidas fueron área foliar y peso seco;

con estas variables, se estimó la relación que existe entre ellas, las curvas de crecimiento del cultivo y seis índices de crecimiento. Los resultados mostraron que el área foliar y el peso seco del cilantro, describen una curva sigmoide de crecimiento a través del tiempo, y que entre ellos, existe una relación lineal. También, que el modelo logístico específico para cilantro tuvo buen ajuste con R^2 entre 0.97 y 0.99, para describir las curvas de crecimiento de este cultivo. La TCC, la TAN y la DAF mostraron tendencia creciente a través del tiempo. La TRCF se mantuvo constante hasta los 63 dds y posteriormente disminuyó. La TRC mostró tendencias variables entre genotipos y la RAF tuvo tendencia decreciente a través del tiempo.

Palabras clave: *Coriandrum sativum*, genotipos, modelo logístico, índices fisiotécnicos.

4.3 2 Summary

In commercial production of coriander *Coriandrum sativum*, Marroqui is the most used cultivar. New varieties have been introducing into production recently, however, there is not information about their performance under field commercial production. For this reason, it was established an experiment during 1999 in the Northeast of Mexico, to evaluate five genotypes: Criollo Poblano, Criollo de Ramos, Sun Master, Slow Bolt and Marroqui using a randomized complete blocks design with four replications. The main goal was to analyze the growth of coriander. Leaf area and dry weight were measured every eight days. Growth curves and six growth indexes were estimated. The leaf area and dry

weight showed a sigmoid growth curve and presented a linear relation ship between them. The R^2 was between 0.97 and 0.99. The indexes CGR, NAR and LAD showed a tendency to increase through out the time. The RGRL had the same tendency up to 63 days after sowing and decreased there after. The RGR showed variation among genotypes and the LAR decreased through out the time.

Key words: *Coriandrum sativum*, genotypes, logistic model, fphysiothecnics indexes.

4.3.3 Antecedentes

En los últimos años, el conocimiento sobre el cultivo y manejo de las hortalizas ha tenido un amplio desarrollo; sin embargo, en el caso específico del cilantro *Coriandrum sativum* L. aún no se han perfeccionado las técnicas de producción presentándose problemas que afectan su crecimiento. En México, el cilantro se cultiva en una superficie de 4500-8000 ha; la mayor cantidad se siembra en otoño-invierno y el genotipo que predominó en el Noreste de México es el Marroquí, con un 90 % de la superficie total (SAGAR, 1995). En el mercado cada vez hay más variedades disponibles para la siembra de esta hortaliza. Estos nuevos genotipos no vienen acompañados de información que permita predecir su comportamiento en una determinada región; y como lo reportó Poehlman (1986), cuando una variedad se introduce a una zona de producción, puede estar genéticamente menos adaptada que en la zona climática donde usualmente se produce, este enunciado coincide con Ortiz

(1991), quién estableció que no todos los genotipos responden de igual manera al estímulo ambiental, señalando que la adaptación y tolerancia de las plantas a las condiciones de luz y temperatura están determinadas genéticamente.

En la producción de hortalizas es necesario entender las relaciones que hay entre la planta y el medio ambiente ya que la ontogenia de una planta, esta determinada por las características genéticas y por el efecto de los factores ambientales (Mohr y Schopfer, 1995). Procesos como la ramificación, el tamaño y la forma de las hojas, el alargamiento de los entrenudos y la fijación

fotosintética de bióxido de carbono (CO₂), son controlados fotoperiódicamente (Mohr y Schopfer, 1995; Sivori *et al.*, 1980).

Para entender las relaciones entre la planta y su entorno, una herramienta útil es el análisis de crecimiento, que ha utilizado modelos tales como los de Gompertz, Von Bertalanffy, el Logístico y otros, los cuales cuantifican tanto la producción primaria como la eficiencia con la que esta se produce (Rojas, 1974; Hunt, 1982; Clarke *et al.*, 1984). La técnica, fue propuesta originalmente por Blackman en 1919. Radford (1977) y Beadle (1988) la definieron como el conjunto de técnicas y modelos empleados para el estudio cuantitativo del crecimiento de las plantas y publicaron los índices en los cuales se apoya dicho análisis. Por su parte, Bidwell (1974) señaló que los modelos matemáticos, a menudo deben ser desarrollados para una situación particular. Sivori *et al.*, (1980) citaron que la tasa relativa de crecimiento es constante

durante la fase exponencial y declina progresivamente durante el resto de la vida del individuo; probablemente, por que a medida que aumenta la edad de la planta, se va haciendo cada vez menor la proporción de tejidos meristemáticos con respecto a los tejidos vasculares de protección.

Algunas aplicaciones del análisis de crecimiento fueron reportadas por Hedge (1987), quién señaló que el objetivo del cálculo de las funciones de crecimiento, es explicar como un cultivo responde a un medio ambiente dado. Según Pérez y Martínez (1994), cuando existen alteraciones en algún factor externo a lo largo del ciclo de vida de las plantas, su curva de crecimiento irá

separándose paulatinamente de la curva teórica esperada u obtenida en un ambiente específico. Así, Salisbury y Ross (1994) reportaron que cultivos como tomate, fresa, pepino y melón muestran curvas sigmoides de crecimiento; en cambio, los cultivos de vid, frambuesa y olivo muestran curvas doble sigmoides. Estos investigadores y Russell *et al.*, (1984) determinaron que las funciones tasa de crecimiento del cultivo (TCC), relación de área foliar (RAF) y tasa de acumulación neta (TAN), se incrementan con la temperatura y el flujo de luz dentro de un rango específico para un cultivo dado; en cambio, Causton (1991) al trabajar con diversas especies para determinar la TRC, encontró que en col de bruselas y girasol, este índice no cambió a través del tiempo, aunque en tomate y trigo sí lo hizo, disminuyendo su valor. Por su parte, Asensio y Fargas (1973) trabajando en *Phaseolus vulgaris* establecieron que la eficiencia fotosintética (EF) de una planta de frijol, depende de la RAF y de un número elevado de hojas por planta, aunque paralelamente, origina una disminución en

los valores de la TAN por hoja.

Wallace y Munger (1985) al trabajar también con frijol, indicaron que las variedades más productivas fueron las que alcanzaron los valores mas altos de área foliar. Otro reporte señaló que la EF decrece durante las primeras etapas del crecimiento, ocasionado posiblemente por la alta producción y competencia entre hojas (Maeda, 1986).

En *Sechium edule*, Valverde y Sáenz (1985) concluyeron que el chayote es una planta de rápido crecimiento, y que probablemente por las condiciones

de cultivo, mostró una baja TAN. En girasol, Pérez *et al.* (1992) determinaron que la TRC inició con valores entre 125-140 mg.mg⁻¹.día⁻¹ y bajaron hasta valores cercanos a cero a los 100 días después de siembra (dds). El comportamiento de la TAN fue similar al de la TRC con valores entre 0.2 y 0.3 mg.cm⁻².día⁻¹. La tasa relativa de crecimiento foliar (TRCF) inició con valores de 125-150 cm².cm⁻¹.día⁻¹ y los sostuvo hasta los 50 dds, enseguida sus valores disminuyeron hasta llegar casi a cero a los 90 dds.

En cambio, Serrato *et al.* (1998) en cempoalxóchitl, determinaron valores de 17 mg.cm⁻².día⁻¹ en la TAN, con un comportamiento bajo al inicio del ciclo, creciente hasta llegar a un máximo y finalmente disminuir. La tendencia de la TRC fue similar a la de la TAN con valores entre 0.0-0.25 mg.mg⁻¹.día⁻¹. En su trabajo con *Gypsophila paniculata*, Medina y Bolívar (1993) reportaron que la TAN declina en algunas especies, especialmente cuando la importancia relativa

de la respiración aumenta durante la producción de nuevas hojas, para descender durante la época de proliferación de tallos florales.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Considerando lo anterior, se planteó el objetivo de analizar y describir cuantitativamente el crecimiento de cinco genotipos de cilantro, por medio de una función logística específica y basándose en índices fisiotécnicos y determinar el mejor genotipo para siembras comerciales de cilantro. La hipótesis del trabajo fue que los genotipos de cilantro muestran diferencias en su crecimiento.

4.3.4 Metodología

El trabajo de campo fue realizado en el periodo junio-septiembre de 1999 en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la UANL, en la Ascensión, N. L. donde los genotipos de cilantro: Criollo Poblano (CP), Slow Bolt (SB), Criollo de Ramos (CR), Sun Master (SM) y Marroquí (MA) fueron establecidos en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las dimensiones de la unidad experimental fueron 4 m de largo por 2.4 m de ancho; se sembraron seis surcos con separación entre ellos de 40 cm. Los cuatro surcos centrales y los 3 m centrales de cada surco fueron considerados como parcela útil. La separación entre repeticiones fue de 1 m. El terreno se barbecho a 30 cm de profundidad y se rastreo en cruz. Con azadón, se formaron los surcos con una altura aproximada de 30 cm. La semilla equivalente a $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, se pesó en balanza granataria y fue depositada en sobres de papel. Sobre los surcos de siembra, se hicieron surcos de dos pulgadas de profundidad y se sembró a "chorrillo" el tres de junio de 1999, colocando la semilla manualmente de manera uniforme; posteriormente se tapó con tierra.

El sistema de riego fue por aspersión y durante los primeros 15 días se aplicaron dos riegos por semana, posteriormente se regó cada ocho días por 6 a 7 horas. No se fertilizó, se realizaron dos deshierbes con azadón y dos labores de cultivo con un implemento manual conocido en la región como "calavera"

Para evaluar el comportamiento de los genotipos se midieron las siguientes variables:

Área foliar y peso seco: Se obtuvieron de cinco muestreos que se realizaron a los 42, 49, 57, 63 y 79 dds. Se cosechó la parte aérea de las plantas con competencia completa en 10 cm de surco. Se seleccionaron cinco plantas representativas que fueron procesadas para medir el área foliar a través de un equipo portátil modelo LI-3000 (LI-COR, USA). Posteriormente las plantas se secaron en estufa a temperatura de 60 – 70 °C durante 72 horas y se pesaron en balanza analítica. Los datos generados fueron sometidos a análisis de varianza siguiendo un diseño de un bloques completos al azar y en su caso, se realizó la comparación de medias según Tukey (Little and Hill, 1985).

Relación entre valores primarios: con los datos de campo de área foliar y peso seco, se determinó la relación que existe entre ellos al ser analizados mediante regresión simple. La variable dependiente fue el peso seco y la independiente

fue el área foliar.

Curva de crecimiento: los datos de campo de área foliar y materia seca fueron usados en un modelo logístico, específico para cilantro, para determinar el tipo de curva que describe el crecimiento de este cultivo.

Índices fisiotécnicos: a) con los datos de área foliar y peso seco y el modelo logístico específico para cilantro, se estimaron las constantes β_0 , β_1 y β_2 , los cuales se usaron para calcular los valores estimados de área foliar y peso seco.

El modelo fue el siguiente:

$$Y = e^{\beta_1 X} / 1 + \beta_1 e^{\beta_0 + \beta_2 X}$$

Donde:

Y = Variable (Área Foliar ó Peso Seco)

X = Días después de la siembra

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = Constantes

e = Logaritmo natural

(para resolver el modelo se usó el programa computacional Statistica de Stat Soft. Inc. 1993). b) con los datos estimados de área foliar y peso seco, se construyeron seis índices fisiotécnicos por tratamiento y repetición. Las fórmulas utilizadas para construir los índices de tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa relativa de crecimiento foliar (TRCF), tasa de asimilación neta (TAN), duración de área foliar (DAF) y relación de área foliar (RAF), fueron:

$$TCC = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1); \text{ mg.día}^{-1}$$

$$TRC = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1); \text{ mg.mg}^{-1}.\text{día}^{-1}$$

$$TRCF = (\ln A_2 - \ln A_1) / (t_2 - t_1); \text{ cm}^2.\text{cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$$

$$TAN = (W_2 - W_1) / (\ln A_2 - \ln A_1) / (A_2 - A_1)(t_2 - t_1); \text{ mg.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$$

$$DAF = (A_2 - A_1)(t_2 - t_1) / 2; \text{ cm}^2.\text{día}^{-1}$$

$$RAF = (A_2 - A_1) (\ln W_2 - \ln W_1) / (W_2 - W_1)(\ln A_2 - \ln A_1); \text{ cm}^2.\text{mg}^{-1}$$

Donde:

W_1 y W_2 = peso seco al tiempo 1 y 2, respectivamente

A_1 y A_2 = área foliar al tiempo 1 y 2, respectivamente

t_1 y t_2 = tiempo 1 y 2, respectivamente

ln = logaritmo natural.

c) éstos índices fueron sometidos a análisis de varianza y en su caso a comparación de medias según Tukey ($P < 0.01$) d) se construyeron figuras utilizando los promedios de cada índice fisiotécnico.

4.3.5 Resultados y discusión

Área foliar y peso seco. Estas variables se sometieron a análisis de varianza; los resultados en cada fecha de muestreo, mostraron diferencias significativas ($P < 0.01$) excepto, para la evaluación a los 42 dds. En el Cuadro 7 se presenta la comparación de medias para estas variables, se puede observar que la acumulación de área foliar fue significativamente superior en el genotipo Marroquí en la mayoría de los muestreos realizados excepto, a los 42 dds donde, los genotipos no fueron significativamente diferentes. El genotipo Marroquí fue superior aproximadamente, en 103, 68, 88 y 128 %, en los muestreos a los 49, 57, 63 y 79 dds, en comparación con el genotipo Criollo Poblano que en la mayoría de los muestreos, fue el que menor área foliar acumuló. Estos resultados muestran que el genotipo Marroquí puede ser buen productor de follaje; quizá esto justifica el hecho de que este genotipo es el que más se siembra (SAGAR, 1995). En el caso de la variable peso seco, es posible la misma comparación al menos, para los tres muestreos intermedios, donde el genotipo Marroquí fue superior y estadísticamente diferente al genotipo Criollo Poblano, aproximadamente en 62, 19 y 57 %, respectivamente. En el último muestreo, el comportamiento es inverso ya que el genotipo Criollo Poblano fue superior al genotipo Marroquí.

Cuadro 7. Comparación de medias de área foliar ($\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$) y peso seco ($\text{mg} \cdot \text{planta}^{-1}$) de cilantro en diferentes fechas de muestreo¹

VARIABLE	FECHA DE MUESTREO, dds ^{**}				
	42	49	57	63	79
Área foliar:					
C. Poblano	15.5 a [†]	34.3 b	67.4 b	109.7 b	217.1 c
Slow Bolt	12.3 a	39.4 b	98.5 a	161.3 ab	355.5 b
C. de Ramos	13.0 a	48.8 ab	64.1 b	124.7 b	319.4 bc
Sun Master	15.4 a	34.2 b	71.8 b	125.4 b	300.7 bc
Marroquí	13.9 a	69.9 a	113.5 a	207.1 a	495.2 a
C.V., %	18.31	16.54	8.69	15.32	11.46
Peso seco:					
C. Poblano	126 a	245 b	589 ab	878 c	9375 a
Slow Bolt	111 a	238 b	637 ab	1275 ab	5725 bc
C. de Ramos	95 a	331 ab	378 c	1225 ab	6600 b
Sun Master	125 a	248 b	471 bc	1000 bc	4400 c
Marroquí	122 a	397 a	700 a	1375 a	6000 b
C.V., %	12.45	15.41	11.68	9.82	9.49

¹promedios de cuatro repeticiones.

[†]promedios seguidos de la misma letra, en cada columna y variable, no son diferentes estadísticamente según Tukey ($P < 0.01$).

^{**}días después de siembra.

Relación entre valores primarios. Los datos de peso seco y área foliar de los genotipos de cilantro se sometieron a un análisis de regresión; los resultados indicaron que existe una relación lineal con un 95 % de confianza y por tanto permitieron seleccionar las fórmulas propuestas por Radford (1976).

Hunt (1982) y Beadle (1988) para estimar los índices fisiotécnicos de interés. En la Figura 10 se presentan los resultados del genotipo Marroquí con una $R^2 = 0.982$.

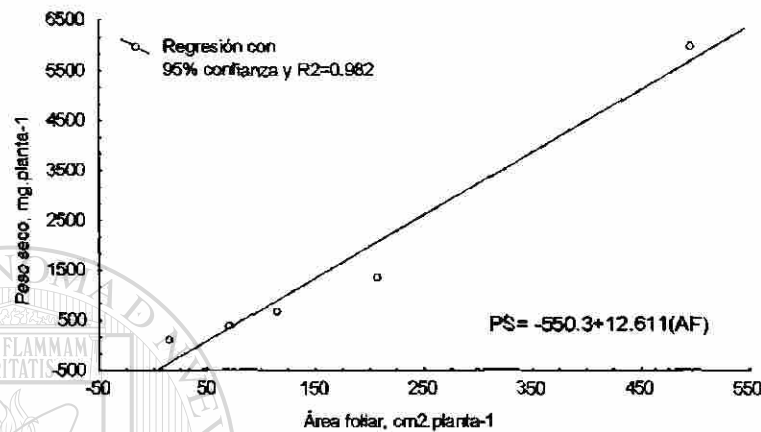


Figura 10. Relación lineal entre el área foliar y el peso seco del cilantro (Marroquí).

Curva sigmoide de crecimiento. Al graficar los valores primarios de área foliar y peso seco con respecto al tiempo, se pudo observar que el modelo

logístico específico para cilantro, describe su proceso de crecimiento a través de una curva sigmoide. En la Figura 11, se muestra la curva sigmoide de crecimiento ($R^2 = 0.994$) del genotipo CR donde se pudieron observar las tres fases de crecimiento de un vegetal. El uso de un modelo específico coincidió con Bidwell (1974) quién mencionó que a menudo un modelo matemático debe ser desarrollado para una situación particular y este tipo de curva coincide también, con las curvas sigmoides de los cultivos tomate, fresa, pepino y melón citadas por Salisbury y Ross (1994) aunque, son diferentes a las curvas doble sigmoides de los cultivos vid, olivo y frambuesa citados por estos mismos autores.

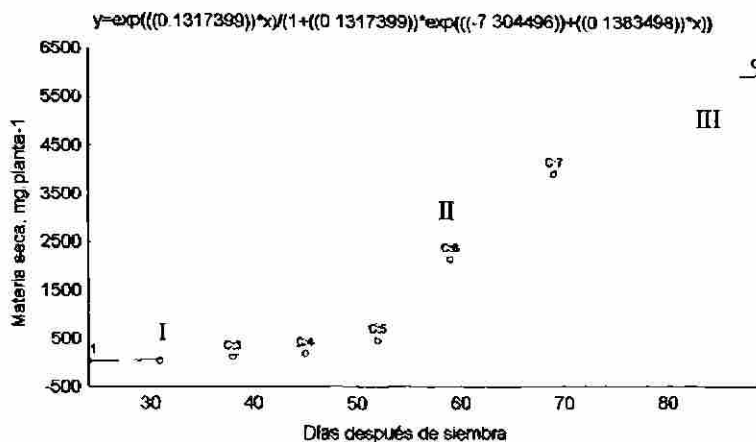


Figura 11. Curva sigmoide de crecimiento en cilantro (Criollo de Ramos). I fase exponencial, II fase lineal, III fase de senilidad.

Índices fisiotécnicos. Para cada uno de los índices se realizaron análisis de varianza con los datos estimados de cada uno de los índices. Así, para la TCC, TRC y DAF se detectaron diferencias significativas con $P \leq 0.01$ en todos los muestreos. Para la TRCF, se detectaron diferencias significativas desde los 21 hasta los 49 dds con $P \leq 0.01$, a los 56 dds las diferencias

significativas fueron con $P \leq 0.05$ y a los 63 dds las diferencias fueron no significativas. Para la TAN, las diferencias significativas con $P \leq 0.01$ se detectaron a los 21, 28, 35, 56, 63 y 70 dds. A los 42 dds las diferencias significativas fueron con $P \leq 0.05$ y a los 49 dds las diferencias fueron no significativas. Para la RAF, se detectaron diferencias significativas con $P \leq 0.01$ en todas las evaluaciones realizadas excepto, para la evaluación a los 56 dds donde no se encontraron diferencias significativas.

Tasa de Crecimiento del Cultivo. Este índice indica la velocidad de crecimiento del cultivo y de manera indirecta ayuda a predecir el rendimiento.

La tendencia de la TCC fue ascendente a través del tiempo, inicia con valores cercanos a cero $\text{mg}\cdot\text{día}^{-1}$ hasta llegar a un valor máximo a los 70 dds, valor que cambio para cada genotipo. Hacia el final del ciclo, la TCC entre genotipos, varió entre 250 y 640 $\text{mg}\cdot\text{día}^{-1}$. El valor mínimo fue para el genotipo SM y el valor máximo fue para el genotipo CP (Figura 12). Estos resultados coinciden con Russell *et al.*, (1984) quienes señalaron que la TCC se incrementa a través del tiempo para un cultivo dado; así mismo, coincidió con Ortiz (1991) en cuanto a que no todos los genotipos responden de igual manera al estímulo ambiental, ya que su respuesta esta determinada genéticamente.

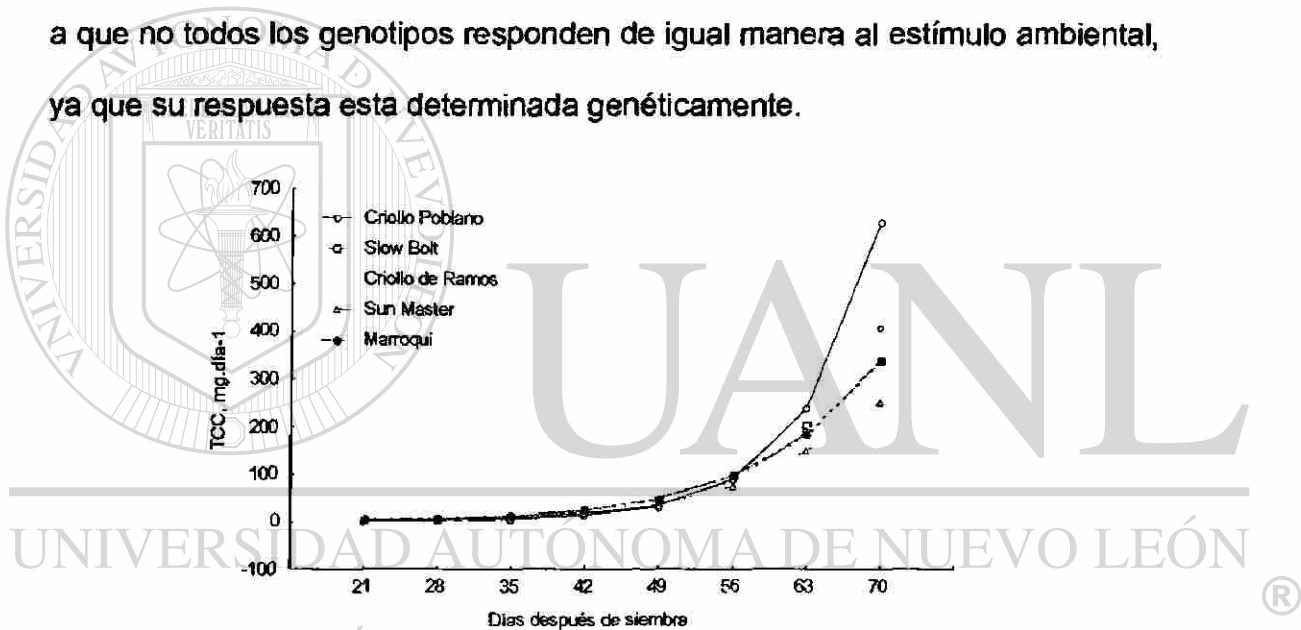


Figura 12. Tasa de crecimiento del cultivo en cinco genotipos de cilantro.

Tasa relativa de crecimiento. Este es un índice de eficiencia o productividad. El comportamiento clásico de la TRC es ir en decremento a partir de la emergencia. En la Figura 13 se pueden observar tres tipos de comportamiento, casi sin decremento a través del tiempo de los genotipos CP y CR, 2) disminución casi lineal del MA y 3) comportamiento típico de los genotipos SM y SB donde sostienen el valor de TRC a un mismo nivel para disminuir después de los 56 dds. Sin considerar el genotipo CP, los valores de

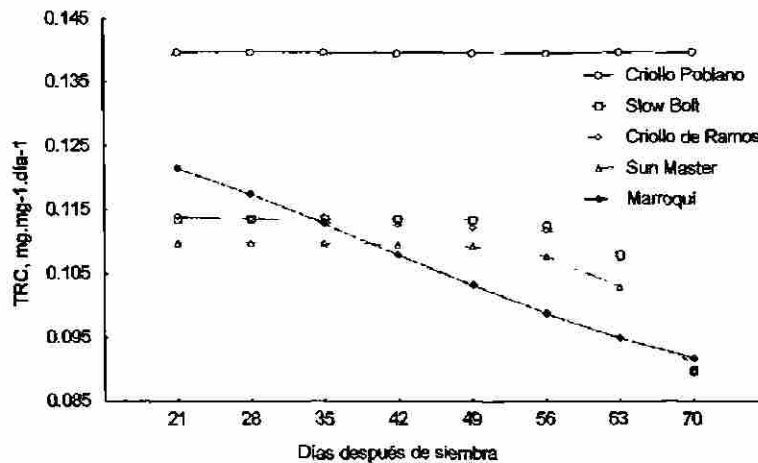


Figura 13. Tasa relativa de crecimiento en cinco genotipos de cilantro.

TRC estuvieron entre casi $0.125 \text{ mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ al inicio de las evaluaciones, hasta disminuir a un valor de $0.09 \text{ mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$. Estos resultados coinciden con los reportados por Causton (1991), quién al trabajar con col de bruselas y girasol, encontró que la TRC no cambió a través del tiempo aunque, en tomate y trigo si lo hizo. Los valores iniciales encontrados en girasol por Pérez *et al.*,

(1992) fueron diferentes a los encontrados en cilantro en este experimento aunque al final del periodo evaluado, los valores fueron similares. La tendencia de la TRC en cempoalxóchitl reportada por Serrato *et al.*, (1998) fue baja al principio del ciclo, alta hasta llegar a un máximo a mediados del ciclo y disminuyó hacia el final del mismo, un comportamiento diferente a la encontrada en cilantro. Extrañamente, el CP se comporta superior a los otros genotipos; esto puede ser debido a que es un material de floración precoz y por tanto de rápido crecimiento. Aunque esta característica no es deseable cuando el cilantro se siembra para cosechar el follaje. La disminución en los valores de la TRC encontrados para cilantro al final del ciclo, se explican porque con la edad

del cultivo, se hace cada vez menos la proporción de tejidos meristemáticos con respecto a los tejidos vasculares de protección, tal como lo citó Sivori *et al* (1980).

Tasa relativa de crecimiento foliar. Este es un índice de eficiencia de incremento del área foliar por unidad de material asimilatorio presente. Al considerar que en cilantro la parte económicamente importante es el follaje, el índice de TRCF es de los más importantes. Interesan valores altos y sostenidos durante la mayor parte del ciclo del cultivo, con lo cual se pueda obtener más producto comercial. Así, en la Figura 14 se observa que los cinco genotipos mostraron dicho comportamiento y que el genotipo MA (material que más se siembra en la región) presentó durante la mayor parte del ciclo del cultivo, un valor de $0.085 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ y fue superior al resto de los genotipos. El segundo mejor genotipo fue el SB con valor de $0.08 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$. El genotipo

CP presentó los valores menores de TRCF; es decir, fue poco eficiente para producir área foliar nueva a partir de área foliar ya existente. Estos resultados coinciden con los reportados por Poehlman (1986), en relación a que cuando una variedad o cultivo se introduce a una zona de producción, puede estar genéticamente menos adaptado que en la zona climática donde usualmente se produce.

Tasa de asimilación neta. Este índice refleja la eficiencia fotosintética de los materiales en estudio. En la Figura 15 se observa que hasta los 49 dds.

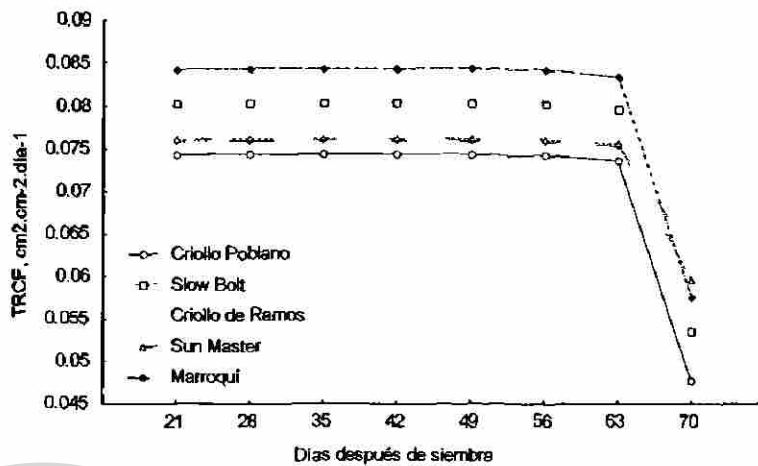


Figura 14. Tasa relativa de crecimiento foliar en cinco genotipos de cilantro.

las curvas de tendencia de cuatro genotipos son similares con valores de TAN entre 0.25 y 0.65 mg.cm⁻².día⁻¹. El genotipo CP en este mismo periodo es el menos eficiente. De los 56 dds (sexto muestreo) hasta el final del periodo de evaluación (octavo muestreo), el genotipo CP fue superior a los demás con un valor final de TAN de 3.0 mg.cm⁻².día⁻¹, superior en un 87.5 % al CR, que es el

segundo genotipo más eficiente y en un 400 % al MA que es el genotipo menos eficiente. Probablemente, porque el genotipo CP inició su floración antes que el resto de los genotipos; incrementando la demanda por fotosintatos, induciendo un incremento en la actividad fotosintética reflejándose en valores altos de TAN. Valores similares a los aquí reportados fueron encontrados por Pérez *et al.*, (1992) en girasol; valores muy diferentes fueron encontrados por Serrato *et al.*, (1998) al trabajar con cempoalxóchitl. El comportamiento de la TAN que se reporta en este trabajo con cilantro, es diferente al reportado por Medina y Bolívar (1993) para *Gypsophila paniculata*.

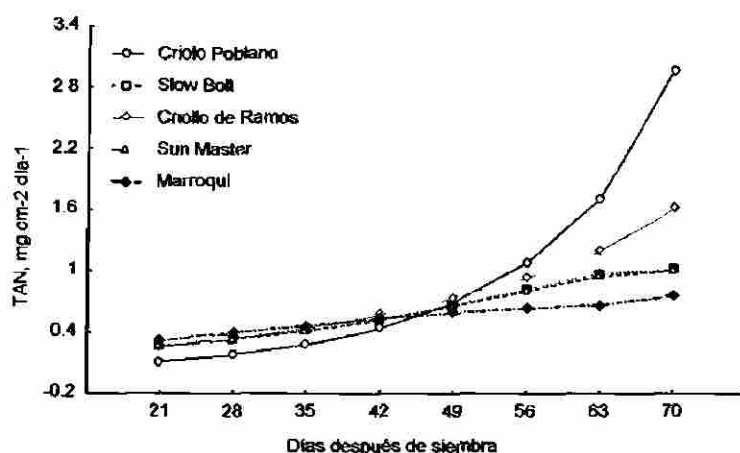


Figura 15. Tasa de asimilación neta en cinco genotipos de cilantro.

Duración de área foliar. Este índice se refiere a la persistencia del área foliar fotosintéticamente activa a través del tiempo; en el caso del cilantro, por el tipo de producto que se cosecha, al igual que la TRCF es también uno de los más importantes. En la Figura 16 se muestra la tendencia creciente de este índice; el genotipo MA fue superior al resto de los genotipos, seguido por el

genotipo SB. Todos los genotipos iniciaron con valores cercanos a cero; sin embargo, al final del período evaluado, el genotipo MA terminó con valores de casi $650 \text{ cm}^2 \cdot \text{día}^{-1}$ y fue superior en un 44 y 182 % a los genotipos SB y CP, respectivamente. Estos resultados permiten concluir que el genotipo MA puede tener un período de cosecha más amplio sin que el producto pierda su calidad; en cambio, en el genotipo CP al tener bajos valores de DAF, la planta se hace senescente más rápido y hay poco tiempo para realizar la cosecha del follaje.

Relación de área foliar. En la Figura 17 se presenta el comportamiento de este índice. Se observa que a través del tiempo, todos los materiales van decreciendo en su valor de RAF. En un principio, el genotipo CP fue superior a

los demás genotipos. Sin embargo, de los 49 dds y hasta los 70 dds todos los genotipos fueron superados por el genotipo MA.

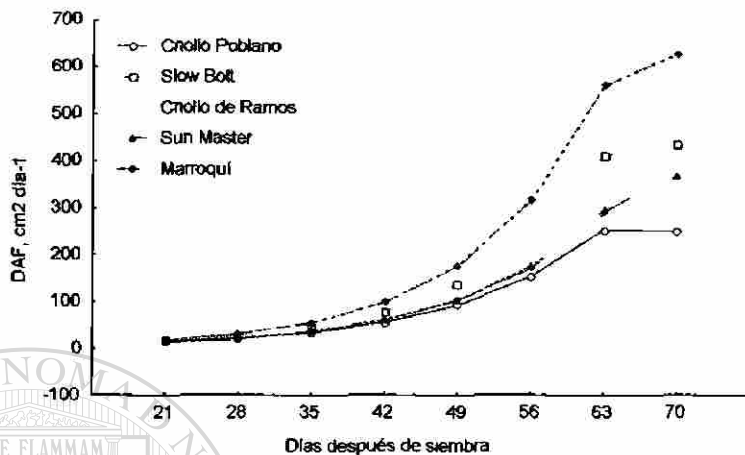


Figura 16. Duración de área foliar en cinco genotipos de cilantro.

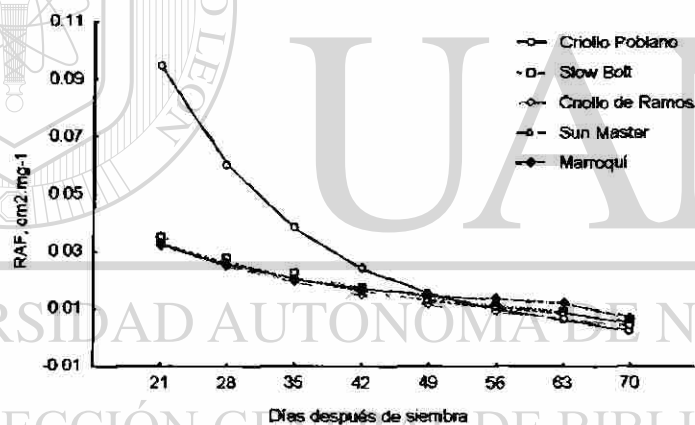


Figura 17. Relación de área foliar en cinco genotipos de cilantro.

4.3.6 Conclusiones

El modelo logístico específico para cilantro mostró un ajuste de R^2 entre 0.97 y 0.99 para describir el crecimiento matemático de esta hortaliza. El área foliar y el peso seco del cilantro guardan una relación lineal entre ellos. El patrón del crecimiento cuantitativo del cilantro depende del genotipo. Los

índices TCC (velocidad de crecimiento), TAN (eficiencia fotosintética) y DAF (duración del aparato asimilatorio) mostraron tendencia creciente a través del tiempo. La TRC (eficiencia para producir materia seca a partir de la ya existente) mostró tendencias variables entre genotipos. La TRCF (eficiencia para producir área foliar a partir de la ya existente) se mantuvo constante hasta los 63 dds y luego disminuyó. La RAF fue decreciente a través del tiempo. En función, principalmente de la TRCF y la DAF, el mejor genotipo para la producción comercial de follaje de cilantro es el Marroquí

4.3.7 Bibliografía

Ascencio, J. y J. E. Fargas. 1973. Análisis de crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. Turrialba-4) cultivado en solución nutritiva. Turrialba, 23 (4): 20-42.

Beadle, C. L. 1988. Análisis del crecimiento vegetal: *In*; Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad, J. Coombs, D. O. Hall, S. P. Long y J. M. O. Scurlok.

(eds). Editorial Futura, S.A. México. pp. 17-21.

Bidwell, R. G. S. 1974. Plant physiology. Macmillan Publishing Co. Inc. New York. 643 p.

Causton, D. R. 1991. Plant growth analysis: The variability of relative growth rate within a sample. *Annals of Botany* 67 (2): 137-144.

Clarke, J. M.; T. F. Towley-Smith; T. N. Mc Craig and D. G. Green. 1984. Growth analysis of spring wheat cultivars of varying drought resistance. *Crop Science* 24 (3) : 537-541.

Hedge, D. M. 1987. Growth analysis of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) in relation to soil moisture and nitrogen fertilization. *Scientia Horticulturae*: (33) 179-187.

Hernández C., C. 1994. Producción de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) en estaciones cálidas bajo diferentes frecuencias de riego y densidades de siembra. Tesis Profesional. UAAAN, Saltillo, México. 105 p.

Hunt, R. 1982. Plant growth analysis; second derivatives and compounded second derivatives of splinted plant growth curves. *Annals of Botany* 50: 317-328.

Little, M. T. and F. J. Hill. 1985. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. 1era edición. Anatolio de Paula Crespo (traductor). Ed. Trillas. 270 p.

Maeda M., C. 1986. Análisis de crecimiento. Un método para cuantificar el rendimiento de las plantas. Seminarios técnicos. PRONAPA-CIAN-INIFAP-SARH. 9 (5): 101-138.

Medina, A. y R. Bolívar. 1993. Análisis de crecimiento y acumulación de nutrientes de *Gypsophila paniculata* cv. Perfecta bajo condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá. Tesis de Maestro en Ciencias. Facultad de Ciencias, Univ. Nacional de Colombia. Santa Fé de Bogotá. Pp 85-98

Mohr, H. and P. Schopfer. 1995. Plant physiology. Springer – Verlag, Berlin. Heidelberg, New York. 659 p.

Ortiz C., J. 1991. Aspectos históricos y justificación del área de fisiotécnica del centro de genética en el colegio de postgraduados. *Fitotecnia* 14: 89-95.

Pérez G., F. y J. B. M. Laborde. 1994. *Introducción a la fisiología vegetal*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 228 p.

Pérez N., J.; M. V. Cágal y C. R. Zavaleta. 1992. Análisis de crecimiento y su relación con el rendimiento económico en girasol (*Helianthus annuus* L). Chapingo serie Horticultura 16 (77): 48-51.

Poehlman, J. M. 1986. *Mejoramiento genético de las cosechas*. Ed Limusa, Méx. 453 p.

Radford, P. J. 1976. Growth analysis formulae – Their use and abuse. *Crop Science*: 3 (7): 171-175.

Rojas G., M. 1979. *Fisiología vegetal*. Mc Graw-Hill de México S.A. de C.V. México. 262 p.

Russell, M. P.; W. W. Wilhelm; R. A. Olson and J. F. Power. 1984. Growth analysis based on degree days. *Crop Science* 24: 28-32.

SAGAR. 1995. *Anuario estadístico*. Dirección de Estadística y Cálculo de México. 253 p.

Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. *Fisiología vegetal*. 1era edición. Virgilio González V. (traductor), Grupo Editorial Iberoamericano S.A. de C.V. México. 759 p.

Semato, C.; O. G. Juárez y V. A. G. Hernández. 1998. Análisis de crecimiento y evolución bajo domesticación en dos especies de cemoalxóchitl. Chapingo, Serie Horticultura. 4 (2): 75-82.

Sivori, M. E.; E. R. Montaldi y O. H. Caso. 1980. *Fisiología vegetal*. ED Hemisferio Sur S A. Buenos Aires, Argentina. 680 p

Solórzano V., E.; C. J. Ortiz y O. L. Mendoza. 1982. Análisis de crecimiento en haba (*Vicia faba* L) Agrociencia: 103-106.

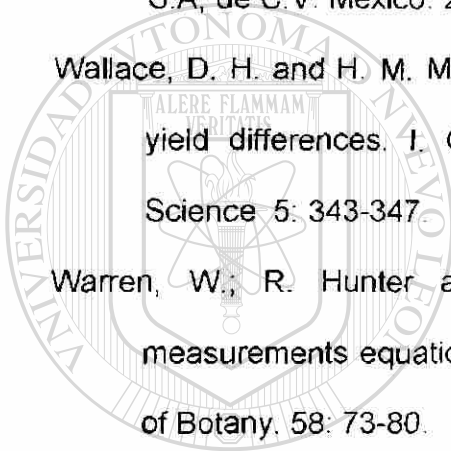
Taiz, I. and E. Zeiger. 1991 Plant physiology. The Benjamin Cummings publishing Co. Inc Redwood City, Cal., U.S.A. 559 p

Valverde, E. y M. V Sáenz. 1985. Análisis de crecimiento del chayote (*Sechium edule* Sw.). Turrialba 35 (4). 395-402.

Valadez, A. 1990. Producción de hortalizas. Noriega editores, Editorial Limusa, S.A, de C.V. México. 298 p.

Wallace, D. H. and H. M. Munger. 1985. Studies of the physiological basis for yield differences. I. Growth analysis of six dry bean varieties. Crop Science 5: 343-347.

Warren, W.; R. Hunter and D. Hand. 1986. Philosophical aspects of measurements equations and inferences in plant growth studies. Annals of Botany. 58: 73-80.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

4.4 Variación hormonal endógena en dos genotipos de cilantro por efecto del fotoperíodo y la temperatura

Effects of photoperiod and temperature on hormonal endogen variation in two genotypes of coriander

4.4.1 Resumen.

En el Noreste de México, en las siembras de primavera-verano, el principal problema para producir cilantro es el "punteo prematuro", se tiene evidencia que es un proceso fotomorfogénico que ocasiona un cambio hormonal endógeno provocado a su vez por efectos de la temperatura y el fotoperíodo. Por ello, tres ambientes de producción y cuatro genotipos de cilantro se evaluaron en el Noreste de México, con el objetivo de determinar la variación hormonal endógena, a través del tiempo, de giberelinas, auxinas y citocininas. Los resultados mostraron tendencia ascendente de las giberelinas y de las citocininas y descendente de las auxinas, durante el período muestreado. Con el incremento de temperatura las giberelinas y las citocininas se incrementan; las primeras, inducen el punteamiento en las plantas de cilantro y las citocininas parecen no influir en dicho proceso. Con la reducción del fotoperíodo se incrementan las auxinas y se retrasa el punteamiento en los genotipos Marroquí y Sun Master

Palabras Clave: **cilantro, genotipos, temperatura, fotoperíodo, hormonas.**

4.4.2 Summary

One of the major problems on coriander production is the premature flowering during the spring – summer season. Apparently, this problem is due to the changes in temperature and photoperiod and their effects on hormonal balance. The main aim of this study was to understand and to quantify the variation on four genotypes of coriander endogenous hormones: gibberellins, auxins and cytokinins, under three different conditions of temperature and photoperiod. The results showed that gibberellins increased through the growing season, meanwhile auxins and cytokinins decreased. Gibberellins and cytokinins increased with the temperature. Apparently, the premature flowering is promoted by the gibberellins, with no apparent effect of the cytokinins. By decreasing the photoperiod, the auxins increased and delayed the early flowering in the genotypes Marroqui and Sun Master.

Key words: **coriander, genotypes, temperature, photoperiod, plant hormones.**

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

4.4.3 Antecedentes

En el Noreste de México, en las siembras de primavera-verano, el principal problema en la producción de cilantro es el “punteo prematuro” (primer síntoma visible de la floración), cuyas consecuencias pueden ser tan graves que es preferible no cosechar el producto; sin embargo, en esta época, el precio medio rural del cilantro es superior en 100 % comparado con el precio de

invierno (Reyes, 2000). Este problema puede ser un proceso fotomorfogénico provocado por el fotoperíodo largo y las altas temperaturas que ocasionan un cambio en la concentración hormonal endógena. Los fitoreguladores están involucrados en el control del crecimiento y la diferenciación y actúan en la regulación de actividades fisiológicas (Taiz y Zeiger, 1991; Gutiérrez y Larqué, 1996; Gaspar *et al.*, 1996; Arshad y Frankenberger, 1998). En *Tanacetum cincerariaefolium*, Brown y Menary (1994) encontraron que la concentración de giberelinas fue más del doble, 30 a 40 días después de iniciado el tratamiento inductivo a floración, con valores de 35 a 70 ηg de giberelina por gramo de materia seca durante el periodo de la elongación del tallo. La concentración de giberelinas en las plantas control no varió durante el periodo muestreado. En plantas inducidas y no inducidas, la concentración de giberelinas tuvo tendencia ascendente. La concentración de AIA en plantas inducidas, a los 30 y 40 días después de iniciado el tratamiento inductivo, fue de 180 y 190 ηg de AIA por

gramo de materia seca y fue consistentemente más baja que en plantas no inducidas, cuyas concentraciones fueron de 250 a 300 ηg . En las plantas inducidas, la tendencia del AIA fue a disminuir mientras que en las no inducidas fue a incrementarse. Para el caso de las citocininas, no se detectaron diferencias significativas en las concentraciones entre las plantas inducidas y las no inducidas. En ambos casos, los niveles de concentración variaron entre 14.3 a 25.4 y 15.9 a 29.5 ηg de citocininas por gramo de materia seca, respectivamente.

En algunas especies con crecimiento inicial en roseta, las giberelinas se han incrementado cuando se aplican exógenamente y reemplazan las necesidades de inducción para floración (Pharis y King, 1985). Está bien establecido que en plantas en roseta, como *Silene armeria*, los cambios en los niveles de giberelinas están involucrados en la elongación del tallo inducido por el fotoperíodo (Talon y Zeevaart, 1990). Así, Davies *et al.* (1986) y Rood *et al.* (1986) reportaron que al incrementar el fotoperíodo se incrementan los niveles de giberelinas en la mayoría de las plantas de día largo, presumiblemente como resultado de la percepción de la longitud de onda por el fitocromo. Lee *et al.* (1998), al trabajar con plántulas de sorgo, encontraron que los niveles de giberelinas se reducen al pasar el fotoperíodo de 10 a 18 horas de luz y variaron de 190 a 2 ng g^{-1} de peso seco. *Agrostemma githago*, planta de día largo con crecimiento inicial en roseta, retiene su hábito de crecimiento en roseta bajo días cortos; en cambio, cuando plantas de esta especie fueron

transferidas a día largo, ocurrió la elongación del tallo y se observaron grandes incrementos en los niveles de giberelinas antes de dicha elongación, pasando de 20 a 100 ng g^{-1} de materia seca (Jones y Zeevaart, 1980). Plantas de *Boronia megastigma* fueron expuestas a bajas temperaturas y días cortos para promover su desarrollo floral; se encontró que la diferenciación de la yema floral estuvo asociada con disminución en la concentración de giberelinas e incrementos en las citocininas. Las giberelinas disminuyeron de 6.6 a 4.4 ng g^{-1} de materia seca y las citocininas (di – hidroxizeatina) se incrementaron de 23 a 30 ng g^{-1} de materia seca (Roberts *et al.*, 1991).

Sobre la base de lo anterior, en este trabajo se planteó el objetivo de determinar la variación en la concentración hormonal endógena por efecto del fotoperíodo y la temperatura en dos genotipos de cilantro.

4.4.4 Metodología

Esta investigación fue realizada en el periodo septiembre-diciembre de 1998 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, donde tres ambientes de producción (factor A) y cuatro genotipos de cilantro (factor B) fueron establecidos en un diseño experimental de bloques al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas. Los niveles del factor A (parcela grande) fueron: testigo o ambiente normal (Normal) con 18.1 °C de temperatura promedio y 11:55 horas de fotoperíodo, ambiente con incremento de temperatura (Temp) con 27.4 °C de temperatura promedio y mismo fotoperíodo y ambiente con fotoperíodo reducido en 3.0 horas (Foto) con 18.1 °C de temperatura promedio y 8:55 horas de fotoperíodo. Los niveles del factor B (parcela chica) fueron: Criollo de Ramos (CR), Marroquí (MA), Sun Master (SM) y Slow Bolt (SB). Las dimensiones de la parcela grande fueron 6.5 m de longitud y 1.1 m de ancho, mientras que la parcela chica constó de 1.2 m de longitud y 1.1 m de ancho. Como parcela útil se consideraron tres metros lineales por tratamiento para realizar los muestreos de material vegetal que consistieron de hojas de la parte media de la planta en relación a su altura. Cada unidad experimental constó de seis surcos a 20 cm de separación entre ellos y un metro de longitud. La Metodología fue la siguiente.

1. El terreno se barbecho, se aplicó estiércol (el equivalente a $40 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) al voleo y se incorporó con un paso de rastra. Se formaron las camas de siembra con longitud de 19 m, ancho de 1.10 m y altura de 15 cm.
2. El sistema de riego fue por goteo (cintilla T-tape con goteros a 30 cm de separación entre ellos). Se regó cada tercer día por 3.5 horas.
3. La semilla, equivalente a $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, se pesó en balanza granataria y fue depositada en sobres de papel. Se hicieron surcos de media pulgada de profundidad y se sembró a "chorrillo", el 6 de septiembre de 1998, colocando la semilla de manera uniforme y se tapó con tierra.
4. Los microtúneles se colocaron al día siguiente de la siembra, los extremos de los arcos de alambazón se insertaron 20 cm en el suelo, con lo cual la altura de cada microtúnel fue de 70 cm. Sobre los arcos se colocaron las películas de polietileno (42μ de espesor), se extendieron, se amarraron los extremos a una estaca clavada en el suelo y con hilo de rafia se fijaron las películas a los arcos de alambazón.
5. En el tratamiento Temperatura, el microtúnel fue cubierto con dos películas de polietileno transparente. Dentro de éste, para el registro diario de temperatura, se colocó un termómetro de máximas y mínimas. En el tratamiento Fotoperíodo, el microtúnel fue cubierto con dos películas de polietileno color negro.
6. En el tratamiento Temperatura la película estuvo colocada día y noche; en cambio, en aquellos donde el objetivo fue disminuir el fotoperíodo la película se colocaba al oscurecer y se retiraba 3.0 horas después de la salida del sol.

7. Los microtúneles fueron retirados del experimento a los 70 días después de siembra (dds), porque las plantas ya estaban en contacto con la película de polietileno.

Para la determinación de la concentración endógena de giberelinas, citocininas y auxinas, se muestrearon hojas en plantas de cilantro iniciando a los 24 dds y continuando cada cinco días hasta completar cuatro muestreos. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico, se congelaron en refrigerador a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y posteriormente fueron liofilizadas. Las muestras así preparadas, previamente pulverizadas, fueron colocadas en frascos de plástico y almacenadas en el congelador en espera de ser analizadas. De los tratamientos en estudio se muestrearon seis y fueron los siguientes:

- 1).- Genotipo Marroquí (MA) sembrado en ambiente Normal.
- 2).- Genotipo Marroquí (MA) sembrado en ambiente con incremento de temperatura (Temp).
- 3).- Genotipo Marroquí (MA) sembrado en ambiente con reducción de fotoperíodo (Foto).
- 4).- Genotipo Sun Master (SM) sembrado en ambiente Normal.
- 5).- Genotipo Sun Master (SM) sembrado en ambiente con incremento de temperatura (Temp).
- 6).- Genotipo Sun Master (SM) sembrado en ambiente con reducción de fotoperíodo (Foto).

Determinación de giberelinas.

Extracción. El procedimiento fue una modificación del método de Crozier *et al.* establecido en 1969. El metanol se empleó como solvente para una extracción adecuada de hormonas endógenas. Un gramo de muestra, liofilizada y pulverizada, se colocó en 50 cm³ de metanol al 80% y se congeló durante toda la noche (12 horas, aproximadamente). Pasado este período de tiempo, se filtró el extracto a través de papel Whatman No.1; se volvió a congelar por 2 horas en metanol al 100% repitiendo la filtración y congelación en metanol al 100% una vez más, se evaporó el metanol del extracto en el evaporador rotatorio a una temperatura de 50° C.

Purificación. El primer paso permitió la obtención de hormonas en solución a través de la separación de impurezas, empleando para ello una

cápsula para preparación rápida de muestras (Florisil Cartridges, Waters Associates, Milford, Mass. EEUU). Los pasos realizados fueron los siguientes:

- a) Se insertó la cápsula de sílica gel en una jeringa sin aguja.
- b) Se mojó la cápsula con cinco cm³ de metanol al 100 %.
- c) Se mojó dos veces con cinco cm³ de ácido acético al 5 %.
- d) Se suspendió la muestra con solución Buffer pH 3.0 (sol. A = 28 g.L⁻¹ de Na₂ HPO₄; sol. B = 21.01 g.L⁻¹ de ácido cítrico. Se tomaron 4.11 cm³ de A y 15.89 cm³ de B, aforando a 100 cm³).
- e) Se montó la muestra en la cápsula.

f) Elusión: Se atravesó la cápsula con 5 cm³ de ácido acético al 5 % eliminando el líquido resultante, se agregó 5 cm³ de agua destilada; posteriormente, se eliminó el líquido resultante; se capturaron las hormonas en solución con metanol al 75% (unos 20 cm³). Se evaporó el metanol de la solución de hormonas usando el evaporador rotatorio; el residuo se diluyó en acetona - metanol (v/v) y se desecó en baño maría.

El segundo paso para la purificación de giberelinas fue emplear la técnica de cromatografía de capa fina que consistió en pesar 35 g de sílica gel (GF₂₅₄ tipo 60 de Merck) disueltos en 75 cm³ de agua destilada, colocando dicho material sobre las placas de vidrio a un espesor de 0.3 mm, mediante un aparato previamente calibrado. Las placas se dejaron secar toda la noche y pasado este tiempo, se montaron las muestras diluidas en acetona - metanol, con ayuda de una micro pipeta pasteur. Las placas fueron reveladas en un

tanque de vidrio con isopropanol:amoníaco:agua (10:1:1), durante un periodo de 4 horas. Se trazaron 10 zonas longitudinales (paralelas a la zona de montaje de la muestra), las cuales constituyen los R_f, fueron raspados y colocados por separado en un tubo de centrifuga, agregando acetona - metanol a cada uno. Se centrifugaron dos veces durante dos minutos, guardando el sobrenadante en un tubo de ensaye por separado. El sobrenadante fue evaporado en Baño María a 50 °C y el residuo diluido en acetona - metanol para su uso en el bioensayo.

Bioensayo del hipocótilo de lechuga. Este bioensayo constituye una modificación del método de Frankland y Wareing en 1960. Consistió en poner a germinar semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L. cv. Great Lakes), en cajas de petri con papel filtro humedecido en agua destilada, bajo luz continua por 24 horas, a 23 °C. Se seleccionaron 10 semillas germinadas de modo uniforme para cada Rf; se colocaron en cajas de petri pequeñas conteniendo los Rf en solución (previamente evaporado en acetano - metanol) con 1 cm³ de agua destilada. En otras cajas de petri se colocó 1 cm³ de soluciones estándar de ácido giberélico, 10⁰, 10⁻¹, 10⁻² y 10⁻³ M, respectivamente; se espera un tiempo para dejar secar, además, a un control se agrega solamente 1 cm³ de agua destilada. Las semillas se incubaron por 48 horas bajo luz continua a 23 °C. Se midió la longitud del hipocótilo de lechuga (mm) en las 10 semillas de cada caja petri.

Cuantificación. La cuantificación de giberelina libre presente en las muestras se obtuvo a través de la construcción de una curva de calibración a partir de las soluciones estándar de ácido giberélico. Las medias significativas de los Rf se localizaron en dicha curva; la cantidad correspondiente se sumó y transformó a µg que equivalen al ácido giberélico por gramo de peso seco de las muestras. Para obtener la significancia de las medias se hizo un análisis estadístico, que consistió en obtener una diferencia mínima significativa a partir de la media del control, a la cual se le restó una sumatoria de rangos, multiplicada por un factor crítico, el cual fue obtenido de una tabla de permisiones de una sola clasificación; la cifra obtenida proporciona la diferencia

entre totales a una significancia del 1%. La diferencia es entonces dividida por N, para dar la diferencia mínima significativa (DMS). La expresión empleada por Ramírez (1979) fue:

$$DMS = x_{\text{control}} - \Sigma R(FC) / N$$

Donde:

ΣR = sumatoria de rangos

FC = Factor crítico

N = Número de observaciones

Determinación de auxinas.

Extracción. El procedimiento de extracción de auxinas fue igual que aquel utilizado para extraer giberelinas libres.

Purificación. El primer paso de purificación de auxinas permitió la obtención de hormonas en solución a través de la separación de impurezas, empleando una cápsula para preparación rápida de muestras (Florisil Cartridges, Waters Associates, Milford, Mass. EEUU). Los pasos fueron los siguientes:

1. Se acondicionó la cápsula dos veces con 5 cm³ de metanol 100 %.
2. Se agregaron 5 cm³ de agua destilada pH 3.0
3. Se montó la muestra con agua destilada pH 3.0
4. Se recuperaron las hormonas con cloroformo. Se evaporó en evaporador rotatorio, con agua a 50 °C.

El segundo paso del procedimiento de purificación (cromatografía de capa fina) fue igual a lo realizado para giberelinas.

Bioensayo con segmentos de hipocótilo de trigo.

1. Consistió en poner a germinar por 48 horas semillas de trigo en un recipiente con arena de sílica humedecida con agua de llave. Se germinó en oscuridad.
2. Se preparó la siguiente solución: a) 3.4 g de K_2HPO_4 en 100 ml de agua destilada y b) 2.1 g de ácido cítrico en 100 ml de agua destilada. Para preparar la solución a agregar en las cajas petri, se tomó de "a" 10.3 ml y de "b" 9.7 ml y se diluyó en 200 ml de agua destilada. Se agregó a cada caja petri 3.0 cm^3 y se dejó secar.
- 3.- En un cuarto iluminado con luz verde se cortaron con microtomo segmentos de hipocótilo de cinco mm de longitud, colocándose 10 en cada caja petri, se agregó un cm^3 de agua destilada.
- 4.- Se incubó en oscuridad por 24 horas y después se midió la longitud de cada hipocótilo.
- 5.- Se colocaron por separado 10 segmentos de hipocótilos de trigo en caja petri por cada solución estándar de auxina (10^0 , 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}) y control, para construir la curva de calibración.

Cuantificación. La cuantificación de auxinas presente en las muestras fue obtenida a través de la construcción de una curva de calibración a partir de las soluciones estándar de auxinas. La medias significativas de los Rf fueron localizadas en dicha curva, y la cantidad correspondiente fueron sumadas y

transformadas a ng que equivalen a la auxina por gramo de peso seco de las muestras. Para obtener la significancia de las medias se hizo un análisis estadístico, que consistió en obtener una diferencia mínima significativa a partir de la media del control, a la cual se le restó un factor crítico, que fue obtenido de una tabla de permisiones de una sola clasificación; la cifra obtenida proporcionó la diferencia entre totales a una significancia del 1%. La expresión matemática usada fue:

$$DMS = FC - Xc$$

Donde:

DMS = Diferencia mínima significativa al 1 %.

FC = Factor de corrección.

Xc = Media del control.

Sí el valor del Rf fue mayor que el valor de DMS la media fue significativa. La cantidad de auxina presente se determina en la curva de calibración, al sumar

el valor de cada Rf se obtuvo el total de auxina presente en la muestra.

Determinación de citocininas.

Extracción. El procedimiento de extracción de citocininas fue igual que aquel utilizado para extraer giberelinas libres y auxinas.

Purificación. El primer paso del procedimiento de purificación de citocininas permitió la obtención de hormonas en solución a través de la separación de impurezas, empleando una cápsula para preparación rápida de

muestras (Florisil Cartridges, Waters Associates, Milford, Mass. EEUU). Los pasos fueron los siguientes.

1. Se acondicionó la cápsula dos veces con 5 cm³ de metanol 100 %
2. Se agregaron 5 cm³ de agua destilada pH 5.7
3. Se montó la muestra con agua destilada pH 5.7
4. Se lavó dos veces la cápsula con cinco cm³ de agua destilada pH 5.7
5. Se recuperaron las hormonas con metanol y agua destilada pH 5.7 con las siguientes concentraciones: 10, 30, 50, 70 y 100 %. Se evaporó en evaporador rotatorio con agua a 50 °C.

El segundo paso del procedimiento de purificación (cromatografía de capa fina) fue igual a lo realizado para giberelinas y auxinas.

Bioensayo con hojas cotiledonales de amaranto.

1. En cajas de petri de 15 cm de diámetro con doble papel filtro, se pusieron a germinar en oscuridad semillas de amaranto por 72 hr
2. En un cuarto iluminado con luz verde, se separó la cubierta de la semilla, se cortaron las hojas cotiledonales y se colocaron 10 pares de ellas en cada caja petri conteniendo los Rf en solución.
3. En oscuridad, se incubaron por 24 hr. Posteriormente las hojas cotiledonales se colocaron en vasos de precipitado con agua destilada y se pusieron en el congelador por 4 hr. Después de este tiempo, se sacaron los vasos del congelador y se pusieron en baño de agua caliente para descongelar con el fin de que las hojas suelten el color (citocininas). Se repitió lo anterior tres veces

4. Se recuperó la solución y se leyó en el espectrofotómetro a densidad óptica de 542 y 620 nm

Quantificación. La cuantificación de citocininas presente en las muestras se obtuvo a través de la construcción de una curva de calibración de las soluciones estándar de citocininas. Las medias significativas de los Rf se localizaron en dicha curva, y la cantidad correspondiente se sumó y transformó a ηg que equivalen a la citocinina por gramo de peso seco de las muestras.

4.4.5 Resultados y discusión

Giberelinas. En la Figura 18 se observa que durante el periodo muestreado, la tendencia de las giberelinas endógenas fue ascendente tanto entre genotipos como en los ambientes de producción. Esta tendencia coincide con la encontrada por Brown y Menary (1994) al trabajar con *Tanacetum*

cincerariaefolium y con Jones y Zeevaart (1980) al trabajar con *Agrostema githago*, aunque se contrapone con lo encontrado por Roberts *et al.* (1991) al trabajar con *Boronia megastigma* y con Lee *et al.* (1998) al trabajar con sorgo.

Las primeras son plantas de día largo y las segundas son plantas de día corto; con esto, aún y cuando la literatura no lo consigna, es posible que el cilantro sea planta de día largo. Por otra parte, el efecto por incremento de temperatura parece no depender del genotipo, ya que tanto en el genotipo Marroquí como en el Sun Master, se incrementó la concentración de giberelinas (2.69 y 2.19 $\eta\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) durante el periodo muestreado, al compararse a la concentración de esta hormona encontrada en plantas creciendo en ambiente normal (1.39 y 1.69

$\eta\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$); es decir, un incremento en la concentración de giberelinas endógenas del 93.5 y 29.5 % en el genotipo Marroquí y Sun Master, respectivamente. El incremento en la concentración de este fitoregulador, resultó en 4 y 5 días de adelanto en el punteamiento de plantas de cilantro (Cuadro 8); con lo cual, se corroboró lo citado por Taiz y Zeiger (1991), Gutiérrez y Larqué (1996) y por Arshad y Frankenberger (1998), quienes citaron que los fitoreguladores están involucrados en el control del crecimiento y la diferenciación.

Con respecto al efecto por reducción del fotoperíodo, en la Figura 18, los resultados indicaron que al inicio del período muestreado hay disminución en la concentración de giberelinas endógenas al pasar de 1.12 y 0.66 $\eta\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ en el ambiente normal a 0.22 y 0.12 $\eta\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ en el ambiente con reducción del fotoperíodo, en los genotipos Marroquí y Sun Master respectivamente; es decir, aproximadamente un valor inferior en un 80 % en la concentración de giberelinas endógenas en ambos genotipos. Esta reducción resultó en que las

plantas de cilantro de los genotipos Marroquí y Sun Master, retrasaron su punteamiento en 14 y 16 días, respectivamente (Cuadro 8). Estos resultados coinciden con los reportados por Davies *et al.* (1986) y por Rood *et al.* (1986) quienes reportaron que al reducir el fotoperíodo se reducen los niveles de giberelinas en la mayoría de las plantas de día largo; mismo caso, que parece ser el del cilantro.

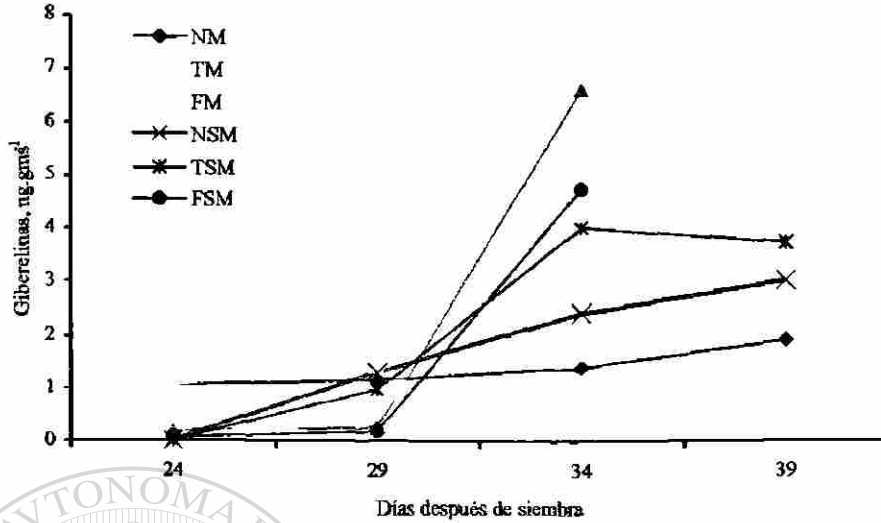


Figura 18. Variación en la concentración endógena de giberelinas por efecto del ambiente de producción en los genotipos Marroquí (M) y Sun Master (SM). N = ambiente de producción normal, T = ambiente de producción con incremento de temperatura, F = ambiente de producción con reducción del fotoperíodo.

Cuadro 8. Días a punteo en dos genotipos de cilantro por efecto de la temperatura y del fotoperíodo. Los valores son promedio de tres repeticiones con su error estándar.

AMBIENTE	GENOTIPO	DÍAS A PUNTEO
Normal	Marroquí	81±1.73
	Sun Master	82±1.00
Inc. de Temp.*	Marroquí	77±1.00
	Sun Master	77±1.00
Red. del Foto. **	Marroquí	95±1.00
	Sun Master	98±1.00

*incremento de temperatura **reducción del fotoperíodo

Las concentraciones de giberelinas reportadas en este trabajo son muy similares a las reportados por Roberts *et al.* (1991) quienes al trabajar con *Boronia megastigma* reportaron concentraciones de 6.6 y 4.4 $\eta\text{g g}^{-1}$; en cambio, varían considerablemente a los valores reportados por Brown y Menary (1994), quienes citaron concentraciones entre 30 y 70 $\eta\text{g.g}^{-1}$ en *Tanacetum cincerariaefolium* y por los reportados por Jones y Zeevaart (1980), quienes en *Agrostema githago* reportaron valores entre 20 y 100 $\eta\text{g.g}^{-1}$ en plantas bajo condiciones inductivas para floración.

Auxinas. Al analizar el periodo muestreado (Figura 19) se observa que la tendencia en la concentración de auxinas endógenas (AIA) fue descendente a través del tiempo tanto entre genotipos como entre ambientes de producción. Esta tendencia coincide con la reportada por Brown y Menary (1994) para *Tanacetum cincerariaefolium* en plantas inducidas a floración. Al revisar el efecto del incremento en temperatura, se observó que la concentración de AIA fue mayor en las plantas creciendo en este ambiente, en comparación con aquellas que crecieron en ambiente normal. En el primer caso, las concentraciones promedio fueron de 4.22 y 2.99 $\eta\text{g.g}^{-1}$ en los genotipos Marroqui y Sun Master, respectivamente; en cambio, en el ambiente normal fueron de 1.26 y 1.79 $\eta\text{g.g}^{-1}$ para los mismos genotipos. La mayor concentración de AIA en plantas de cilantro creciendo en ambientes donde se incremento la temperatura, no le ayudó a estas plantas a retrasar el punteamiento (Cuadro 8), probablemente porque también se incrementaron las

concentraciones de giberelinas; lo cual, hizo que predominaran los procesos de diferenciación sobre los procesos de crecimiento vegetativo.

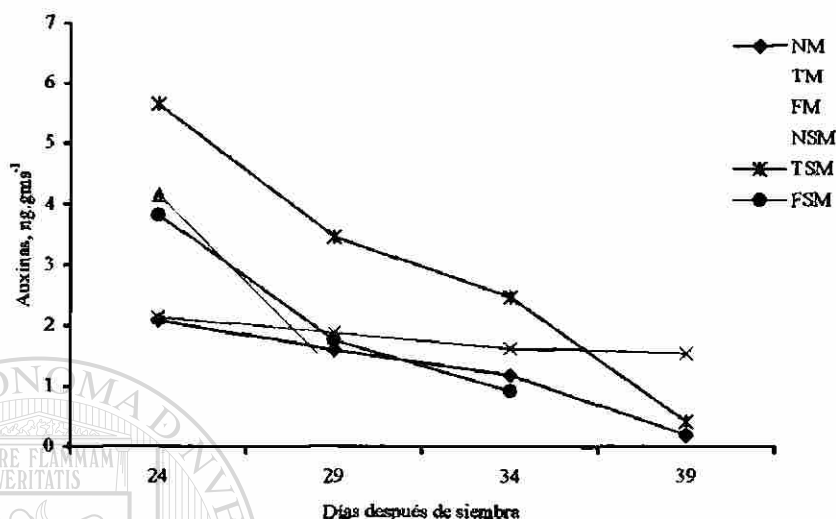


Figura 19. Variación en la concentración endógena de auxinas por efecto del ambiente de producción en los genotipos Marroquí (M) y Sun Master (SM). N = ambiente de producción normal, T = ambiente de producción con incremento de temperatura, F = ambiente de producción con reducción del fotoperíodo.

En relación al efecto por reducción del fotoperíodo, en la Figura 19 se observa que a los 24 dds, la concentración de AIA fue mayor en un 99.5 y 79.8 % en los genotipos Marroquí y Sun Master, respectivamente, en comparación con la concentración de AIA en plantas creciendo en ambiente normal. La mayor concentración de AIA en plantas de cilantro creciendo en ambientes donde se disminuyó el fotoperíodo le ayudó a estas plantas a retrasar el punteamiento (Cuadro 8), probablemente porque las giberelinas disminuyeron su concentración en este mismo período; lo cual, hizo que predominaran los procesos de crecimiento vegetativo sobre los procesos de diferenciación. Los valores de AIA reportados en este trabajo difieren considerablemente a los

citados para *Tanacetum cincerariaefolium* en plantas inducidas a floración con niveles que variaron de 180 a 190 $\eta\text{g.g}^{-1}$.

Citocininas. Durante el período muestreado, la tendencia de las citocininas endógenas fue ascendente, tanto entre genotipos como entre ambientes de producción (Figura 20). Esta tendencia coincide con la citada por Brown y Menary (1994) y por Roberts *et al.* (1991), quienes al trabajar con *Tanacetum cincerariaefolium* y *Beronia megastigma*, observaron el mismo comportamiento. Al considerar que tanto entre genotipos como entre ambientes de producción el comportamiento ascendente de las citocininas es muy homogéneo; así como los valores similares en cada fecha de muestreo (por ejemplo valores de 0.0022 a 0.0014 $\eta\text{g.g}^{-1}$ a los 24 dds), hace pensar que en el caso del cilantro, es probable que las citocininas endógenas no tengan participación activa en la inducción o retraso en los días a punteamiento. Esto

se apoya en lo citado por Brown y Menary (1994), quienes reportaron que en la concentración de citocininas no hubo diferencias significativas entre plantas inducidas y no inducidas. Estos autores reportaron valores entre 14.3 y 29.5 $\eta\text{g.g}^{-1}$ y variaron considerablemente a los valores reportados en este trabajo que variaron de 0.0012 a 0.0026 $\eta\text{g.g}^{-1}$.

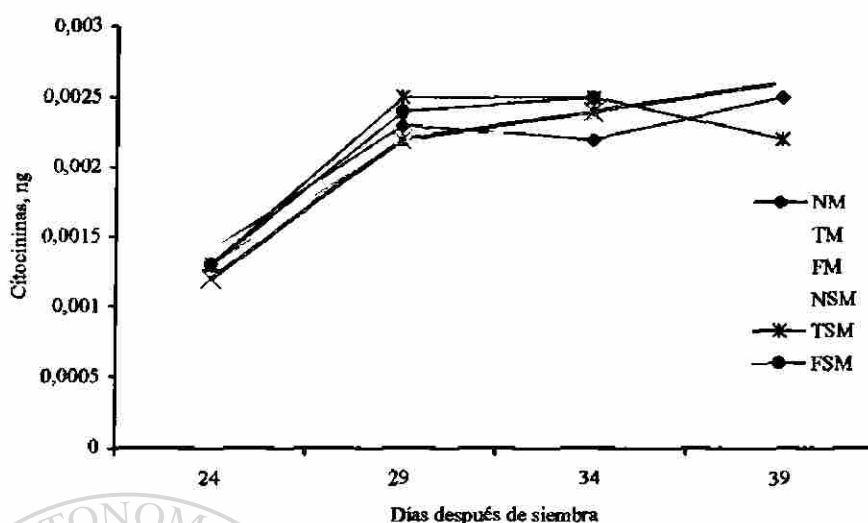


Figura 20. Variación en la concentración endógena de citocininas por efecto del ambiente de producción en los genotipos Marroquí (M) y Sun Master (SM). N = ambiente de producción normal, T = ambiente de producción con incremento de temperatura, F = ambiente de producción con reducción del fotoperíodo.

4.4.6 Conclusiones

Durante la diferenciación floral, la concentración de giberelinas y citocininas endógenas mostraron tendencia creciente; en cambio, las auxinas disminuyeron. Con el incremento de temperatura se incrementaron las giberelinas y las citocininas y se adelantó el punteamiento. Con la reducción del fotoperíodo se incrementaron las auxinas y se retrazo el punteamiento. La concentración de giberelinas y auxinas se incrementó en mayor proporción en el genotipo Marroquí (93.5 y 238 %) que en el Sun Master (29.5 y 67 %), por el incremento de temperatura. La concentración de estas hormonas por reducción del fotoperíodo se incremento entre 80 y 100 % en ambos genotipos. La concentración de citocininas en los genotipos Marroquí y Sun Master fue

Jones, M. G. and J. A. D. Zeevaart. 1980. Gibberellins and the photoperiodic control of stem elongation in the long day plant *Agrostemma githago* L. *Planta* 149: 269 – 273.

Lee, I. J.; K. R. Foster and P. W. Morgan. 1998. Photoperiod control of gibberellin levels and flowering in sorghum. *Plant Physiology*, 116: 1003 – 1011

Pharis, R. P. and R. W. King. 1985. Gibberellins and reproductive development in seed plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 36: 517 – 568.

Ramírez R., H. 1979. Effects of growth substances on some physiological processes in apple in relation to flower initiation. Thesis PhD. University of Bristol, UK. 192 pp.

Reyes, H. 2000. Productor y Comercializador de Cilantro en el Noreste de México. Comunicación Personal.

Roberts, N. J.; R. C. Menary and P. J. Hoffman. 1991. Plant growth substances in *Boronia megastigma* Nees. during flowering. *Journal of Horticultural Science*, 66 (3): 327 – 334.

Rood, S.B.; K. M. Larsen; L. N. Mander; H. Abe and R. P. Pharis. 1986. Identification of endogenous gibberellins from sorghum. *Plant Physiology*, 82: 332 – 332.

Taiz, I. and E. Zeiger. 1991. *Plant physiology*. The Benjamin/Cummings Publishing Co. Inc. Redwood City, Cal., U.S.A 559 p

Talon, M. and J. A. D. Zeevaart. 1990. Gibberellins and stem growth as related to photoperiod in *Silene armeria* L. *Plant Physiology*, 92: 1094 – 1100.

4.5 Retraso de la floración en cilantro con reguladores del crecimiento

Flowering delay in coriander using growth regulators

4.5.1 Resumen

En el Noreste de México, en las siembras de primavera-verano, el principal problema para producir cilantro es el “punteo prematuro”. Se cree que es un proceso fotomorfogénico que ocasiona un cambio endógeno hormonal. Por ello, durante el 2000 y 2001, se establecieron tres experimentos con el objetivo de controlar el crecimiento del cilantro a través de la aplicación exógena de fitohormonas y determinar el mejor manejo de estas para evitar o retrasar el “punteo” en las siembras de verano. Los resultados indican que la giberelina AG₃ acelera el punteo, mientras que la auxina AIA y la citocinina

Kinetina lo retrasan; el efecto de los fitoreguladores varía en función del genotipo, y la mejor combinación resultó la aplicación de AIA + Kinetina una vez a dosis de 5 + 5 ó 15 + 10 ppm, respectivamente. El mayor retraso en los días a punteo fue de 21.3 días. La altura de la planta se afectó positivamente.

Palabras clave: **fitoreguladores, genotipos, floración, *Coriandrum sativum*.**

4.5.2 Summary

The coriander production during the spring-summer season has the problem of early flowering in the Northeast part of Mexico. Apparently, these

changes are due to a photomorphogenesis process induced by an hormonal change. During 2000 and 2001 three experiments were carried out with the objective to control growth and development through external applications of growth regulators and to determine the best management, to avoid or to delay the flowering in coriander during the summer season. The results showed that gibberellins AG₃ induced flowering, while auxin AIA and citocinine kinetine delayed it. The phyto regulators effects depend on the genotype. The best combination was two applications of AIA+Kinetine in doses of 5 + 5 or 15 + 10 ppm, respectively. The plant height was affected positively.

Key words: plant hormones, genotypes, flowering, *Coriandrum sativum*.

4.5.3 Antecedentes

En el Noreste de México, en las siembras de primavera-verano, el principal problema en la producción de cilantro es el "punteo prematuro" (primer síntoma visible de la floración), cuyas consecuencias pueden ser tan graves que es preferible no cosechar el producto (Yáñez, 1988); sin embargo, en esta época el precio medio rural del cilantro es superior en 100 % comparado con el precio de invierno (Reyes, 2000). Se cree que el problema citado es un proceso fotomorfogénico que se debe al fotoperíodo largo y a las altas temperaturas que ocasionan un cambio en la concentración endógena hormonal; por lo cual, una alternativa de solución puede ser la aplicación exógena de fitoreguladores. Los fitoreguladores están involucrados en el control del crecimiento y la diferenciación y actúan en la regulación de actividades fisiológicas (Taiz y

Zeiger, 1991; Gutiérrez y Larqué, 1996; Arshad y Frankenberger, 1998). Entre las funciones de las auxinas se pueden citar: 1) estimulan la elongación celular y la diferenciación en el xilema y el floema, 2) habilitan a la yema apical para suprimir el crecimiento de las yemas laterales, 3) retrasan la senescencia foliar (Mauseth, 1991; Raven *et al.*, 1992; Arteca, 1998). Según Davies (1995), entre los efectos de las citocininas se encuentran: 1) estimulan la división celular. 2) estimulan el crecimiento de las yemas laterales, 3) estimulan la expansión foliar como resultado del alargamiento de las células y 4) promueven la conversión de etioplastos a cloroplastos vía la estimulación de la síntesis de clorofila. Las giberelinas activas muestran efectos fisiológicos, de acuerdo con Davies (1995) algunos de ellos son: 1) elongación del tallo por estimulación de la división y elongación celular, 2) estimulan la emisión del tallo floral y la floración en respuesta a los días largos y 3) en plantas con crecimiento inicial en roseta pueden retrasar la floración. Aunque, Rappaport (1978) citó lo contrario para éste tipo de plantas.

Weaver (1982) y Rojas y Ramírez (1993) mencionaron que en plantas de día corto, la aplicación de giberelinas (GA) retrasa la iniciación floral. Dicho retraso se debe al crecimiento rápido de los brotes, que resulta en una gran competencia entre el crecimiento vegetativo y el desarrollo floral. Salisbury y Ross (1994) citaron que en plantas de día largo las auxinas inhiben la floración y que la GA la estimula; esto último, por inducir niveles altos de GA y niveles bajos de ácido indolacético (AIA); los días cortos, determinan una situación inversa.

Krekule (2002) reportó que en *Chenopodium rubrum* (planta de día corto) y en *Brassica campestris* (planta de día largo) las citocininas y las auxinas inhiben la expresión del estado floral, primero por inducir la iniciación y crecimiento de hojas y más tarde por suprimir la formación y crecimiento de yemas axilares. Por su parte, Maroto (1989) reportó que en apio, para evitar o retrasar la floración, se aplica ácido α - clorofenoxipropiónico a 100 ppm; en cambio, en tomate, coliflor, brócoli y cebolla se ha usado ácido giberelico (AG₃) en dosis de 10 a 50 ppm para inducir floración; mientras que en chícharo, las aplicaciones de AG₃ no hacen variar la fecha de floración. Amruthavalli (1978) en cilantro, reportó que el AG₃ a 25 ppm aceleró la floración, la benciladenina a 250 ppm produjo lo opuesto, y que en combinación con el AG₃, no altera la influencia de este último en acelerar la floración. Brown y Menary (1994) en *Tanacetum cinerariaefolium* y Lee et al. (1998) en sorgo, determinaron que la concentración de AG₃ se incrementa bajo condiciones inductivas de iniciación floral y se correlaciona con la elongación del tallo floral; en cambio, la concentración de AIA declina significativamente. Las giberelinas fueron benéficas para la floración por incrementar la tasa de iniciación y crecimiento de las yemas axilares. Badgujar y Warhal (1988) trataron semillas de cilantro con 10 ppm de AIA, 20 ppm de ácido naftalenacético o 50 ppm de AG₃ y reportaron incrementos en la producción de hojas. En apio, para forzar el crecimiento vegetativo, resultó eficaz el AG₃ a 25 ppm aplicada entre 25 y 30 días antes de cosecha (Maroto, 1989).

Sobre la base de lo anterior, en este trabajo se planteó el objetivo de controlar el crecimiento y desarrollo del cilantro, sembrado en primavera-verano, a través de la aplicación exógena de fitohormonas y determinar el mejor manejo para evitar o retrasar el "punteamiento prematuro".

4.5.4 Metodología

Experimento 1 y 2

En la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) durante el ciclo primavera - verano del 2000, se establecieron dos experimentos bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas; donde el Factor A con ocho niveles de aplicación de fitohormonas: Testigo (se aplicó agua más un dispersante), ácido giberélico (AG_3) a 25 ppm, ácido indolacético (AIA) a 15 ppm, AG_3 +AIA a 25 + 15 ppm. Kinetina (KIN) a 10 ppm, AG_3 +KIN a 25 + 10 ppm, AIA+KIN a 15 + 10 ppm y AG_3 +AIA+KIN a 25 + 15 + 10 ppm. El Factor B fue número de aplicaciones con tres niveles: una, dos y tres aplicaciones con un intervalo entre ellas de cinco días. La combinación de niveles de cada factor originó 24 tratamientos que fueron establecidos en tres repeticiones. El genotipo Marroquí y el Criollo Poblano fueron usados en el Experimento 1 y 2, respectivamente. Cada unidad experimental (maceta) constó de una bolsa de polietileno negro de 20 cm de diámetro por 30 cm de altura. El sustrato utilizado estuvo formado por un 50 % de aserrín, con dos años de descomposición al aire libre, y 50 % de tierra negra (base volumen). Las macetas se colocaron dentro de un invernadero de 30 m de ancho por 50 m de

largo sin control ambiental. El 10 de abril del 2000, en ambos experimentos se sembraron 50 semillas por maceta; a los 20 días se aclareó dejando 20 plantas. Se regó cada tercer día durante los primeros 20 días y después cada cinco días aplicando 2 L de agua por maceta. La aplicación de los fitoreguladores se inició a los cinco días después de la emergencia y, según el tratamiento, a intervalos de cinco días se realizó la segunda y tercera aplicación.

Las variables medidas fueron: 1) días a punteo, que se estimó contando los días que trascurrieron desde la siembra hasta que el tres por ciento de las plantas presentaron el síntoma de hojas filiformes, fenómeno conocido como "punteo" y 2) altura de planta (cm), que se midió con regla graduada desde el cuello de la planta hasta la parte más alta de la misma; esta lectura se realizó al presentarse el punteo. Además, con termómetros de máximas y mínimas, se registraron las temperaturas máximas, mínimas y promedio del día durante el tiempo que duró el experimento.

Experimento 3

Considerando los resultados de los Experimentos 1 y 2, se estableció un experimento en la UAAAN durante el ciclo primavera - verano del 2001. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas, donde el Factor A fue el número de aplicaciones con tres niveles (una, dos y tres aplicaciones). El Factor B fue la clase de fitoregulador con doce niveles, que resultaron de combinar AIA a dosis de 0, 5, 10 y 15 ppm con KIN a dosis de

0, 5 y 10 ppm con lo cual, se originaron 36 tratamientos que fueron establecidos en cuatro repeticiones. Las unidades experimentales fueron exactamente igual que en los Experimentos 1 y 2. Las macetas se colocaron dentro de un invernadero de 30 m de ancho por 50 m de largo sin control ambiental. El 20 de Mayo del 2001, se sembraron 50 semillas por maceta del genotipo Marroquí; 20 días después de la emergencia, se aclareo dejando 10 plantas por maceta. Se regó igual que en los Experimentos 1 y 2. Las aplicaciones de los fitoreguladores se iniciaron a los cinco días después de la emergencia de las plantas y, según el tratamiento, a intervalos de cinco días se realizó la segunda y tercera aplicación. Igual que en los Experimentos 1 y 2, las variables medidas fueron altura de planta y días a punteo; en este caso, la altura se midió a los 60 días después de la siembra. Además, se registraron las temperaturas ambientales ya citadas.

Análisis de datos. La información generada en los tres experimentos fue sometida a análisis de varianza (ANVA) y en su caso a comparación de medias que se realizó con la técnica de Tukey (Little and Hill, 1985).

4.5.5 Resultados.

Días a punteo. Los ANVA realizados en los Experimentos 1 y 2 mostraron significancia con $P \leq 0.01$ en la interacción clase de fitoregulador x número de aplicaciones (Cuadro 9A). Al realizar la separación de medias (Tukey $P < 0.01$) se pudo observar que en el cv. Marroquí (Experimento 1), el

mayor retraso en el punteo de las plantas de cilantro fue para el tratamiento de aplicación dos veces KIN a 10 ppm, seguido por el tratamiento donde se aplicó una vez AIA+KIN a 15 y 10 ppm, respectivamente. Al comparar estos tratamientos con el testigo, se observó un retraso en el punteo de seis días. Por otra parte, al aplicar más de una vez AG₃ solo o en combinación con AIA y/o KIN se adelantó el punteo de las plantas de cilantro, hasta en 5.3 días.

Para el cv. Criollo Poblano (Experimento 2), se observó que al aplicar tres veces AIA+KIN a 15 + 10 ppm, se lograron 7.4 días de retraso en el punteo con respecto al testigo; y al igual que en el cv. Marroquí, al aplicar AG₃ el punteo se adelantó (Cuadro 9).

La variable días a punteo en el Experimento 3, mostró significancia con $P \leq 0.05$ en la interacción número de aplicaciones x clase de fitoregulador. De

acuerdo a la comparación de medias con Tukey ($P < 0.05$), al aplicar una vez AIA+KIN a 5 + 5 ppm, se lograron casi nueve días de retraso en el punteo con respecto al testigo (Cuadro 10); también se pudo observar que aplicar una y tres veces AIA, a diferentes dosis, adelantó el punteo y al aplicar este fitoregulador dos veces, el punteo se retrasó.

Cuadro 9. Comparación de medias en la variable días a punteo en cilantro cv. Marroquí (Experimento 1) y cv Criollo Poblano (Experimento 2), por efecto de la clase de fitoregulador dentro de cada nivel del número de aplicación. Cada valor representa la media de tres repeticiones y su error estándar.

CLASE DE FITOREGULADOR	NÚMERO DE APLICACIÓN			Media
	1	2	3	
1) Cv. Marroquí:				
Testigo	59.7±0.94 c*	60.3±0.94 bcd	59.7±0.94 a	59.9
AG ₃ (Ácido Giberélico)	62.3±0.94 abc	57.7±1.89 d	55.0±0.00 c	58.3
AIA (Ácido Indolacético)	62.3±0.94 abc	62.3±0.94 b	59.0±0.00 ab	61.2
AG ₃ +AIA	61.0±1.63 bc	58.3±0.94 cd	55.0±0.00 c	58.1
KIN (Kinetina)	61.7±0.94 bc	66.3±0.94 a	61.7±0.94 a	63.2
AG ₃ +KIN	63.7±0.94 ab	59.7±1.89 bcd	58.3±0.94 abc	60.5
AIA+KIN	65.7±0.94 a	61.7±0.94 bc	61.7±0.94 a	63.0
AG ₃ +AIA+KIN	61.0±0.00 bc	59.7±1.89 bcd	55.7±0.94 bc	58.8
Media	62.2	60.7	58.3	

2) Cv. Criollo Poblano:

Testigo	49.3±0.94 a	50.0±0.00 ab	49.3±0.94 abc	66.2
AG ₃ (Ácido Giberélico)	48.0±2.83 a	48.7±0.94 ab	44.7±1.89 c	47.2
AIA (Ácido Indolacético)	52.7±1.89 a	52.7±1.89 a	45.3±1.89 bc	50.2
AG ₃ +AIA	52.7±1.89 a	48.0±1.63 ab	47.3±3.77 bc	49.3
KIN (Kinetina)	52.7±1.89 a	52.7±1.89 a	52.7±1.49 ab	52.7
AG ₃ +KIN	48.7±4.99 a	47.3±2.49 ab	45.3±3.40 bc	47.1
AIA+KIN	52.7±1.89 a	52.0±2.83 ab	56.7±0.94 a	53.8
AG ₃ +AIA+KIN	50.7±0.94 a	44.7±1.89 b	46.0±2.83 bc	47.1
Media	50.9	49.5	48.4	

*Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P 0.01.

Cuadro 10. Comparación de medias en la variable días a punteo en cilantro cv. Marroquí (Experimento 3) por efecto de la clase de fitoregulador dentro de cada nivel del número de aplicación. Cada valor representa la media de cuatro repeticiones y su error estándar.

CLASE DE FITOREGULADOR		NÚMERO DE APLICACIÓN			
AIA ^z , ppm	KIN ^y , ppm	1	2	3	Media
0	0	78.2±5.14 abc*	66.2±6.04 a	77.2±3.23 a	73.9
0	5	76.0±2.04 abc	71.7±2.08 a	73.7±3.43 a	73.8
0	10	75.2±7.47 abc	77.2±2.89 a	77.0±7.27 a	76.5
5	0	72.5±1.57 bc	76.5±2.68 a	73.0±4.41 a	74.0
5	5	87.0±6.41 ab	79.5±2.67 a	73.5±4.70 a	80.0
5	10	81.2±2.12 abc	78.2±3.67 a	74.5±6.96 a	78.0
10	0	70.7±5.40 c	72.2±3.13 a	76.0±3.32 a	73.0
10	5	78.0±3.00 abc	72.5±6.03 a	74.0±5.14 a	74.8
10	10	73.5±1.21 abc	69.0±3.02 a	80.5±1.73 a	74.3
15	0	75.7±3.21 abc	76.0±3.67 a	71.2±8.17 a	74.3
15	5	74.0±7.46 abc	70.0±0.57 a	74.2±2.20 a	72.7
15	10	87.5±2.34 a	73.2±2.34 a	77.5±2.12 a	79.4
Media		77.5	73.5	75.2	

* Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P = 0.05. ^zÁcido indolacético. ^yKinetina.

Altura de planta. En el Experimento 1, el ANVA mostró significancia en la interacción número de aplicaciones x clase de fitoregulador con $P < 0.01$. En el Cuadro 11 se pudo observar que al comparar las medias con la prueba de

Tukey los tratamientos donde se aplicó KIN (10 ppm), AG₃+KIN (25+10 ppm) y AIA+KIN (15+10 ppm) en dos aplicaciones superaron al testigo con P<0.01; sin embargo, al aplicar tres veces todos los tratamientos, no reportaron diferencias estadísticas. Al aplicar una vez AG₃ a 25 ppm la planta de cilantro quedó con menor altura que el testigo aunque, sin diferencias estadísticas.

Cuadro 11. Comparación de medias en la variable altura de planta (cm) en cilantro cv. Marroquí (Experimento 1) por efecto de la clase de fitoregulador dentro de cada nivel del número de aplicación. Cada valor representa la media de tres repeticiones y su error estándar.

CLASE DE FITOREGULADOR	NÚMERO DE APLICACIÓN			
	1	2	3	Media
Testigo	21.7±0.46 ab*	18.0±0.82 c	18.3±0.47 a	19.3
AG ₃ (25 ppm)	18.7±1.89 b	23.7±0.47 ab	21.3±2.36 a	21.2
AIA (15 ppm)	19.3±3.30 ab	23.0±2.16 ab	22.0±2.16 a	21.4
AG ₃ +AIA (25+15 ppm)	20.7±2.62 ab	21.3±1.70 bc	22.7±0.47 a	21.6
KIN (10 ppm)	20.3±1.70 ab	26.7±1.89 a	21.7±0.47 a	22.9
AG ₃ +KIN (25+10 ppm)	19.3±1.25 ab	26.7±1.25 a	21.0±1.63 a	22.3
AIA+KIN (15+10 ppm)	24.0±2.16 a	24.3±0.47 ab	21.3±1.25 a	23.2
AG ₃ +AIA+KIN (25+15+10 ppm)	20.7±1.25 ab	21.0±2.16 bc	20.3±0.47 a	20.7
Media	20.6	23.1	21.1	

* Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P ≤ 0.01. AG₃ Ácido giberelico, AIA Ácido indolacético, KIN Kinetina

En el Experimento 2 el ANVA mostró significancia con $P < 0.01$ en los efectos principales. En el Cuadro 12 se observó que el tratamiento donde se aplicó AIA+KIN (15+5 ppm) superó al resto de los tratamientos con un incremento en la altura de la planta del 22 % con respecto al testigo; también, se observó que el mejor número de aplicaciones fue tres; sin embargo, y a diferencia del Experimento 1, en ninguno de los tratamientos del Experimento 2, las plantas alcanzaron altura de 25 cm o más que se requieren para corte.

Cuadro 12. Comparación de medias en la variable altura de planta (cm) en cilantro cv. C. Poblano (Experimento 2) por efecto de la clase de fitoregulador y del número de aplicaciones. Cada valor representa la media de tres repeticiones y su error estándar.

CLASE DE FITOREGULADOR	MEDIA	NÚMERO DE APLICACIONES	MEDIA
TESTIGO	17.0±0.24 b*	1	18.6±1.33 ab*
AG ₃	16.8±1.00 b	2	16.6±0.89 b
AIA	18.0±1.63 ab	3	19.7±0.89 a
AG ₃ +AIA	18.4±1.70 ab		
KIN	18.6±0.65 ab		
AG ₃ +KIN	19.0±0.24 ab		
AIA+KIN	20.7±0.72 a		
AG ₃ +AIA+KIN	18.1±0.13 ab		

* Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.01$. AG₃ = Ácido giberélico AIA = Ácido indolacético KIN = Kinetina

En el Experimento 3 el ANVA de esta variable mostró significancia en la interacción número de aplicaciones x clase de fitoregulador con $P < 0.01$ y según la comparación de medias con la prueba de Tukey (Cuadro 13) la mejor interacción resultó al aplicar dos veces AIA (15 ppm) aunque, fue

estadísticamente igual al aplicar dos veces AIA+KIN (10 + 5 ppm). Otras interacciones donde la planta tuvo altura para corte fueron aplicar una vez KIN (a 5 y 10 ppm) y aplicar dos veces AIA +KIN (10+10 y 15+5 ppm).

Cuadro 13. Comparación de medias en la variable altura de planta (cm) en cilantro cv. Marroquí (Experimento 3) por efecto de la clase de fitoregulador dentro de cada nivel del número de aplicaciones. Cada valor representa la media de cuatro repeticiones y su error estándar.

CLASE DE FITOREGULADOR		NÚMERO DE APLICACIÓN			
AIA ^z , ppm	KIN ^y , ppm	1	2	3	Media
0	0	21.5±0.17 c*	24.5±0.12 bcde	23.0±0.67 abc	23.0
0	5	21.5±1.83 c	25.5±0.62 bcd	22.5±0.17 c	23.2
0	10	26.0±1.67 ab	25.5±0.39 bcd	26.5±2.83 ab	26.0
5	0	24.2±2.55 abc	21.2±0.38 e	26.7±0.46 a	24.0
5	5	21.0±1.00 c	22.5±1.42 de	22.2±0.79 c	21.9
5	10	27.2±0.64 a	23.5±0.27 cde	25.7±1.13 abc	25.5
10	0	23.0±0.74 bc	21.2±1.05 e	22.5±1.50 c	22.2
10	5	24.5±0.75 abc	28.2±3.24 ab	22.2±0.79 c	25.0
10	10	22.0±1.09 c	25.2±1.01 bcd	25.0±1.33 abc	24.1
15	0	22.5±0.72 bc	30.5±1.83 a	23.7±3.79 abc	25.6
15	5	26.0±0.33 ab	26.7±0.84 abc	26.0±0.33 abc	26.2
15	10	24.0±0.49 abc	23.7±3.06 cde	22.7±0.46 bc	23.5
Media		23.6	24.8	24.1	

* Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P < 0.01 ^zÁcido indolacético ^yKinetina

4.5.6 Discusión

Días a punteo. Con la aplicación de auxinas (AIA) y citocininas (KIN) se observó un efecto de retraso en los días a punteo en plantas de cilantro. En los tres experimentos realizados los resultados fueron similares y se logró retrasar el punteo hasta en 6.6, 7.4 y 21.3 días; es decir un 11.05, 15.01 y 32.17 %, respectivamente. Estos resultados coinciden con los reportados por Amruthavalli (1978), quién al aplicar la citocinina benciladenina a 250 ppm retrasó la floración en cilantro y con Krekule (2002), quién reportó que las citocininas y auxinas inhiben la expresión del estado floral tanto en plantas de día corto como en plantas de día largo, por inducir primero la iniciación y crecimiento de las hojas y después por suprimir la formación y crecimiento de yemas axilares. El resultado de retraso en los días a punteo en cilantro, probablemente se debe a que los fitoreguladores están involucrados en el crecimiento y la diferenciación y porque con la aplicación exógena de fitohormonas, se da una competencia entre el crecimiento vegetativo y el desarrollo floral. Efectos que fueron reportados por Weaver (1982), Taiz y Zeiger (1991), Rojas y Ramírez (1993), Gutiérrez y Larqué (1996) y Arshad y Frankenberger (1998). De acuerdo a nuestros resultados al aplicar AIA y KIN se logró estimular el crecimiento vegetativo y retrasar los procesos de diferenciación. Los resultados de los Experimentos 1 y 2 también mostraron que al aplicar AG₃ se adelanta el punteo en 4.7 y 4.6 días, respectivamente. Estos resultados están de acuerdo con Arteca (1998) y otros autores que han reportado que las aplicaciones de giberelinas inducen y adelantan la floración,

sin embargo, están en desacuerdo con Rappaport (1978) quién reportó que en plantas en roseta, caso del cilantro, la aplicación de giberelinas puede retrasar la floración. Al considerar los resultados anteriores y lo citado por Salisbury y Ross (1994) y Davies (1995) en relación a que bajo condiciones de día largo las giberelinas estimulan la floración a la vez que estimulan la emisión del tallo; así como al hábito de crecimiento inicial en roseta del cilantro, se podía esperar que este cultivo iniciara su diferenciación en menor tiempo al aplicar giberelinas.

Altura de planta. Con la aplicación de sustancias reguladoras del crecimiento (GA_3 , AIA y KIN) en los Experimentos 1, 2 y 3 se logró incrementar la altura de las plantas de cilantro; sin embargo, en el Experimento 2, con ninguno de los tratamientos las plantas de cilantro alcanzaron altura para corte. En general, con la aplicación de AIA y KIN el efecto en la altura de planta fue mayor. El incremento en la altura de la planta fue 48.3, 18.7 y 41.9 % en los

Experimentos 1, 2 y 3, respectivamente. Estos resultados se deben al efecto combinado de auxinas y citocininas en relación al estímulo en la división y elongación celular, en el retraso de la senescencia foliar, por estimular la expansión foliar y habilitar a la yema apical para suprimir el crecimiento de las yemas laterales; lo cual, se puede traducir en mayor altura de planta. Efectos, que fueron reportados por Mauseth (1991), Raven (1992), Davies (1995) y Arteca (1998) y coinciden con Krekule (2002), quiénes al trabajar con plantas de día corto y de día largo, reportaron que las citocininas y las auxinas inducen la iniciación y crecimiento de hojas. En el Experimento 2, la menor respuesta en altura de planta parece estar ligada al genotipo, ya que en experimentos

anteriores, sin aplicación de fitohormonas, el cv. Cnollo Poblano, genotipo utilizado en este experimento, siempre fue de porte bajo y muy precoz para florecer.

4.5.7 Conclusiones

Con la aplicación de los fitoreguladores AIA y KIN es posible retrasar la floración en plantas de cilantro. La respuesta a estos reguladores del crecimiento esta en función del genotipo y fue mayor en el Marroquí. La aplicación de ácido giberélico solo ó en combinación con otros fitoreguladores adelanta la floración en cilantro. La mejor combinación de fitoreguladores para retrasar el punteo en cilantro, resultó al aplicar una vez AIA+KIN a dosis de 5+5 ppm o 15+10 ppm, respectivamente. La altura de la planta se incrementa con la aplicación de AIA y KIN y la respuesta varía en función del genotipo.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

4.5.8 Bibliografía

Amruthavalli, S. A. 1978. Sex expression in coriander (*Coriandrum sativum* L)

as affected by growth regulators. Bangalore University, India. Current Science. 47 (23) :929 - 930

Arshad, M. and W. F. Frankerberger Jr. 1998. Plant growth-regulating substances in the rhizosphere Microbial production and functions Advances in Agronomy 62. 45-151.

Arteca, R. N. 1998. Plant growth substances: principles and applications.

Chapman & Hall New York 332 p

Badgujar, C.D. and K. N. Warhal. 1988. Effects of seed soaking and wrapping on growth and yield of vegetable coriander. *Journal of The Maharashtra Agricultural Universities* 13 (3): 344 - 345.

Brown, P. H. and R. C. Menary. 1994. Flowering in pyrethrum (*Tanacetum cinerariaefolium* L.) II. Changes in plant growth regulator concentrations *Journal of Horticultural Science* 69 (6): 985 – 992.

Davies, P. J. 1995. *Plant hormones: physiology, biochemistry and molecular biology*. Cluwer. Dordrecht. pp 118-139.

Gutiérrez R., M. y A. Larqué S. 1996. Cuantificación de hormonas vegetales por medio de anticuerpos. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 5:85 - 93.

Krekule, J. 2002. Possible role of growth substances in multiple control of flowering. *In: <http://www.actahort.org/books/91/91-4.htm>*

Lee, IN-J., K. R. Foster and P. W. Morgan. 1998. Photoperiod control of gibberellins levels and flowering in sorghum. *Plant Physiology* 116: 1003-

1011

Maroto, J. V. 1989. *Horticultura herbácea especial*. 3ª edición. Editorial Mundo Prensas. Madrid. 629 p.

Mauseth, J. D. 1991. *Botany: An introduction to plant biology*. Saunders. Philadelphia. pp 98-117.

Rappaport, L. 1978. *Plant growth regulators. Study guide for agriculture pest control*. Advisers division of agricultural science. University of California. Los Angeles. 78 p

Raven, P. H., R. F. Evert and S. E. Eichhorn. 1992. *Biology of plants*. Worth New York pp 546-572.

Reyes, H. 2000. Productor y comercializador de cilantro en el Noreste de México. Comunicación Personal.

Rojas G., M. y H. Ramírez. 1993. Control hormonal del desarrollo de las plantas, fisiología – tecnología - experimentación 2ª edición ED. LIMUSA. México. 263 p.

Salisbury, F. B. y C. W. Ross, C.W. 1994. Fisiología Vegetal. 1ª edición. Virgilio González V. (Traductor). Grupo Editorial Iberoamericano, S.A. de C V. México. 759 p.

Taiz, I. and E. Zeiger. 1991. Plant physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Co. Inc. Redwood City, Cal., U.S.A. 559 p

Yañez R., J. N. 1988. Notas del curso: Producción de hortalizas II. Departamento de Horticultura, UAAAN. Saltillo, Coahuila.

Weaver, R. J. 1982. Reguladores de crecimiento de las plantas en la Agricultura. ED. Trillas. México. 620 p.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN[®]
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

1) La capacidad de germinación, así como los días a germinación del cilantro varían en función de la temperatura y el genotipo. La temperatura óptima de germinación del cilantro fue de 18 °C y entre genotipos varía de 17 a 19 °C.

2) La temperatura base del cilantro fue de 4.8 °C y varía entre genotipos con valor entre 4.1 y 5.8 °C. La constante térmica para completar el ciclo de vida del cultivo del cilantro, varió en función del genotipo y del ambiente de producción.

3) El modelo logístico específico para cilantro mostró buen ajuste para describir el crecimiento de esta hortaliza.

4) El área foliar y el peso seco del cilantro guardan una relación lineal entre ellos.

5) El patrón de crecimiento del cilantro, fue afectado por el incremento de temperatura, por la reducción del fotoperíodo y por el genotipo.

6) Los índices TCC, TAN y DAF mostraron tendencia creciente a través del tiempo hasta alcanzar un valor máximo y luego su valor disminuyó. La TRCF y la RAF mostraron tendencias decrecientes a través del tiempo. La TRC se mantuvo constante hasta los 63 dds y luego disminuyó.

7) En función, principalmente de la TRCF y la DAF, el mejor genotipo para la producción comercial de follaje de cilantro es el Marroquí.

8) En función de todos los índices de crecimiento, es posible sembrar diferentes genotipos de acuerdo al ambiente de producción

9) Durante la diferenciación floral, la concentración de giberelinas y citocininas endógenas mostraron tendencia creciente; en cambio, la tendencia de las auxinas fue decreciente.

10) Con el incremento de temperatura se incrementan las giberelinas y las citocininas endógenas y se adelanta el punteamiento

11) Con la reducción del fotoperíodo se incrementan las auxinas endógenas y se retrasa el punteamiento. Con la aplicación de los fitoreguladores AIA y KIN se retrasó la floración en cilantro y la magnitud de la respuesta a estos reguladores del crecimiento estuvo en función del genotipo.

12) La aplicación de ácido giberélico solo ó en combinación con otros fitoreguladores adelantó la floración en cilantro.

13) La mejor combinación de fitoreguladores para retrasar el punteo en cilantro, resultó aplicar una vez AIA+KIN a dosis de 5 + 5 ppm o 15 + 10 ppm, respectivamente.

14) La altura de la planta se incrementa con la aplicación de AIA y KIN y la respuesta varió en función del genotipo.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

VI. LITERATURA CITADA

- Amruthavalli, S. A. 1978. Sex expression in coriander (*Coriandrum sativum* L.) as affected by growth regulators. *Current Science* 47 (23): 929-930
- Andrio, E. E. 1989 Comportamiento de 15 colecciones de cilantro en la región de Ramos Arizpe, Coahuila. Ciclo Verano 1988. Tesis Licenciatura, UAAAN Saltillo, Coahuila
- Anónimo. 1999. La costa del Golfo, umbral de la historia mexicana (II). En: *El Mundo Huasteco y Totonaco*.
<http://mexicodesconocido.com/mx/indigena/huasII.htm>
- Arellano, R. J. J. 1993 Respuesta del cilantro *Coriandrum sativum* L. a la aplicación de ácidos húmicos y estiércol bovino. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila.
- Arteca, R. N. 1998. *Plant growth substances: principles and applications*. Chapman & Hall. New York. 332 p.
- Ascencio, J y J. E. Fargas. 1973. Análisis de crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. Turrialba-4) cultivado en solución nutritiva. *Turrialba*. 23 (4): 20-42.
- Badgujar, C.D. and K.N. Warhal. 1988. Effects of seed soaking and wrapping on growth and yield of vegetable conander. *Journal of The Maharashtra Agricultural Universities* 13. (3) 344 - 345
- Barboza, C.R 1994. Aplicación de giberelinas, ácidos húmicos y algas en cilantro *Coriandrum sativum* L. como mejoradores de la calidad y

producción en follaje fresco. tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila.

Bidwell, R.G.S. 1979. Fisiología vegetal 1ª edición en español. A.G.T editorial S.A. México.

Blanco, M. V. 1992. Uso de GA₃ para promover la germinación en semillas de cilantro *Conandrum sativum* L. Tesis Licenciatura, UAAAN. Saltillo, Coahuila.

Carballo C., A. B. 1998. Determinación de la temperatura base de seis genotipos de cilantro *Coriandrum sativum* L. Tesis de Licenciatura, UAAAN Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Castaños C., M. 1993. Horticultura, manejo simplificado. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 643 p.

Causton, D. R. 1991. Plant growth analysis: the variability of relative growth rate within a sample. *Annals of Botany* 67 (2): 137-144.

Diederichsen, A. 1996. Coriander (*Coriandrum sativum* L.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 3. Institute of plant genetics and crop plant research, Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute, Rome 83 p.

Dorantes G., A. L. P. 1992 Respuesta del cultivo del cilantro *Coriandrum sativum* L. a diferentes dosis y formas de aplicación de algas marinas Tesis Licenciatura. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Esau, K. 1959. Plant anatomy. Ed John Willey & Sons, New York.

Fernández de C., O. A. 1988. Pruebas de adaptación, estimación de parámetros genéticos y correlaciones en 12 genotipos de cilantro *Coriandrum sativum* L. Tesis Licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Flores V., R. 1992. Evaluación de la susceptibilidad / tolerancia a la floreció de 44 genotipos de cilantro *Coriandrum sativum* L. Tesis Licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Font Q., P. 1978. Plantas Medicinales. El dioscórides renovado. 4ª. Edición. Editorial Labor, S.A. Barcelona, España. pp 482-483.

Galván P., B. 1994. Influencia de la temperatura sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas horticolas. Los conceptos de unidades calor y métodos de cálculo. INIFAP, Sonora. Notas sin publicar.

Gordon, H. R. and J. A. Barden. 1984. Horticultura. 1ª Edición en Español. AGT Editor, S.A. México. pp 266-267.

He, C.K. and C.Q. Wang. 1985. An investigation of flower bud differentiation and flowering in *Coriandrum sativum* Journal of Fujian Agricultural College Fujian Nongxueyuan Xuebao. 14: 2, 165-170.

Hedge, D. M. 1987. Growth analysis of bell pepper (*Capsicum annum* L) in relation to soil moisture and nitrogen fertilization. Scientia Horticulturae (33) 179-187.

HEH. 1996. Alphabetical index of herbs. John's Home Page/Hort "N" SPICY Page/Food Cooking Stuff page.

Hernández C., C. 1994. Producción de cilantro *Coriandrum sativum* L. en estación cálida bajo diferentes frecuencias de riego y densidades de siembra. Tesis Licenciatura UAAAN Buenavista, Saltillo, Coahuila

Hernández O., O. R. 1991. Duración de las etapas fenológicas de la papa *Solanum tuberosum* L. En la región agrícola de Navidad, N. L. en relación a las unidades calor y fototérmicas. Tesis de Licenciatura, UAAAN, México.

Hunt, R. 1982. Plant Growth analysis, second derivatives and compounded second derivatives of splinted plant growth curves. Ann. Bot. 50: 317-328.

INPOFOS. 1998. Informaciones Agronómicas. Núm. 3 Vol. 2.

ISTA. 1985. International Seeds Testing Association. International Rules for Seed Testing, Rules Zurich, Switzerland.

Jethani, I. 1984. Revised studies on the seed testing procedures of coriander. Horticultural Abstracts (54) 8:5709.

Kreuzer, A. D. H. 1993. The effects of daylength and temperature on the development of seven oil seed species. Overflag Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek. Wageningen, Netherlands. No 180, 35 pp.

Kvet, J. J.; P. Ondak; J. Nekas and P. G. Jarvis. 1971. Methods of growth analysis In. Plant photosynthetic production, manual of methods. Sesták Z., J. Catský and P.G. Jarvis (Editors). Junk Publishers The Hague. Netherlands

Lan Chow Wing, K. F.; M. A. Busawon and I. Rajkomar. 1984. Foliage yield and bolting in coriander at different times of harvest. Technical Bulletin Ministry of Agriculture, Fisheries and Natural Resources, Mauritius. No. 4 24-27. Mauritius.

Maroto, J. V. 1989. Horticultura herbácea especial, 3ª edición. Ediciones Mundo Prensa. Madrid. 629 p.

Medina, E. 1977. Introducción a la ecofisiología vegetal. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico

Mohr, H. and P. Schopfer. Plant physiology. 1era edición. Lawlor G. and D. Lawlor (traductores). Edition by Springer-Verlag, Berlin. 659 p.

Morales P., A. 1994. Inhibición del "punteado prematuro" en cilantro *Coriandrum sativum* L. cv Criollo de Ramos con aplicación foliar de etileno tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Painter, J. W. and G. E. Stembridge 1972. Peach flowering responses as related to time of gibberellins application. Hort Science 7 :389 - 390.

Pearson, I. T. and R. Hunt. 1981. Plant growth analysis: A program for the fitting of lengthy series of data by method of B-Splints. Ann. Bot. 48: 341-352.

Pedro J., M. J.; A. A. Mascarenhas; O. Tisselifilho y L. R. Angelocci. 1985. Analise de crescimento en soja. Turrialba 4 (35): 323-327.

Peneva, P. and A. Knlov. 1977. The influence of ecological conditions on the productivity of some Russian coriander cultivars. Institut po Introduksiya i Rastitelni Resursi. Sofia, Bulgaria. 14(1). 67-76.

Perry, B. K., C. T. Wenher, L. G. Johnson. 1986. Comparison of 14 methods to determine heat unit requirements for cucumber harvest. Hort Science 21 (3) 419-423.

Perry, B. K. and C T. Wehner. 1990 Prediction of cucumber harvest date using a heat unit model. Hort Science 116 (2). 206-209

Prakash, G. and N. Kumar. 1984. Sexual diversity in *Coriandrum sativum* L. Plant Cell Incompatibility News Letter, 16: 7-8.

Preece, J. E. and P. E. Read. 1993 The biology of horticulture, an introductory text book John Wiley, Sons, Inc. USA. 480 p.

Putievsky, E. 1983. Effects of day length and temperature on growth and yield components of three seed spices. Horticultural Abstracts (53) 61:16

Radford, P. J. 1976. Growth analysis formulae – Their use and abuse. Crop Science: 3 (7) 171-175.

Ramírez G., J. 1994. Respuesta de la floración prematura de cilantro *Coriandrum sativum* L. a diferentes frecuencias de riego y dosis de fertilización nitrogenada. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista Saltillo, Coahuila

Ramírez J., L.; L. O. Mendoza; C. J. Ortiz; H. V. González y A. H. Ángeles. 1986. Análisis de crecimiento de un híbrido simple de maíz y sus progenitores Agrociencia 64 302-315

Rappaport, L. 1978. Plant growth regulators. study guide for agriculture pest control advisers division of agricultural science University of California 78 p

Raymond, D. 1982. Cultivo práctico de hortalizas. Editorial CECSA. México. pp 144

Raven, P. H.; Evert, R. F., Eichhorn, S. E. 1992. Biology of plants. Worth. New York. pp 546-572.

Reed, D. 1993. General horticulture laboratory manual. Ed. Alpha Editions. Department of Horticultural Sciences, Texas A & M University. College Station, Texas.

Reyes, H. 2000. Productor y comercializador de cilantro en el noreste de México. Saltillo, Coahuila, México. Comunicación Personal.

Rodale, J. L. 1991. How to grow vegetables and fruits by the organic method Ed. Rodale Press, USA. pp 876-877.

Rodríguez M., R. y E. Palacios V. 1986. Estudios patométricos de la virosis causada por el virus rayado fino del maíz. 1. Aplicación del modelo

logístico a la descripción y caracterización de la epifita. Agrociencia 66 97-110.

Rojas, G. M. y H. Ramírez. 1993. Control hormonal del desarrollo de las plantas. 2ª edición. Ed. Limusa, México 263 p

Rudrich, J. S. W. 1986. Predicting harvesting date of processing tomatoes by a simulation model J. Amer Soc Hort. Sci. 111 (4):11-16

Russell, M. P., W. W. Wilhelm, R. A. Olson and J. F. Power. 1984. Growth analysis based on degree days. Crop Science: (24) 28-32.

SAGAR 1991 - 1995. Anuario Estadístico. Dirección de Estadística y Cálculo. México

SAGAR 2000. Estadísticas agrícolas del estado de Coahuila. SAGAR, Delegación Coahuila.

Salisbury F. B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. 1ª edición. Virgilio González V. (traductor). Grupo editorial Iberoamericano, S.A. de C.V México. 759 p.

Sandoval M., M. 1993. Determinación de unidades calor en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) var. nantes strong con el uso de cubiertas flotantes. Tesis de Licenciatura, UAAAN. Saltillo, Coahuila.

Santiago C., M. 1993. Inhibición del "punteado prematuro" en cilantro *Coriandrum sativum* L. con aplicaciones de reguladores de crecimiento. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila.

Sergeeva, D. S. y V. M. Sil'Chenco. 1984. Resistance of coriander to low temperatures. Fiziologi'ys, Biokhimyz ku'l tuinykn Rosteni. Ukrainian, URSS 16 (1): 52-55.

Serrano C., Z. 1990. Producción en invernaderos. Editorial Mundi Prensa, España. 644 p.

Simón E., M. 1993. Dosis y número de aplicaciones de giberelinas en cilantro *Coriandrum sativum* L. Establecido en Primavera-Verano. Tesis Licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Simonetti, G. 1991 Guía de hierbas y especias. Ed. Grijalvo, México.

Sivori, M. E., E. R. Montaldi y O. H. Caso. 1980 Fisiología vegetal. Editorial Hemisferio Sur Buenos Aires, Argentina. 680 p

Solano T., G. 1993 Efecto del estiércol y ácidos húmicos sobre las propiedades físicas - químicas del suelo y producción de follaje fresco de cilantro. Tesis de licenciatura. UAAAN, México.

Solórzano V., E.; C. J. Ortiz y O. L. Mendoza 1982. Análisis de crecimiento en haba (*Vicia faba* L) Agrociencia, 103-106.

Taiz, I. and E. Zeiger. 1991. Plant physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Co. Inc. Redwood City, Cal., U.S.A. 559 p.

Tinajero, F. L. 1993. Aplicación de algas marinas y estiércol bovino en el cultivo del cilantro *Coriandrum sativum* L. Tesis Licenciatura UAAAN. Saltillo, Coahuila.

Torres A., F. 1993 Efecto de la fertilización nitrogenada en el rendimiento del cilantro *Coriandrum sativum* L. Tesis de licenciatura, UAAAN. Saltillo, Coahuila.

Yañez R., J. N. 1985. Notas del curso. Producción de hortalizas II.

Departamento de Horticultura, UAAAN. Saltillo, Coahuila.

UNPH. 1986. Exportación de cilantro controlado por la UNPH. Culiacán. Sinaloa México. pp 1-5.

Valadez L., A . 1990 Producción de hortalizas. Editorial LIMUSA, 1ª Reimpresión México pp 36, 274.

Valverde, E. y M. V Sáenz 1985. Análisis de crecimiento del chayote (*Sechium edule* Sw) Turrialba 35 (4) 395-402.

Villalpando J., F.; I del R. Laborde y J. A. Ruiz. 1991. Notas del curso:

capacitación en agricultura y meteorología agrícola. Agrometeorología,
Temperatura y Fenología. Guadalajara, Jalisco, México

Wallace, D H. and H M Munger. 1985. Studies of the physiological basis for
yield differences. I. Growth analysis of six dry bean vaneties Crop
Science, 5 343-347.

Weaver, R J. 1982 Reguladores de crecimiento de las plantas en la
agricultura. Ed. Trillas. México. 620 p.

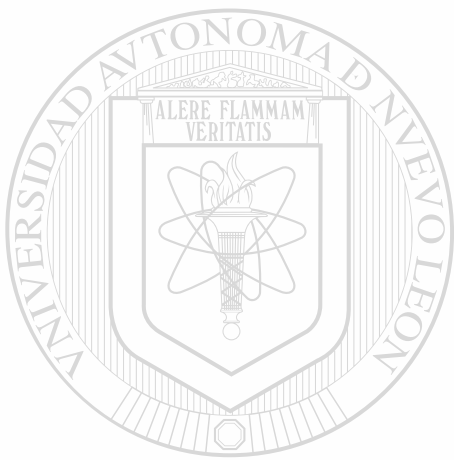
West, C. A. and T. Beilly. 1961 Properties of gibberellins from flower in plants.
Advances Chemistry series 28. 37 - 41.

Zamudio S., F. y J Ayerde. 1998 Modelos de crecimiento. Revista Chapingo
Serie Ciencias Forestales, 1: 79 - 87.

Zavala M., B 1992 Aplicaciones de giberelinas en el cultivo del cilantro

Coriandrum sativum L. establecido en verano. Tesis de Licenciatura
UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



VII. APÉNDICE

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Cuadro 1A. Temperatura y fotoperíodo prevalcientes en tres ambientes de producción en un experimento sembrado en satlito.

QUINCENA	FOTOPERÍODO, horas-luz		TEMPERATURA, °C	
	Normal	Reducción del fotoperíodo	Normal	Incremento de Temperatura
1	12.16	9.16	18.3	27.0
2	11.55	8.55	20.1	29.0
3	11.35	8.35	18.7	27.2
4	11.15	8.15	15.4	25.9
5	10.56	7.56	16.0	21.3
6	10.41	10.41*	16.1	16.1*
7	10.30	10.30*	13.6	13.6*

*En estas quincenas ya no se aplicó el tratamiento para reducir el fotoperíodo o incrementar la temperatura.

Cuadro 2A. Cuadrados medios del área foliar y peso seco en cilantro a diferentes fechas de muestreo.
Se incluye el coeficiente de variación (C. V.) y la significancia.

F. V.	GL	Cuadrados Medios							
		24 dds	31 dds	38 dds	45 dds	52 dds	59 DDS	69 dds	89 dds
Area foliar:									
Repet.	2	0.904	4.585		51.707	23.734		269.875	804.375
Factor A	3	4.613**	40.229**		524.648*	985.958**		3774.583**	3789.917**
Error A	6	0.081	0.926		51.279	59.542		302.250	83.000
Factor B	2	0.971*	30.571**		327.160*	438.516ns		3803.312**	3454.125**
Inter.	6	4.723**	49.921**		235.022*	1157.911**		1852.062*	3647.833**
Error B	16	0.268	1.465		67.193	133.461		553.359	446.391
C. V., %		14.53	12.90		14.97	12.29		12.01	7.64
Peso seco:									
Repet.	2	0.97	32.96		68.44	1507.75		94432.00	1430848.0
Factor A	3	156.36**	2155.61**		14783.79**	49571.00**		68618.66*	1086080.0ns
Error A	6	2.42	24.19		1512.91	2224.58		8381.33	668650.7
Factor B	2	31.45**	832.12**		1927.15**	8037.25**		153736.00ns	200320.0ns
Inter.	6	77.30**	1240.07**		1780.94**	6608.17**		588589.31**	1092224.0ns
Error B	16	3.25	29.61		2616.23**	1005.16		45730.00	246468.0
C. V., %		10.12	11.12		9.06	8.14		10.78	12.76
									18.97

*significancia con P<0.05, **significancia con P<0.01, dds días después de siembra.

Cuadro 3A. Cuadrados medios de la tasa de crecimiento del cultivo de cilantro en diferentes fechas de muestreo. Se incluye el coeficiente de variación (C.V.) y la significancia.

F. V.	GL	Cuadrados Medios										
		17 dds	24 dds	31 dds	38 dds	45 dds	52 dds	59 dds	66 dds	73 dds		
Repet.	2	0.1	0.2	0.5	8.3	11.7	71.7	428.5	4887.0	14793.5		
Factor A	3	0.0ns	0.3ns	2.3ns	23.5ns	83.4**	727.6ns	4743.9ns	8058.5ns	4510.5ns		
Error A	6	0.5	0.4	2.6	31.4	6.2	179.9	3380.6	17097.6	3835.6		
Factor B	2	0.0ns	0.2ns	2.0ns	18.1ns	69.1ns	99.3ns	51.9ns	420.4ns	3184.3ns		
Inter.	6	0.2**	1.5*	13.5**	123.3**	465.7**	1627.7**	5081.6*	31437.1*	17002.2ns		
Error B	16	0.1	0.4	2.1	24.1	60.2	249.9	1219.4	9015.9	9820.3		
C. V., %		10.48	12.77	12.41	16.51	12.57	12.26	16.29	37.07	64.99		

*significancia con P<0.05, **significancia con P<0.01, dds días después de siembra, ns no significativo.

Cuadro 4A. Cuadrados medios de la tasa relativa de crecimiento del cultivo de cilantro en diferentes fechas de muestreo. Se incluye el coeficiente de variación (C. V.) y la significancia.

F. V.	GL	Cuadrados medios										
		17 dds	24 dds	31 dds	38 dds	45 dds	52 dds	59 dds	66 dds	73 dds		
Repet.	2	0.000002	0.000001	0.000001	0.000004	0.000074	0.000024	0.000011	0.000131	0.000612		
Factor A	3	0.000010ns	0.000008ns	0.000006ns	0.000012ns	0.000029ns	0.000053ns	0.000111ns	0.000058ns	0.000151ns		
Error A	6	0.000017	0.000010	0.000002	0.000034	0.000193	0.000182	0.000366	0.000369	0.000217		
Factor B	2	0.000005ns	0.000005ns	0.000005ns	0.000012ns	0.000021ns	0.000012ns	0.000018ns	0.000006ns	0.000294ns		
Inter.	6	0.000059**	0.000053**	0.000045**	0.000068**	0.000181ns	0.000171ns	0.000546*	0.000960*	0.000573ns		
Error B	16	0.000011	0.000008	0.000006	0.000014	0.000139	0.000081	0.000149	0.000280	0.000384		
C. V., %	2.60	2.23	1.91	2.87	10.13	8.17	13.43	26.90	66.14			

*significancia con $P < 0.05$, **significancia con $P < 0.01$, dds días después de siembra, ns no significativo.

Cuadro 5A. Cuadrados medios de la tasa relativa de crecimiento foliar del cultivo de cilantro en diferentes fechas de muestreo. Se incluye el coeficiente de varación (C.V.) y la significancia.

F. V.	GL	Cuadrados medios										
		17 dds	24 dds	31 dds	38 dds	45 dds	52 dds	59 dds	66 dds	73 dds		
Repet.	2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000001	0.000034	0.000005	0.000005	0.000035	0.000028		
Factor A	3	0.000185**	0.000105**	0.000062ns	0.000370**	0.002539**	0.000734**	0.000756**	0.000282ns	0.000215*		
Error A	6	0.000003	0.000007	0.000015	0.000016	0.000110	0.000010	0.000017	0.000080	0.000025		
Factor B	2	0.000048*	0.000035*	0.000096**	0.000248**	0.001594**	0.000171**	0.000060*	0.000138*	0.000184*		
Inter.	6	0.000073**	0.000032*	0.000019ns	0.000209**	0.000759**	0.000165**	0.000149**	0.000037ns	0.000056	ns	
Error B	16	0.000009	0.000008	0.000013	0.000027	0.000130	0.000022	0.000016	0.000034	0.000047		
C. V., %	3.34	3.26	4.28	5.35	23.32	8.37	9.25	19.62	35.83			

*significancia con P<0.05, **significancia con P<0.01, dds días después de siembra, ns no significativo

Cuadro 6A. Cuadrados medios de la tasa de asimilación neta del cultivo de cilantro en diferentes fechas de muestreo. Se incluye el coeficiente de variación (C.V.) y la significancia.

F.V.	GL	Cuadrados Medios										
		17 dds	24 dds	31 dds	38 dds	45 dds	52 dds	59 dds	66 dds	73 dds		
Repet.	2	0.0002	0.0052	0.0008	0.0035	0.0023	0.0031	0.0201	0.2109	0.7409		
Factor A	3	0.0076*	0.0099ns	0.0486**	0.1310**	0.1409**	0.2564*	0.7028ns	0.8493ns	0.1070ns		
Error A	6	0.0009	0.0126	0.0031	0.0107	0.0068	0.0286	0.1691	0.5761	0.6583		
Factor B	2	0.0055*	0.0142ns	0.0301*	0.0799*	0.0923*	0.0897ns	0.2456ns	0.2247ns	0.2642ns		
Inter.	6	0.0109**	0.0142ns	0.0720**	0.1881**	0.2632**	0.3333**	0.4866*	1.2441*	1.1883ns		
Error B	16	0.0014	0.0090	0.0061	0.0169	0.0237	0.0607	0.1333	0.3829	0.6561		
C. V., %	13.16	26.41	15.58	19.20	17.96	20.00	25.12	45.70	103.95			

*significancia con $P < 0.05$, **significancia con $P < 0.01$, dds días después de siembra, ns no significativo.

Cuadro 7A. Cuadrados medios de la duración de área foliar del cultivo de cilantro en diferentes fechas de muestreo. Se incluye el coeficiente de variación (C.V.) y la significancia.

F.V.	GL	Cuadrados Medios										
		17 dds	24 dds	31 dds	38 dds	45 dds	52 dds	59 dds	66 dds	73 dds		
Repet.	2	0.01	0.08	0.14	3.16	139.23	213.03	387.16	211.56	495.58		
Factor A	3	52.86**	205.03**	578.43**	5508.66**	4795.02*	4271.58**	12812.10**	14653.48**	6716.29**		
Error A	6	0.80	3.01	19.73	109.10	580.90	305.00	390.79	422.46	518.13		
Factor B	2	13.91*	36.36ns	125.84ns	1394.28ns	6639.27**	4503.53**	2509.12*	39.00ns	2772.69ns		
Inter.	6	24.67**	85.05**	216.11**	2856.58**	1629.47*	1529.17*	3094.55**	3580.70**	1984.53ns		
Error B	16	3.68	14.14	46.09	446.06	554.64	527.94	671.99	400.21	1083.00		
C. V., %		11.96	12.85	13.44	18.77	27.14	15.40	15.84	13.39	29.61		

*significancia con $P < 0.05$, **significancia con $P < 0.01$, dds días después de siembra, ns no significativo.

Cuadro 8A. Cuadrados medios de la relación de área foliar del cultivo de cilantro en diferentes fechas de muestreo. Se incluye el coeficiente de variación (C.V.) y la significancia.

F.V.	GL	Cuadrados medios										
		17 dds	24 dds	31 dds	38 dds	45 dds	52 dds	59 dds	66 dds	73 dds		
Repet.	2	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Factor A	3	0.0168*	0.0175*	0.0135*	0.0080*	0.0077*	0.0015**	0.0008**	0.0006ns	0.0005ns		
Error A	6	0.0019	0.0021	0.0016	0.0009	0.0011	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002		
Factor B	2	0.0099ns	0.0087ns	0.0052ns	0.0026ns	0.0030ns	0.0015ns	0.0009*	0.0004ns	0.0002ns		
Inter.	6	0.0191**	0.0206**	0.0167**	0.0109**	0.0112**	0.0028**	0.0011**	0.0004*	0.0003ns		
Error B	16	0.0038	0.0043	0.0034	0.0021	0.0024	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001		
C. V., %		11.31	15.33	18.03	19.04	25.44	17.63	18.38	20.76	21.64		

*significancia con $P < 0.05$, **significancia con $P < 0.01$, dds días después de siembra, ns no significativo.

Cuadro 9A. Cuadrados medios para días a punteamiento en los genotipos Marroquí (MA) y Criollo Poblano (CP). Se incluyen el coeficiente de variación (C. V.) y la significancia.

F. V.	GL	Cuadrados medios	
		Marroquí	Criollo Poblano
Repetición.	2	0.390625	26.726563
Factor A	7	35.781250**	59.013393**
Error A	14	1.656250	7.801339
Factor B	2	94.390625**	37.726563**
Interacción	14	9.939733**	16.135044*
Error B	32	1.835938	6.500000
C. V., %		2.24	5.14

*significancia con $P < 0.05$, **significancia con $P < 0.01$, dds días después de siembra.

