

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ ANTONIO NARRO ”
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**Predicción del Punteamiento en Cilantro
Coriandrum sativum L. Usando Valores Primarios
e Índices Fisiotécnicos**

Por:

JUAN RAMÍREZ MORALES

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

Ingeniero Agrónomo en Horticultura

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Septiembre 2003.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ ANTONIO NARRO ”
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**

**Predicción del Punteamiento en Cilantro *Coriandrum sativum* L.
Usando Valores Primarios e Índices Fisiotécnicos**

TESIS

Presentada por:

JUAN RAMÍREZ MORALES

**Que somete a consideración del H. Jurado Examinador
Como Requisito Parcial para Obtener el Título de:
Ingeniero Agrónomo en Horticultura**

Dr. José Hernández Dávila
Presidente del jurado

Dr. Valentín Robledo Torres
Sinodal

Ing. Elyn Bacópulos Téllez
Sinodal

M. C. Alberto Sandoval Rangel
Sinodal

M.C. Arnoldo Oyervides García

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

**Buenavista Saltillo, Coahuila, México
Septiembre de 2003.**

AGRADECIMIENTOS

A ti señor, Dios todo poderoso te doy gracias por la vida que me has dado, salud y amor y los grandes dones que me das para seguir adelante, gracias por la sabiduría que me otorgas para desafiar los retos que a mi paso deja el enfrentarme con el conocimiento, gracias te doy por la paciencia para aceptar las cosas tal y cual las designes, gracias te doy señor.

Gracias a mi “ Alma Mater” La Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por la grandeza y generosidad de esta institución, por haberme cobijado en su seno y dado la oportunidad de superarme y formar parte de ella para que yo sea un profesionista responsable y comprometido con el Agro Mexicano.

Gracias a mi maestro y asesor Dr. José Hernández Dávila, quien me brindo su confianza para realizar este trabajo de investigación, en el cual el me guió y asesoró con su experiencia.

A mi amigo, Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo quien siempre me ha brindado su apoyo y amistad incondicionalmente en todo momento, y por esos sabios consejos, mi mas grande respeto y admiración de parte de su amigo: Juan.

Al Dr. Víctor Zamora Villa quien me apoyo estadísticamente en la realización de este trabajo, que hoy concluyo.

Al Dr. Valentín Robledo Torres, Ing. Elyn Bacópulos Téllez y M. C. Alberto Sandoval Rangel quienes me apoyaron a la realización de este trabajo que hoy concluyo.

Al Ing. Maria de Lourdes Hernández Hernández quien me ayudo para terminar de concluir este trabajo.

A mi amiga M.C. Carmen Gallegos de la Rosa quien siempre me brindo su amistad y apoyo.

A la familia Almanza Navarro y a la familia Lule Alvarado por haberme brindado su amistad y todo su respeto y cariño a ellos gracias.

A la Generación XCIV de la Especialidad de Horticultura con los que conviví gratos momentos

A mis amigos Maria Magdalena y Eduardo Chaires quienes compartieron conmigo momentos de alegría y tristeza a lo largo de mi etapa estudiantil...

Agradezco a todos los catedráticos de la UAAAN, especialmente a los del Departamento de Horticultura y a todo su personal, por sus conocimientos y experiencias que me transmitieron.

A todas las personas que de alguna manera me ayudaron a la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres:

Sra. Maria de la Luz Morales Rodríguez Sr. Hilario Anguiano Hernández quienes con tantos sacrificios y consejos me apoyaron para terminar mi carrera profesional y por llevarme por el buen camino del bien, para ustedes con todo cariño, amor y respeto de su hijo Juan.

A mis Hermanos:

Juan Manuel

Josefina

Maria de la paz

Por brindarme su apoyo y confianza y por ser los mejores hermanos y amigos que he tenido para ustedes con todo cariño.

A mi abuelo (+):

Sr. Primitivo Morales Montes quien siempre quiso que yo fuera un hombre de bien.

A mis sobrinos:

Juan Manuel

Alejandra

Miguel Ángel

Por su gran cariño y aprecio, que esta carrera que hoy concluyo sea un ejemplo para ustedes.

A mis cuñados:

Maria del Sagrario Ochoa Alvarado

José Guadalupe Anguiano Sandoval

Pedro Cárdenas Zúñiga

A mi novia:

Pety Anguiano Sandoval por su amor y paciencia a quien tanto amo y quiero, quien además siempre me apoyo moralmente y siempre se preocupo por mi, a ella **Dios la Bendiga.**

Al Ing. : Maria de Lourdes Hernández Hernández

Por su gran apoyo, confianza y aprecio, quien siempre se preocupo por mi en todo momento, y que además me ayudo para concluir mis estudios profesionales que además me faltarían palabras para darle las gracias por todo lo que ella me ayudo. A ella gracias **Dios la Bendiga.**

A mi padrino Ing. : Luis Humberto Camarena Cárdenas

Por su gran apoyo económico y moral quien siempre me apoyo para que siguiera adelante con esta carrera que hoy concluyo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Generalidades del cultivo	4
2.1.1 Importancia	4
2.1.2 Origen y distribución	5
2.1.3 Clasificación taxonómica	5
2.1.4 Descripción botánica	6
2.1.4.1 Raíz	6
2.1.4.2 Tallo	6
2.1.4.3 Hoja	6
2.1.4.4 Flor	6
2.1.4.5 Fruto	7
2.1.5 Requerimientos ambientales	7
2.1.5.1 Suelo	7
2.1.5.2 Requerimientos hídrico.....	7
2.1.5.3 Requerimientos nutrimentales	7
2.1.5.4 Latitud y altitud	8
2.1.5.5 Temperatura	8
2.1.5.6 Fotoperiodo	9
2.2 Aplicación de los modelos de regresión	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Localización del área experimental	15
3.2 Características del área experimental	15
3.2.1 Precipitación pluvial	15

3.2.2 Evaporación	15
3.2.3 Temperatura	15
3.2.4 Humedad relativa	16
3.3 Material genético utilizado	16
3.4 Características de los materiales	16
3.4.1 Diseño experimental	17
3.4.2 Descripción de tratamientos	17
3.4.3 Variables evaluadas	18
3.5 Modelo logístico específico	19
3.6 Procedimiento	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1 Modelos complejos	23
4.1.1 Correlaciones	24
4.2 Modelos Prácticos con Estimación no Lineal	26
4.3 Análisis de Sendero.....	29
V. CONCLUSIONES.....	29
VI. LITERATURA CITADA	31
VII. APÉNDICE.....	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1 Modelos complejos generados para estimar DP (días a punteamiento) con valores primarios e índices fisiotécnicos en diferentes ambientes con regresión múltiple.....	24
2 Correlaciones seleccionadas en base al coeficiente de correlación (R) en ambiente normal (NORMAL) y ambiente con incremento de temperatura (TEMPERATURA).....	25
3 Correlaciones seleccionadas en base al coeficiente de correlación (R) en ambiente con reducción de fotoperíodo.....	26
4 Parámetros estimados de los modelos logísticos prácticos para predecir el punteamiento en cilantro usando variables correlacionadas con los días a punteamiento en ambiente normal (NORMAL) y ambiente con reducción del fotoperíodo (FOTOPERÍODO).....	27
5 Parámetros estimados de los modelos logísticos prácticos para predecir el punteamiento en cilantro usando variables correlacionadas con los días a punteamiento en ambiente con incremento de temperatura.....	28
6 Parámetros de los modelos prácticos seleccionados con regresión logística por ambiente de producción para predecir el punteamiento en cilantro.....	29
7 Resolución de los modelos en ambiente con incremento de temperatura y reducción del fotoperíodo.....	30

1A	Análisis de coeficientes de sendero de los efectos directos e indirectos en 10 variables sobre días a punteamiento en cilantro (<i>Coriandrum sativum</i> L.) en ambiente con reducción de fotoperíodo.....	36
2A	Análisis de coeficientes de sendero de los efectos directos e indirectos en 10 variables sobre días a punteamiento en cilantro (<i>Coriandrum sativum</i> L.) en ambiente con incremento de temperatura.....	37

I. INTRODUCCIÓN

Los principales países productores de cilantro 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 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).

El cilantro es una hortaliza cuyas hojas y fruto se usan como condimento en la preparación de alimentos. El fruto seco es un importante ingrediente en la fabricación del polvo curry. Además, se emplea como especia en encurtidos, salsas, conservas en vinagre y para aromatizar licores, particularmente la ginebra. Los frutos contienen un aceite esencial volátil que se usa como saborizante, y en medicina por sus propiedades estimulantes, eupépticas, carminativas, antisépticas y antiespasmódicas (INEGI, 1997).

La mayoría de la producción del cilantro es vendida en manojos y racimos para ser utilizado como hierba fresca, y en menor cantidad se vende también a granel para procesamiento, durante el verano se necesita un periodo de 40 a 45 días para llegar a cosecha. El clima caliente causa que el cilantro florezca muy rápidamente y que el desarrollo de follaje prácticamente cese (PUC, 1999). Bajo estas condiciones, el cilantro es de

menor calidad debido a la floración prematura generando una planta de poca altura, lo que ocasiona que disminuya su rendimiento (Parménides, 1989).

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 (Yáñez, 1988; Andrio 1989; Reyes, 2000).

En el Sur de Coahuila se han venido realizando actividades de investigación en el cultivo de cilantro donde se ha determinado los días a punteamiento (primer síntoma visible de la floración) y la aplicación de algunas técnicas para retrasarlo. Conocer los días a punteamiento es de utilidad practica para el horticultor que siembra cilantro ya que, de alguna manera, le permite programar su periodo de cosecha. Sin embargo, sería de mayor utilidad poder predecir a través de modelos matemáticos, los días a punteamiento del cilantro sembrando en diferentes condiciones de fotoperíodo y temperatura (Hernández, 2003).

En base de lo anterior, en el presente trabajo se analizó información generada en un trabajo experimental donde se probaron diferentes genotipos, y diferentes condiciones de fotoperíodo y temperatura para tratar de lograr, los siguientes:

Objetivos:

1. Generar y analizar modelos matemáticos utilizando valores primarios e índices fisiotécnicos para predecir el punteamiento del cilantro sembrado en tres diferentes ambientes.

2. Encontrar modelos para la estimación de la variable DP (días a punteamiento) en cilantro y evaluar la confiabilidad de los modelos encontrados para la estimación de la variable mencionada.

Hipótesis:

1. La interacción valores primarios e índices fisiotécnicos ó cualquiera de los dos, generarán un modelo directo para cada uno de los diferentes ambientes para predecir la fecha de punteamiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO

El cilantro (*Coriandrum sativum* L.) deriva de la palabra griega koris que significa chinche, en referencia al olor que despide el fruto inmaduro de la planta joven (Mcmillan citado por Barboza, 1994). Su nombre común varía de acuerdo al lugar y al idioma, en español es cilantro ó culantro, en Italiano coriandolo, en Francés coriandro, en Alemán Koriander y en Inglés es llamado coriander (García, 1959). Esta hortaliza, pertenece a la familia Apiceae, antes Umbelliferae, que por su parte comestible es considerada dentro de las hortalizas de hoja y por la época en que se cultiva normalmente se le ubica dentro de las de clima frío (Valadéz, 1990).

2.1.1 IMPORTANCIA

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 Republica 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 al sustituir 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).

2.1.2 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

García (1959) citó que es procedente de Europa Meridional, encontrándose espontáneamente en algunas regiones españolas; además, Rodale (1964) señaló que los Chinos desde el año 5000 a. C. usaban su raíz y su semilla, pues algunas semillas fueron encontradas en una tumba egipcia de la XXI dinastía. Esta especie fue introducida a América por los Normados en 1670 vía Massachussets, EU; de donde se extendió por todo el continente para ser cultivado ampliamente en Perú y Paraguay (Neri, 1975). Actualmente se cultiva en el Medio Oriente, Norte de la India, Asia menor y América (Rodale, 1964).

2.1.3 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Reino -----Vegetal
División ----- Angiospermae
Clase ----- Dicotyledonea
Subclase ----- Archilchlamidae
Orden ----- Umbelliflorae
Familia ----- Umbelliferae
Genero ----- *Coriadrum*
Especie ----- *sativum L.*

2.1.4 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Planta anual, herbácea que alcanza una altura variable entre 0.40 y 0.90 metros en condiciones normales.

2.1.4.1 RAIZ: El sistema radicular que presenta el cilantro es fino y sencillo, su raíz principal es muy delgada que posee una cantidad variable de pelos radicales, por estas características se hace difícil su transplante (Santiago, 1993).

2.1.4.2 TALLO: Según Tamaro (1987) y García (1959), el cilantro tiene tallos dicotómicos y verticales ramosos; Carballo (1998), menciona que los tallos son cilíndricos, suaves, extendidos y que por ser herbáceos contienen una gran cantidad de agua.

2.1.4.3 HOJA: Los tallos sostienen hojas muy divididas; las hojas inferiores son de foliolos mas anchos y algo redondeadas y las hojas superiores son largas muy estrechas con divisiones lineales (García,1959). Santiago (1993) menciona que la mayoría de las hojas son de color verde intenso, aunque en ocasiones pueden ser verde – amarillo; son dos veces aladas y desiguales, los foliolos inferiores son anchos, ovales y provistos de lóbulos dentados y los foliolos superiores están divididos en dos o tres segmentos largos y estrechos.

2.1.4.4 FLOR: Las flores son de color blanco o ligeramente púrpuras, que se agrupan en una umbela compuesta al final del tallo (Tamaro, 1987). Cada planta tiene de tres a cuatro umbelas y cada una de ellas esta formada por seis a nueve flores que están compuestas de cinco sépalos, cinco pétalos, cinco estambres y un pistilo (Tindall citado por Carballo, 1998).

2.1.4.5 FRUTO: El fruto de la planta del cilantro es un esquizocarpo, de color amarillo oscuro, globoso y esta formado por dos pequeñas mitades semiesféricas acopladas una contra otra, con diez costillas primarias longitudinales y ocho secundarias (García, 1959).

2.1.5 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES

El cilantro puede ser cultivado en un amplio rango de condiciones climáticas. Durante el verano, se necesita un periodo de 40 a 45 días para llegar a cosecha. El fotoperíodo largo y el clima caliente causan que el cilantro florezca muy rápidamente y que el desarrollo de follaje prácticamente cese. Las temperaturas entre 10 y 30 °C proveen las condiciones óptimas de crecimiento. El cilantro tolera heladas ligeras.

2.1.5.1 SUELO: García (1959) mencionó que el cilantro es un cultivo que no exige condiciones especiales de suelo, aunque sí hay cierta preferencia hacia los suelos ligeros y profundos. Por otra parte, Morales (1987) menciona que para obtener altos rendimientos se recomiendan suelos ligeros, profundos, fértiles, de mediana consistencia y ricos en materia orgánica, también le favorece un pH ligeramente ácido.

2.1.5.2 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS: En estudios básicos, Savchuk (1977) indica que el cilantro puede llegar a producir de 1800 – 2000 kg por hectárea de semilla aún con precipitaciones de 250 – 300 mm durante el ciclo del cultivo. Morales (1987) reporta que la mejor lámina de riego para este cultivo en la región sur del estado de Coahuila fue de 350.9 mm con la que se obtuvieron 31.1 ton ha⁻¹ de follaje fresco.

2.1.5.3 REQUERIMIENTOS NUTRIMENTALES: Las hortalizas que son cultivadas por sus hojas requieren mayor cantidad de nitrógeno y menos fósforo y potasio, mas que en aquellas que se cultivan por su fruto o inflorescencia (García, 1959). Morales (1987) reporta que al aplicar dosis

elevadas de nitrógeno el rendimiento del follaje en cilantro se ve disminuido, también menciona que las dosis de 40 – 80 ton por hectárea de estiércol de bovino dieron los rendimientos mas altos de follaje fresco.

2.1.5.4 LATITUD Y ALTITUD: El cilantro ha mostrado un amplio rango de adaptación geográfica, ya que se encuentra cultivado desde 55° latitud Norte, hasta los 25° latitud Sur, como en Paraguay y Brasil. En cuanto a la altitud tiene el mismo comportamiento de adaptabilidad, así por ejemplo en México se le cultiva desde los 14 msnm, en Tamaulipas hasta los 2350 msnm, en el valle México (Andrio, 1989).

2.1.5.5 TEMPERATURA: La temperatura es uno de los factores climáticos mas importantes en el cultivo de las hortalizas y es el que mas influye sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. Este factor tiene una influencia directa sobre la velocidad de la división celular, actividad fisiológica que se desarrolla entre 5 y 30°C y que esta íntimamente ligada al período de crecimiento de los cultivos. Además es determinante en los procesos de fotosíntesis, respiración y, acumulación de azúcares y almidones.

Valadéz (1990) clasificó al cilantro como una hortaliza de clima frío, cuya temperatura media mensual debe ser de 15 – 18°C y Montes (1979) mencionó que el cilantro se cultiva fuertemente en los climas templados – fríos y en los subtropicales ya que requiere buena exposición al sol.

Tinajero (1993) mencionó que el cultivo de cilantro se puede sembrar todo el año; sin embargo, son mas factibles las siembras en la época de Otoño – Invierno ya que es cuando se obtienen los rendimientos mas altos de hasta 41.3 ton ha⁻¹ en las siembras de Primavera – Verano probablemente, debido a las altas temperaturas y al largo fotoperíodo se acelera el crecimiento de las plantas y los rendimientos disminuyen a 19.5 ton ha⁻¹ o bien, el producto es de mala calidad.

2.1.5.6 FOTOPERIODO: La luz regula los procesos que intervienen en el crecimiento de las plantas. Requisito previo a la iniciación de una respuesta de una planta ante la luz, es que esta sea absorbida. Esto implica la necesidad de un receptor (generalmente un pigmento) que debe estar presente y debe ser capaz de absorber las longitudes de onda de la luz responsable de la respuesta. En muchos casos la absorción de la luz por el receptor, hace que este se vuelva mas activo, lo cual a su vez desencadena una serie de reacciones químicas que conducen en último término a una respuesta de la planta.

Bidwell (1991) afirmó que el fotoperíodo capacita a la planta a responder a la longitud del día de manera que florece en una época específica del año, determinada por las horas luz de los días (fotoperíodo) que, junto con la vernalización son los dos mecanismos mas importantes que determinan el tiempo que debe transcurrir hasta la floración.

Mohr y Schopfer (1995) mencionaron que además de la formación de la flor, algunos otros procesos fisiológicos son controlados fotoperíodicamente; por ejemplo, la ramificación, la actividad cambial, la formación de las yemas, la formación de bulbos y tubérculos, la fijación fotosintética de CO₂ y el metabolismo ácido, de las crasuláceas.

Medina (1977) reportaron que las plantas superiores responden fotosintéticamente a las condiciones en que se han desarrollado; también menciona que su adaptación y su tolerancia a las condiciones de luz y temperatura están determinados genéticamente.

Hernández (1994) mencionó 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.

2.2 APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE REGRESION

Los modelos matemáticos son una herramienta que permite la estimación de una variable (variable dependiente) sobre la base de los valores que tomen otras (variables independientes). Se usan en amplias áreas del conocimiento; en las finanzas y en estudios de población, se hacen “predicciones” a futuro (extrapolaciones) sobre la base del comportamiento de algunos indicadores (Infante y Zarate, 1984); en epidemiología se utilizan para prever el comportamiento de las enfermedades utilizando el comportamiento de variables ambientales y la disponibilidad de inóculo como variables independientes (Dropkin, 1980; Sutton, 1996). Para la estimación de variables fisiológicas también han demostrado su utilidad los modelos matemáticos (Thornley, 1976).

En fruticultura se usan también ampliamente para la estimación de variables que no fácilmente se miden: para la determinación anticipada del tamaño final del fruto, de la época de cosecha, de las posibilidades de brotación de las plantas en un lugar (Schwartz *et al.* 1997), entre muchas otras, normalmente dentro de un intervalo de tiempo usado para la creación del modelo y en el cual este es valido (intrapolaciones) (Afifi y Clark, 1984).

Espinoza *et al.* (1998) encontraron modelos matemáticos para predecir peso fresco y peso seco en ramas de durazno que, confiabilidad, estimen las variables mencionadas sobre la base de otras que no requieran la destrucción de la planta. Se encontró que el peso fresco (PF) de las ramas se puede estimar sobre la base del volumen calculado por las fórmulas del cono truncado y cono (para las ramas podadas y no, respectivamente), el número de hojas (como indicador del número de yemas) y la relación entre los diámetros basales laterales y adaxial – abaxial, con modelos para ramas de diferente avance de lignificación que tienen R^2 entre 0.9446 y 0.9812 y $C(p)$ muy aceptable (entre 1.299 y 5, para modelos con 1 a 4 variables). Se encontró un modelo general que estima el peso seco ($PS = -0.7484 +$

0.5804* PF) y uno por cada grado de dureza, todos con una R^2 entre 0.9802 y 0.99 y C(p) de 2.0.

Para la creación de los modelos es necesario contar con datos de los valores que toman las variables dependientes al variar las independientes y someterlos a un análisis de regresión que permita establecer la relación matemática entre ellas. Los componentes de estos modelos son: la variable dependiente, a la izquierda de un signo igual; a la derecha de este, el valor de una constante (intercepto), y los valores de varias constantes (coeficientes de regresión) multiplicando a sendos valores de las variables independientes, lo que en una representación generalizada sería según Myers (1990):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni} + \epsilon_i$$

Donde: Y_i = valor de la variable dependiente

β_0 = valor del intercepto

$\beta_1 - \beta_n$ = valores de los coeficientes de regresión

$X_{1i} - X_{ni}$ = valores de las variables independientes en la observación i

ϵ_i = error asociado a la observación i

El valor de la interceptada (β_0) representa el valor de la variable dependiente (Y) cuando los valores de las variables independientes son iguales a cero. No se incluye en el modelo cuando de manera natural el valor de Y debe ser cero cuando los valores de X son cero o si el modelo obtenido le asigna un valor de cero; por ejemplo, si el modelo usado en la estimación del peso se basa en el volumen, y el intervalo en que es válido incluye al valor de volumen igual a cero, no incluirá un valor para la interceptada, ya que a un valor de cero para el volumen le corresponde uno de cero para el peso.

En la generación de los modelos, la experiencia del investigador es determinante para la elección de las variables que han de formar parte de ellos. Adicionalmente, los métodos para la creación de modelos por regresión, tanto los manuales como los computacionales, normalmente incluyen un análisis de varianza que permite determinar de manera objetiva si la participación de la interceptada o una variable independiente en el modelo es significativa (pertinente o adecuada) o no y, por tanto, si ha de ser incluida o no en el modelo (Myers, 1990).

La regresión normalmente hace uso del método de mínimos cuadrados para la generación de los modelos, y requiere el cumplimiento de varios supuestos para la obtención de modelos confiables (Afifi y Clark, 1984).

Por otro lado, existen algunos criterios que permiten establecer que tan confiables son los modelos y permiten elegir entre ellos el mejor; es decir, esos parámetros permiten establecer que tan parecidos son los valores estimados por cada modelo a los reales que sirvieron para generarlo, y se supone que esa misma confiabilidad se tendrá cuando se desee hacer interpolaciones o intrapolaciones, o sea, estimaciones de la variable dependiente sobre la base de valores de las variables independientes. Entre ellos, el mas usado es el coeficiente de determinación (R^2 o r^2), que toma valores entre cero y uno, y mientras mas cerca de uno sea el valor de R^2 , el modelo será mas confiable, y un valor de cero para R^2 , significa una total independencia entre los valores de la variable dependiente y los de las variables independientes (Infante y Zarate, 1984). En algunos casos se considera a la R^2 ajustada en lugar de la R^2 simple, con lo que se intenta evitar la inclusión de variables de valor marginal en el modelo (Myers, 1990). Otro estadístico, $C(p)$, ha sido propuesto como criterio para la selección del modelo adecuado y permite, al igual que la R^2 ajustada, evitar variables de valor marginal en el modelo; se considera (Myers, 1990) que mientras mas

pequeño, mejor será el modelo e incluso se recomienda (SAS Institute, 1985) que se seleccionen modelos cuyo $C(p)$ se acerque a p (número de variables independientes en el modelo). Aunque se recomienda (Myers, 1990; Thornley, 1976; Afifi y Clark, 1984) que se utilicen, además, otros criterios en la selección de los modelos (análisis de residuales, entre otros), es difícil encontrar trabajos en los que se seleccionen los modelos con base en otro criterio que no sea la R^2 simple; es mas, en muchos trabajos se aceptan modelos con R^2 sumamente bajas, en el orden de 0.4 a 0.5 ó menores (Schwartz *et al.*, 1997; Meng y Arp, 1992; Meng *et al.*, 1994) que denotan una gran falta de ajuste de los modelos.

Uresti *et al.* (2001) realizaron un trabajo donde se probaron modelos para simular el crecimiento y producción potencial del maíz y la tasa diaria de erosión en zonas tropicales. El modelo desarrollado es capaz de simular diariamente la producción potencial de materia seca aérea y grano de maíz con diferentes densidades de población de plantas. La fenología del maíz se simula diariamente utilizando el concepto de unidades calor, que se acumulan a partir de las temperaturas máximas y mínimas diarias del aire y una temperatura base 10°C . Bajo condiciones no limitantes de humedad, nutrimentos y manejo del cultivo, la producción potencial de materia seca es función de la tasa de intercepción (IPAR) y eficiencia en el uso de la radiación solar (RUE) para convertir el bióxido de carbono asimilado en materia seca. La IPAR se calcula mediante la ley de Beer y es función del índice de área foliar verde (GLAI) y un coeficiente de extinción de la luz específico para maíz. La RUE varía lineal y proporcionalmente con la densidad de población de plantas (DP). La producción aérea de materia seca acumulada es repartida diariamente por el modelo en hojas, tallo, olote, brácteas y grano. El índice de cosecha (HI) evalúa la fracción de grano.

Bugarin *et al.* (2001) generaron un modelo para estimar la acumulación diaria de materia seca (MS_{BAT}) y potasio (K_{BAT}) en la biomasa

aérea total de tomate en el periodo de crecimiento (P_c) entre la fecha de plantación y cosecha, cuya aplicación se espera que sea valida indistintamente del hábito de crecimiento del cultivo, manejo o condiciones ambientales.

Viloria (1999) realizó un experimento en campo con la finalidad de establecer modelos de regresión y determinar el efecto distancia de siembra y dosis de nitrógeno sobre el rendimiento del pimentón (*Capsicum annuum* L.). El diseño de tratamientos utilizados fue el Compuesto Central Rotable para un total de 9 combinaciones entre distancia de siembra y dosis de nitrógeno, distribuidas en el campo en un bloques a la zar con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron rendimiento de frutos expresado como peso de frutos por unidad de área, número de frutos por unidad de área, peso de frutos por planta y número de frutos por planta. Mediante la aplicación de los modelos de regresión: Polinomial cuadrático, Raíz cuadrada y fraccionario se determino la importancia de la distancia de siembra en la estimación del rendimiento del pimentón.

Rebolledo (1998) realizó un trabajo para estimar diferentes modelos de regresión a experimentos de fertilización y su comparación con fines de generar recomendaciones optimas económicas (DOE). El problema que ocurre es que modelos de regresión diferentes originan DOE diferentes y en consecuencia dichas DOE estarán bien estimadas en la medida que el modelo matemático generado represente en forma adecuada la relación existente entre el rendimiento del cultivo y la dosis de fertilizantes.

II. MATERIALES Y METODOS

3.1 LOCALIZACIÓN DEL AREA EXPERIMENTAL

Un trabajo de investigación fue realizado en el periodo Septiembre – Diciembre de 1998, en la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Geográficamente localizada a una latitud de 25° 23' y a 101° 02' longitud Oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 1723 msnm, ubicada en Buenavista a 7 Km. de Saltillo, Coahuila.

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL AREA EXPERIMENTAL

La clasificación de Koopen modificada por García (1964) define al lugar como del tipo Bw hw (x) (c), clima muy seco semiárido con invierno fresco extremo.

3.2.1 PRECIPITACIÓN PLUVIAL

La precipitación total durante todo el año en que se llevo a cabo la investigación fue de 469.3 mm siendo los meses mas lluviosos Junio, Julio, Agosto y Septiembre.

3.2.2 EVAPORACIÓN

La evaporación total anual fue de 1985.06 mm, se observó, que los meses con menor demanda fueron Septiembre, Octubre y Noviembre; los meses que registraron las cifras mas altas fueron Abril, Mayo y Junio.

3.2.3 TEMPERATURA

La temperatura promedio que se registró durante el año fue de 18.3°C, y en los meses de interés, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre, las medias fueron 19.0, 17.4, 15.7, y 12.6°C.

3.2.4 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa registrada fue de 61% promedio anual, y en los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre se registraron 80, 76 y 69%, respectivamente.

3.3 MATERIAL GENÉTICO UTILIZADO

Los materiales que se utilizaron en el experimento fueron cuatro cultivares:

- Criollo de Ramos
- Marroquí
- Sun Master
- Slow Bolt

3.4 CARACTERÍSTICA DE LOS MATERIALES

CRIOLLO DE RAMOS: Presenta un ciclo agrícola de 85 – 90 días en Otoño – Invierno y de 45 – 60 días en Primavera – Verano, dependiendo de las temperaturas que se presenten en el desarrollo del cultivo. Es una planta con hojas pequeñas y poca altura, por lo que se obtienen bajos rendimientos. Su aroma fuerte y agradable lo hace ser un material apreciado. Su origen es de Ramos Arizpe, Coahuila.

MARROQUÍ: Tiene un ciclo agrícola que varía de 60 – 95 días en Otoño – Invierno, con un porcentaje mínimo de germinación de 90%, y la emergencia se presenta de 9 – 11 días después de la siembra. Su altura para corte va de 25 – 30 cm, y está constituida de 6 – 11 pecíolos por planta. El punteamiento se presenta después de los 95 días en Otoño- Invierno.

SUN MASTER: Este material se produjo en Mexicali, Baja California Norte y tiene un gran rango de adaptación, su ciclo varía de 60 – 70 días

aproximadamente, teniendo un porcentaje de germinación del 80% como mínimo, cada planta cosechada esta constituida por 6 – 11 pecíolos.

SLOW BOLT: Su ciclo agrícola varia de 60 – 100 días en Otoño – Invierno y tiene una germinación mínima del 80% en esta misa época presenta su punteamiento a los 95 días, la emergencia se da entre los 10 – 11 días, y la altura de corte es de 30 cm formada por 6 – 11 pecíolos.

3.4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental que se utilizó en el trabajo fue un bloques al azar con arreglo de parcelas divididas, que consistió en cinco ambientes de producción, cuatro genotipos (20 tratamientos) y tres repeticiones. Identificando al ambiente como factor A, y al genotipo como factor B, para sumar un total de 60 unidades experimentales

3.4.2 DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS

Factor A. Ambiente de producción:

A.1= Ambiente normal

A.2= PPT1 (temperatura modificada por 1 capa de Polietileno transparente).

A.3= PPT2 (temperatura modificada por 2 capas de Polietileno transparente).

A.4= PPN1.5 (fotoperíodo reducido 1.5 horas con Película de polietileno negro).

A.5= PPN3 (fotoperíodo reducido 3.0 horas con Película de polietileno negro).

Factor B. Genotipo:

B.1= Criollo de Ramos

B.2= Marroquí

B.3= Sun Master

B.4= Slow Bolt

El factor A se tomó como parcela grande y el factor B como parcela chica. Las dimensiones de la parcela grande fueron 6.5 m de longitud y 1.10 m de ancho, mientras que la parcela chica consistió en 1.20 m de longitud y 1.00 m de ancho, como parcela útil se consideraron tres metros lineales por tratamiento para realizar los muestreos de área foliar y peso seco.

3.4.3 VARIABLES EVALUADAS

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

A. Peso seco y Área foliar: Estos valores se obtuvieron cosechando la parte aérea de las plantas con competencia completa en 10 cm de surco de las cuales se seleccionaron cinco plantas representativas que fueron procesadas en el analizador de área foliar (equipo portátil modelo LI – 3000), posteriormente se secaron a temperaturas de 60 – 70°C durante 72 horas y por último se pesaron en la balanza analítica. Estos valores se obtuvieron mediante ocho muestreos que se realizaron cada siete días a partir del día 24 después de la siembra (a los 24, 31, 38, 45, 52, 59, 69 y 89 dds), los siete primeros muestreos dentro de la etapa vegetativa y, el último cuando iniciaba el “punteamiento” del cultivo.

B. Índices fisiotécnicos: Una vez obtenidos los valores de área foliar y peso seco, fueron sometidos a un análisis de regresión donde se determinó que entre ambos valores existía una relación lineal, por lo que se decidió utilizar las fórmulas propuestas por Radford (1967) para calcular los índices fisiotécnicos que son indicadores de eficiencia de los vegetales y sus cultivares en ambientes diferentes y son los siguientes:

$$TCC = (W_2 - W_1) (t_2 - t_1); g \text{ dia}^{-1}$$

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

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

$$TAN = (W_2 - W_1) (\ln A_2 - \ln A_1) / (A_2 - A_1) (t_2 - t_1); \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$$

$$RAF = A / W; \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$$

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

Donde:

TCC = Tasa de crecimiento del cultivo.

TRC = Tasa relativa de crecimiento.

TRCF = Tasa relativa de crecimiento foliar.

TAN = Tasa de asimilación neta.

RAF = Relación de área foliar.

DAF = Duración de área foliar.

W_1 y W_2 = pesos seco al tiempo 1 y 2, respectivamente.

A_{21} y A_2 = área foliar al tiempo 1 y 2, respectivamente.

T_1 y t_2 = tiempo 1 y 2, respectivamente.

$\ln$ = logaritmo natural.

3.5 Modelo Logístico Específico

En el experimento que se monitoreo el crecimiento de cuatro genotipos de cilantro que fueron influenciados por la temperatura y el fotoperíodo se utilizaron los datos de peso seco y área foliar para ajustar los valores primarios citados, se corrieron los datos con ecuaciones de regresión (lineal, cuadrática y cúbica) y el modelo logístico específico (hubo la necesidad de crear un modelo logístico específico para el peso y el área foliar del cilantro, ya que el modelo logístico general no pudo ser trabajado con el programa de computación STATISTICA, en virtud de que requiere el

valor numérico de una constante, el cual no se conoce. En cuanto al modelo logístico de proporciones no se utilizó porque los valores que se obtienen están entre cero y uno y lo que se requiere son valores estimados de área foliar y de peso que varían de este rango), esto ultimo fue posible mediante la relación del modelo logístico general y el modelo logístico en proporciones (Cortés, 1999), de acuerdo a lo siguiente:

**Modelo Logístico
General**

$$Y = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{\beta_1 + \beta_2 x}}$$

**Modelo Logístico de
Proporciones**

$$Y = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}}$$

**Modelo Logístico
Específico**

$$Y = \frac{e^{\beta_0 x}}{1 + \beta_0 e^{\beta_1 + \beta_2 x}}$$

Donde:

Y = Variable (PS, AF)

X = Días después de la siembra

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

En base al mejor ajuste de dichos valores se encontró que, la función logística específica fue el modelo mas adecuado para describir el comportamiento del crecimiento del cilantro. La función describe fenómenos que tienen un desarrollo lento al principio, y que se incrementa

paulatinamente hasta converger a un valor limite (Guzmán, 1999; Hernández, 2003)

3.6 PROCEDIMIENTO:

En el experimento que se describe anteriormente, se generó información sobre valores primarios e índices fisiotécnicos, para diferentes fechas de muestreo. Estos valores, fueron considerados como variables con el objetivo de ser utilizadas para generar los modelos de predicción del punteamiento en cilantro. Otra variable considerada fue días a punteamiento que para el caso que nos ocupa fue la variable dependiente. Con estas variables se busco la generación de modelos matemáticos complejos y prácticos que posteriormente fueron seleccionados en base a su significancia, al valor del coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de correlación, la varianza explicada por el modelo, el coeficiente de determinación ajustado y el efecto directo de la variable x en los días a punteamiento. La metodología fue la siguiente:

a) Los valores primarios, índices fisiotécnicos y días a punteamiento, fueron capturados en el programa Excel, con el nombre de cada variable y los días de evaluación, para cada uno de los ambientes, con lo cual se formó una base de datos.

b) Posteriormente, esta base de datos se pasó al paquete de STATISTICA 6.0 del cual se seleccionó el programa Regresión Múltiple, que fue corrido con estos valores, para cada uno de los diferentes ambientes.

c) Los ambientes para los que se corrió la regresión múltiple fueron los siguientes: 1 ambiente normal (temperatura promedio durante el ciclo de 18.7 °C y fotoperíodo de 11:55 horas), 2 ambiente con incremento de temperatura con una cubierta de polietileno transparente (temperatura

promedio durante el ciclo de 27.4 °C y fotoperíodo de 11:55 horas) y 3 ambiente con reducción del fotoperíodo en tres horas (temperatura promedio durante el ciclo de 18.7 °C y fotoperíodo de 9:55 horas).

d) Al momento de correr el programa para generar los modelos para cada uno de los diferentes ambientes se tomo a la variable días a punteamiento como la variable dependiente y el resto de las variables como las variables independientes. Con esto se generaron los modelos complejos para predecir el punteamiento.

e) Dentro del programa Regresión Múltiple se corrió el subprograma Correlaciones para ver el grado de asociación entre todas las variables en cada uno de los ambientes de producción.

f) Las correlaciones de interés fueron aquellas que involucraron los días a punteamiento y se seleccionaron aquellas con el mayor valor del coeficiente de correlación (R).

g) Aquellas correlaciones que involucraron valores primarios y/o índices fisiotécnicos estimados después de los 52 dds fueron eliminadas del siguiente análisis.

h) Las correlaciones seleccionadas fueron analizadas con el subprograma Estimación no Lineal usando la regresión Logística. Esto, permitió generar los modelos prácticos para predecir el punteamiento.

i) Análisis de sendero. Para determinar el impacto directo e indirecto de las variables correlacionadas con los días a punteamiento se corrieron análisis de sendero en dos de los ambientes de producción. En el ambiente de producción Normal este análisis no se realizó.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Modelos Complejos

En el Cuadro 1 se muestran los 3 diferentes modelos complejos con la interacción valores primarios e índices fisiotécnicos. Se tiene que para el ambiente normal se generó un modelo con la interacción, relación de área foliar a los 66 días después de la siembra (RAF66) y una área foliar a los 24 días después de la siembra (AF24), para el ambiente incremento de temperatura se tiene que la interacción tasa relativa de crecimiento foliar a los 52 días después de la siembra (TRCF52) y peso seco a los 38 días después de la siembra (PS38) fue la que generó el mejor modelo y para el ambiente con reducción del fotoperíodo el mejor modelo se obtuvo con la interacción tasa relativa de crecimiento foliar a los 45 días después de la siembra (TRCF45) y duración de área foliar a los 66 días después de siembra (DAF66). Todos los modelos mostraron buen ajuste para describir los días a punteamiento con un coeficiente de determinación ajustado de $R_a = 0.99$. Aún y cuando estos modelos mostraron un alto valor predictivo para los días a punteamiento presentan, al menos dos de ellos, el inconveniente de que involucran índices fisiotécnicos que deben ser estimados a los 66 días después de la siembra y en el caso de las siembras de cilantro en primavera - verano los días a punteamiento se alcanzan antes de este tiempo. Por otra parte el uso de estos índices demanda el uso de un integrador de área foliar equipo, que no esta disponible para su utilización por los productores. Por lo anterior, se llevó a cabo la generación de lo que llamamos modelos prácticos, analizando las correlaciones entre las variables con los días a punteamiento y realizando una estimación no lineal con un modelo logístico.

Cuadro 1. Modelos complejos generados para estimar DP (días a punteamiento) con valores primarios e índices fisiotécnicos en diferentes ambientes con regresión múltiple.

AMBIENTE	MODELO GENERADO	R _a
Normal	DP= 67. 86 + 2.669 (AF24) + 156. 021 (RAF66)	0.99*
Incremento de Temp	DP= 125. 45 -.208 (PS38) - 316. 267 (TRCF52)	0.99*
Reducción del Foto	DP= 80.483 + 0.026 (DAF66) + 156.149 (TRCF45)	0.99*

RAF = relación de área foliar a los 66 días después de la siembra, AF = área foliar a los 24 días después de la siembra, PS = peso seco a los 38 días después de la siembra, TRCF = tasa relativa de crecimiento foliar a los 52 y 45 días después de la siembra, DAF = duración de área foliar a los 66 días después de la siembra, Temp = temperatura, Foto = fotoperiodo, R_a = coeficiente de determinación ajustado, *regresión significativa con $P \leq 0.01$.

4.1.1 Correlaciones

Al correr el programa de Regresión Múltiple se generaron una serie de correlaciones entre todas las variables; de ellas, se seleccionaron aquellas que se correlacionaron con los días a punteamiento y que mostraron un alto valor del coeficiente de correlación (R). En los Cuadros 2 y 3 se muestran las correlaciones seleccionadas. Se pudo observar que para el ambiente de producción normal se tienen dos variables correlacionadas con los días a punteamiento, para el ambiente de producción con incremento de temperatura fueron 25 variables correlacionadas con los días a punteamiento y para el ambiente de producción con reducción del fotoperíodo fueron 20 variables correlacionadas con los días a punteamiento. Independientemente del ambiente de producción, fueron eliminadas aquellas variables que son estimadas después de los 52 días después de siembra y aplica el mismo razonamiento utilizado en los modelos complejos.

Cuadro 2. Correlaciones seleccionadas en base al coeficiente de correlación (R) en ambiente normal (NORMAL) y ambiente con incremento de temperatura (TEMPERATURA).

VARIABLE	R
NORMAL	
• Área foliar a los 24 dds	.9916
• Área foliar a los 31 dds	.8277
TEMPERATURA	
• Peso seco a los 38 dds	- .9506
• Peso seco a los 45 dds	- .8796
• Peso seco a los 52 dds	- .9252
• Área foliar a los 69 dds*	- .9252
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 17 dds	- .8860
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 38 dds	.8266
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 45 dds	.8655
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 52 dds	.8920
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 59 dds*	.9019
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 66 dds*	.8108
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 73 dds*	- .8179
• Tasa de asimilación neta a los 17 dds	.8732
• Tasa de asimilación neta a los 24 dds	.8828
• Tasa de asimilación neta a los 31 dds	.8650
• Duración de área foliar a los 17 dds	- .8508
• Duración de área foliar a los 24 dds	- .8700
• Duración de área foliar a los 31 dds	- .8645
• Duración de área foliar a los 45 dds	.8144
• Duración de área foliar a los 52 dds	.8779
• Duración de área foliar a los 59 dds*	.8983
• Duración de área foliar a los 66 dds*	.8751
• Relación de área foliar a los 17 dds	- .8468
• Relación de área foliar a los 24 dds	- .8504
• Relación de área foliar a los 31 dds	- .8571
• Relación de área foliar a los 38 dds	- .8228

* Correlaciones eliminadas

Cuadro 3. Correlaciones seleccionadas en base al coeficiente de correlación (R) en ambiente con reducción de fotoperíodo.

VARIABLE	R
• Peso seco a los 52 dds	- .9348
• Área foliar a los 24 dds	.8621
• Área foliar a los 31 dds	.8439
• Área foliar a los 52 dds	- .9043
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 17 dds	- .9025
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 24 dds	- .8857
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 31 dds	- .8857
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 45 dds	.9433
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 52 dds	.9810
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 59 dds*	.9865
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 66 dds*	.9921
• Tasa relativa de crecimiento foliar a los 73 dds*	.9705
• Duración de área foliar a los 17 dds	- .8637
• Duración de área foliar a los 24 dds	- .8609
• Duración de área foliar a los 31 dds	- .8595
• Duración de área foliar a los 38 dds	- .8552
• Duración de área foliar a los 45 dds	- .8176
• Duración de área foliar a los 59 dds*	.9601
• Duración de área foliar a los 66 dds*	.9924
• Duración de área foliar a los 73 dds*	- .9594

* Correlaciones eliminadas

4.2 Modelos Prácticos con Estimación no Lineal (Regresión Logística)

De los Cuadros 2 y 3 se tomaron las correlaciones no eliminadas y sus valores fueron corridos en Regresión no Lineal con un Modelo Logístico específico para describir el crecimiento del cilantro (Hernández, 2003) con el objetivo, de generar modelos prácticos para predecir el punteamiento en cilantro. Los resultados de este análisis se muestran en los Cuadros 4 y 5.

En función de la varianza explicada por el modelo y del coeficiente de determinación ajustado (R_a) se seleccionó el mejor modelo práctico para cada ambiente de producción. En el Cuadro 6 se anotan dichos modelos.

Cuadro 4. Parámetros estimados de los modelos logísticos prácticos para predecir el punteamiento en cilantro usando variables correlacionadas con los días a punteamiento en ambiente normal (NORMAL) y ambiente con reducción del fotoperíodo (FOTOPERÍODO).

Variable	B ₀	B ₁	B ₂	VE, %	R _a
A. Normal					
AF24	5.8959	- 6.1048	5.8629	98.235	.9911
AF31	2.0787	- 5.1118	2.0721	67.980	.8245
B.FOTOPERÍODO					
PS52	.1080	-2.4210	.1083	87.288	.9342
AF24	7.0136	-6.4333	6.9939	74.663	.8640
AF31	3.5794	-5.7787	3.5720	71.471	.8454
AF52	.2154	-3.0928	.2163	82.044	.9057
TRCF17	-.8683	.1330	-.0165	81.606	.9033
TRCF24	-.8881	.1107	-.0204	78.808	.8877
TRCF31	-.9171	.0797	-.0340	78.750	.8874
TRCF45	-.9704	.0153	.0666	89.239	.9446
TRCF52	-.9895	-.0013	.0333	96.266	.9811
DAF17	1.4422	-5.0085	1.4473	74.970	.8658
DAF24	.7624	-4.3611	.7648	74.501	.8631
DAF31	.3798	-3.6608	.3810	74.192	.8613
DAF38	.2382	-3.1995	.2390	73.503	.8573
DAF45	.1697	-2.8827	.1704	67.226	.8199

VE = varianza explicada por el modelo, R_a = Coeficiente de determinación ajustado, AF = área foliar a diferentes días de muestreo, PS = peso seco a diferentes días de muestreo, TRCF = tasa relativa de crecimiento foliar a diferentes fechas de evaluación, DAF = duración de área foliar a diferentes fechas de evaluación.

Cuadro 5. Parámetros estimados de los modelos logísticos prácticos para predecir el punteamiento en cilantro usando variables correlacionadas con los días a punteamiento en ambiente con incremento de temperatura.

Variable	B₀	B₁	B₂	VE, %	R_a
PS38	.1338	-2.4746	.1346	90.437	.9509
PS45	.1105	-2.2593	.1109	77.755	.8817
PS52	.1003	-2.1961	.1006	85.768	.9261
TRCF17	-.9783	.0165	-.0670	79.298	.8904
TRCF38	-.9473	.0390	.0418	69.759	.8352
TRCF45	-.9587	.0279	.0341	76.330	.8736
TRCF52	-1.1016	-.1108	.0348	80.852	.8991
TAN17	-.8664	.1281	.0193	78.505	.8860
TAN24	-.7534	.2682	.0146	80.790	.8988
TAN31	-.7891	.2222	.0126	79.528	.8917
DAF17	1.1618	-4.6670	1.1709	72.863	.8536
DAF24	.5843	-4.0090	.5903	76.197	.8729
DAF31	.3135	-3.5330	.3199	75.470	.8687
DAF45	.1782	-2.5353	.1773	66.920	.8180
DAF52	.2177	-2.7750	.2173	77.481	.8802
RAF17	-.8944	.1019	.0034	72.677	.8525
RAF24	-.8080	.2028	.0630	73.125	.8551
RAF31	-.8835	.1135	.0025	74.158	.8611
RAF38	-.8922	.1042	-.0014	68.478	.8275

VE = varianza explicada por el modelo, R_a = Coeficiente de determinación ajustado, PS = peso seco a diferentes días de muestreo, TRCF = tasa relativa de crecimiento foliar a diferentes fechas de evaluación, TAN = tasa de asimilación neta a diferentes fechas de evaluación, DAF = duración de área foliar a diferentes fechas de evaluación, RAF = relación de área foliar a diferentes fechas de evaluación.

Cuadro 6. Parámetros de los modelos prácticos seleccionados con regresión logística por ambiente de producción para predecir el punteamiento en cilantro.

Ambiente de producción	Variable	B ₀	B ₁	B ₂
Normal	AF24	5.8959	- 6.1048	5.8629
Incremento de temperatura	PS38	0.1338	- 2.4746	0.1346
Reducción del fotoperíodo	TRCF52	- 0.9895	- 0.0013	0.0333

AF = área foliar a los 24 dds, TRCF = tasa relativa de crecimiento foliar a los 52 dds, PS = peso seco a los 38 dds.

4.3 Análisis de Sendero

Los resultados mostraron que las variables con mayor efecto directo en los días a punteamiento fueron RAF24 y DAF38 con valores de 1.002 y 2.023, para los ambientes incremento de temperatura y reducción del fotoperíodo, respectivamente (Cuadros 1A y 2A). Por consiguiente, los modelos seleccionados con éste análisis se anotan en el Cuadro 7. Estos modelos, son diferentes a los seleccionados con la regresión logística y por ello, se resuelven los cuatro modelos para los ambientes incremento de temperatura y reducción del fotoperíodo seleccionados con ambos análisis (Cuadro 7). Al comparar los días a punteamiento estimados con los días a punteamiento observados, se comprobó que todos los modelos mostraron alto valor predictivo para estimar los días a punteamiento en cilantro; por lo cual, tanto la regresión logística como el análisis de sendero, seleccionan variables que estiman con exactitud los días a punteamiento del cilantro, sembrado en diferente ambiente de producción.

V. CONCLUSIONES

La regresión logística y el análisis de sendero permiten generar modelos con alto valor predictivo para estimar los días a punteamiento en cilantro. Las variables AF24 en Ambiente Normal, PS38 y RAF24 en Ambiente con incremento de temperatura y TRCF52 y DAF38 en Ambiente con reducción

de fotoperíodo, son las que mejor estiman los días a punteamiento en cilantro.

Cuadro 7. Resolución de los modelos en ambiente con incremento de temperatura y reducción del fotoperíodo.

AMBIENTE	MODELO	DPO	DPE
Temp, RL	$DP = \exp(\frac{(((.1338))) * ps38}{(1 + (((.1338))) * \exp((((-2.4746))) + (((.1346))) * ps38))})$	78.2	78.8
Temp, AS	$DP = \exp(\frac{((- .8080))) * raf24}{(1 + (((-.8080))) * \exp(((((.2028))) + (((.0030))) * raf24))})$	78.2	76.7
Foto, RL	$DP = \exp(\frac{((- .9895))) * trcf52}{(1 + (((-.9895))) * \exp((((- .0013))) + (((.0333))) * trcf52))})$	95.7	95.9
Foto, AS	$DP = \exp(\frac{(((.2382))) * daf38}{(1 + (((.2382))) * \exp((((-3.1995))) + (((.2390))) * daf38))})$	95.7	95.8

RL = Regresión Logística, AS = Análisis de Sendero, DPO y DPE = Días a Punteamiento observados y estimados

VI. LITERATURA CITADA

- Andrio E., E. 1989. Comportamiento de 15 colecciones de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) en la región de Ramos Arizpe, Coahuila. Ciclo verano 1988. Tesis de licenciatura. UAAAN.
- Bidwell, R. G. S. 1990. Fisiología Vegetal. AGT editorial S. A México D. F.
- Bugarin M., R.; A. G. Spinola; P. S. García y D. G. Paredes. 2002. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total de tomate. Terra 20: 401 – 409.
- Carballo C., A. B. 1998. Determinación de la temperatura Base de seis genotipos de cilantro (*Coriandrum sativum* L.). Tesis licenciatura UAAAN.
- Cortés B., F. J. 1999. Modelo logístico Especifico para cilantro. Información no publicada FAUANL, UANL.
- INEGI. 1997. Cultivos anuales de México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- 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.
- Dropkin V., H. 1980. Introduction to Plant Nematology. Ed. Wiley Interscience. USA. P. 33.
- Espinoza, J.; M. Ortiz - Cerecères; Ma. del C. Mendoza - Castillo; J. A. Villaseñor – Alva; A. Villegas – Monter; C. Peña – Valdivia; G. Almaguer - Vargas. 1998. Modelos de regresión para la estimación del peso fresco y seco de ramas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch.). Revista Chapingo Serie horticultura 4 (2): 125 – 131.
- García O., L. 1959. Horticultura. Salvat Editores S.A. imprenta Hispanoamericana, Barcelona España.

- Guzmán B., H. 1999. Dinámica de crecimiento de cuatro genotipos de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) en diferentes ambientes. Tesis licenciatura. UAAAN.
- Hernández D., J. 2003. Crecimiento y desarrollo del cilantro *Coriandrum sativum* L. por efecto del fotoperíodo y la temperatura y su control con fitorreguladores. Tesis de Doctorado, FAUANL – UANL, Marín, N. L.
- 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.
- Infante G., S. y G. P. Zarate de L. 1984. Métodos Estadísticos. Edit. Trillas. México. Pp. 463 – 467, 513 – 515.
- INPOFOS. 1998. Informaciones Agronómicas. Núm. 3 Vol. 2. 176 p.
- Jesús, R; G. 1994. Respuesta de la floración prematura del cilantro (*Coriandrum sativum* L.) a diferentes frecuencias de riego y dosis de fertilización nitrogenada. Tesis licenciatura. UAAAN.
- Medina, E. 1977. Introducción a la Ecofisiología Vegetal. Programa regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Depto. De Asuntos Científicos. Secretaria General de la OEA. Washington, D.C.
- Meng, F. R. y P. A. Arp. 1992. Net photosynthesis and stomatal conductance of red spruce twigs before and after twing detachment. Canadian Journal of Forest Research 23 (4) : 716 – 721.
- Montes, A. 1979. Horticultura. Manual practico ilustrado. Editores Mexicanos Unidos S. A. México D. F.
- Mohr, H y P. Schopfer. 1995. Plant Physiology. Springer – Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Morales M., A. 1987. Respuesta sobre el desarrollo y producción de follaje fresco de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) a programas de riego, fertilización nitrogenada y estiércol de bovino en Saltillo Coahuila. Tesis de Maestría. UAAAN.
- Myers., R. H. 1990. Classical and Modern Regression With Applications. Edit. Pws – Kent Publishing Company. USA. Pp. 3,26-32,37,39,56,60-66,277-367.

- Neri, F. 1975. Sanos y Jóvenes con las Plantas Medicinales. Editorial De Vecchi S. A Barcelona, España. Pp. 127 – 129.
- Penka, M. 1978. Influence of irrigation on the contents of effective substances in official plants. Acta Horticulture. Born, Czechoslovakia. 73: 181- 198.
- Pillai, O. R. 1975. effect of NPK fertilizers on the yield of coriander. Regional Agricultural Research Station. Arecanut and Spices, Kovilpatti India, Bulletin. 6 (4): 82 – 83.
- PUC. 1999. [WWW. Puc.cl/ sw educ/hort0498/HTML/p034.html](http://WWW.Puc.cl/sweduc/hort0498/HTML/p034.html)
- Rebolledo R., H. H. 1998. Estimación de diferentes modelos de regresión a experimentos de fertilización y su comparación con fines de generar recomendaciones optimas económicas. I. Casos con un factor. Terra (16) 3: 247 - 252
- Reyes, H. 2000. Productor y Comercializador de Cilantro en el Noreste de México. Comunicación Personal.
- Rodale, J. I. 1964. How to Growth Vegetables and Fruits by the Organic methods. Rodale Press, USA. Pp 876 – 877.
- SAGAR. 1991-1995. Anuario Estadístico. Dirección de Estadística y Cálculo de México.
- Santiago C., M. 1993. inhibición del punteamiento prematuro en cilantro (*Coriandrum sativum* L.) con aplicaciones de reguladores de crecimiento. Tesis de licenciatura. UAAAN.
- Savchuck, L. P. 1977. the effect on weather on coriander. Trudy UNIL, Efirnomaslich Kult' ur, From Referativyi Journal
- Schwartz, M. D.; Carbone, G. J.; Reighard, G. L.; Okie, W. R 1997. A model to predict peach phenology and maturity using meteorological variables. Hortscience 32 (2) :213 – 216.
- Sutton, T. B. 1996. Changing options for the control of deciduous fruit tree diseases. Annual Review of Plant Phytopathology 34: 527- 547.

- Tamaro, D. 1987. Manual de Horticultura, 1ª ed. Editorial Artes Graficas Grijalva, S.A. Barcelona España.
- Tinajero, L. F. 1993. Aplicación de algas marinas y estiércol de bovino en el cultivo del cilantro (*Coriandrum sativum* L.). Tesis licenciatura UAAAN.
- Uresti, Gil. J., Figueroa, Sandoval. B., González, Hernández. V. A., Ortiz. Solorio. C. A., Turrent. Fernández. A. 2001. modelos para simular la producción potencial del maíz y frijol, y la tasa de erosión del suelo en la zona tropical de México. Tesis de doctor en ciencias. Colegio de posgraduados. Montello, Texcoco, Estado de México. México. 251p.
- Valadéz L., A. 1990. Producción de Hortalizas. Noriega Editores, Edit. Limusa S. A. de C. V. México D. F.
- Viloria A., Z. 1999. Modelos de regresión para estimar el crecimiento del pimentón (*Capsicum annuum* L.) en función de la distancia de siembra y dosis de nitrógeno. Trabajo de ascenso. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" Decanato de Agronomía. Barquisimeto Venezuela 75.
- Yáñez R., J. N. 1988. Notas del curso: Producción de hortalizas II. Departamento de Horticultura, UAAAN. Saltillo, Coahuila.

APÉNDICE

Cuadro 1A. Análisis de coeficientes de sendero de los efectos directos e indirectos en 10 variables sobre días a punteamiento en cilantro (*Coriandrum sativum* L.) en ambiente con reducción de fotoperíodo.

DP = días a punteamiento

	PS52	AF24	TRCF24	TRCF31	TRCF52	TRCF45	DAF24	DAF31	DAF38	DAF45	CORRELACION CON DP
PS52	-0.2529	-0.1320	-1.4237	-0.0933	-1.3708	1.3378	-0.7914	-1.0831	1.8414	1.0331	-0.9349
AF24	0.1767	0.1889	0.8238	0.0552	1.0032	-0.9185	0.4134	0.5641	-0.9527	-0.4918	0.8623
TRCF24	-0.2350	-0.1016	-1.5320	-0.1026	-1.3528	1.2652	-0.8427	-1.1583	1.9962	1.1728	-0.8907
TRCF31	-0.2294	-0.1014	-1.5282	-0.1029	-1.3406	1.2387	-0.8359	-1.1498	1.9864	1.1744	-0.8886
TRCF52	0.2480	0.1356	1.4828	0.0987	1.3976	-1.3216	0.8109	1.1123	-1.9051	-1.0909	0.9684
TRCF45	0.2526	0.1296	1.4474	0.0952	1.3793	-1.3391	0.8034	1.1001	-1.8735	-1.0577	0.9374
DAF24	-0.2363	-0.0922	-1.5247	-0.1016	-1.3384	1.2706	-0.8468	-1.1632	2.0002	1.1713	-0.861
DAF31	-0.2355	-0.0916	-1.5254	-0.1017	-1.3364	1.2664	-0.8467	-1.1633	2.0013	1.1733	-0.8596
DAF38	-0.2325	-0.0899	-1.5271	-0.1020	-1.3296	1.2528	-0.8458	-1.1625	2.0027	1.1786	-0.8553
DAF45	-0.2203	-0.0783	-1.5150	-0.1019	-1.2855	1.1942	-0.8363	-1.1508	1.9902	1.1860	-0.8177

Cuadro 2A. Análisis de coeficientes de sendero de los efectos directos e indirectos en 10 variables sobre días a punteamiento en cilantro (*Coriandrum sativum* L.) en ambiente con incremento de temperatura.

	PS45	TRCF17	TAN17	TAN24	TAN31	DAF17	DAF24	RAF24	RAF38	PS38
PS45	0.1701	-0.4871	-0.5024	0.1006	0.2962	0.3100	-0.2507	0.6697	-0.1711	- 0.1353
TRCF17	0.1240	-0.6684	-0.7227	0.1481	0.4912	0.4408	-0.3627	1.0069	-0.3174	- 0.1399
TAN17	-0.1181	0.6675	0.7237	-0.1487	-0.4979	-0.4406	0.3633	-0.0101	0.3232	0.1374
TAN24	-0.1148	0.6641	0.7217	-0.1491	-0.5071	-0.4368	0.3623	-1.0072	0.3313	0.1356
TAN31	-0.0969	0.6314	0.6921	-0.1454	-0.5200	-0.4114	0.3474	-0.9671	0.3461	0.1239
DAF17	0.1193	-0.6665	-0.7213	0.1473	0.4839	0.4421	-0.3622	1.0077	-0.3127	- 0.1377
DAF24	0.1174	-0.6673	-0.7237	0.1487	0.4973	0.4407	-0.3633	1.0104	-0.3232	- 0.1370
RAF24	0.1127	-0.6655	-0.7229	0.1485	0.4974	0.4405	-0.3630	1.0112	-0.3241	- 0.1348
RAF38	0.0838	-0.6103	-0.6727	0.1421	0.5177	0.3977	-0.3378	0.9428	-0.3476	- 0.1157
PS38	0.1554	-0.6313	-0.6710	0.1365	0.4350	0.4108	-0.3361	0.9202	-0.2715	- 0.1481

DP = días a punteamiento