



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

MODELOS DE PRONOSTICO Y DINAMICA
POBLACIONAL DE NEMATODOS FITOPARASITOS
ASOCIADOS AL CULTIVO DE MAIZ (Zea Mays L.).

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A :
SILVIA ESPEJEL CARBAJAL

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

México, D. F.

1990



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

AGRADECIMIENTOS

INDICE

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

RASUMEN.....	1
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	4
III. REVISION DE LITERATURA	5
Patosistemas	5
Patosistemas vegetales	6
Patosistemas maiz-nematodo	8
COMPONENTES DE LOS PATOSISTEMAS:	
maiz- <u>Helicotylenchus</u>	
maiz- <u>Tylenchorhynchus</u>	
maiz- <u>Pratylenchus</u>	9
PATOGENOS	9
Diagnosis genérica	9
<u>Helicotylenchus</u>	9
<u>Tylenchorhynchus</u>	10
<u>Pratylenchus</u>	10
Ciclo de vida	10
Hábito alimenticio	11
Efectos en el hospedero	12
Especies que parasitan maiz	12
SAPROFITOS	13

HOSPEDERO	14
Diagnosia	14
Sistema radical	15
Crecimiento radical	15
Exudados radicales	16
AMBIENTE	17
Humedad	17
Temperatura	17
ACTIVIDADES HUMANAS	18
Cultivo y preparaci3n del terreno	18
COMPORTAMIENTO DEL PATOSISTEMA	19
Factores que afectan el comportamiento de los nematodos	20
AMBIENTE	20
Humedad	20
Efectos directos	20
Eclosi3n	20
Movimiento, migraci3n y parasitismo	21
Desarrollo y reproducci3n	22
Efectos indirectos	24
Oxigeno	24
Temperatura	26
HOSPEDERO	26
Influencia radical	26
Eclosi3n	26
Muda	27
Atracci3n	27
Parasitismo	28
Influencia del ciclo de vida	28
ACTIVIDAD HUMANA	30
Aplicaci3n de fertilizantes	30
Métodos de control	31

MODELOS EN EPIDEMIOLOGIA	32
Modelos de pronóstico con nematodos	34
IV. MATERIALES Y METODO	35
UBICACION Y CARACTERISTICAS CLIMATICAS DEL AREA EXPERIMENTAL	35
TRABAJO DE CAMPO	36
DISEÑO EXPERIMENTAL	36
LABORES CULTURALES	37
OBTENCION DE NEMATODOS	37
DATOS DEL HOSPEDERO	38
DATOS CLIMATICOS	38
LABORATORIO	40
EXTRACCION Y CONTEO DE NEMATODOS	40
CRECIMIENTO RADICAL	40
HUMEDAD DEL SUELO	41
DESARROLLO DE LOS MODELOS DE PRONOSTICO	41
Variable dependiente	41
Variables independientes	41
Generación de modelos	42
V. RESULTADOS	45
Especies de nemátodos	45
Efectos de los tratamientos	45
Profundidad	47

PATOGENOS	47
<u>Helicotylenchus digonicus</u>	47
<u>Tylenchorhynchus acti, mexicanus y cylindricus</u>	50
<u>Pratylenchus pratensis</u>	50
Saprófitos	50
HOSPEDERO	51
AMBIENTE	51
Humedad del suelo	51
Precipitación pluvial	52
Temperatura	52
Textura del suelo	56
DESARROLLO DE LOS MODELOS	56
Análisis de componentes principales	56
Correlaciones	61
Stepwise	71
Análisis de regresión	73
Modelos propuestos	78
VI. DISCUSION	85
VII. CONCLUSIONES	94
VIII. BIBLIOGRAFIA	95

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADRO 1. Análisis de varianza	46
CUADRO 2. Análisis de componentes principales	57
CUADRO 3. Stepwise	74
CUADRO 4. Análisis de regresión	79
Fig. 1 Fluctuaciones poblacionales de <u>Helicotylenchus</u> sp. y <u>Itylenchorhynchus</u> spp. a 15 y 30 cm de profundidad	48
Fig. 2 Fluctuaciones poblacionales de <u>Pratylenchus</u> sp. y especies de saprófitos a 15 y 30 cm de profundidad	49
Fig. 3 Fluctuaciones poblacionales de los cuatro géneros de nemátodos estudiados, del crecimiento radical y de las variables ambientales (HS, PP y Temperaturas)	54
Fig. 4 Componente principal TH, conformado por las variables (HS, PP, Temperaturas mínimas y Temperatura media).....	59
Fig. 5 Componente principal T, conformado por las Temperaturas máximas	60
Fig. 6 Correlograma de <u>Helicotylenchus</u> sp. comportandose en forma lineal con las variables TH, T y R	63
Fig. 7 Correlograma de <u>Helicotylenchus</u> sp. comportandose en forma logarítmica con las variables TH, T y R	64

Fig. 8 Correlograma de <u>Tylenchorhynchus</u> spp. comportandose en forma lineal con las variables TH, T y R	65
Fig. 9 Correlograma de <u>Tylenchorhynchus</u> spp. comportandose en forma logaritmica con las variables TH, T y R	66
Fig. 10 Correlograma de <u>Pratylenchus</u> sp. comportandose en forma lineal con las variables TH, T y R	67
Fig. 11 Correlograma de <u>Pratylenchus</u> sp. comportandose en forma logaritmica con las variables TH, T y R	68
Fig. 12 Correlograma de las especies de saporfitos comportandose en forma lineal con las variables TH, T y R	69
Fig. 13 Correlograma de las especies de saporfitos comportandose en forma logaritmica con las variables TH, T y R	70
Fig. 14 Modelo de pronostico propuesto para <u>Helicotylenchus</u> sp.	81
Fig. 15 Modelo de pronostico propuesto para <u>Tylenchorhynchus</u> spp.	82
Fig. 16 Modelo de pronostico propuesto para <u>Pratylenchus</u> sp.	83
Fig. 17 Modelo de pronostico propuesto para las especies de saporfitos.	84

RESUMEN

El comportamiento poblacional de nemátodos fitoparásitos y saprófitos asociados con maíz, se describió y pronosticó en base a modelos estadísticos, generados a partir de las técnicas de la regresión múltiple. Estos modelos permitieron suponer, que la humedad y la temperatura fueron las variables que determinaron la dinámica poblacional de los nemátodos.

I. INTRODUCCION

El maíz es originario del continente americano y a partir del momento en que se inicia la sedentarización de las culturas mesoamericanas, la relación maíz - sociedad, se convierte en imprescindible para la existencia de ambos.

Creación cultural, dada su incapacidad para reproducirse por si mismo, el maíz ha sido el medio esencial de vida de las civilizaciones mesoamericanas, a lo largo de 3500 años de historia, donde estas culturas se transformaron en las sociedades contemporáneas (S.E.P 1982).

El maíz presenta propiedades nutricionales similares a las de otros cereales: energía 350 Kcal/100g, proteínas 8.9g/100g, grasas 4.3g/100g y carbohidratos 72.2g/100g; aportando así cerca de la mitad de las calorías que requiere una dieta completa (S.E.P,1982).

El 25.6% de la producción mundial de cereales es aportada por el maíz, siendo únicamente superada por el trigo (28.92%) (FAD, 1988).

En México es el principal producto agrícola. El Estado de México ocupa el primer lugar como productor, contribuyendo con el 16% de la producción total, seguido por Jalisco con el 15.7% y Chiapas con el 9.25% (INEGI, 1986).

Dentro de las innumerables causas que afectan la producción de maíz, como sequías, inundaciones y heladas, se encuentran las enfermedades ocasionadas por agentes fitopatógenos, las cuales disminuyen en un 9.4% la producción mundial del cereal, siendo los nemátodos los causantes del 3% de estas pérdidas (Schurtleff, 1980; Decker, 1981).

La epidemiología agrícola cuyo objetivo es analizar el progreso de las enfermedades en los cultivos, es una herramienta que permite conocer a fondo las causas y el desarrollo de las enfermedades. Esto permite proponer estrategias de control que aminoren los enormes gastos económicos, así como el uso desmesurado de pesticidas. Basándose en modelos matemáticos y estadísticos, esta disciplina, dentro de sus modalidades, permite predecir el desarrollo de una enfermedad, conociendo el estado previo de los componentes de un patosistema: población del patógeno, población del hospedero y ambiente (Campbell y Madden, 1990).

En México, las investigaciones dirigidas a generar modelos de pronóstico para fitopatógenos comienzan a desarrollarse en años recientes, principalmente en hongos fitoparásitos de órganos aéreos (Ramírez, 1988). Pocas investigaciones se han aventurado a pronosticar enfermedades radicales y ningún trabajo se ha realizado con nemátodos. Por lo tanto, la presente investigación, cuya finalidad es pronosticar el comportamiento poblacional de nemátodos fitoparásitos con distintos hábitos alimenticios en maíz, se convierte en el primer trabajo realizado sobre el tema.

II. OBJETIVOS

1.- Generar modelos estadísticos para pronosticar el comportamiento poblacional de nemátodos fitoparásitos y saprófitos asociados con el maíz, en la zona temporalera de Amecameca.

2.- Explicar las posibles causas de la dinámica poblacional con base en los componentes de un patosistema y a la relación entre ellos, determinada por el modelo estadístico.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

PATOSISTEMAS

Se denomina ecosistema a la interacción funcional que existe entre los organismos, considerados como una comunidad, y el ambiente físico. Esta interacción debe ocasionar transformación, circulación y acumulación de energía y materia (Acot, 1978 ; Vickery, 1987).

Entre las múltiples interacciones que se dan en los ecosistemas, existe la del parasitismo en donde una especie (parásito), generalmente de tamaño pequeño, explota a otra (hospedero), para sobrevivir (Robinson, op. cit.; Anderson y May, 1978)).

Basándose en lo anterior y tomando en cuenta la influencia del ambiente en la población del parásito y del hospedero, se puede afirmar que este complejo es un subsistema de un ecosistema y, que por ser precisamente el fenómeno del parasitismo su distintivo, se le llama patosistema (Robinson, op. cit.).

Patosistemas vegetales

Cuando el hospedero es una planta, al patosistema se le denomina patosistema vegetal. Se pueden distinguir tres tipos básicos de patosistemas vegetales: el natural o silvestre, en donde el sistema no ha sido modificado por la actividad humana; el agrícola, donde el hospedero es un cultivo domesticado y donde la actividad humana es primordial para su sobrevivencia; y el de malezas, donde el hospedero es una arvense que compete con los cultivos agrícolas (Robinson, op. cit.). En las explicaciones siguientes solo nos abocaremos a los dos primeros.

Los patosistemas naturales están compuestos de tres componentes: la población del parásito, la población del hospedero y el ambiente, constituyendo así, un triángulo de interacciones. Por otro lado, los patosistemas agrícolas, están formados de cuatro componentes: la población del parásito, la población del hospedero, el ambiente y la actividad humana; provocando una pirámide de interacciones (Robinson, 1987; Zadok y Shein, 1979),

En los patosistemas naturales, la población del hospedero se distribuye en manchones y/o el parásito tiene hospederos alternativos, lo que provoca que, generalmente, la población

parásita ocasione un daño tenue a la población del hospedero. Esto no excluye que en los patosistemas silvestres la población del parásito pueda destruir por completo a su hospedero provocando así, su propia extinción. Sin embargo, no son casos usuales en este tipo de patosistemas. (Anderson y May, 1978; Krebs, 1985; Robinson. op. cit.).

En los patosistemas agrícolas, la uniformidad genética del hospedero, sembrado de manera reiterada y en grandes extensiones, ocasiona que sus parásitos alcancen densidades poblacionales desmesuradas, que destruyen gran parte del cultivo. Estos sistemas terriblemente desbalanceados, , requieren de la intervención humana para sobrevivir, lo cual se logra realizando labores culturales como la preparación del suelo, la siembra, el deshierbe, el riego, la aplicación de fertilizantes y pesticidas, el fitomejoramiento, etc. (Robinson, op. cit.).

Para estudiar un patosistema agrícola es necesario, en una primera parte, caracterizar sus componentes: población del parásito, población del hospedero, ambiente y actividad humana (labores culturales en el cultivo). Posteriormente se definen las interdependencias entre cada uno de los componentes con los otros que forman el patosistema y finalmente se procede a crear un modelo que explique el comportamiento de este sistema (Franc,

1974; Robinson, 1987).

Todos los cultivos agrícolas presentan parásitos de diversos tipos como son, entre otros, hongos, virus, bacterias y nemátodos. Cada interacción es un patosistema cuyo comportamiento particular lo diferencia de los demás. Así, las interacciones planta-hongo, planta-virus, planta-bacteria y planta-nemátodo definen patosistemas específicos (Robinson, op. cit).

Patosistemas maíz-nemátodo.

Dentro de los géneros de nemátodos que parasitan maíz se encuentran Helicotylenchus, Tylenchorhynchus y Pratylenchus.

Cada uno de estos parásitos forman, con el maíz, los patosistemas

Maíz-Helicotylenchus , Maíz-Tylenchorhynchus y Maíz-Pratylenchus

COMPONENTES DE LOS PATOSISTEMAS Maíz-Helicotylenchus , Maíz-Iylenchorhynchus y Maíz-Pratylenchus

PATOGENOS (Todos los parásitos mencionados en este apartado pertenecen al Orden Tylenchida).

Diagnosis genérica

Helicotylenchus

Este género es miembro de la familia Hoplolaimidae. Las hembras son vermiformes de forma espiral a recta. La longitud del cuerpo varia entre los 0.8 y 1.4 mm. La cola está curvada dorsalmente. La vulva se encuentra entre el 54% y 65% del cuerpo. La bursa, en los machos, cubre la parte caudal. Las glándulas esofágicas están sobrepuestas en el intestino de manera dorsal y ventral . El bulbo medio es de forma circular, con una válvula de tamaño medio. La hembra es didélfica (2 ovarios; Decker, 1981; Fortuner, 1987).

Iylenchorhynchus.

Este género pertenece a la familia Belonolaimidae. Sus hembras son vermiformes con la parte terminal del cuerpo en forma de cono o subcilíndrica. El tamaño del cuerpo varía entre los 0.8 y 1.0 mm. El esófago no presenta sobreposición con el intestino. La vulva se encuentra aproximadamente en la mitad del cuerpo. El estilete de 15-30 μ m de longitud, delgado. La hembra es didélfica (2 ovarios; Decker, 1981; Fortuner y Luc, 1987).

Pratylenchus

Pertenece a la familia Pratylenchidae. Las hembras son vermiformes. La longitud del cuerpo es menor a los 0.8 mm, con la parte terminal redondeada. El esófago presenta un bulbo medio de forma circular, la sobreposición de la glándula dorsal con el intestino es ventral. El estilete es robusto, y la vulva se localiza en el último tercio posterior del cuerpo. La hembra es monodélfica (1 ovario; Decker, 1981; Luc, 1987).

Ciclo de vida

Estos tres géneros de fitoparásitos presentan cuatro estados

Juveniles que concluyen, cada uno, con una muda. Después de la cuarta muda, las larvas se diferencian en hembras y machos.

El primer estado larval se desarrolla dentro de los huevos y generalmente la eclosión la realiza el segundo estado larval, que es el infectivo (Dropkin, 1980).

La duración del ciclo de vida, en condiciones óptimas, es aproximadamente de 3 a 4 semanas (Dropkin, 1980; Freckman, 1985).

Hábito alimenticio

Helicotylenchus se considera semiendoparásito del maíz, alimentándose del parénquima cortical. Solo H. pseudorobustus puede comportarse como endoparásito (Norton, 1984).

Tylenchorhynchus se reporta como ectoparásito en maíz (op. cit.).

Las especies del género Pratylenchus son endoparásitas migratorias, alimentándose usualmente del parénquima cortical y en algunos casos pueden invadir otras zonas de la raíz (Olwe y Corbett, 1976).

Efectos en el hospedero

Helicotylenchus ocasiona una baja de talla en su hospedero y reducción del rendimiento cuando las poblaciones son elevadas, se nota también un decaimiento y una reducción de las raíces (Shurtleff, 1980; Decker, 1981).

Se ha visto que especies del género Tylenchorhynchus ocasionan achaparramiento y escaso desarrollo radical en el hospedero (Shurtleff; Decker, op. cit.).

Pratylenchus empobrece el crecimiento radical lo que ocasiona achaparramiento (Shurtleff; Decker, op. cit.).

Especies que parasitan maíz.

Las especies de Helicotylenchus que se han registrado asociadas al cultivo de maíz son: H. digonicus, H. dihystra y H. pseudorobustus (Norton, 1984), H. erytrinae (Talavera et al., 1977; Zavaleta, 1978), H. digitatus (Cid del Prado, 1978).

Especies de Tylenchorhynchus registradas como fitoparásitas de

malz son: I. agri, I. clarus, I. claytoni, I. maximus, I. nudus, I. vulgaris (Norton, 1984), I. acti, I. brevicaudatus, I. capitatus (Vásquez, 1976), I. mexicanus y I. cylindricus (Cid del Prado, 1978).

Las especies de Pratylenchus registradas como lesionadoras de las raíces del malz son: P. brachyurus, P. detattrei, P. hexincisus, P. penetrans y P. zea (Norton, 1984), P. mulcandi (Knobloch, 1975), P. pratensis (Vásquez, 1976; Cid del Prado, 1978), P. thornei (Vásquez, 1976).

Saprófitos.

El 70% de los nemátodos que se encuentran en el suelo, no se alimentan directamente de las raíces. Sin embargo, los exudados radicales tienen una influencia determinante en la población microbiológica de la rizósfera, de la cual se alimentan los nemátodos saprófitos (Freckman, 1982). Estos nemátodos se caracterizan por presentar un ciclo de vida más corto que el de la mayoría de los nemátodos fitoparásitos (Dropkin, 1980).

Las principales familias de saprófitos que se presentan en los suelos agrícolas son: Rhabditidae, Diplogasteridae, Cephalobidae,

Panagrolaimidae, Plectidae y Dorylaimidae (Decker, 1981).

HOSPEDERO

Diagnosis

El maíz (Zea mays L.) pertenece a la Familia de las gramíneas, es una especie de hábito herbáceo, de ciclo anual y de un gran desarrollo vegetativo. Aunque existen múltiples variedades de distintas alturas, la talla general es de 2 a 2.5 m. El tallo está formado de nudos y entrenudos, siendo en los nudos, donde nacen las hojas que son largas y que envuelven parcialmente al tallo. Es una especie monoica en donde la inflorescencia masculina o espiga se localiza en la parte terminal del tallo y la inflorescencia femenina que originará las mazorcas (de una a dos, excepcionalmente tres), surge de los nudos del tercio medio de la planta (Llanos, 1984; S.E.P, 1982).

Las espículas femeninas se agrupan alrededor de una ramificación lateral gruesa, de forma cilíndrica, envuelta por brácteas, en donde los estilos de las flores quedan libres alcanzando de 10 a 12 cm de longitud. Cuando las flores femeninas son fecundadas por el polen, cada una forma un fruto indehisciente llamado cariósipide

o grano, en el cual el pericarpio y la cubierta de la semilla están unidos, lo que ocasiona que las semillas no estén sueltas dentro del fruto. Este es duro, lustroso y dependiendo de la variedad blanco, amarillo, azul o rojo (Llanos: S.E.F., op. cit.).

Sistema radical

El maíz presenta tres tipos de raíces: las primarias, que surgen de la semilla y que corresponden a la radícula y raíces seminales; las principales o secundarias, que se forman a partir de la corona por encima de las raíces primarias constituyendo casi la totalidad del sistema radical y las aéreas o adventicias, que crecen en los nudos de la base del tallo por encima de la corona (Llanos, 1984).

Crecimiento radical

De los trabajos que se han realizado sobre crecimiento radical neto de maíz, se concluye que la curva de este crecimiento o desarrollo se comporta de manera normal como sucede con otras especies vegetales de ciclo anual, donde las fases primeras de desarrollo, presentan un crecimiento de tipo exponencial, que al

llegar a la etapa reproductiva disminuye por la translocación de fotosintatos desde las raíces hasta las estructuras reproductivas para la formación del grano. Posterior a esta etapa se presenta una disminución acelerada del crecimiento, debido a que la tasa de mortalidad del tejido radical excede a la tasa de crecimiento (Huisman, 1982).

Loaiza (1986), obtuvo un modelo que describe el crecimiento radical del maíz, bajo las condiciones ambientales de Chapingo, que concuerda con lo observado bajo otras condiciones.

Exudados radicales

La dinámica de las poblaciones que forman la comunidad biótica que habita el suelo, es afectada por los exudados radicales (azúcares, aminoácidos, enzimas, vitaminas y ácidos orgánicos) producidos en las zonas de crecimiento radical (Bannister, 1976). La naturaleza y cantidad de estos exudados producidos, depende de factores interrelacionados como la especie de la planta, edad y daño de las raíces, temperatura, humedad, luz y la composición textural y química del suelo (Rovira _____).

AMBIENTE

Humedad

Entre los factores que regulan la humedad del suelo está la intensidad y frecuencia de la precipitación pluvial, el patrón de drenaje y la razón entre precipitación-*evaporación* (Norton, 1978).

La cantidad de agua disponible en el suelo depende, entre otras cosas, de la textura del mismo, y de la madurez y requerimientos hídricos del hospedero. Los suelos arenosos, por tener superficies pequeñas de retención y formar grandes poros retienen poca humedad y permiten una mayor aereación (Norton, op. cit.).

Temperatura

La temperatura del aire debe de usarse solo para tendencias climáticas generales cuando se relacione con el hábitat de los nemátodos, puesto que la temperatura del aire puede diferir considerablemente de la del suelo. Sin embargo, la temperatura de éste, en el espacio comprendido desde la superficie hasta los 15

ca de profundidad, puede comportarse de manera similar a la temperatura atmosférica (Norton, op. cit.).

El principal factor que determina la temperatura atmosférica es la radiación solar. La atmósfera permite que se genere un tenue efecto de invernadero gracias al contenido de vapor de agua, dióxido de carbono y otros gases opacos al infrarrojo. Cuando las concentraciones aumentan en la atmósfera, el efecto invernadero aumenta también. Esto explica el incremento de las temperaturas mínimas cuando hay más nubosidad (Andrade, 1976).

ACTIVIDADES HUMANAS

Cultivo y preparación del terreno

Las labores culturales que generalmente se llevan a cabo para la siembra de maíz consisten en barbecho, roturación del suelo, fertilización, deshierba, aporque y control de enfermedades y plagas. El barbecho se realiza después de limpiar el terreno de piedras y poco antes de que inicien las lluvias. Posteriormente se procede a romper el terreno utilizando la yunta y el arado. Inmediatamente y en dirección transversal a este primer surcado, se realiza la cruz (segundo surcado) y por último se realiza el

surcado final a 30 cm de profundidad. La siembra se realiza en forma manual utilizando la coa, la cual se introduce en el suelo del surco permitiendo que se abra un hueco donde son depositadas las semillas que posteriormente se cubren de tierra con ayuda del pie. El día de la siembra se aplican fertilizantes. El deshierbe se realiza en forma manual, en los primeros treinta días de haber emergido las plántulas. El aporque se realiza cuando las plantas tienen aproximadamente 1 m de altura, arrimando tierra a la base del tallo para evitar que caigan por el viento. Las enfermedades y plagas se controlan con pesticidas químicos (S.E.P., 1982).

COMPORTAMIENTO DEL PATOSISTEMA

Como todo sistema biológico el patosistema malz-nemátodo responde a los estímulos del ambiente. Es inusual encontrar un estímulo que en el momento de presentarse manifieste una respuesta inmediata y evidente en las poblaciones bióticas, siempre existe un tiempo entre el estímulo y la respuesta conocido como retardo, cuya duración dependerá de la naturaleza del estímulo y del afectado por él (Zadoks y Shein, 1979).

Factores que afectan el comportamiento de los nemátodos

AMBIENTE

Humedad

Los efectos que ocasiona la variación de humedad en las poblaciones de nemátodos, pueden dividirse en directos e indirectos (Vrain, 1986).

- Efectos directos

Eclosión

Se ha visto que la envoltura gelatinosa que protege a los huevecillos de algunas especies de endoparásitos, se encoge cuando el contenido de humedad en el suelo disminuye. Se ha sugerido que este encogimiento ocasiona una presión mecánica en los huevecillos evitando que éstos eclosionen (Wallace, 1968). En el caso de los ectoparásitos, cuyos huevecillos son dejados en el suelo de manera individual, se ha observado que la eclosión se lleva a cabo aún presentándose bajas cantidades de humedad

(Vrain, 1986).

Movimiento, migración y parasitismo

Los nemátodos se mueven de manera ondulatoria en películas de agua, a través de los poros que dejan las partículas de suelo. Cuando las películas de agua adheridas a los poros son sumamente delgadas, el movimiento de los nemátodos disminuye y cesa si la película se seca completamente, sin embargo, también en películas de agua demasiado gruesas el movimiento disminuye al no encontrar el nemátodo apoyo en el substrato sólido de las partículas de suelo para impulsarse y desplazarse. (Wallace 1958).

Las distancias que recorren las distintas especies de nemátodos en el suelo es de pocos centímetros por día e incluso por mes, aún cuando en condiciones óptimas de laboratorio las distancias recorridas podrían ser de 3.5 m/día para nemátodos relativamente pasivos (Heterodera schachtii) y de 31 m/día para nemátodos sumamente activos (Aphelenchoides ritsemabozii). Esto sugiere que la velocidad de los nemátodos depende de diversos factores interrelacionados, como son: tamaño, arreglo y rugosidad de las partículas de suelo, tamaño de poro, cantidad de agua adherida a los poros, succión, fricción, temperatura, contenido de oxígeno y

características de la especie como longitud del cuerpo, frecuencia de ondulación y poder muscular (Wallace, 1959).

La penetración a las raíces por parte de las especies endoparásitas y semiendoparásitas es un proceso que ocupa gran cantidad de energía. Van Gundy (1967), encontró que las larvas de Meloidogyne javanica que habitan un suelo húmedo, presentan mayor cantidad de lípidos y proteínas que las larvas que habitan suelos secos. Concluye que las larvas que migraron hacia el hospedero en suelos secos, agotaron sus reservas y esto podría ocasionarles incapacidad para penetrar el tejido radical.

Los ectoparásitos dependen menos de la cantidad de humedad para parasitar, puesto que están en contacto con la película delgada de agua adherida a las raíces. (Vrain, 1986)

Desarrollo y reproducción

Todas las investigaciones realizadas para estudiar los efectos de la humedad en el desarrollo y reproducción de los nemátodos, han sido guiadas para observar el efecto del "stress" hídrico provocado por una disminución extrema de humedad en el entorno de los organismos. De los resultados obtenidos en estas

investigaciones, destaca el fenómeno de la anhidrobiosis, que principia con una deshidratación severa del nemátodo regulada por la rapidez o lentitud con la que el suelo pierda humedad. Si el proceso de desecación es lento, la deshidratación también lo será y dará oportunidad para efectuar los cambios fisiológicos que permitan sobrevivir al nemátodo. En este estado el nemátodo puede sobrevivir varios meses hasta que nuevas condiciones de humedad lo rehidraten y vuelva a ser activo, sin embargo, este proceso de deshidratación-rehidratación es también un estado crítico y no todos los individuos lo toleran (Madin, 1975).

El impacto de la anhidrobiosis en la dinámica poblacional es diverso; las reservas de energía son utilizadas y el desarrollo y la reproducción se ven disminuidas y no toda la población sobrevive el fenómeno. Todas estas implicaciones disminuirán la densidad poblacional. Sin embargo, los nemátodos anhidrobióticos presentan mayor resistencia a las temperaturas extremas y a los nematicidas (Vrain, 1986).

La resistencia a la sequía varía con la especie. En un estudio realizado por Simon (1973), se vió que Rotylenchus robustus es menos resistente que Tylenchorhynchus dubius y Tylenchorhynchus y Fratylenchus son más resistentes que Helicotylenchus.

También por niveles tróficos se notan diferencias; los parásitos son más resistentes que los bacteriófagos y fungívoros y éstos más que los depredadores (Arpin 1975). Incluso existen respuestas distintas por el ciclo de vida y tipo de parasitismo: los huevos y el segundo estado larval de los ectoparásitos son menos resistentes que los de los endoparásitos, sin embargo, el tercer y cuarto estado larval de los ectoparásitos son más resistentes que el segundo (Towson y Apt, 1983; Simon, 1973).

- Efectos indirectos

Oxígeno

La velocidad de difusión del oxígeno en el aire es dos millones de veces más rápida que en el agua. Este gas se mueve desde la atmósfera del suelo hasta el agua adherida al mismo por diferencias de concentración entre las dos fases. Es por ello, que los nemátodos obtienen una mayor cantidad de oxígeno en películas delgadas de agua, donde el contacto de la fase acuosa con la fase aérea está más próxima que en películas de agua gruesas (Vrain, 1986).

La demanda de oxígeno por parte de la comunidad biótica que

habita la rizósfera es considerable. Cuando el suelo se satura de agua, esta enorme demanda de oxígeno no puede ser satisfecha por difusión del gas, lo que provoca que varios microorganismos, entre ellos los nemátodos, disminuyan su actividad e incluso la detengan completamente. Sin embargo, bacterias con metabolismo basado en respiración anaeróbica o fermentación, se multiplican produciendo sustancias tóxicas para los nemátodos (Vrain, op. cit.).

Algunas especies de nemátodos pueden permanecer activos por un periodo de tiempo corto bajo condiciones de anoxia, sobreviviendo por medio de un catabolismo fermentativo del glucógeno (Cooper y Van Gundy, 1970).

Cada especie de nemátodo tendrá distintos requerimientos de oxígeno, pero ciertas generalidades pueden darse. Se ha visto que los ectoparásitos son mas susceptibles a la carencia de oxígeno que los endoparásitos y semiendoparásitos, puesto que estos obtienen cierta cantidad de este gas dentro de los tejidos radicales del hospedero (Van Gundy y Stolzy, 1963; Van Gundy et al, 1962). Además, no todos los estados en el ciclo de vida son igualmente afectados por la anoxia. El primer estado larvario no sobrevive un día sin oxígeno, mientras que el segundo estado larval sobrevive mas de seis días. Sin embargo, la eclosión no se

lleva a cabo en agua poco aireada (Wallace, 1968; Baxter y Blake, 1969).

Temperatura

Es en el ciclo de vida, donde la temperatura afecta más a los nemátodos. En general, se ha visto que las temperaturas abajo del umbral óptimo prolonga la duración del ciclo de vida (Decker, 1981; Freckman, 1985).

HOSPEDERO

- Influencia radical

Eclosión

Desde la segunda década de este siglo se tiene certeza de que sustancias exudadas de las raíces estimulan el fenómeno de la eclosión. Sin embargo, no se ha detectado la identidad química de la o las sustancias que provocan dicho fenómeno (Macdonald, 1979).

Muda

Las investigaciones con respecto al efecto que los exudados radicales provocan en la muda de los nemátodos fitoparásitos, se han realizado con el género Pratylenchus, cuyo cuarto estado juvenil, preadulto, es incapaz de parasitar al hospedero. Dentro de estas investigaciones destaca la de Rhoades y Linford (1959), quienes encontraron, que de 125 larvas preadultas de P. projectus, únicamente mudaron de 2 a 20 cuando se colocaron en agua destilada; en cambio cuando se colocaron en solución de exudados radicales por el mismo tiempo, mudaron de 100 a 125 larvas. Las conclusiones de estos investigadores sugieren que la presencia de exudados radicales son esenciales antes que la última muda se lleve a cabo.

Atracción

Distintos tipos de gradientes creados por las raíces del hospedero son los principales atrayentes de los nemátodos hacia el tejido radical. Las hipótesis señalan al bióxido de carbono como el principal factor de esta atracción (Klinger, 1965; Edmund y Mai, 1967).

Otro factor que se ha sugerido como posible atrayente de nemátodos hacia el hospedero, es la temperatura de la rizósfera creada por el metabolismo radical (El-Sherif y Mai, 1969).

Los distintos investigadores que han trabajado el fenómeno de la atracción comentan que seguramente no sólo un factor interviene en este fenómeno sino una interacción compleja de ellos, como son: bióxido de carbono, temperatura, oxígeno, agua, pH, aminoácidos y ácidos orgánicos (Macdonald, 1979).

Parasitismo

Se cree que el contacto de los nemátodos con el tejido radical es debido a estímulos mecánicos y químicos del hospedero. Se ha visto que la edad de las raíces influye en propiciar la relación de parasitismo, pues las raíces viejas no son parasitadas por las poblaciones de nemátodos como sucede con las raíces jóvenes (___).

Influencia del ciclo de vida del hospedero

En epidemiología se han adaptado los conceptos de especies

estratega-r y estrategia-k utilizados en ecología, para diferenciar el progreso de las enfermedades vegetales en el tiempo. Una enfermedad progresa mientras exista sustrato (hospedero) que pueda ser parasitado. La forma en que se comporta la enfermedad a través del tiempo dependerá del ciclo del hospedero (Robinson, 1987).

Un hospedero estratega-r presenta un crecimiento explosivo en una época determinada (verano), que se interrumpe de manera brusca en otra época definida (invierno), donde muere o permanece en estado de latencia hasta que surgan de nuevo las condiciones óptimas para volver a crecer. Típicas representantes de esta estrategia son las especies de ciclo anual (Robinson, op. cit.).

Un hospedero estrategia-k nunca presenta un crecimiento explosivo, que posteriormente cese de manera marcada, sino fluctuaciones dentro de un rango. Representantes de esta estrategia son las especies perennes (Robinson, op. cit.).

El crecimiento poblacional de los parásitos estará coordinado por el ciclo de su hospedero. Un parásito de un hospedero estratega-r crecerá de acuerdo a como crece una especie de ciclo anual, presentando crecimiento explosivo e interrupción brusca

del mismo en épocas definidas. Cuando un hospedero estratega-r es parasitado, se dice que sufre una epidemia (Robinson, op. cit.).

En el caso de los parásitos que atacan una especie perenne (estratega-k), la población fluctúa al existir constantemente tejido disponible como sustrato, diciéndose que este hospedero sufre una endemia (Robinson, op. cit.).

ACTIVIDAD HUMANA

Aplicación de fertilizantes

Según Vrain (1986), un aumento en la concentración de solutos disueltos en el suelo, desequilibra la osmorregulación de los nemátodos. Aunque estos presentan un amplio rango de tolerancia a los cambios en la concentración de solutos, tales cambios se llevan a cabo de manera gradual y los organismos pueden adaptarse fácilmente a ellos sin sufrir daño. Sin embargo, la aplicación de fertilizantes eleva bruscamente la concentración de solutos, y afecta la adaptación de los nemátodos.

Métodos de control

a) Rotación de cultivos

Puesto que los nemátodos son parásitos obligados no pueden sobrevivir sin hospedero, por lo que intercalar distintos cultivos en cada época de siembra en el mismo terreno reduce las poblaciones de estos parásitos (Agris, 1986).

b) Medidas sanitarias

Consiste en la limpieza de la maquinaria y equipo, así como de plántulas infectadas, semillas etc. evitando la diseminación de los nemátodos (Agris, op. cit.)

c) Variedades resistentes

Consiste en sembrar variedades del hospedero, resistentes a los daños ocasionados por los parásitos (Agris, op. cit.).

d) Productos químicos

Aplicación de nematicidas para bajar las densidades poblacionales (Agiros, op. cit.).

MODELOS EN EPIDEMIOLOGIA

La epidemiología describe y explica la enfermedad en los niveles de población y comunidad. Una herramienta fundamental para los estudios epidemiológicos, es el uso de modelos matemáticos y estadísticos (Campbell y Madden, 1990).

Un modelo es una descripción y/o explicación simplificada, siempre aproximada e incompleta de la realidad (Kranz y Royle, 1976). Sin embargo, en muchas circunstancias el uso de modelos es la mejor manera de comprender un fenómeno y sus causas (Campbell y Madden, 1990).

Los modelos estadísticos son los más importantes en los estudios epidemiológicos, por describir en términos de probabilidad un hecho, lo cual es consistente cuando se estudian sistemas biológicos (Campbell y Madden, op. cit.).

El éxito de un modelo depende de sus objetivos, de su validez y precisión, de su sencillez, de su lógica, de su generalización y de su capacidad para predecir. (Kranz y Royle, 1978).

Un modelo de pronóstico es aquel que predice el comportamiento de la enfermedad en el tiempo, basándose en un conjunto de variables independientes (Campbell y Madden, 1990). Se justifica el uso de este tipo de modelos cuando integra todas los componentes de un patosistema agrícola: población del patógeno, población del hospedero, ambiente y actividad humana. Para lograr esta integración de componentes se hace uso del análisis de regresión múltiple y ecuaciones diferenciales (Shrum, 1978).

El propósito final y quizás el de más impacto de los modelos en epidemiología, es evitar las grandes pérdidas económicas y la aplicación desmedida de químicos en los cultivos, al proponer estrategias de control en el tiempo preciso, con la técnica adecuada.

Modelos de pronóstico con nemátodos

Escasos trabajos se han realizado para generar modelos de pronóstico en nemátodos, utilizando las técnicas de la regresión múltiple .

Kimpinski et al. (1976), proponen un modelo para predecir las densidades poblacionales de Pratylenchus minyus en trigo, utilizando regresión múltiple. Las variables independientes que estos autores registraron son: el peso seco de la raíz, precipitación pluvial, rango de temperatura, temperatura promedio y longitud de la hifa de Gaeumannomyces graminis, y encontraron que los factores determinantes en el comportamiento poblacional de este parásito fueron el peso seco de la raíz y el rango de temperatura.

Los trabajos con patógenos del suelo son escasos por la dificultad de registrar el ambiente edáfico y el crecimiento y/o daño radical del hospedero (Campbell, 1986).

La mayoría de las investigaciones en fitopatología cuyo objetivo es proponer modelos de pronóstico, se han realizado con patógenos de tejido aéreo, principalmente hongos (Campbell, op. cit.).

IV. MATERIALES Y METODO

UBICACION Y CARACTERISTICAS CLIMATICAS DEL AREA EXPERIMENTAL

San Diego Huehucalco, pertenece al municipio de Amecameca, en el Estado de México. Las coordenadas geográficas lo ubican en los $19^{\circ} 25'$ latitud norte y $99^{\circ} 48'$ longitud oeste, siendo su altitud de 2470 msnm (INEGI, 1984).

Según la clasificación de Köppen modificada por García (1973), la fórmula climática de esta zona es: $C(w^2)$ definiéndose así este clima como templado subhúmedo con lluvias en verano, siendo el más húmedo de los subhúmedos. Presenta una lluvia invernal menor al 5% de la media total anual. La temperatura media anual está entre los 12 y $18^{\circ} C$, la media del mes más frío entre -3 y $18^{\circ} C$ y la media del mes más cálido entre 6.5 y $22^{\circ} C$. La oscilación anual de las temperaturas medias anuales es menor de 5° (isotermal). El mes más caliente se sitúa antes del solsticio de verano (21 de Junio). La temperatura media anual es de $14.4^{\circ} C$ y la precipitación media anual es de 1001.4 mm.

TRABAJO DE CAMPO

Antes de iniciar las primeras labores culturales en el Área experimental, se tomaron 5 muestras al azar, de aproximadamente 2 kg de suelo, para determinar en el laboratorio su textura.

DISEÑO EXPERIMENTAL

El Área de trabajo abarcó 551 m^2 , los cuales se dividieron en 24 parcelas de 16 m^2 , cada una, separadas entre sí por un metro de distancia.

Seis variedades de maíz, se distribuyeron en bloques al azar con 4 repeticiones, quedando ubicadas de la siguiente manera:

	I	II	III	IV
V1 = Sintético Nat-B7	V6	V2	V4	V5
V2 = H-30	V3	V1	V6	V2
V3 = H-137	V2	V4	V5	V6
V4 = V5-22	V4	V6	V2	V1
V5 = H-24E	V5	V3	V1	V3
V6 = Criollo	V1	V5	V3	V4

LABORES CULTURALES

Antes de iniciarse las lluvias, el Área experimental se barbechó por medio de un tractor y se roturó utilizando la yunta y el arado (marzo de 1989). El 9 de abril se sembraron las seis variedades de maíz, colocando 40 semillas por parcela (8 por surco), utilizando como herramienta de siembra la coa. Como fertilizantes se aplicaron sulfato de amonio y urea el 9 de abril y el 28 de julio respectivamente. Se realizó un aporque el 28 de julio y las arvenses y plagas de insectos, se controlaron utilizando Hierbamina (2-4D-amina) y Melati6n respectivamente. Finalmente, el 4 de noviembre de 1989 se procedió a efectuar la cosecha.

OBTENCION DE NEMATODOS

Las muestras de suelo se obtuvieron utilizando un muestreador tipo "T". Cada parcela fue representada por dos muestras que correspondian a dos profundidades (15 y 30 cm). Cada una de estas muestras, estuvo conformada de 15 submuestras tomadas al azar y a tres cm de distancia del tallo (área radical), obteniéndose así, una cantidad de 2250 ³ cm de suelo por muestra. Estas se introdujeron en bolsas de polietileno transparente y se

refrigeraron a 10^o C.

El primer muestreo se efectuó el 4 de mayo, cuando emergieron las primeras plántulas, a partir de esta fecha los muestreos se realizaron cada 15 días hasta el día de la cosecha.

DATOS DEL HOSPEDERO

Entre el 23 y 28 de agosto de 1989, ocurrió la floración masculina y femenina de las variedades de maíz. Se consideró que una variedad había llegado a la etapa de floración, cuando el 50% de su población estaba en dehiscencia de las anteras o con los estigmas completamente expuestos.

El día en que se realizó la cosecha se obtuvieron, para cada parcela, las raíces de dos plantas (4 de noviembre).

DATOS CLIMATICOS

La precipitación pluvial y las temperaturas ambientales durante el ciclo del cultivo, se obtuvieron de la Estación Meteorológica de Amecameca.

Puesto que no se tienen registros de la temperatura base de los nemátodos investigados, se consideró necesario analizar el impacto de distintas modalidades de temperatura.

El registro de las variables se efectuó de la siguiente manera:

PP (precipitación pluvial) = precipitación pluvial acumulada durante los 15 días anteriores a la fecha de muestreo.

TmP (temperatura mínima puntual) = temperatura mínima registrada el día del muestreo.

TmM (temperatura mínima modal) = temperatura mínima registrada con más frecuencia, durante los 15 días anteriores a la fecha de muestreo.

TmX (Temperatura mínima promedio) = temperatura mínima promedio, registrada durante los 15 días anteriores a la fecha de muestreo.

TMP (Temperatura máxima puntual) = temperatura máxima registrada el día del muestreo.

TMM (Temperatura máxima modal) = temperatura máxima registrada con más frecuencia durante los 15 días anteriores a la fecha de muestreo.

TMX (Temperatura máxima promedio) = temperatura máxima promedio registrada durante los 15 días anteriores a la fecha de muestreo.

Tmed (Temperatura media) = temperatura media promedio durante los 15 días anteriores a la fecha de muestreo.

LABORATORIO

EXTRACCION Y CONTEO DE NEMATODOS

Para la extracción de nemátodos se utilizó la técnica de Centrifugación-Flotación, posteriormente cada suspensión de nemátodos obtenida por esta técnica se aforó a 50 ml y se tomó una alícuota de 2.5 ml, la cual se colocó en una caja de conteo para la identificación y conteo de especies utilizando un microscópio estereoscópico.

CRECIMIENTO RADICAL

Las muestras de raíces de cada parcela, se introdujeron en una estufa a ^o70 C por 72 horas, para determinar el peso seco. A partir de éste se construyó la curva de crecimiento radical, basándose en el modelo obtenidos por Loaiza(1986).

HUMEDAD DEL SUELO

Cada muestra de suelo se introdujo en un aparato de campo denominado SPEEDY, para determinar su contenido de humedad.

DESARROLLO DE LOS MODELOS DE PRONOSTICO

Variable dependiente (nemátodos)

Al número poblacional de cada género de nemátodo se le realizó una transformación del tipo $\log(x+1)$ para normalizar su distribución y someterla a un análisis de varianza para determinar si las variedades de maíz, la profundidad del muestreo y el tiempo, influían en la distribución temporal de los parásitos (Reyes, 1982).

Variabes independientes

Las variables climáticas HS, PP, TmP, TmM, TmX, TMP, TMM, TMX y Tmed, se sometieron a un análisis de componentes principales para

analizar interdependencia entre ellas, obtener componentes principales y reducir variables (SAS, Ins. 1982).

Generación de modelos

Para incrementar la precisión de los modelos, la densidad poblacional de cada uno de los géneros estudiados en esta investigación, se supuso con dos tipos de comportamiento: lineal y logarítmico. A esta densidad se le efectuó una correlación con las variables climáticas y el peso seco de la raíz, desfasando éstas de 1 a 14 quincenas para determinar el efecto de retardo y seleccionar las variables que participarían en la generación de modelos (Zadok y Shein, 1979; SAS Ins., 1982). Los criterios de selección se basaron en el nivel de significancia de los coeficientes de correlación; el porcentaje de datos con los que se realizó la correlación, evaluando así, la confianza del coeficiente de correlación y desfasamientos de tiempo corto (15, 30 y 45 días) que aportaban la posibilidad de realizar interpretaciones biológicas más convincentes, considerando que la duración del ciclo de vida de la mayoría de los nemátodos fitoparásitos y saprófitos esta entre las 2 y 4 semanas (Dropkin, 1980; Freckman, 1982).

Las variables independientes seleccionadas en la correlación se

sometieron a una segunda selección utilizando el método Stepwise del programa estadístico SAS, para encontrar la mejor combinación de variables que influyeran en la distribución temporal de los nemátodos (Draper y Smith, 1966; Kleinbaum et. al, 1978; SAS Inst.,1982).

Los criterios para seleccionar la mejor combinación fué de acuerdo a la máxima R^2 , la cual indica que variables independientes influyen en el comportamiento de la variable dependiente; el coeficiente de Mallows $C(p)$ el cual indica que un modelo será el más adecuado para representar el fenómeno en estudio, cuando el valor de su $C(p)$ sea igual o muy cercano al número de variables en el modelo y el nivel de significancia que asegura que la variación de la variable dependiente, en este caso, el número poblacional de los parásitos y saprófitos está influenciada por las variables independientes y no por el error.

A las mejores combinaciones obtenidas por stepwise se les efectuó un análisis de regresión para obtener la mejor ecuación o modelo que determinara el comportamiento poblacional de cada uno de los géneros estudiados en esta investigación. La selección de los mejores modelos fué de acuerdo a el coeficiente de determinación R^2 el cual mide la fuerza de la relación entre la variable dependiente con las variables independientes e indica la proporción de la variación por la regresión; el nivel de

significancia que asegura que la variación en la distribución temporal de los nemátodos está determinada por el modelo y no por el error; los residuales que determinan la diferencia entre los valores observados con los obtenidos por la regresión. Estos deben tener un comportamiento aleatorio hacia ambos lados de la línea que representa la media de los valores calculados con la ecuación de regresión, lo cual es indicativo de la distribución normal de los errores y de lo adecuado del modelo y finalmente, la generalización de éste, es decir, la cantidad de observaciones que pudo predecir la ecuación de regresión obtenida, tomando en consideración que el desfasaje de las variables independientes ocasionó pérdida de observaciones (Draper y Smith, 1966; Kleinbaum et. al, 1978; SAS Inst.,1982).

V. RESULTADOS

Especies de nemátodos

Los géneros de nemátodos encontrados en el área experimental fueron: Helicotylenchus, Tylenchorhynchus, Pratylenchus y tipos diversos de saprófitos.

Colectas e identificación de nemátodos realizadas en el área de trabajo, anteriores a esta investigación, determinaron que las especies de los géneros encontrados fueron: Helicotylenchus digitatus, Tylenchorhynchus acti, I. mexicanus, I. cylindricus y Pratylenchus pratensis (Cid del Prado, com. pers.).

Efecto de los tratamientos

El efecto de las variedades de maíz, profundidad de muestreo y tiempo en el comportamiento poblacional de las cuatro especies de nemátodos estudiadas, se muestran en el cuadro (1). Se aprecia que las variedades de maíz probadas en la investigación no tuvieron diferencias entre ellas, mientras que el tiempo y la profundidad si presentan diferencias altamente significativas, en cada una de las especies.

ANALISIS DE VARIANZA

	TRATAMIENTOS	V	T	P
<u>Helicotylenchus</u> sp.	VALOR DE F	0.76	20.86**	147.53**
<u>Tylenchorhynchus</u> spp.	VALOR DE F	0.63	9.53**	180.71**
<u>Pratylenchus</u> sp.	VALOR DE F	0.66	6.25**	9.24**
Saprófitos	VALOR DE F	0.61	14.84**	95.07**

V = Variedad

T = Tiempo

P = Profundidad

* significativo

** altamente significativo

CUADRO 1. Análisis de varianza dõnde se señala en que tratamientos existen diferencias significativas.

Profundidad

El comportamiento poblacional de los nemátodos en las dos profundidades muestreadas es similar, sin embargo, las densidades son mayores en los 15 cm de profundidad exceptuando Pratylenchus pratensis (figs. 1 y 2).

PATOGENOS

Helicotylenchus digitatus

La fig. 3 muestra la densidad poblacional de Helicotylenchus digitatus en el tiempo. Se aprecia una disminución de la población muy significativa, en el periodo que abarca desde los 90 días a los 135 días, fecha en que alcanzó su densidad poblacional mínima (4 nemátodos/100 cm³) para posteriormente incrementarse hasta el final del ciclo (195 días), en que alcanzó el máximo número poblacional (100 nemátodos /100 cm³).

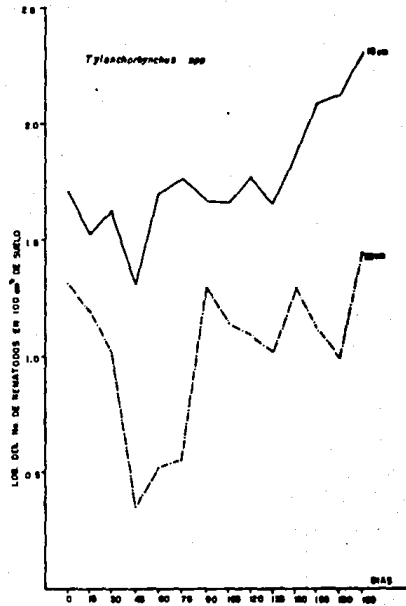
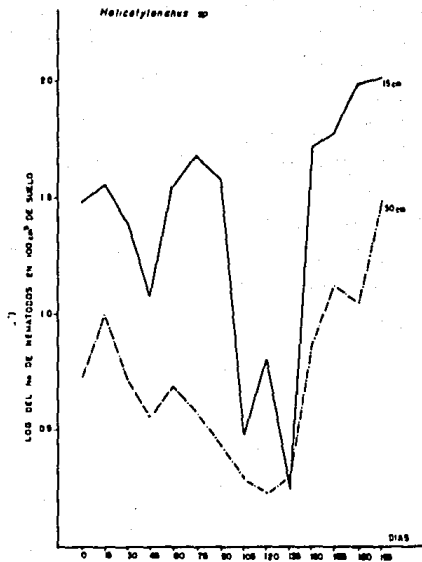


Fig. 1. Fluctuaciones poblacionales de *Helicotylenchus* sp. y *Tylenchorynchus* spp. registradas en la superficie del suelo y a 15 cm.

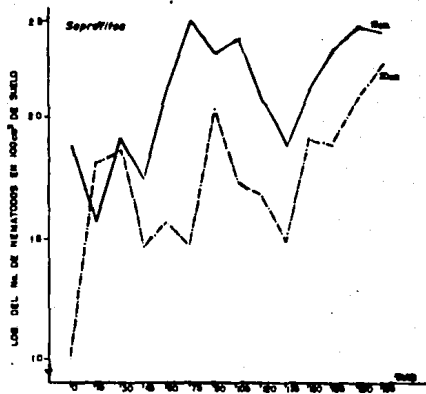
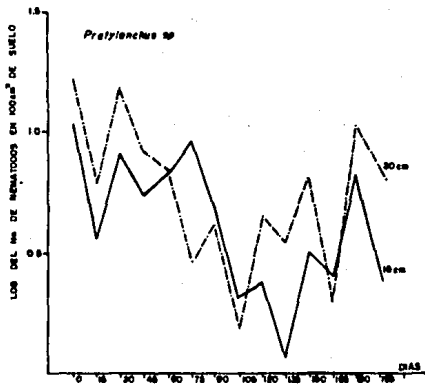


Fig. 2 Fluctuaciones poblacionales de *Pratylenchus sp.* y especie de saprófitos registradas en dos profundidades (15 y 30 cm).

Tylenchorhynchus acti, T. mexicanus, y T. cylindricus

La tendencia general del número de individuos en la población de Tylenchorhynchus spp fué de incremento. La mínima densidad poblacional se encontró en los 45 días (21 nemátodos/100 cm³) posteriormente existió un incremento hasta los 90 días para permanecer estable hasta los 135 y volver a incrementarse hasta su punto máximo, en los 195 días (184 nemátodos/100 cm³) (fig. 3)

Pratylenchus pratensis

La fig. 3 muestra que la población de Pratylenchus pratensis presentó una tendencia general ha disminuir durante todo el ciclo.

Saprófitos

Las especies de saprófitos, al igual que Tylenchorhynchus sp. tendieron a incrementarse presentando su nivel mínimo a los 45 días (59 nemátodos/100 cm³) y el máximo en los 180 días (217 nemátodos/100 cm³) (fig. 3).

HOSPEDERO

La fig. 3 muestra el crecimiento radical estimado, a partir del modelo de Loaiza (1986). Se puede apreciar un comportamiento de tipo normal, encontrándose el pico máximo a los 105 días, fecha en que inicia la floración del maíz.

AMBIENTE

Humedad del suelo

Las fluctuaciones temporales del contenido de humedad en el suelo se pueden apreciar en la fig. 3. Tres picos máximos se presentaron a los 60, 120 y 165 días con 12.5%, 12.2% y 11.4% de humedad respectivamente. Las cantidades mínimas se encontraron al inicio del muestreo con 3.6% de humedad y al final del ciclo con 3.5% de humedad.

Precipitación pluvial

En la fig. 3 se muestra la distribución en el tiempo de la precipitación pluvial acumulada durante los 15 días anteriores a la fecha de muestreo. Se aprecia un primer pico a los 60 días con 60 mm, posteriormente existió un periodo de altas precipitaciones que abarcó desde los 105 hasta los 150 días cuyas fluctuaciones oscilaron entre los 87.3 mm y 58.2 mm .Las mínimas precipitaciones se localizaron en el inicio del muestreo y al final del ciclo con 4.5 mm y 0.5 mm respectivamente.

Temperatura

En la fig. 3 ,se aprecian las fluctuaciones temporales de la temperatura mínima, máxima y media promedio registradas durante los 15 días anteriores a cada fecha de muestreo.

Temperatura mínima promedio

La máxima temperatura mínima promedio se encontró a los 135 días con 11.2 °, la mínima a los 195 días con 3 °. En el periodo que abarca desde los 60 días hasta los 120 días. La temperatura osciló en todo el ciclo entre los 9 y 9.5 ° C .

Temperatura máxima promedio

La mas alta temperatura máxima promedio se encontró en los 45 días con 25.1° C y la minima en los 120 días con 18.6° C. En todo el cultivo la temperatura osciló entre los 20 y 21° C.

Temperatura media promedio

La temperatura media promedio tuvo un comportamiento bastante estable durante todo el ciclo oscilando entre los 12° y 14° C bajando únicamente a 9° y 8° C el 21 de Octubre y 4 de Noviembre respectivamente.

Temperatura minima puntual

La máxima temperatura minima puntual se localizó a los 30 días de iniciado el muestreo con 11.5° C y las minimas a los 180 días y 195 días con 3° C (fig. 4).

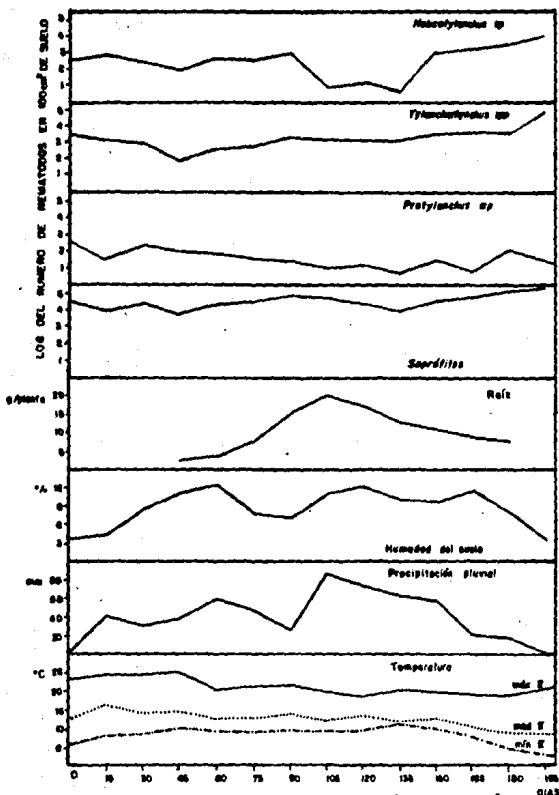


Fig. 3. Comportamiento en el tiempo de los cuatro géneros de nemátodos estudiados, del crecimiento radicular y de las variables ambientales (HC, TT y Temperatura).

Temperatura mínima modal

La máxima temperatura mínima modal se encontró en el periodo que abarca desde los 90 días hasta los 150 días con 11° y la mínima en los 195 días con 3° C. En todo el ciclo la temperatura osciló entre los 10 y 11° C (fig. 4).

Temperatura máxima puntual

La máxima temperatura máxima puntual se encontró en los 15 días de iniciado el muestreo con 27° C y la mínima en los 150 días con 13° C (fig. 5).

Temperatura máxima modal

La más alta temperatura máxima modal se localizó en los 30 y 45 días con 25° C y la mínima en los 195 días con 19° C. En todo el ciclo la temperatura osciló entre los 21 y 22° C (fig. 5).

Textura del suelo

El análisis textural del suelo lo clasifica como un migajón arenoso.

DESARROLLO DE LOS MODELOS

Análisis de componentes principales

El cuadro 2 y las figs. 4 y 5 muestran los resultados obtenidos de las variables HS, PP, TmP, TmM, TmX, TMP, TMM, TMX, Tmed y R sometidas al análisis de componentes principales.

Se obtuvieron dos componentes principales: la que integra la humedad del suelo, precipitación pluvial, temperaturas mínimas y temperatura media denominado TH y la que integra las temperaturas máximas denominado T.

Quedaron así 3 variables independientes para utilizarlas en la obtención de los modelos: las componentes principales TH, T y la variable R (peso seco de la raíz).

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

VARIABLES

Proporción de varianza explicada 0.47

Vector propio

HS 0.70

PP 0.85

TmP 0.81

TmM 0.93

Tmx 0.96

TMP 0.05

TMM 0.57

TMx 0.12

Tmed 0.67

HS = Humedad del suelo

PP = Precipitación pluvial

TmP = Temperatura mínima puntual

TmM = Temperatura mínima modal

Tmx = Temperatura mínima promedio

TMP = Temperatura máxima puntual

TMM = Temperatura máxima modal

TMx = Temperatura máxima promedio

Tmed = Temperatura media

Componente TH (HS, Tm y Tmed)

VARIABLES

Proporción de la varianza explicada 0.70

Vector propio

HS 0.71

PP 0.84

TmP 0.67

Tmx 0.96

TmM 0.94

Tmed 0.84

OBSERVACIONES

Proporción de la varianza explicada 0.70

Vector propio

1 -0.72

2 0.11

3 0.15

4 0.46

5 0.34

6 0.07

7 0.07

8 0.47

9 0.52

10 0.47

11 0.29

12 -0.09

13 -0.88

14 -1.30

CUADRO 2. Análisis de componentes principales.

Las componentes principales TH y T resumen el comportamiento en el tiempo de las nueve variables originales.

COMPONENTE T (Temperaturas máximas).

VARIABLES

Proporción de la varianza explicada 0.71

Vector propio

TMP 0.73

TMM 0.85

TMx 0.93

OBSERVACIONES

Proporción de la varianza explicada 0.71

Vector propio

1 0.24

2 0.39

3 0.70

4 0.82

5 -0.22

6 -0.02

7 -0.14

8 0.00

9 -0.31

10 -0.11

11 -0.56

12 -0.28

13 -0.37

14 -0.13

Continuación del CUADRO 2.

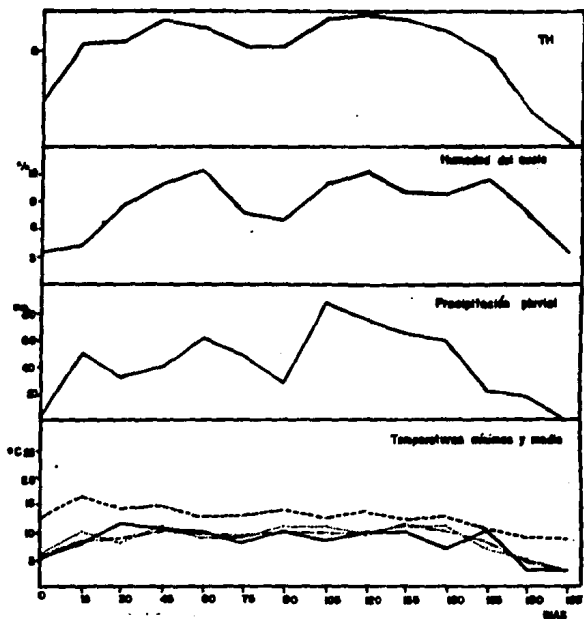


Fig. 4 Variables ambientales (HS, PP, Temperaturas mínimas y Temperatura media) que forman la componente principal TH.

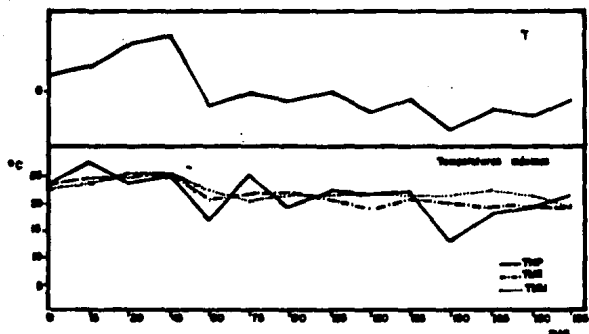


Fig. 5 Componente principal T conformado por las variables ambientales (Temperatura máxima promedio, Temperatura máxima modal y Temperatura máxima puntual).

Correlaciones

Las figuras 6 a 13 muestran los coeficientes de correlación, y su nivel de significancia obtenidos al correlacionar las variables independientes (TH, T y R) desfasadas de 1 a 14 quincenas, con las densidades poblacionales de los nemátodos en forma lineal y logarítmica.

Helicotylenchus digitatus

Cuando la densidad poblacional de Helicotylenchus digitatus se correlacionó de manera lineal, las variables desfasadas TH1 y TH10 presentaron un coeficiente de correlación altamente significativo y T7, T11 y R6 significativo (fig. 6)

Cuando la densidad poblacional se correlacionó de manera logarítmica, las variables TH1, TH10 , T7 y T12 fueron altamente significativas mientras que R2, R5 y R6 significativas (fig. 7)

Tylenchorhynchus acti, T. mexicanus, y T. cylindricus

Para la densidad poblacional de Tylenchorhynchus spp. considerada de manera lineal, la variable TH1 fue altamente

significativa y las variables T1, T2 y T4 significativas (fig. 8) Mientras que correlacionada de manera logaritmica las variables desfasadas TH1 y T2 fueron altamente significativas y TH4 y T3 significativas (fig. 9).

Pratylenchus pratensis

Para la densidad poblacional de Pratylenchus pratensis correlacionada de manera lineal la variable TH1 fué significativa (fig. 10) y de manera logaritmica T2, R1 y R2 fueron significativas (fig. 11).

Saprófitos

Las especies de saprófitos correlacionadas de manera lineal las variables TH1, TH2, T2 y R6 fueron altamente significativas y TH4, TH10, T1, T8 y T11 significativas (fig. 12).

Correlacionadas de manera logaritmica TH1, TH4, TH10 y T11 fueron altamente significativos y T1, T2, T3, T7 y R6 fueron significativos (fig. 13).

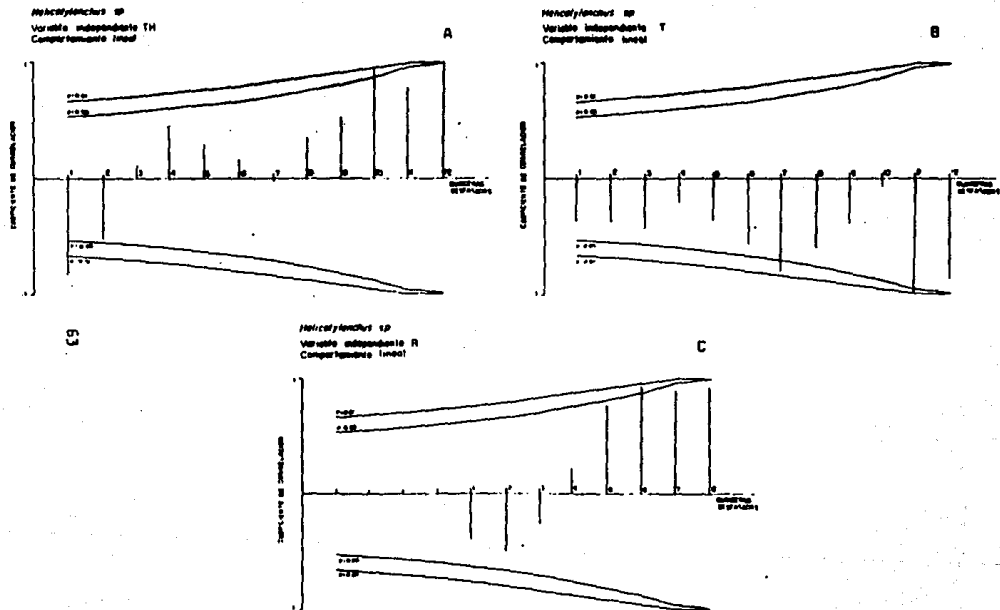


Fig. 6 Correlograma de Helicotylenchus sp. con las variables (TH, T y R) en su comportamiento lineal.

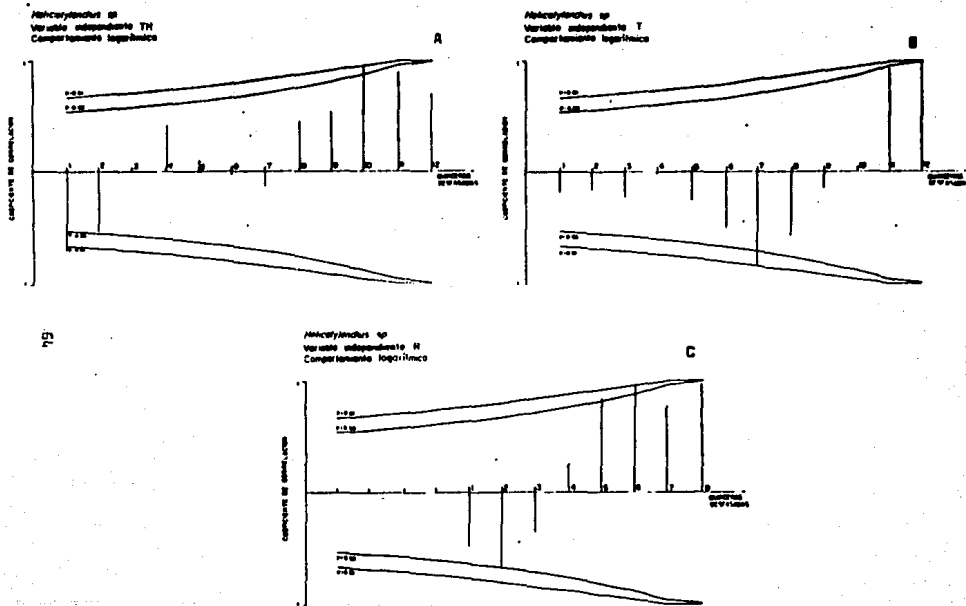


Fig. 7 Correlograma de Halictotylanthus sp con las variables (TH , T y R) en su comportamiento logarítmico.

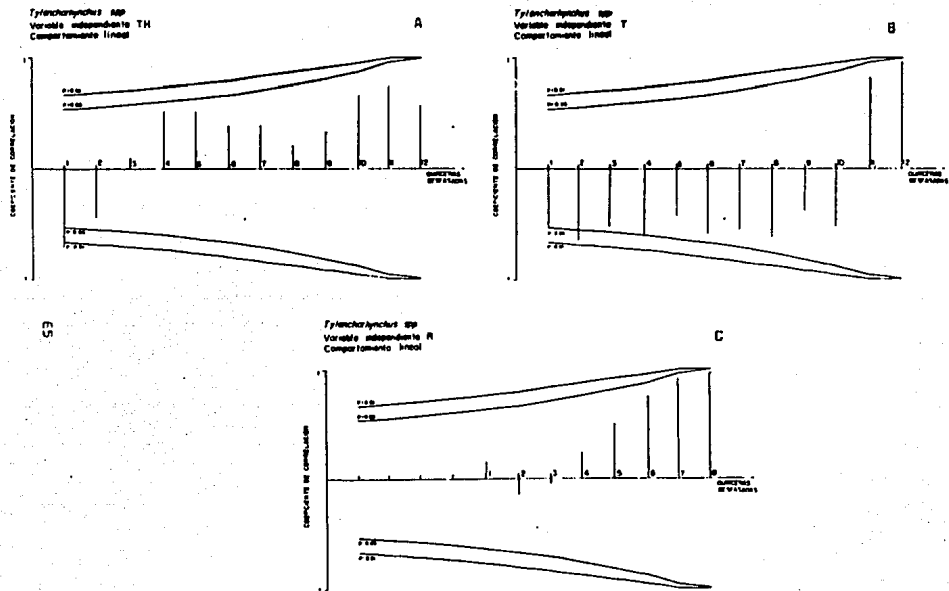


Fig. 8 Correlograma de *Tylenchothrypanus* spp. con las variables (TH, T y R) en su compartimento lineal.

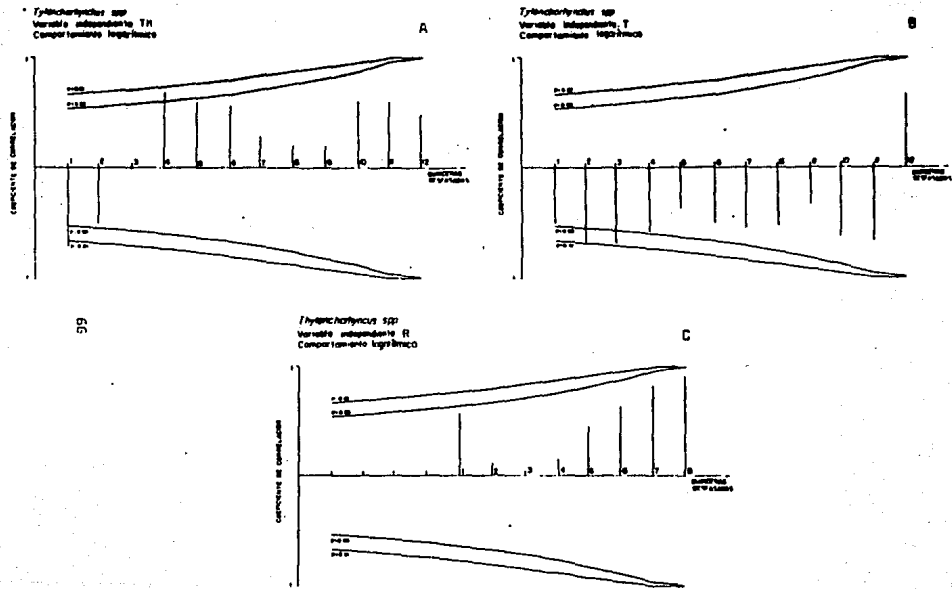


Fig. 9 Correlograma de *Tylenchorynchus* spp. con las variables (TH, T y R) en su comportamiento logarítmico.

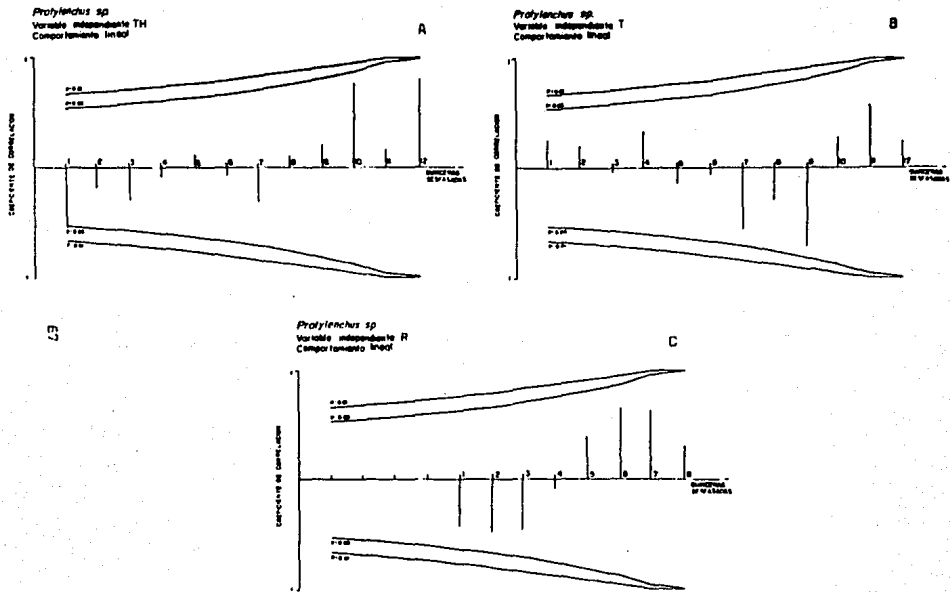


Fig. 10 Correlograma de *Pratylenchus sp.* con las variables (TH, T y R) en su comportamiento lineal.

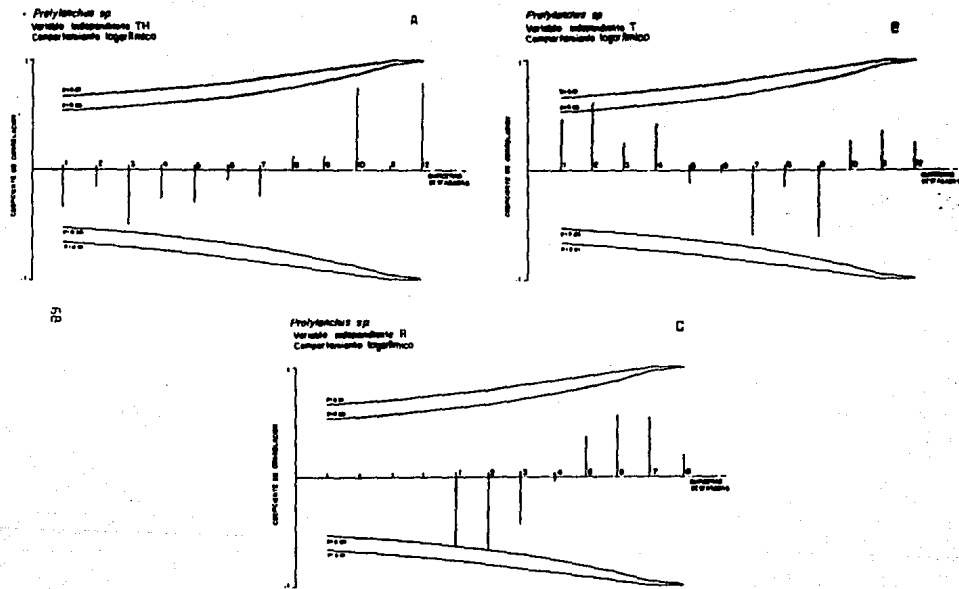


Fig. 11 Correlograma de *Pratylenchus* sp. con las variables (TH, T y R) en su comportamiento logarítmico.

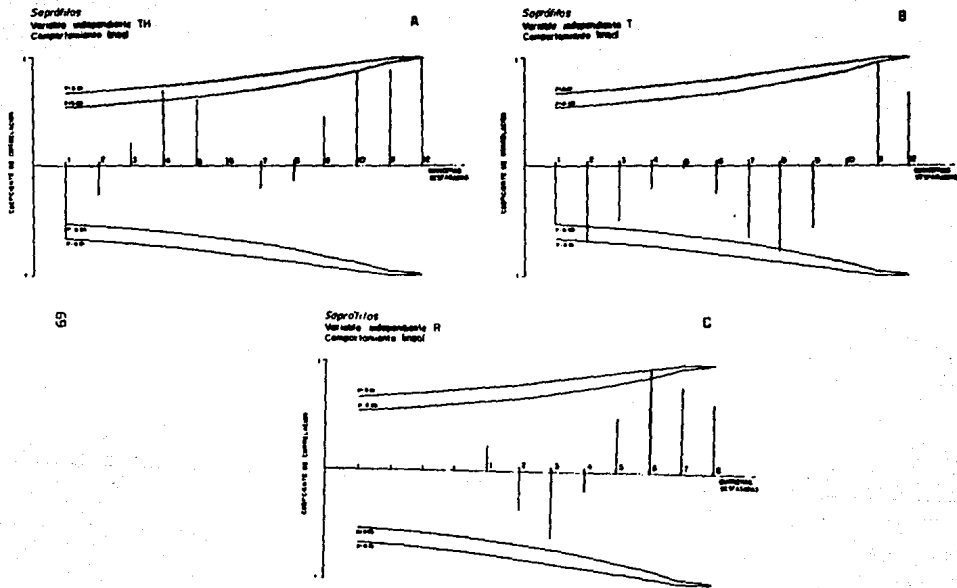


Fig. 12 Correlograma de las especies de soprófitos con las variables (TH, T y R) en su comportamiento lineal.

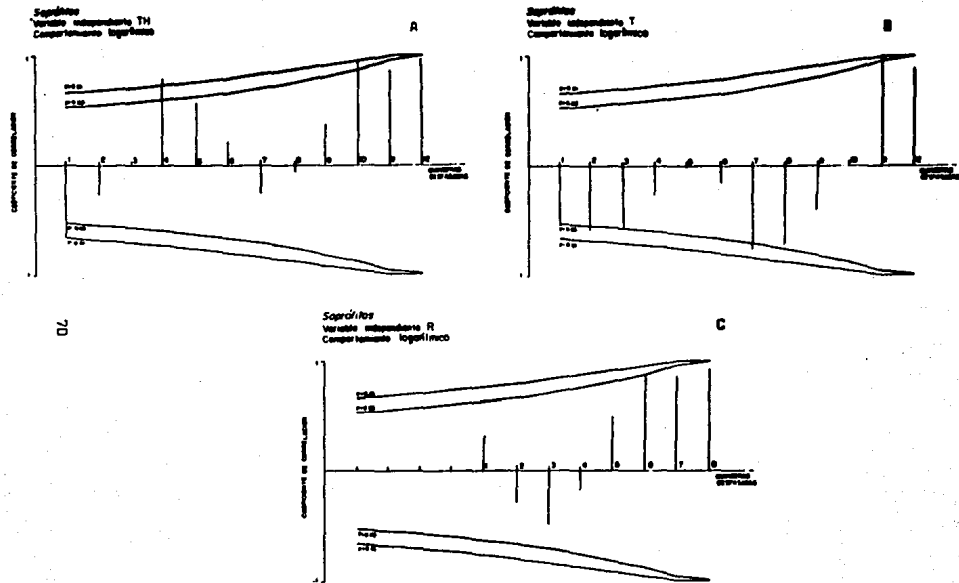


Fig. 13 Correlograma de las especies de saprófitos con las variables (TH, T y R) en su comportamiento logarítmico.

STEPWISE

El cuadro 3 muestra los resultados obtenidos de someter las variables independientes seleccionadas en la correlación, a un proceso de selección de variables con los métodos de Forward, Backward y Stepwise.

Helicotylenchus digitatus

Se puede apreciar que para la densidad lineal de Helicotylenchus digitatus los valores de R^2 van de 0.87 a 0.99, los coeficientes de Mallows más cercanos al número de variables en el modelo son para la combinación TH1, T7, R6 y TH1, T7 con 4 y 2.46 respectivamente. Los valores de F fueron altamente significativos en todas las combinaciones excepto la combinación TH1, R6.

Para la densidad logarítmica los valores de R^2 van de 0.84 a 0.96. Los coeficientes de Mallows más cercanos al número de variables en el modelo fueron para TH1, T7 con 2 y TH1 T7 y R6 con 4. Los valores de F fueron altamente significativos exceptuando el modelo TH1, T7, R6.

Tylenchorhynchus acti, T. mexicanus, y T. cylindricus

Para la densidad lineal de Tylenchorrhynchus spp. los valores de R^2 van de 0.78 a 0.91, los coeficientes de Mallows más cercanos al número de variables en el modelo fueron TH1, T1, T4 con 3.52 y TH1, T1, T2, T4 con 5. Para todas las combinaciones el valor de F fué altamente significativo.

Para las densidades logarítmicas los valores más altos de R^2 fueron para TH1, T2 y TH1, T2, T3 con 0.72 y 0.78 respectivamente y con coeficiente de Mallows de 4. Para todas las combinaciones el valor de F fué altamente significativo.

Pratylenchus pratensis

Para la densidad lineal de Pratylenchus pratensis la variable TH1 tuvo una R^2 de 0.30, un coeficiente de Mallows de 2 y una F significativa.

La densidad logarítmica tuvo una R^2 de 0.50 en la combinación de T2, R1, R2 un coeficiente de Mallows de 4 y una F no significativa.

Saprófitos

Para las densidades lineales de las especies de saprófitos, las R^2 van de 0.92 a 0.99, los coeficientes de Mallows más cercanos son los de la combinación TH1, T2, R6 con 4 presentando una F significativa.

Para las densidades logarítmicas las R^2 van de 0.79 a 0.93, todas las combinaciones presentan coeficientes de Mallows cercanos o iguales al número de variables en el modelo siendo las F significativas en las combinaciones R6, TH1, TH4 T1 y TH1, T1.

Análisis de regresión

El cuadro 4 muestra los modelos obtenidos al someter a un análisis de regresión las combinaciones de variables obtenidas por Stepwise.

Helicotylenchus digitatus

Se generaron 4 modelos para esta especie con coeficientes de determinación (R^2) entre 0.88 y 0.99, los valores de F son altamente significativos, excepto en el modelo NL = TH1, T7, R6.

STEPWISE

N = Número de nematodos .

NL = Logaritmo del número de nematodos.

Altamente significativo.

* Significativo

ns no significativo

Melicotylenchus sp.

VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	R^2	C(p)	SIGNIFICANCIA DE F
N	R6	0.87	263	F##
	TH1, R6	0.91	172	F*
	TH1, T7, R6	0.99	4	F##
	TH1, T7	0.99	2.46	F##
NL	T7	0.84	6.41	F##
	TH1, T7	0.96	2	F##
	TH1, T7, R6	0.96	4	F ns

CUADRO 3. STEPWISE. Se indican las mejores combinaciones de variables independientes para someterlas al análisis de regresión

Tylenchorhynchus spp.

VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	R^2	C(p)	SIGNIFICANCIA DE F
N	TH1	0.78	8.9	F**
	TH1, T4	0.87	4.35	F**
	TH1, T1, T4	0.91	3.52	F**
	TH1, T1, T2, T4	0.91	5	F**
NL	TH1	0.54	8.85	F**
	TH1, T2	0.72	4	F**
	TH1, T2, T3	0.78	4	F**

Pratylenchus sp.

VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	R^2	C(p)	SIGNIFICANCIA DE F
N	TH1	0.30	2	F#
NL	R2	0.44	0.52	F#
	R2, T2	0.49	2	F#
	T2, R1, R2	0.50	4	F ns

Continuación CUADRO. 3

Saprófitos

VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	R	C(p)	SIGNIFICANCIA DE F
N	TH1	0.92	15	F**
	TH1, R6	0.97	5.4	F**
	TH1, T2, R6	0.99	4	F*
NL	R6	0.79	1.43	F*
	TH1, R6	0.83	2.70	F ns
	TH1, T1	0.93	1	F*
	TH1, T1, R6	0.93	3	F ns
	TH1, TH4, T1	0.93	3	F*
	TH1, TH4, T1, R6	0.94	5	F ns

Continuación CUADRO. 3

Los modelos que mayor porcentaje de datos predicen son $N = TH_1$, T_7 y $NL = TH_1, T_7$ con el 57.14 %.

Tylenchorhynchus acti, T. mexicanus, y T. cylindricus

Para estas especies se generaron 3 modelos. El mejor modelo fue el $NL = TH_1, T_2, T_3$ cuyo coeficiente de determinación es de 0.78, coeficiente de variación de 12.13, una F altamente significativa y un porcentaje de predicción para el 85 % de los datos.

Pratylenchus pratensis

Únicamente un modelo fue generado para esta especie. El coeficiente de determinación es de 0.50.

Saprófitos

Para estas especies de vida libre se generaron 3 modelos. Solo el $N = TH_1, T_1$ predice el 100 % de los datos con un coeficiente de determinación de 0.68 y un valor de F altamente significativa.

Residuales

Los residuales en todos los modelos generados se comportaron de manera aleatoria, no se observó ninguna tendencia específica.

Modelos propuestos

Basándose en los análisis estadísticos, los modelos que se propusieron para predecir el comportamiento poblacional de tres nemátodos fitoparásitos y otras especies de saprófitos son los siguientes:

Helicotylenchus digitatus

$$N = 53.48 - 36.42(\text{TH1}) - 39.41(\text{T7})$$

Tylenchorhynchus spp.

$$NL = 3.32 - 0.58(\text{TH1}) - 0.56(\text{T2}) - 0.52(\text{T3})$$

Pratylenchus pratensis

$$NL = 1.98 + 0.29(\text{T2}) - 0.0064(\text{R1}) - 0.019(\text{R2})$$

Saprófitos

$$NL = 4.5 - 0.49(\text{TH1}) - 0.55(\text{T1})$$

REGRESION

N = Número de nematodos
 NL = Logaritmo del número de nematodos
 ** Altamente significativo
 * Significativo
 ns no significativo

Helicotylenchus sp.

MODELO	R ²	C.V.	PORCENTAJE DE OBSERVACIONES	SIGNIFICANCIA DE F
N = TH1, T7, R6	0.99	3.66	42.86%	F**
N = TH1, T7	0.96	17.11	57.14%	F**
NL = TH1, T7, R6	0.96	16.15	42.86%	F ns
NL = TH1, T7	0.88	21.88	57.14%	F**

Tylenchorhynchus spp

N = TH1, T1, T4	0.91	20.02	78.57%	F**
N = TH1, T1, T2, T4	0.91	20.73	78.57%	F**
NL = TH1, T2, T3	0.78	12.13	85%	F**

Pratylenchus spp

NL = T2, R1, R2	0.50	31.6	64.29%	F ns
-----------------	------	------	--------	------

CUADRO 4. Análisis de regresión. Modelos de pronóstico generados.

Saprófitos

N = TH1, T2, R6	0.99	5.51	42.86%	F#
N = TH1, T1	0.68	6.3	100%	F##
NL = TH1, T1, R6	0.93	4.3	42.86%	F ns

Cpntinuación CUADRO. 4

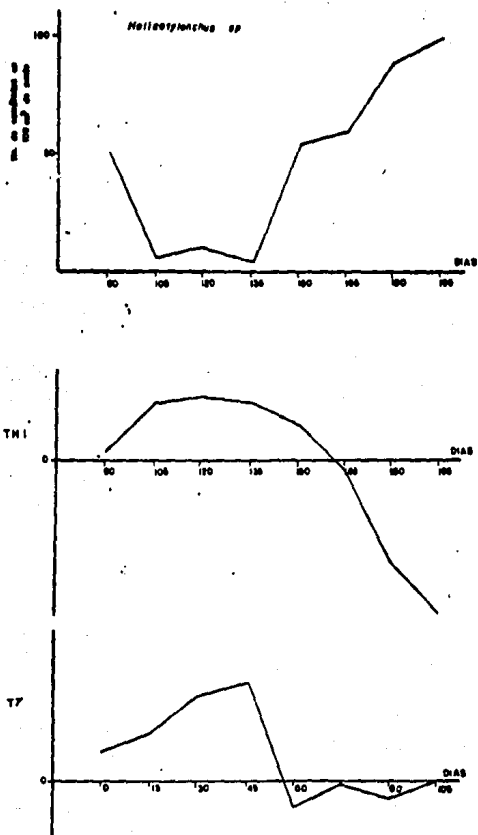


Fig. 14 Modelo de pronóstico propuesto para Helicotylenchus sp.
 $N = 53.48 - 36.42(TM1) - 39.41(T7)$.

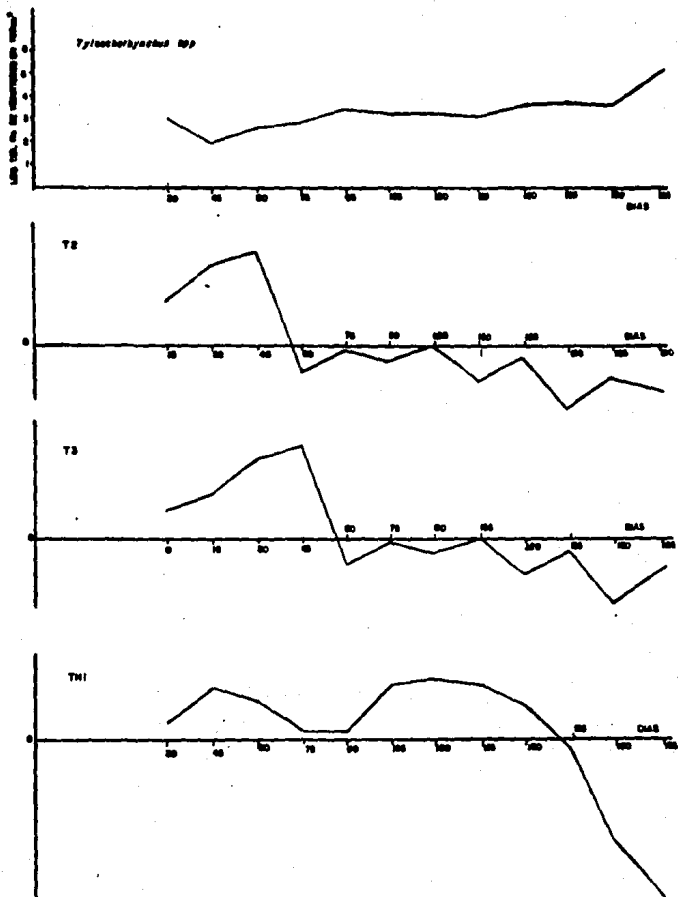


Fig. 15 Modelo de pronóstico propuesto para Tylenchothynchus spp.
 $TL = 3.32 + 0.5E(TH1) + 0.5E(T2) + 0.5E(T3)$

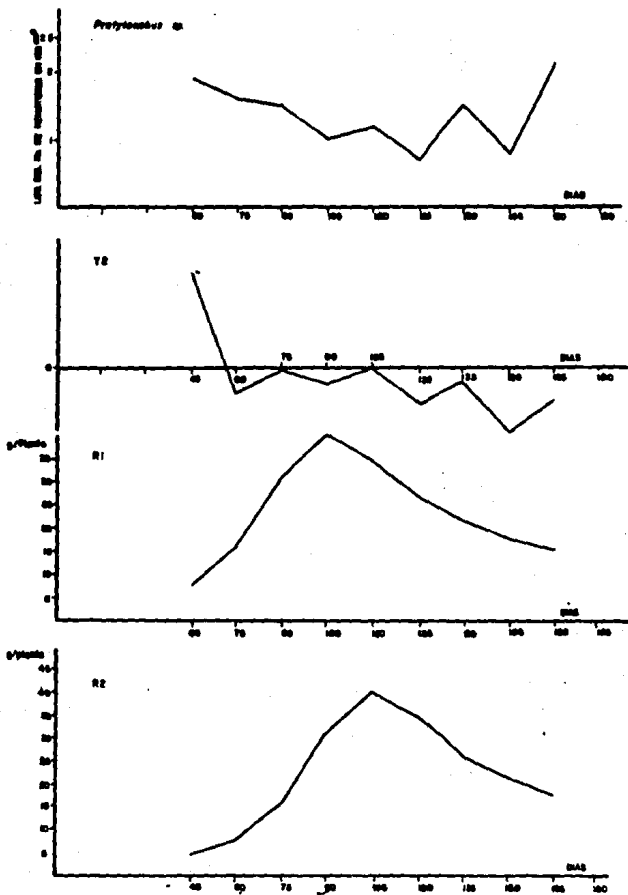


Fig. 16 Modelo de pronóstico propuesto para Protilyncus sp.
 $n_t = 1.98 + 0.29(T2) - 0.0064(R1) - 0.019(R2)$

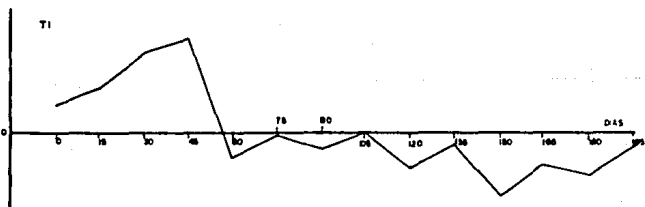
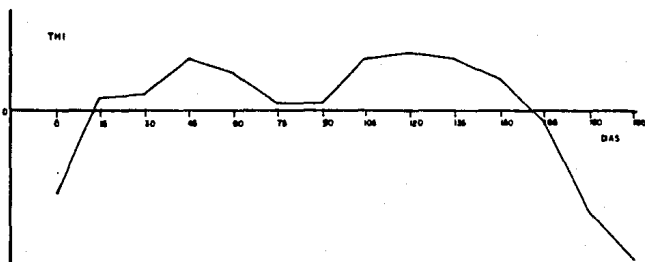
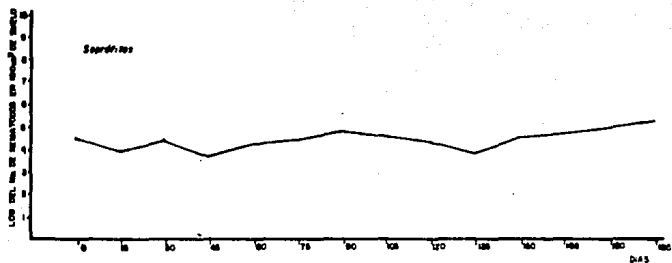


Fig. 1^o Modelo de pronóstico propuesto para las espaldas de esparfitos.
 $M = 4.5 = 0.49(THI) + 0.55(T1)$.

VI. DISCUSION

La influencia de cada una de las seis variedades de maíz en la distribución temporal de los cuatro géneros de nemátodos estudiadas, no tuvo diferencias. Esto permitió utilizarlas como un solo hospedero, incrementándose así, el número de repeticiones de 4 a 24, lo cual aportó mayor precisión, confiabilidad y generalización a los modelos de pronóstico (Campbell, 1986).

La distribución vertical de cada una de las especies cuantificadas, confirma lo mencionado por Dropkin (1980) y Agrios (1986) en el sentido de que, generalmente, la mayor densidad poblacional de nemátodos asociados a raíces se encuentra en los 15 cm de profundidad. Debido quizás, a que la mayor parte del sistema radical del maíz se distribuye en los primeros 30 cm de profundidad, desde los 36 días de haber emergido las plántulas. A partir de este momento, el crecimiento es horizontal más que vertical (Navia, 1972), por lo que las zonas de alargamiento radical quedan confinadas en las zonas superficiales del suelo. En estas zonas de crecimiento es donde se producen los exudados radicales, los cuales tienen influencia en el comportamiento de los nemátodos sobre todo estimulando la eclosión (Macdonald, 1979), provocando la muda (Rhoades y Linford, 1959), la atracción a los tejidos radicales (Klinger, 1965; Edmund y Mai, 1967; El-

Sherif y Mai, 1969) y el parasitismo (Macdonald, 1974).

Las especies de saprófitos son influenciadas indirectamente por los exudados radicales, pues su alimento consiste principalmente de bacterias, hongos y otros nemátodos los cuales se agregan en la zona de la rizósfera Área del suelo donde los exudados radicales están presentes (Bannister, 1976; Rovira, ____).

Las variables climáticas que más influyen en la distribución temporal de los nemátodos son la humedad y la temperatura del suelo. Esta última no pudo ser registrada directamente, sin embargo, la temperatura del suelo a los primeros 15 cm de profundidad es muy similar a la temperatura atmosférica (Norton, 1978). Por lo que es permitido suponer, que las fluctuaciones en la temperatura del suelo a 15 cm, fueron similares a las registradas en la temperatura atmosférica.

Es evidente que el incremento de precipitación pluvial, incrementa la humedad en el suelo. Aún cuando esta fué registrada de manera puntual, es decir, en la fecha de muestreo, se puede afirmar que era un reflejo de la cantidad y frecuencia de la precipitación pluvial que había sucedido días anteriores.

Por otra parte, el incremento de precipitación pluvial es consecuencia de una mayor nubosidad en la atmósfera. Esta, generalmente se presenta en la madrugada, poco antes de la salida

del sol y en el momento en que se registra la temperatura mínima. La nubosidad, disminuye el escape de la radiación solar emitida durante el día a zonas elevadas de la atmósfera, reflejando y regresando parte de esta radiación, a la superficie terrestre. Esto ocasiona que la temperatura atmosférica se eleve y que por lo tanto las temperaturas mínimas también se incrementen. Como la temperatura media es un punto de equilibrio entre las temperaturas máximas y mínimas, al elevarse esta última, ocasiona que la media se incremente también. Estos fenómenos se confirman al ser integrantes de una sola componente principal (TH), el cual sugiere que estas variables se comportan en el tiempo de manera similar.

La otra componente principal, que integra las modalidades de las temperaturas máximas (T), se tomó como un indicador de cual modalidad de estas temperaturas explica más la fluctuación temporal, en este caso, fué la temperatura máxima promedio.

El crecimiento radical estimado a partir del modelo propuesto por Loaiza (1986), concuerda de manera satisfactoria con lo señalado por Huisman (1982), en el sentido de que la curva de crecimiento radical se comporta normalmente, teniendo su pico máximo, cuando los órganos reproductores aparecen y comienza la translocación de fotosintatos desde raíz, tallo y hojas, al grano para que este

sea llenado.

Las seis variables originales (HS,FP,Tm,TM,Tmed y R) se redujeron a tres (TH,T y R) lo que aporta sencillez y posibilidades de una mejor manipulación de datos para el desarrollo de los modelos de pronóstico.

Interpretación de los modelos

Considerando que Helicotylenchus sp se comporta como un semiendoparásito en el maíz (Norton, 1984), y que en esta investigación no se cuantificaron las poblaciones dentro del tejido radical, se puede suponer que la disminución en el número poblacional presentada entre los 90 días y los 135 días, así como el incremento significativo a partir de esta última fecha hasta el día de la cosecha (195 días) (Fig. 14), no reflejan la mortalidad ni la reproducción respectivamente, quizá más bien, la penetración y emergencia del tejido radical. En realidad el pronóstico del modelo debe tomarse en este sentido: pronóstico de la penetración y la emergencia del parásito.

La penetración se presenta justo antes de que la floración

empiece y la raíz alcance su máximo crecimiento. Después de este periodo, la raíz envejece y la tasa de penetración disminuye, reflejo quizá, del incremento significativo de nemátodos en el suelo (_____).

La relación inversa entre el incremento de humedad y la disminución en el número poblacional de los nemátodos se debe, probablemente, a que esta variable (TH) facilita el movimiento, la migración y la penetración al tejido radical (Wallace, 1958; 1959; Van Gundy, 1967).

Puesto que no se registraron tasas de reproducción y mortalidad ni se conoce la temperatura base en esta especie, es difícil hacer conjeturas sobre la influencia de la temperatura, ya que ésta afecta principalmente la duración del ciclo de vida de los nemátodos.

La aparente relación entre T7, cuyo desfaseamiento es de 3.5 meses, y el número poblacional del parásito, se puede considerar como una coincidencia estadística, puesto que el ciclo de vida de estos es de sólo 3 a 4 semanas. No hay que olvidar que los semiendoparásitos como los endoparásitos son afectados ligeramente por el ambiente edáfico, puesto que al estar rodeados de tejido radical el efecto de éste es amortiguado (Vrain, 1986).

El crecimiento explosivo que presenta Tylenchorhynchus spp. (Fig. 15) al final del ciclo, concuerda con lo dicho por Robinson, (1987) para los parásitos que atacan hospederos de ciclo anual, es decir, hospederos estratega-r.

La relación inversa entre TH1 y la densidad poblacional, puede deberse a la disminución de oxígeno en el suelo por el incremento de humedad, afectando el movimiento, la migración, el desarrollo y la reproducción del parásito (Wallace, 1958; 1959; Vrain, 1987). También, esta disminución de oxígeno pudo provocar la proliferación de bacterias anaeróbicas productoras de sustancias tóxicas para los nemátodos (Vrain, 1986).

El efecto de la temperatura máxima (T2 y T3), inverso al número poblacional de nemátodos, es convincente si se toma en cuenta que estas temperaturas, están desfasadas cerca del rango de duración del ciclo de vida de los nemátodos fitoparásitos, que es de 3 a 4 semanas (Freckman, 1985; Dropkin, 1980).

El periodo que abarca de los 90 a los 135 días, en donde es notorio que el número poblacional de nemátodos no registra incrementos significativos, quizá sea el reflejo de una alteración en el equilibrio osmótico del parásito, ocasionada por

la urea, considerando que este fertilizante fué aplicado a los 90 días (Vrain, 1986; Decker, 1981).

La población de Pratylenchus sp tiende a disminuir en todo el ciclo (Fig. 16), confirmando su hábito endoparásito, sin embargo el modelo de pronóstico es muy pobre ($R^2 = 0.50$) por lo que es difícil realizar interpretaciones. Es necesario realizar un registro poblacional dentro del tejido radical para poder generar un modelo de pronóstico que explique el comportamiento poblacional de este parásito.

La densidad poblacional de las especies de saprófitos es mayor que la densidad poblacional de las tres especies de fitoparásitos investigadas, concordando con lo mencionado por Freckman (1985), quien afirma que el 70% de los nemátodos en el suelo son especies de vida libre (Fig. 17).

El incremento explosivo en el número poblacional de estas especies al final del ciclo, puede deberse a que la comunidad biótica de la rizósfera (bacterias, hongos, nemátodos etc.), de la cual dependen, se comporta como un estratega-r ocasionando que estas especies de saprófitos también lo hagan (Robinson, 1987).

La disminución de oxígeno ocasionada por el incremento de humedad pudo afectar a estas especies de saprófitos de la misma manera que a Tylenchorhynchus spp.

Como ya se ha mencionado, la temperatura tiene su efecto principal en la duración del ciclo de vida. Si consideramos que la temperatura T₁, cuyo desfase es de 15 días, fué la que más afectó el comportamiento de las especies de saprófitos, puede confirmarse que el ciclo de vida de los nemátodos de vida libre es menor que el de los fitoparásitos (Dropkin, 1980), puesto que hay que notar que Tylenchorhynchus spp., quien es un fitoparásito, es afectado por temperaturas de mayor desfase (30 a 45 días) (Fig. 15).

La disminución significativa registrada antes de que el hospedero aparezca, puede deberse a la fertilización con sulfato de amonio el día de la siembra, así como a la sequía del suelo que afecta de manera evidente a estas especies (Arpin, 1975).

La aplicación de urea a los 90 días pudo ser la causante de la disminución significativa de densidad poblacional en esta fecha, quizá al alterar el equilibrio osmótico de los nemátodos (Vrain, 1986).

Aún cuando el hospedero no estuvo como variable independiente en

los mejores modelos propuestos no hay que descartar su importancia, hay que considerar que esta variable tiene su mayor impacto en los semiendoparásitos y endoparásitos cuyas dinámicas poblacionales no se registraron dentro del tejido radical. Posiblemente si se hubiera efectuado este registro la influencia del hospedero en estos parásitos hubiera sido determinante.

Los modelos generados en esta investigación, deben tomarse como una opción metodológica para estudiar no sólo nemátodos fitoparásitos sino otros patógenos de cultivos.

Un buen modelo de pronóstico, debe generarse de registros continuos a lo largo de varios años y de diferentes localidades. A pesar de que los modelos generados en esta investigación, se basaron en datos cuyo registro se realizó durante un solo ciclo de cultivo y en una misma localidad, sus predicciones pueden tomarse como aproximaciones satisfactorias, considerando los elevados valores de sus coeficientes de determinación. El valor de tales aproximaciones, se incrementa si se considera que los datos se obtuvieron en el campo y bajo las difíciles condiciones de una zona temporalera. Por esto es permitido afirmar que estos modelos son una buena propuesta.

VII. CONCLUSIONES

Se pueden generar modelos de pronóstico de patosistemas maíz-nematodo y asociaciones maíz-saprófitos con suficiente confiabilidad en investigaciones de campo.

Las variables que más influyeron en la dinámica poblacional de los nemátodos fueron la humedad y la temperatura. La influencia radical no se apreció. Sin embargo, no se descarta su importancia en especies de semiendoparásitos y endoparásitos, con las cuales deben realizarse muestreos dentro del tejido radical.

Las variables ambientales impactan a la población de nemátodos en forma retardada y la duración de éste retardo, no excede los 45 días.

La penetración se comporta de manera lineal y el crecimiento de manera logarítmica.

La metodología aplicada para la generación de los modelos de pronóstico puede aplicarse a otros fitoparásitos radicales.

VIII. BIBLIOGRAFIA

ACOT, P. (1978). Introducción a la Ecología. Ed. Nueva Imagen, México. 151 pp.

AGRIOS, G.N. (1986). Fitopatología. Limusa, México. 756 pp.

ANDERSON, R.M y May, R.M. 1978. Regulation and stability of host-parasite population interactions. J. Anim. Ecol. 47:219-247.

ANDRADE, V. (1976). Geografía. Ed. Trillas, México. 223 pp.

ARPIN, P. 1975. Sur quelques aspect des interactions sol-nématodes dans des biocénoses forestières ou herbacées. Rev. Ecol. Biol. Sol. 12:57-67.

BANNISTER, P. (1976). Introduction to Physiological Plant Ecology. Blackwell, Oxford. 273 pp.

BAXTER, R. I., y Blake, C. D. 1969. Oxygen and the hatch of eggs and migration of larvae of Meloidogyne javanica. Ann. Appl. Biol. 63:183-190.

CAMPBELL, L. (1986). Interpretation and uses of disease progress

curves for root disease. In Plant Disease Epidemiology, Vol. I, ed., L.J. Kurt y W. E. Fry. Macmillan Publishing Company, USA. 39-54 pp.

CAMPBELL, L y L. Madden. (1970). Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley & Son, Nueva York. 531 pp.

CID DEL PRADO, V.I. 1978. Estudio taxonómico y evaluación de las poblaciones de los nematodos fitoparásitos relacionados con el cultivo de maíz en el Estado de México. Avances en la enseñanza y la investigación. Colegio de Postgraduados 1977-1978. pp.222.

COOPER, A. F., y Van Gundy, S.D. 1970. Metabolism of glycogen and neutral lipids by Aphelenchus avenae and Caenorhabditis sp. in aerobic, microaerobic and anaerobic environments. J. Nematol. 2:305-315.

DECKER, H. (1981). Plant Nematodes And Their Control. AMERIND, Nueva Delhi. 540 pp.

DRAPER, N. y Smith, H. (1966). Applied Regression Analysis. John Wiley & Sons, New York. 407 pp.

DODD, H. V. (1980). Introduction to plant nematology. John Wiley & Sons. New York. 293 pp.

EDMUNDS, J. E. y Mai, W. F., 1967. Effect of Fusarium oxysporum on movement of Pratylenchus penetrans toward alfalfa roots. Phytopathology, 57:468-471.

EL-SHERIF, M. y Mai, W. F., 1969. Thermotactic response of some plant parasitic nematodes. J. Nematol. 1:43-48.

FAO (1988). Producción 1987. Roma. 125-126 pp.

FORTUNER, R.; M. Luc. 1987. A reappraisal of Tylenchina (Nemata). The family Belonolaimidae Whitehead, 1960. Revue. Nematol. 10(2): 183-202.

FORTUNER, R. 1987. A reappraisal of Tylenchina (Nemata). The family Hoplolaimidae Filip ev, 1934. Revue. Nematol. 10(2): 219-232.

FRECKMAN, D. 1985. The ecology of nematodes in agroecosystems, Ann. Rev. Phytopathol. 23:275-96.

GARCIA, E. (1973) Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. 70 pp.

HUISMAN, O. 1982. Interrelation of root growth dynamics to

epidemiology of root-invading fungi. Ann. Rev. Phytopathol.
20:303-327.

INEGI (1986). Anuario de estadísticas estatales.

INEGI (1986). Anuario estadístico del Estado de México.

KIMPINSKI, J., H. R. Wallace, y R. B. Cunningham. 1976. Influence of some environmental factors on populations of Pratylenchus minvus in wheat. J. Nematol 8:310-314.

KLEINBAUM, G. D. y L.L. Kupper. (1978). Applied Regression Analysis and Others Multivariable Methods, Duxbury Press, USA. 556 pp.

KLINGER, J. 1965. On the orientation of plant nematodes and of some others soil animals. Nematologica, 11:4-18.

KRANZ, J. (1974). Epidemics of plant disease. Springer-Verlag, Berlin. 171 pp.

KRANZ, J. y Royle, D. (1978). Perspectives in mathematical modelling of plant disease epidemics. In Plant disease Epidemiology, ed., Scott, P y A. Bainbridge. Blackwell Scientific

Publications, Oxford. 111-120 pp.

KREBS, CH.J. (1985). ECOLOGIA. Estudio de la distribución y la abundancia. Harla, México. 753 pp.

LOAIZA, V. J. M. (1986). Crecimiento y aprovechamiento de la energía solar del maíz (Zea mays L.) en asociación con frijol (Phaseolus vulgaris L.). Tesis de M.en C. Colegio de Postgraduados.

LUC, M. 1987. A reappraisal of Tylenchina (Nemata). The family Pratylenchidae Thorne, 1949. Revue. Nématol. 10(2): 203-218.

LLANDS, C. M. (1984). El Maíz. Su cultivo y aprovechamiento. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 317 pp.

MACDONALD, D. (1979). Some Interactions of Plant Parasitic Nematodes and Higher Plants. In Ecology of Root Pathogens. Ed., S.V. Krupa y Y. R. Dommergues. Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam. 157-178 pp.

MADIN, K. A. C. y Crowe, J. H. 1975. Anhydrobiosis in nematodes: Carbohydrate and lipids metabolism during dehydration. J. Exp. Zool. 193:335-342.

NAVIA, M. D. (1972). Efecto de la competencia interespecifica en poblaciones controladas de Simsia amplexicaulis (Cov Pers. y Zee mays L. Tesis de M. en C. Colegio de Postgraduados.

NORTON, D. (1978). Ecology of plant parasitic nematodes. Wiley, New York. 268 pp.

NORTON, C. D. (1984). Nematodes Parasities of Corn. In Plant and Insect Nematodes. Ed. W. R. Nickle. Moral Dekker, USA. 61-94 pp.

OLWE, T., y Corbett, D. C. M. 1976. Aspects of the biology of Pratylenchus brachyurus and P. zea. Nematologica. 22:202-211.

RAMIREZ, S.G. (1988). La sigatoka negra del plátano en Tabasco. Análisis de la epidemia y desarrollo de un modelo de pronóstico. Tesis de M. en C. Colegio de Postgraduados. 79 pp.

REYES, C. P. (1982). Diseño de experimentos aplicados. Trillas, México. 344 pp.

RHOADES, H. L. y Linford, M. B., 1959. Molting of preadults nematodes of the genus Pratylenchus stimulated by root diffusates. Science. 130: 1476.

ROBINSON, R. A. (1987). Manejo del Hospedante en Patosistemas

Agricolas. Colegio de Postgraduados, México. 281 pp.

ROVIRA, A. D. (). Plant Root Exudates. In The Botanical Review.

SAS User's Guide. 1982 Edition. SAS Institute Statistical Analysis System. Cary, North Carolina.

SCHURTLEFF, C. (1980). Compendium of Corn Disease. The American Phytopathological Society. USA pag 82.

S.E.P (1982). El maíz, fundamento de la cultura popular mexicana. México. 114 pp.

SHRUM, R (1978) Forecasting of epidemics. In: Plant disease and advanced treatise, Vol. 2, ed.; Horsfall, J.G. and Cowling, E.B. 223-238 pp.

SIMON, W. (1973). Nematode survival in relation to soil moisture. Dep. of nematology Agr. Univ. Wageningen. Netherlands 85 pp.

TALAVERA. O.M.C; C. Sosa Moss e I. Cid del Prado V. 1977. Algunos géneros de nematodos fitoparásitos relacionados con el cultivo de maíz en el valle de México. Memorias VII Congreso Nacional de Fitopatología. México, D.F. p. 66.

TOWSON, A. J., y Apt, W. J. 1983. Effect of soil water potential on survival of Meloidogyne javanica in fallow soil. J. Nematol. 15:110-115.

VAN GUNDY, S. D., Stolzy, L. H., Szuszkiewicz, T. E., y Rackman, R.L. 1962. Influence of oxygen supply on survival of plant parasitic nematodes in soil. Phytopathology 52:628-632.

VAN GUNDY, S. D. y Stolzy, L. H. 1963. Oxygen diffusion rates and nematode movement in cellulose sponges. Nature London 200:1187-1189.

VAN GUNDY, S. D., Bird, A. F., y Wallace, H. R. 1967. Aging and starvation in larvae of Meloidogyne javanica and Tylenchulus semipenetrans. Phytopathology 57:559-571.

VASQUEZ, G.J.T. 1976. Infestación de nematodos fitoparásitos como factor limitante en la producción de maíz en el altiplano mexicano. D.A.G.E.M.

VICKERY, M.L. (1987). Ecología de plantas tropicales. Limusa. México. 232 pp.

VRAIN, T. (1986). Role of Soil Water in Population Dynamics of Nematodes. In Plant Disease Epidemiology, Vol. 1, ed., L.J. Kurt y W. E. Fry. Macmillan Publishing Company. USA. 101-128 pp.

WALLACE, H. 1958. Movement of eelworms 1. The influence of pore size and moisture content of the soil on the migration of larvae of the beet eelworms Heterodera schachtii. Ann. App. Biol. 46:74-85.

WALLACE, H. 1959. The movement of eelworms in water films. Ann. App. Biol. 47:366-370.

WALLACE, H. 1968. The influence of soil moisture on survival and hatch of Meloidogyne javanica. Nematologica 14:231-242.

ZADOKS, J. y Schein, R. (1979) . Epidemiology and Plant Disease Management. Oxford Univ. Press. New York. 472 pp.

ZVALETA, M.E. 1978. Identificación de especies del género Helicotylenchus Steiner 1945 en el Estado de Morelos, incluyendo descripción y pruebas de patogenicidad de una especie nueva. Tesis de M. en C. Colegio de Postgraduados, México.