

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
-CATIE-

PROGRAMA DE ENSEÑANZA
ÁREA DE POSGRADO

**EFFECTO DE FACTORES DE ESTRES TECNOLÓGICO SOBRE
CAFÉ (*Coffea arabica*), CULTIVAR CATURRA Y SU
PREDISPOSICIÓN AL ATAQUE DE HONGOS FITOPATÓGENOS.**

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico de Posgrado y Capacitación del Programa de Enseñanza en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

Por

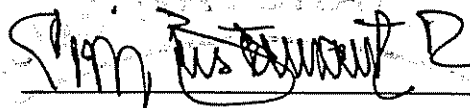
HECTOR FABIAN LOBOS MEDINA

Turrialba, Costa Rica
1993

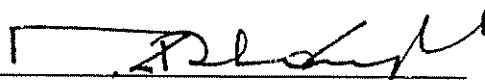
Esta tesis fue aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y de los Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

COMITE ASESOR:



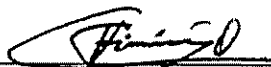
Elkin Bustamante, Ph.D.
Profesor Consejero



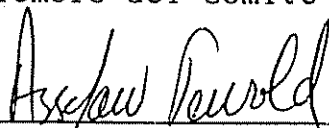
Ramiro de la Cruz, Ph.D.
Miembro del Comité




Roberto Díaz Romeu, M.Sc.
Miembro del Comité



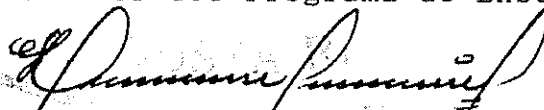
Francisco Jiménez, M.Sc.
Miembro del Comité



Assefaw Tewolde, Ph.D.
Jefe del Area de Posgrado



Ramón Lastra, Ph.D.
Director del Programa de Enseñanza



Héctor Lobos Medina
Candidato

DEDICATORIA

A Dios.

A mi madre **Carmen Medina** por sus sacrificios de toda una vida.

A mis hermanos, con el amor fraternal que nos ha unido en todo momento.

A **Sheny, Ivonne y Andrea** por el cariño y apoyo que me brindan.

A mis cuñados y sobrinos.

A los estudiantes de la Escuela de Posgrado del **CATIE**, por los momentos compartidos.

AGRADECIMIENTOS

De manera muy especial, al Gobierno de Holanda por haber financiado mis estudios de Maestría.

A Don Elkin Bustamante por el asesoramiento de ésta investigación.

A los Señores Ramiro de la Cruz, Roberto Díaz Romeu y Francisco Jiménez, por su acertada y constante participación dentro del Comité de tesis.

A Theresa White y al personal del Laboratorio de Diagnóstico del Proyecto MIP, especialmente a Arturo Gambóa.

Al personal de la Escuela de Posgrado del CATIE.

A las autoridades del Centro Universitario del Norte y de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por su apoyo para la realización de mis estudios de posgrado.

BIOGRAFIA

El autor de éste trabajo es de nacionalidad guatemalteca y nació el 26 de noviembre de 1959. Realizó sus estudios de primaria en la Escuela Nacional para Varones de San Cristobal Verapáz y de secundaria en el Instituto Normal Mixto del Norte Emilio Rosales Ponce , en Cobán, Alta Verapáz, donde obtuvo el Titulo de Maestro de Educación Primaria.

En 1984 se gradúa de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas, en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En 1981 ingresa a laborar en el Instituto Nacional Forestal, desempeñándose como Técnico del área metropolitana de la Sub Región V-3 y posteriormente como Director de la Sub Región VIII-1.

En 1983 inicia labores en el Instituto Nacional de Transformación Agraria, realizando la función de Director de la Región II.

A partir de 1985 se incorpora a la Carrera de Agronomía del Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos de Guatemala, lugar donde actualmente se desempeña como catedrático.

En septiembre de 1991 ingresó al Programa de Maestría del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, en Turrialba, Costa Rica, donde obtuvo el título de Magister Scientiae en Septiembre de 1993, en el Area de Manejo Integrado de Plagas con énfasis en Fitopatología.

INDICE

	Nº Página
RESUMEN	viii
SUMMARY	ix
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Conceptos generales	3
2.2 Estrés, predisposición y las enfermedades de las plantas	5
2.3 Importancia actual y futura del estrés y la predisposición de los cultivos a las enfermedades	9
2.4 Factores de estrés de importancia en la predisposición	10
4.4.1 Efecto de los herbicidas	10
4.4.2 Efecto de los niveles de nutrición	18
4.4.3 Efecto de la intensidad de luz	23
2.5 Factores de estrés y la predisposición del hospedante al ataque de <i>Fusarium spp.</i>	30
3. MATERIALES Y METODOS	33
3.1 Descripción general	33
3.2 Etapa de preparación del experimento	34
3.3 Etapa experimental	36
3.3.1 Fase de laboratorio	36
3.3.2 Fase de invernadero	37
3.3.3 Fase de almácigo	39
3.3.3.1 Aplicación de los tratamientos de sombra, herbicidas, inoculación de patógenos y fertilización	39
3.3.3.2 Mantenimiento del almácigo	41
3.3.3.3 Registros periódicos	42

3.3.3.4 Medición de las variables respuesta: altura de planta, peso seco del follaje y las raíces, severidad e incidencia de enfermedades	43
3.4 Análisis estadístico	44
4. RESULTADOS Y DISCUSION	45
4.1 Análisis del suelo	45
4.2 Obtención de cultivos axénicos e identificación de los hongos	45
4.3 Prueba de patogenicidad	46
4.4 Reaislamiento de los patógenos del sistema radical	48
4.5 Análisis de la radiación solar y la temperatura del suelo	49
4.6 Efecto de los factores de estrés en el desarrollo general de las plantas	53
4.6.1 Altura	53
4.6.2 Peso seco de las raíces	59
4.6.3 Peso seco del follaje	63
4.7 Efecto de los factores de estrés en la severidad del daño causado por <i>Fusarium spp.</i>	66
4.8 Efecto de los factores de estrés en la incidencia de <i>Phoma costarricensis</i>	72
4.9 Discusión final	80
5. CONCLUSIONES	82
6. RECOMENDACIONES	83
7. LITERATURA CITADA	84
8. ANEXOS	94

LOBOS, H. 1993. Efecto de factores de estrés tecnológico sobre café (*Coffea arabica*), cultivar Caturra y su predisposición al ataque de hongos fitopatógenos. Tesis M. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 105 p.

Palabras claves: café, herbicidas, fertilización, sombra, estrés, predisposición, *Fusarium spp.*, *Phoma costarricensis*.

RESUMEN

Plantas de café (*C. arabica*) fueron expuestas a diferentes factores de estrés tecnológico para evaluar la manera como influyen en el desarrollo general del cultivo y en su susceptibilidad al ataque de hongos fitopatógenos.

El efecto de los factores de estrés no se manifestó de manera uniforme en las variables de crecimiento, sin embargo, las consecuencias sí fueron evidentes en algunas de las interacciones.

La susceptibilidad al ataque de *Fusarium spp.* se incrementó cuando las plantas crecieron expuestas a alta luminosidad, presencia de residuos de diurón en el suelo del almácigo y dosis bajas de fertilización.

La incidencia de *Phoma costarricensis* fue afectada significativamente por la exposición de las plantas al 75 ó 100% de luminosidad y la presencia de residuos de diurón, obteniéndose el porcentaje más alto (76.38) cuando se produjo un sinerjismo entre el ataque de *Fusarium spp.* y los efectos de este herbicida.

Se comprobó que al establecer el almácigo bajo el 50% de sombra, utilizar suelo sin residuos de diurón y aplicar dosis adecuadas de fertilización se reducen las condiciones de estrés para el cultivo, en cuyo caso la importancia fitopatológica de *Fusarium spp.* y *P. costarricensis* es mínima.

LOBOS, H. 1993. Efecto de factores de estrés tecnológico sobre café (*Coffea arabica*), cultivar Caturra y su predisposición al ataque de hongos fitopatógenos. Tesis M. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 105 p.

Key words: coffee, herbicides, fertilization, shade, stress, predisposition, *Fusarium spp.*, *Phoma costarricensis*.

SUMMARY

Coffee (*C. arabica*) plants were exposed to different technological stress factors to evaluate the manner in which they influence the general development of the crop and its susceptibility to the attack of phytopathogenic fungus.

The affect of the stress factors was not shown uniformly in the growth variables, however, the consequences were evident in some of the interactions.

Susceptibility to *Fusarium spp.* increased when the plants were exposed to high light conditions, presence of diuron residues in the potting soil and low doses of fertilizers.

The incidence of *Phoma costarricensis* was significantly affected by exposing the plants to 75 or 100% luminosity and the presence of diuron residues, reaching the highest percentage (76.38) when a synergism between the attack of *Fusarium spp.* and the effects of this herbicide was produced.

It was shown that establishing pots under 50% shade, using soil without diuron residues and applying adequate doses of fertilization reduce stress conditions for the crop, where the phytopathological importance of *Fusarium spp.* and *P. costarricensis* is minimal.

LISTA DE CUADROS

Cuadro No.		Nº Página
EN EL TEXTO		
1.	Factores y niveles incluidos en el experimento	34
2.	Intensidad luminosa y radiación fotosintéticamente activa en los diferentes porcentajes de sombra en un día nublado y uno despejado	49
3.	Resúmen de los análisis de varianza para las variables evaluadas	81
EN EL ANEXO		
1A.	Análisis fisico-químico del suelo utilizado en el almácigo. Laboratorio de suelos. CATIE, 1993.	95
2A.	Análisis de varianza para la altura promedio de plantas	96
3A.	Prueba Tukey para la altura promedio de las plantas bajo diferentes factores de estrés	96
4A.	Prueba Tukey para la altura promedio de las plantas bajo la interacción de herbicida x fertilización x patógenos dentro de cada porcentaje de sombra	97
5A.	Análisis de varianza para el peso seco promedio de la raíz	98

6A.	Prueba Tukey del peso seco promedio de las raíces bajo la interacción fertilización x patógenos dentro de cada porcentaje de sombra	
7A.	Prueba Tukey para el peso seco promedio de las raíces bajo la interacción patógenos x herbicidas dentro de cada porcentaje de sombra	99
8A.	Prueba Tukey para el peso seco promedio de las raíces bajo la interacción patógenos x herbicidas dentro de cada nivel de fertilización	99
9A.	Análisis de varianza para el peso seco promedio del follaje	100
10A.	Prueba Tukey para el peso seco promedio del follaje bajo la interacción patógenos x herbicidas dentro de cada porcentaje de sombra	100
11A.	Prueba Tukey para el peso seco promedio del follaje bajo la interacción patógenos x herbicidas dentro de cada nivel de fertilización	101
12A.	Análisis de varianza para la severidad de daño causado por <i>Fusarium spp.</i>	101
13A.	Prueba Tukey para la severidad de daño causado por <i>Fusarium spp.</i> bajo diferentes factores de estrés	102
14A.	Prueba Tukey para la severidad de daño causado por <i>Fusarium spp.</i> bajo la interacción de sombra x herbicida	103

Cuadro No.	Nº Página
15A. Análisis de varianza para la incidencia de <i>Phoma costarricensis</i> .	104
16A. Prueba Tukey para la incidencia de <i>Phoma costarricensis</i> bajo diferentes factores de estrés	104
17A. Prueba Tukey para la incidencia de <i>Phoma costarricensis</i> bajo la interacción de herbicida x patógenos	105

LISTA DE FIGURAS

Figura No.	Nº Página
1. Factores de estrés y sus diferentes niveles y subniveles	7
2. Severidad de daño causado por <i>Fusarium spp.</i> en la raíz de las plantas de café. Prueba de patogenicidad	48
3. Porcentaje de luminosidad a diferentes horas en un día despejado y uno nublado	51
4. Porcentaje de radiación fotosintéticamente activa a diferentes horas en un día despejado y uno nublado	52
5. Temperaturas máximas y mínimas del suelo medidas a 10 cms de profundidad en los diferentes porcentajes de sombra	53
6. Altura promedio de las plantas bajo diferentes factores de estrés	54
7. Altura promedio de las plantas bajo diferentes tratamientos de herbicidas	56
8. Altura promedio de las plantas bajo dos dosis de fertilización	56
9. Altura promedio de las plantas con y sin inoculación de patógenos a la raíz	57

10.	Altura promedio de las plantas bajo la interacción de sombra x fertilización	58
11.	Peso seco promedio de la raíz bajo la interacción patógenos x fertilización dentro de cada porcentaje de sombra	60
12.	Peso seco promedio de la raíz bajo la interacción patógenos x herbicidas dentro de cada porcentaje de sombra	61
13.	Peso seco promedio de la raíz bajo la interacción patógenos x herbicida dentro de cada nivel de fertilización	62
14.	Peso seco promedio del follaje bajo la interacción patógenos x herbicida dentro de cada porcentaje de sombra	64
15.	Peso seco promedio del follaje bajo la interacción patógenos x herbicida dentro de cada dosis de fertilización	65
16.	Severidad del daño causado por <i>Fusarium spp.</i> bajo tres niveles de sombra	68
17.	Severidad del daño causado por <i>Fusarium spp.</i> bajo el efecto de tres tratamientos de herbicidas	70
18.	Severidad del daño causado por <i>Fusarium spp.</i> bajo el efecto de dos niveles de fertilización	70

Figura No.	Nº Página
19. Severidad del daño causado por <i>Fusarium spp.</i> bajo la interacción sombra x herbicida	72
20. Incidencia de <i>Phoma costarricensis</i> bajo diferentes porcentajes de sombra	74
21. Incidencia de <i>P. costarricensis</i> bajo diferentes tratamientos de herbicidas	76
22. Incidencia de <i>P. costarricensis</i> bajo dos dosis de fertilización	77
23. Incidencia de <i>P. costarricensis</i> en plantas con y sin inoculación de <i>Fusarium spp.</i>	78
24. Incidencia de <i>P. costarricensis</i> bajo diferentes factores de estrés	79
25. Incidencia de <i>P. costarricensis</i> bajo la interacción herbicida x patógenos	80

1. INTRODUCCION

El café es un cultivo importante para muchos países del trópico y posee gran relevancia como generador de ingresos económicos para miles de familias.

Varios hongos le causan enfermedades. Así por ejemplo, *Fusarium spp.* ataca las raíces y le causa daños que reducen el anclaje y la capacidad de absorción de agua y nutrimentos del suelo, mientras que el follaje es atacado frecuentemente por *Phoma costarricensis*, el cual es uno de los microorganismos más nocivos para esta especie (Filani, 1975; Kannan, 1986; Programa Cooperativo ICAFE-MAG, 1989; Regalado y Villanueva, 1990).

Para contrarrestar el ataque de los organismos fitopatógenos las plantas poseen diversos mecanismos de defensa, los que pueden ser de tipo estructural o bioquímico y gracias a los cuales son tolerantes o resistentes a la mayoría de microorganismos con los que entran en contacto. Sin embargo, desviaciones de las condiciones ambientales óptimas pueden afectar la expresión de dicha resistencia a las enfermedades y someterlas a estrés (Schoeneweiss, 1975; Heitefuss, 1982).

Cuando las plantas se encuentran bajo condiciones de estrés pueden sobrevivir o incluso desarrollarse, pero sus procesos metabólicos y fisiológicos no funcionan al óptimo. Algunas de las respuestas de las plantas a estas condiciones consisten en cambios en el crecimiento, en la composición de la pared o contenido celular, en la distribución intra e inter celular del agua, reducción en la capacidad de cicatrización, evolución de metabolitos, alteración del sistema hormonal, etc., lo que se traduce en fallas generales de los mecanismos de defensa.

Estos factores que actúan antes del proceso de infección incrementan la susceptibilidad de la planta al ataque de patógenos y la someten a un estado denominado **predisposición** (Christiansen, 1979; Levitt, 1980; Castaño, 1990).

La tecnología que se involucra en el proceso de producción incide en que frecuentemente se adopten prácticas de manejo que exponen a la plantación a estas condiciones, debido a lo cual organismos patogénicos pueden colonizarla fácilmente y causarle enfermedades que en situaciones normales de cultivo no poseen mayor importancia fitopatológica.

Se ha realizado un abundante número de investigaciones relacionadas con factores de predisposición en distintos cultivos, con base en los cuales se ha determinado que la severidad o incidencia de los hongos fitopatógenos se incrementa cuando (a) se aplican herbicidas, (b) existe estrés por sequía, (c) la intensidad de luz es alta o (d) hay deficiencias de nutrimentos (Huber y Watson, 1974; Gristein *et al.*, 1976; Altman y Campbell, 1974; Beddis y Burgess, 1992).

Sin embargo, muy pocas de estas investigaciones se han llevado a cabo en café, por lo que el objetivo de este estudio es determinar si la intensidad de luz, el uso de herbicidas, el nivel de fertilización y las interacciones entre estos factores influyen en el desarrollo general de las plantas de esta especie y aumentan su susceptibilidad a las enfermedades, predisponiéndolas al ataque de hongos.

Se busca resaltar la trascendencia que tienen los factores de estrés en el establecimiento y desarrollo de una enfermedad al incrementar la susceptibilidad del cultivo al ataque de agentes infecciosos, los cuales posiblemente no tendrían mayor importancia fitopatológica bajo adecuadas condiciones de manejo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Conceptos generales

La mayoría de las plantas son inmunes o resistentes al ataque de los microorganismos con los cuales entran en contacto y la penetración y posterior infección es prevenida frecuentemente por barreras físicas o bioquímicas. Sin embargo, existen factores no genéticos que actúan previo al proceso de infección y afectan la susceptibilidad de las plantas, sometiéndolas a un estado denominado **predisposición**; término cuya historia se remonta al siglo pasado.

Durante la segunda mitad del siglo XIX y luego de haberse desechado la teoría de la generación espontánea, los fitopatólogos centraban su atención casi exclusivamente en los agentes causales de las enfermedades, restándole relevancia a los demás factores que intervienen en su establecimiento y desarrollo. Sin embargo, Sorauer apreció claramente su importancia y ya en 1874 enfatizó el papel que jugaban en la predisposición de las plantas al ataque de patógenos (Colhoum, 1973).

Yarwood (1976) indica que este concepto también fue tratado por Hartig en 1894 y Ward en 1902, no obstante Schoeneweiss (1975) sostiene que fue introducido en el campo de la Fitopatología por Sorauer en 1874. El desarrollo de numerosos y efectivos plaguicidas a partir de mediados del siglo veinte provocó que la evolución del mismo se estancara parcialmente, sin embargo, en la actualidad tiene clara y creciente importancia en esta disciplina.

La predisposición, llamada por algunos investigadores **preacondicionamiento**, se define como la tendencia de tratamientos y condiciones actuando antes de la inoculación o

introducción del incitante al afectar la susceptibilidad del cultivo a agentes patogénicos, bióticos o abióticos. La predisposición a las enfermedades es, por lo tanto, un incremento en la susceptibilidad o vulnerabilidad debido a causas externas, que se traduce en una reducción en la resistencia de las plantas a las enfermedades (Yarwood, 1976).

El concepto no debe confundirse. Si un tratamiento o factor biótico o abiótico incrementa la susceptibilidad de la planta a las enfermedades, es predisposición. Si afecta positiva o negativamente al patógeno, esto puede ser protección, terapia, erradicación o activación, pero no predisposición (Yarwood, 1976).

El rápido desarrollo de fungicidas modernos y efectivos ha simplificado grandemente el control de muchas enfermedades de las plantas, debido a lo cual la trascendencia de este concepto no ha sido claramente apreciada. Sin embargo, la preocupación que existe en la actualidad por la contaminación del medio ambiente, impone severas restricciones a la disponibilidad y uso de los plaguicidas, surgiendo un interés creciente para reducir la dependencia de la agricultura hacia estos productos.

Esta definición comúnmente se relaciona con el Manejo Integrado de Plagas y considerando que el estrés y la predisposición tienen una profunda influencia en la incidencia y severidad de las enfermedades, la manipulación de estos factores de estrés para las plantas debe ser parte de un programa de MIP.

La definición de estrés se refiere a las condiciones que restringen el desarrollo de las plantas e incrementan su susceptibilidad al ataque de patógenos y no a las que favorecen la proliferación de los mismos, por ejemplo la alta humedad

relativa, poca aireación en la plantación, alta humedad del suelo, pH ácido o alcalino, exudados radicales con alto contenido de carbohidratos, etc. (Schoeneweiss, 1981).

Para reducir las pérdidas causadas por las enfermedades de las plantas se ha tratado de prevenir la infección y colonización por parte de los patógenos. Estas estrategias generalmente se han implementado incorporando genes de resistencia y desarrollando plaguicidas químicos altamente tóxicos que en las últimas décadas han contribuido al considerable incremento de la productividad agrícola, pero al hacer un análisis cuidadoso nos damos cuenta de que ésto ha provocado el surgimiento de poblaciones de patógenos más virulentas y mejor adaptadas, producto de la presión de selección. Actualmente se brinda importancia al hecho de que las enfermedades de las plantas no son debidas únicamente a la infección y colonización por microorganismos, sino que generalmente son el resultado de un estrés inducido, siendo necesario identificar y evitar las condiciones que lo provocan y que incrementan la vulnerabilidad del hospedero a la enfermedad (Mussell y Malone, 1979).

2.2 Estrés, predisposición y las enfermedades de las plantas.

Las distintas especies de plantas varían en su sensibilidad a condiciones de estrés y el conocimiento de éstas proporciona información esencial sobre el manejo de enfermedades, incluyendo medidas para evadir la predisposición.

Muchos organismos fitopatógenos, especialmente hongos y bacterias causantes de daños a la raíz, tallo, follaje y órganos reproductivos de las plantas, tienden a incrementar la severidad de su ataque cuando éstas se encuentran bajo condiciones de estrés y microorganismos usualmente no agresivos, secundarios o incluso saprofiticos, pueden llegar a dañar severamente los

tejidos o matar a la planta. En este caso, fungicidas diseñados para combatir patógenos primarios pueden resultar inefectivos contra los organismos saprofiticos o secundarios (Schoeneweiss, 1981).

La invasión de la planta hospedante puede ocurrir antes o después de la exposición, pero usualmente el resultado es el mismo. En la mayoría de los casos, el estrés no influye solo en la invasión del patógeno, sino también en el desarrollo de la enfermedad. Algunos organismos no patogénicos o parásitos facultativos pueden colonizar una planta y permanecer en forma no infectiva dentro de la misma y al presentarse la condición de estrés, manifestarse provocando trastornos o incluso, la muerte del cultivo (Schoeneweiss, 1975).

La mayoría de los factores de estrés que se conocen se incluyen en la Figura 1, pudiendo ser de origen biótico o fisicoquímico (abióticos). Se anotan los diferentes niveles y subniveles y se unen por medio de líneas, considerando las distintas interacciones que pueden presentarse. La importancia de cada uno en la predisposición depende del cultivo del que se trate, manejo que se le brinda al mismo, condiciones del medio ambiente, etc.

Schoeneweiss (1981) indica que estos factores son muy importantes en la epidemiología de muchas enfermedades, habiéndose realizado numerosas investigaciones sobre el tema. Por ejemplo Davinderjit y Smalley (1974) llevaron a cabo un experimento para evaluar el papel de la interacción de los factores del medio ambiente en el desarrollo de cáncer causado por *Hypoxylon pruinaum* en árboles de álamo (*Populus tremuloides*), y determinaron que el estrés por humedad incrementó la susceptibilidad al patógeno. Las plantas sin fertilización también presentaron mayor susceptibilidad que las que fueron fertilizadas regularmente.

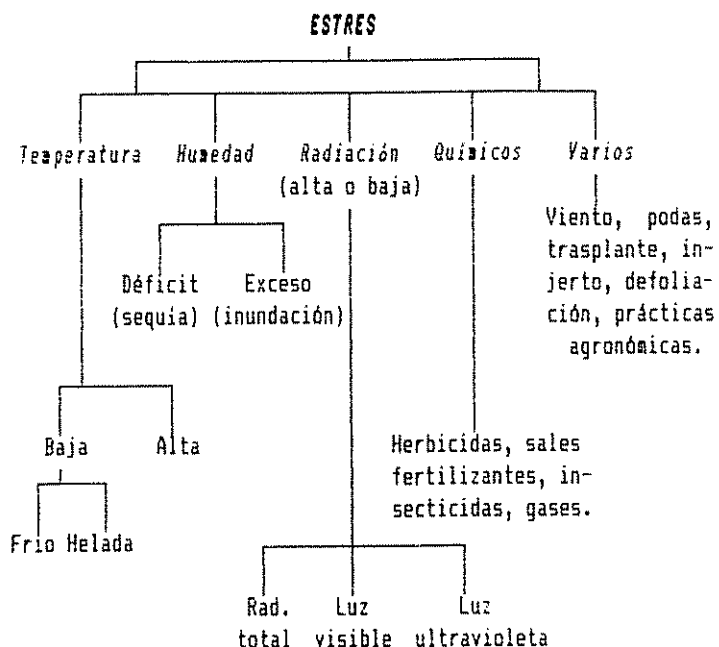


Fig 1. Factores de estrés y sus diferentes niveles y subniveles. (Adaptado de Schoeneweiss, 1975; Yarwood, 1976 y Levitt, 1980).

Estudios similares fueron realizados por Moore *et al.* (1974), evaluando el efecto del estrés en la incidencia de *Xanthomonas corylina* sobre árboles del género *Corylus spp.* y se determinó que la poca disponibilidad de agua actuó como agente estresante, incrementándose la mortalidad de las plantas ante el ataque de la bacteria.

Crist y Schoeneweiss (1975) llegaron a la conclusión de que la susceptibilidad de *Betula alba* al daño ocasionado por *Botryosphaeria dothidea*, se incrementa cuando la planta se somete a estrés por sequía, frío o defoliación. El máximo diámetro promedio de las lesiones (14 mm) se alcanzó cuando las plantas se expusieron a temperaturas de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la incidencia se incrementó hasta un 75% cuando las plantas permanecieron ocho semanas defoliadas.

Plantas de *Cornus stolonifera* sometidas a estrés por trasplante, sequía y frío fueron protegidas efectivamente por el fungicida benomil (Benlate 50% WP, dosis de 36 g m⁻²) ante el ataque de *Botryosphaeria dothidea* en un experimento llevado a cabo por Schoeneweiss (1979). El aspecto positivo de la protección que este producto proporcionó a las plantas estresadas es bastante discutible, sobre todo si se consideran las consecuencias negativas para el medio ambiente y el costo elevado que representa el uso continuado del mismo.

El incremento en la susceptibilidad del abeto azul *Picea pungens* al ataque de *Cytospora kunzei* bajo condiciones de estrés por sequía fue comprobado por Schoeneweiss (1983) al ser sometidas las plantas a bajos potenciales de agua en el suelo (-20 y -30 bares). Sin embargo, Swart *et al.* (1992) obtuvieron una correlación negativa ($r=-0.993$; $p<0.01$) entre estrés por sequía y predisposición de *Eucalyptus grandis* al ataque de *Cryphonectria cubensis*. Estos investigadores concluyen que las rígidas condiciones de laboratorio en las que se llevó a cabo el estudio debieron influir significativamente en los resultados, al no manifestarse el efecto de los factores del medio ambiente y sus características interacciones.

Existen evidencias acerca de la forma como una planta sometida a estrés puede interactuar con determinado patógeno, sin embargo, al considerar la diversidad de elementos del medio ambiente y sus combinaciones, el manejo del cultivo y la gran cantidad de géneros, especies, razas, formas especiales, etc. de los patógenos, se hace evidente la complejidad del problema que requiere de constante y creciente investigación.

2.3 Importancia actual y futura del estrés y la predisposición de los cultivos a las enfermedades.

Varios investigadores han realizado estudios sobre este tema en las últimas dos décadas, considerando especialmente factores del medio ambiente y manejo del cultivo.

Ya en 1990, Hatfield propone un mecanismo de 'detección remota' del estrés en los cultivos para ser aplicado en la Fitopatología e indica que a pesar de que no es una solución definitiva en la problemática de las enfermedades de las plantas, sí puede contribuir significativamente a reducir la incidencia de las mismas.

Este mecanismo de sensores remotos, basado en la refracción de ondas del espectro de luz y captadas por sofisticados mecanismos a través de satélites ha sido utilizado por varios años por los fitopatólogos para detectar la presencia de enfermedades en los árboles de bosques extensos. En las hojas de las plantas enfermas, cambios en el contenido intracelular de agua y de clorofila, redundan en cambios en la refractancia. Las lesiones debidas a enfermedades en el follaje tienden a reducir el contenido de clorofila y de agua, incrementándose la refracción de las ondas.

Hatfield (1990) indica que se pueden utilizar diversos índices para detectar el estado de estrés en los cultivos, por ejemplo la temperatura interna de la planta, resistencia a la evaporación, contenido de agua y clorofila, etc., existiendo en la actualidad aparatos para realizar estas mediciones desde satélites como el NOAA y el GOES.

A pesar de que se requieren numerosas investigaciones, el uso de Sensores Remotos, cultivos modelo y datos meteorológicos pueden ser utilizados eficientemente para predecir condiciones de

estrés y reducir la ocurrencia de enfermedades de los cultivos, evadiendo situaciones de predisposición para los mismos.

2.4 Factores de estrés de importancia en la predisposición.

2.4.1 Efecto de los Herbicidas.

Las malezas constituyen una plaga importante en la limitación del rendimiento de los cultivos, por lo que el uso de herbicidas es muy elevado alrededor del mundo y se incrementa cada año. Numerosos casos de herbicidas influyendo en la predisposición de los cultivos a las enfermedades han sido estudiados y en la actualidad existe particular interés por parte de los fitopatólogos sobre este tema (Lévesque y Rahe, 1992).

Existen evidencias de que los herbicidas pueden incrementar el potencial infectivo del patógeno al estimular su crecimiento, la germinación de sus esporas, inhibir el crecimiento de microorganismos antagonistas, inducir al cultivo a la producción de exudados radicales ricos en azúcares que le favorecen en la colonización de la rizosfera e incluso, de que algunos microorganismos pueden utilizar como fuente de carbono a ciertos herbicidas, etc. (Bollen, 1961; Tweedy y Turner, 1965; Altman y Cambell, 1977). Nos interesa, sin embargo, analizar el efecto directo de predisposición del plaguicida al cultivo, incrementando o no su susceptibilidad al ataque de patógenos.

Los herbicidas se han diseñado para matar malas hierbas, sin embargo, ya sea por su residualidad o porque lleguen accidentalmente al cultivo, al entrar en contacto con éste pueden afectarlo negativamente incrementando su susceptibilidad de formas diversas. Por ejemplo, pueden evitar o interferir en la síntesis de sustancias involucradas en los mecanismos de defensa de la planta, como los compuestos fenólicos, lignina, suberina, capas de abscisión, capas de corcho, fitoalexinas, etc. Asimismo,

pueden inducir cambios en el suelo que provoquen efectos estresantes para el cultivo, como la alteración de las características físico-químicas del mismo (Heitefuss, 1982; Agrios, 1985).

La alteración del microclima al inducir cambios en la humedad relativa, flujo del aire y la temperatura ambiental, son también efectos del uso de herbicidas, resultado de la eliminación de la maleza del medio. Algunos como el alaclor inhiben la colonización de hongos formadores de micorrizas, reduciendo la capacidad de la planta para absorber nutrimentos. Todos estos factores pueden actuar aisladamente o en conjunto y presentarse un singular número de interacciones entre sí y con el medio ambiente (Lévesque y Rahe, 1992).

En este sentido, se conocen casos específicos como el del glyfosato (Roundop o Ranger), el cual bloquea la producción de phaseolina, phaseollinisoflavan, phaseollidin y kievitona en frijol; gliceolina en soya; lignina en espárrago y lino y compuestos fenólicos en raíces de tomate (Lévesque y Rahe, 1992).

El diurón (Karmex) es una urea sustituida bastante persistente en el suelo y actúa inhibiendo la reacción de Hill en plantas de hoja ancha y angosta. El oxyfluorfen (Goal) pertenece al grupo de los difenil éteres, es fuertemente absorbido por los coloides del suelo, actúa inhibiendo la síntesis de carotenoides y destruye la membrana celular. (Pitty y Muñoz, 1991; Soto y Valverde, 1991).

Altman y Campbell (1977) hacen un resumen acerca de la forma como algunos herbicidas interactúan con las enfermedades e indican que por ejemplo chlorpropham (ChlorICP), barban (Carbyne), dalapon-Na (Dalapon-Na), diphenamid (Difenamid), linuron (Afalón), 2,4-D, picloram (Tordón), simazina (Princep), metribuzin (Sencor), pebulate H (Tillam) y trifluralin (Treflán)

incrementan la incidencia y/o severidad de la enfermedad en los cultivos; mientras que dicamba (Banvel), mecoprop (MCCP) y prometrina (Caparol) favorecen el crecimiento de hongos fitopatógenos.

No todos los herbicidas tienden a predisponer a la planta al ataque de agentes fitopatógenos e incluso algunos investigadores sostienen que en ciertos casos el plaguicida contribuyó a reducir la enfermedad. Por ejemplo Cole y Batson (1975) evaluaron el efecto de diphenamid sobre el 'damping-off' en tomate causado por *Rhizoctonia solani* y *Pythium aphanidermatum*, comprobando que la incidencia de la enfermedad se redujo, sin embargo, atribuyen esto a que el herbicida afectó el crecimiento de los hongos.

Gristein *et al.* (1979) realizaron estudios para evaluar el efecto del herbicida dinitramina en el desarrollo de la enfermedad causada por *Sclerotium rolfsii*, llegando a la conclusión de que el mismo incrementó la resistencia del cultivo. Consideran sin embargo, que también pudo presentarse una alteración en la población de microorganismos del suelo, lo que influyó en los resultados obtenidos.

Gristein *et al.* (1975) llevaron a cabo experimentos con dinitroanilinas, estableciendo que trifluralín, nitalín, butralín y dinitramina aplicados a diferentes concentraciones incrementaron la resistencia del tomate y chile al ataque de *Rhizoctonia spp.*. Lo mismo ocurrió con *R. solani* en algodón y con *Fusarium spp.* y *Verticillium spp.* en tomate. Resultados similares obtuvieron Grau y Reiling (1977) al estudiar el efecto de trifluralín sobre *Aphanomyces euteiches* en arveja y Gristein *et al.*, (1984) evaluando el efecto de dinitroanilinas en tomate atacado por *Fusarium spp.* y *Verticillium spp.*

No obstante, estos resultados los contradicen Altman y Campbell (1977) en su estudio titulado 'Efecto de los herbicidas en las enfermedades de las plantas'. Carson *et al.* (1991) también estudiaron el efecto de trifluralín sobre soya, comprobando que el mismo predispuso al cultivo al ataque de *Fusarium oxysporum* y la severidad de la enfermedad se incrementó significativamente. Afirman que el efecto del herbicida es el de predisposición de las plantas a la infección y no consiste en una estimulación directa al patógeno.

En este experimento observaron también una correlación negativa ($r=-0.99$; $p<0.01$) entre el efecto de predisposición de trifluralin y la temperatura del suelo. El máximo índice de severidad de la enfermedad se obtuvo cuando la temperatura del suelo fue de 10 °C y el mínimo a 25-30 °C; este resultado sugiere que la temperatura es un importante factor del medio ambiente que interviene en la predisposición de la soya a *F. oxysporum* cuando las raíces del cultivo se exponen a trifluralín.

Percich y Lockwood (1975) realizaron un experimento para estudiar el efecto de atrazinas en la severidad de pudriciones radicales causadas por *F. solani* f. sp. *plisi* en arveja y maíz, observando un incremento significativo y a pesar de que consideran que esto se debió a que los herbicidas estimularon la germinación de las macroconidias, el crecimiento del tubo germinativo y la subsecuente formación de clamidosporas del hongo, no descartan el efecto de estrés que las atrazinas causaron al cultivo al incrementar su susceptibilidad al ataque del patógeno.

La influencia de trifluralín y EPTC en la predisposición del frijol al ataque de *F. oxysporum* f. sp. *phaseoli* y la actividad de *Rhizobium spp.* en la nodulación fue estudiada por Altman (1981), quien comprobó que dosis de 1 a 2 ppm de trifluralín o de

1.5 a 3 ppm de EPTC, causaron un incremento del 50-75% en la severidad de daño a las raíces del frijol var. Pinto, mientras que dosis de 3 ppm de trifluralín + eptam causaron una reducción del número de nódulos en la var. San Juan.

El-Khadem y Papavizas (1984) evaluaron el efecto de EPTC y linurón en la enfermedad de 'damping-off' causada por *F. oxysporum* f. sp. *vasinfectum* y *R. solani* en algodón y encontraron que cuando ambos herbicidas se aplicaron en las dosis recomendadas redujeron significativamente la incidencia de *R. solani*, pero no afectaron la de *F. oxysporum* en pre y post emergencia del cultivo. Cuando se utilizaron dosis equivalentes al doble de éstas, sí se incrementó la incidencia de la enfermedad en pre emergencia.

En un experimento llevado a cabo por Johal y Raje (1984) en plantas de frijol con tratamientos de glifosato (dosis de 10 a 100 μg ia por planta), se incrementó significativamente la incidencia de 'damping-off'. Indican que del tejido de las plantas muertas por esta enfermedad se obtuvieron aislamientos frecuentes de *Fusarium spp.*, *Pythium acremonium* y *Trichoderma spp.*, mientras que en las plantas testigo no se encontró ningún hongo. Concluyen que el herbicida predispuso a las plantas a la enfermedad y que la efectividad en cada caso fue directamente relacionada con la concentración utilizada del producto.

Rovira y McDonald (1986) determinaron que aplicaciones de 2.5 kg ha^{-1} de chlorsulfurón en plantaciones de cebada y trigo, incrementaron significativamente la incidencia y severidad de enfermedades de la raíz causadas por *Rhizoctonia solani*. Tu (1987) indica que varias triazinas y dinitroanilinas, incluyendo pendimetalín, cymacina, trifluralín y oryzalin han sido reportadas provocando efectos adversos al incrementar la

severidad de enfermedades de la raíz en arveja, en donde los síntomas se han manifestado en forma más rápida y severa.

Gilbertson *et al.* (1987) indican que varios investigadores han comprobado que en suelos tratados con herbicidas se ha producido un incremento en la incidencia y severidad de los daños causados por *Fusarium oxysporum*, *Pythium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium spp.* e incluso *Trichoderma spp.*, el cual normalmente es un hongo saprofítico, pero que en estas circunstancias se vuelve altamente patogénico.

Carson (1991) comprobó el efecto de predisposición que el herbicida trifluralín ejerce en el incremento de enfermedades radicales de la soya, provocadas por *Fusarium oxysporum*. Afirma que el efecto del herbicida es el de predisposición del cultivo a la infección y no consiste en una estimulación directa al patógeno.

Algunos de los estudios llevados a cabo incluyen datos de más de un ciclo de cultivo. Por ejemplo Ben-Yephet *et al.* (1991) realizaron cinco experimentos de campo durante tres años sucesivos para evaluar el efecto de la aplicación de ethalfluralín + vernolate en la enfermedad de manchas de los frutos de maní causadas por actinomicetos. La aplicación de la mezcla de los productos incrementó significativamente la incidencia (52 a 162%) y severidad (35 a 273%), respecto a las parcelas testigo. Cuando se evaluaron los herbicidas por separado, únicamente ethalfluralín incrementó la incidencia (32 a 50%) y severidad (76 a 287%) sobre el control, lo cual evidencia un efecto sinergista entre los productos en la predisposición que ejercen sobre el maní.

Bauske y kirby (1992) evaluaron el efecto de las dinitroanilinas trifluralín, pendimethalín y ethalfluralín en la

severidad de enfermedades radicales en soya, causadas por *Rhizoctonia solani* y a pesar de que encontraron interacciones entre los plaguicidas y los tratamientos con inóculo del patógeno, consideran que las mismas podrían no ser económicamente importantes.

La influencia de dos sulfoniluréas (chlorsulfurón y metsulfurón-metil) como agentes inductores de estrés en trigo ante el ataque de *R. solani* y *R. oryzae* fue evaluada por Smiley y Wilkins (1992). Los resultados obtenidos indican que el chlorsulfurón incrementó únicamente la severidad de la enfermedad causada por *R. solani*, mientras que en *R. oryzae* no ejerció incrementos significativos. Indican que el efecto de predisposición fue más evidente cuando la intensidad de la labranza fue poca.

En este experimento también observaron una importante interacción entre el efecto de predisposición que los herbicidas causan y la disponibilidad de nutrientes. Durante el desarrollo de la investigación el régimen pluviométrico fue sumamente bajo, por lo que la absorción de cobre y zinc fue deficiente; situación interesante si se considera que es conocido que la susceptibilidad de los cultivos a las enfermedades se incrementa cuando se presentan deficiencias nutricionales para ellos.

La susceptibilidad de la cebada al ataque de *R. solani* fue incrementada cuando se utilizó glifosato en experimentos de campo realizados por Smiley *et al.* (1992). Como consecuencia de esto se aumentó significativamente el índice de severidad de daño en las raíces y los rendimientos se redujeron.

En El Salvador, técnicos de PROCAFE (antes ISIC) han encontrado que el uso continuado del herbicida 2,4-D provoca trastornos morfológicos y fisiológicos a las plantas de café

(Cruz de la, 1993)*. Bajo estas condiciones es obvio esperar un incremento en la susceptibilidad del cultivo, especialmente al ataque de patógenos de la raíz.

Los estudios llevados a cabo sobre el tema son abundantes y los resultados en muchos casos contradictorios, sin embargo, para contrarrestar el problema del estrés que los herbicidas provocan a los cultivos, Altman y Campbell (1977) proponen cuatro alternativas: 1. Uso de fungicidas protectores en combinación con los herbicidas. 2. Selección de variedades de plantas resistentes o tolerantes a los pesticidas y/o los patógenos. 3. Aplicación de fertilizantes como enmiendas para incrementar la capacidad de resistencia del cultivo y 4. Uso de coadyuvantes como calcio, carbón o antídotos del herbicida para reducir su fitotoxicidad hacia el cultivo.

Lévesque y Rahe (1992) indican que mediante el uso de la técnica ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay) se pueden detectar residuos de herbicidas, obteniéndose datos acerca de parámetros que contribuirían al manejo y toma de decisiones con respecto al uso de estos plaguicidas ante posibles interacciones entre éstos y las enfermedades.

Proponen que variables como especie, densidad, tamaño y tipo de maleza, método de cultivo, tipo y forma de aplicación del herbicida e información acerca de los rendimientos, justifican el uso de computadoras y Sistemas Expertos que pueden proporcionar información 'inteligente' sobre recomendaciones para el uso de herbicidas, ajustadas a condiciones locales. Esto ayudaría a predecir posibles interacciones entre herbicidas y enfermedades, optimizándose su manejo y evitando incrementar la susceptibilidad de los cultivos

* CRUZ, R. DE LA. 1993. Trastornos inducidos al café por el herbicida 2,4-D. Turrialba, Costa Rica. CATIE. (Comunicación personal).

2.4.2 Efecto de los niveles de nutrición.

El problema de estrés que la inadecuada disponibilidad de nutrimentos en el suelo provoca para las plantas es ampliamente reconocida y ha sido investigada en todo el mundo. Estudios realizados indican que el estrés mineral es mayor en suelos Ferralsoles, Acrisoles, Nitosoles, Podsoles, Podzuluvisoles y Andosoles, los cuales ocupan un área equivalente al 22.47% de la superficie terrestre (Plant Adaption to Mineral Stress in Problem Soil, 1976).

Huber (1980) y Sarasola y Roca (1975) coinciden en que bajos niveles de nutrición afectan el funcionamiento normal de las células vegetales y provocan un desbalance en la efectividad de los mecanismos de defensa de las plantas, influyen en forma indirecta en la composición de la lamela media de los tejidos y en la facilidad con que puede ser descompuesta por enzimas macerantes provenientes del patógeno. Bedi y Dhiman (1983) indican que la nutrición mineral de las plantas es un importante factor que afecta el desarrollo de la enfermedad; los elementos minerales están involucrados en todos los mecanismos de defensa, ya que son componentes integrales de células, sustratos, enzimas, etc., actuando además como inhibidores y reguladores del metabolismo.

Una considerable cantidad de experimentos se han realizado para estudiar el efecto de los nutrimentos minerales, especialmente nitrógeno, fósforo y potasio, en la susceptibilidad de las plantas a las enfermedades. El efecto de predisposición puede ser por el desbalance, deficiencia o exceso de uno o más nutrimentos y es variable en función de la edad y tipo de cultivo, condiciones del medio ambiente, especie de patógeno, etc., pero que en conclusión, afectan el vigor de las plantas e influyen negativamente en sus mecanismos de defensa (Schoeneweiss, 1975).

Colhoun (1973) indica que la influencia de los nutrimentos en las enfermedades puede atribuirse a (1) efecto sobre el vigor de las plantas, lo que puede incidir en la infección y esporulación del patógeno, (2) efecto en la pared celular, en los tejidos y en la bioquímica del hospedante, (3) tasa de crecimiento del hospedante que incide en la evasión a la infección por los estados de desarrollo más susceptibles y (4) efecto sobre el patógeno, alterando el medio ambiente del suelo.

En este sentido, es prudente mencionar de nuevo que únicamente se considera predisposición cuando un tratamiento o factor biótico o abiótico afecta la susceptibilidad de la planta, pero no cuando esto ocurre directa o indirectamente sobre el patógeno.

Los antecedentes sobre este tema son abundantes. En 1942 Schroeder y Walker realizaron un experimento a nivel de laboratorio para evaluar la influencia de los nutrimentos en la severidad del ataque de *Fusarium oxysporum* f.sp. *pisi* a arveja, comprobando que a mayor concentración de la solución nutritiva, la severidad fue menor, mientras que la poca provisión de elementos nutritivos aumentó la susceptibilidad del cultivo a la enfermedad.

Bawden y Kassanis (1950) realizaron experimentos inoculando el virus Y de la papa a tabaco var. White Burley y a papa, var. Majestic y el virus del mosaico del tomate a tabaco y *Nicotiana glutinosa*. Encontraron que al aumentar las dosis de N y P el crecimiento aumentó, pero se incrementó significativamente el número de de lesiones por unidad de área. Llegaron a la conclusión de que al aumentar el tamaño de las plantas y el área foliar disponible para la alimentación de los vectores, indirectamente se dispuso al daño de las virosis.

Couch y Bloom (1960) llevaron a cabo un trabajo de investigación con Pasto Azul Kentucky (*Poa pratensis*) y comprobaron que a dosis bajas de N y normales de P y K, decreció significativamente la severidad de daños causados por *Sclerotinia homoeocarpa*. Por el contrario, con dosis altas de N y bajas de P y K se favoreció el incremento de la severidad.

A pesar de que el efecto de la adición de un nutrimento depende grandemente de la disponibilidad de otros (Bawden y Kassanis, 1950), con las conclusiones a las que llegaron Couch y Bloom no es posible saber si el efecto de predisposición a la enfermedad se debió a (1) el incremento en la adición del N, (2) la poca disponibilidad de P y K o (3) a ambas cosas.

Hobbs y Waters (1964) evaluaron el efecto de dosis de N y K en la severidad de daño causado por *Botrytis cinerea* a *Chrysanthemum morifolium* y comprobaron que el K no afectó el desarrollo de la enfermedad, pero altos niveles de N incrementaron la susceptibilidad del Crisantemo a *B. cinerea*. Consideran que esto fue el resultado de (1) incremento del contenido de N en los tejidos, produciéndose un buen medio para el desarrollo del patógeno, (2) incremento en la succulencia de los tejidos de las plantas o (3) ambas cosas.

El efecto del nitrógeno como factor de predisposición es muy variable. Huber y Watson (1974) realizaron una exhaustiva revisión bibliográfica sobre este tema e indican que en algunos casos la incidencia y/o severidad de las enfermedades de la raíz es incrementada cuando se adiciona el N en forma de nitratos y reducida cuando se hace en forma de amonio o viceversa. Situación similar ocurre con las enfermedades del sistema vascular y del follaje. Anotan que la dosis y forma de N utilizado influye en la susceptibilidad del cultivo al afectar su crecimiento, consistencia y/o metabolismo.

La mayoría de las investigaciones se han realizado para evaluar el efecto de predisposición que los elementos mayores ejercen y aunque existen evidencias que los micronutrientes también cumplen un importante papel, es menor la información de que se dispone sobre su acción (Colhoum, 1973).

Wood y Robson (1984) establecieron un experimento para estudiar el efecto del cobre en la severidad e incidencia de *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* en trigo. Comprobaron que niveles moderada y severamente deficientes de Cu redundaron en poco peso fresco de las raíces y en un incremento en la incidencia de la infección. Las dosis adecuadas de Cu redujeron la expresión de la enfermedad.

El incremento en la susceptibilidad de varios cereales sujetos a deficiencias nutricionales fue observado por MacNish (1985), mientras que Chase y Poole (1986) realizaron un experimento de campo, inoculando *Alternaria panax* a árboles de la familia Araliaceae: *Brassala actinophylla*, *Schefflera arboricola* y *Dizigotheca elegantissima* y determinaron que un incremento en los niveles de fertilización resultaron en una significativa reducción lineal del número de lesiones causadas por *A. panax*, excepto en el caso de *D. elegantissima*. Bajos niveles redundaron en un incremento en la susceptibilidad de las plantas. Indican que estos resultados enfatizan la importancia de la interacción hospedante-fertilización en la expresión de *A. Panax* en estas especies.

Existen casos en los cuales la severidad e incidencia de la enfermedad no se ve afectada por el uso de diferentes dosis de fertilizantes. Por ejemplo, Pumphrey *et al.* (1987) evaluaron cuatro tratamientos de fertilización con nitrógeno en trigo de invierno: (1) 56 kg ha⁻¹ al momento de la siembra + 168 kg ha⁻¹ antes de la cosecha, (2) 56 kg ha⁻¹ al momento de la siembra +

224 kg ha⁻¹ antes de la cosecha, (3) 168 kg ha⁻¹ antes de la cosecha y (4) sin fertilizante; no habiendo encontrado ningún impacto sobre el desarrollo de enfermedades de la raíz causadas por *Rhizoctonia solani*.

Estudios realizados demuestran que la susceptibilidad del cultivo al ataque de bacterias fitopatógenas puede incrementarse cuando los niveles de fertilización son bajos. Chase y Poole (1987) encontraron que la severidad del daño causado por *Xanthomonas campestris* pv. *hereae* a *Brassica actinophylla* y *B. arboricola*, tuvo una relación lineal inversa con los niveles de fertilización de N, P y K, lo cual evidencia el efecto de predisposición a la enfermedad cuando estos son bajos. Chase y Poole (1989) llegaron a la misma conclusión estudiando el ataque de *X. campestris* pv. *syngonii* a *Syngonium podophyllum*.

Kurschner *et al.* (1991) estudiaron el efecto de la fertilización con N en el desarrollo de *Pyricularia orisea* en arroz. Determinaron que al aumentar las dosis de este elemento se incrementa la severidad de la enfermedad. Resultados similares obtuvieron Jones *et al.* (1985) trabajando con *Pseudomonas cichorii* en crisantemo, habiendo encontrado una correlación positiva entre los niveles de N y P y la severidad de la enfermedad.

Se ha observado en varios experimentos que la fertilización con N incrementa la expresión de la enfermedad (Verma *et al.*, 1986; Nema, 1990; Rao *et al.*, 1991), en relación a lo cual Kurschner *et al.* (1992) indican que el aumento en la severidad de daño se debe a que (1) la adición de este elemento incrementa la densidad del cultivo por unidad de área y se modifica el microclima, lo que afecta la susceptibilidad de las plantas y favorece al patógeno y (2) el incremento del área foliar aumenta

el consumo de agua al haber una mayor transpiración, situación que pudo traducirse en un estrés hídrico para el cultivo.

Según Sharma y Sharma (1991), es conocido que la severidad de las enfermedades del maíz pueden ser reguladas ajustando la nutrición, con base en lo cual evaluaron el efecto de diferentes dosis de N y P en la severidad del ataque de *Exserohilum turcicum* y comprobaron que el incremento en la dosis de N redujo la incidencia de la enfermedad ($r= 0.76, **$). Lo contrario ocurrió con el P ($r= -0.88, **$). En este caso es necesario buscar el balance adecuado entre ambos elementos que se traduzca en la menor expresión de los síntomas. Esto, obviamente evadiendo la predisposición del cultivo a la enfermedad.

La adición de nutrimentos a los cultivos es necesaria para la obtención de cosechas en alta cantidad y calidad. No obstante, del análisis realizado se deduce que es muy difícil predecir el efecto de uno o más elementos sobre la incidencia o severidad de un enfermedad, debido a la gran cantidad de interacciones que pueden presentarse.

Es obvio que cualquiera de los dos extremos en las dosis de fertilización redundan en un incremento en la susceptibilidad a las enfermedades, debido principalmente a que esto induce (1) cambios en la bioquímica del hospedante, (2) alteración de la pared celular y tejidos en general y (3) trastornos en el metabolismo y fisiología normal de la planta.

2.4.3 Efecto de la intensidad de luz.

Desde hace varias décadas se vienen realizando investigaciones acerca de este tema. Así por ejemplo, en 1947, Foster realizó un experimento con tomate ante el ataque de *Fusarium oxysporum* f.sp. *licopersici*, basándose en observaciones

que realizó en forma preliminar sobre la forma como factores ambientales actuaban antes del proceso de infección incrementando la susceptibilidad del cultivo. El efecto de predisposición se manifestó significativamente cuando alguno de los factores se presentó así: (1) temperatura del aire y del suelo alta (16 á 20 °C y 20 a 28 °C, respectivamente), (2) poca humedad en el suelo (15%), (3) baja disponibilidad de N y P y alta de K y (4) baja intensidad de luz.

A criterio de Bawden y Roberts (1947), factores ambientales como la temperatura y la intensidad de luz son suficientemente importantes en la expresión de los síntomas de una enfermedad. Estos investigadores establecieron un experimento para estudiar la influencia de la intensidad de la luz en la susceptibilidad del tabaco al virus del mosaico del tabaco y encontraron que la enfermedad se incrementó cuando la radiación fue baja. Lo mismo sucedió con *Nicotiana glutinosa* inoculada con el virus del achaparramiento del tomate.

Los mismos autores, en 1948 evaluaron el efecto de la intensidad de luz en las lesiones provocadas al tabaco, tomate y *N. glutinosa* por cuatro virus diferentes. En todos los casos la poca luminosidad redujo la acumulación de productos fotosintéticos en las hojas y las dispuso a la infección, encontrándose una relación inversa entre la tasa de fotosíntesis y el incremento en la susceptibilidad.

Coast y Chant (1970) comentan que es bien conocido que cuando algunas plantas se exponen a baja intensidad lumínica se incrementa la susceptibilidad a infecciones virosas, lo cual está relacionado con cambios que se producen en su metabolismo y en el contenido de carbohidratos, proteínas y ARN. Este fenómeno lo corroboraron cuando inocularon el virus de la necrosis del tabaco

a frijol y el virus del mosaico del tabaco a *N. Glutinosa*. En ambos casos se incrementó la enfermedad cuando las plantas recibieron poca luz.

La alta intensidad de luz puede provocar daños físicos a los tejidos externos de una planta, presentándose un colapso de la pared de las células de la epidermis y el mesófilo de las hojas y abriéndose heridas a través de las cuales se facilita grandemente el ingreso de microorganismos fitopatógenos.

Esto fue lo que se presentó en un experimento realizado por Pandey y Wilcoxson (1970), al evaluar el efecto de la intensidad de luz en la susceptibilidad de la alfalfa a *Leptosphaerulina briosiana*. Además de los daños directos observados, la enfermedad fue más severa cuando se incrementó la intensidad lumínica y la duración de las horas luz del día. En las lesiones de las hojas se encontró abundante crecimiento micelial.

Jones *et al.* (1985) llevaron a cabo un experimento para evaluar la susceptibilidad del crisantemo inoculado con *Pseudomonas cichorii* bajo el efecto de diferentes dosis de N y P y distintas intensidades de luz (rango entre 390 y 975 $\mu\text{Einstein m}^{-2} \text{s}^{-1}$). La interacción entre alta intensidad de luz y tasa de fertilización fue altamente significativa para la severidad de la enfermedad, encontrándose una correlación positiva entre el desarrollo de las lesiones y los niveles de fertilización y entre éste y la alta intensidad de luz. Esto evidencia el efecto de predisposición que ambos factores ejercieron sobre el cultivo. Comentan que el número y tamaño de las lesiones en las hojas expuestas a alta luminosidad fueron considerablemente mayores.

Un experimento similar fue conducido por Chase y Jones (1986), inoculando la misma bacteria a *Schefflera arboricola*. Los resultados sin embargo fueron diferentes, pues el número y tamaño

de las lesiones disminuyó al incrementarse las dosis de fertilización (fórmula 19-6-12), mientras que las distintas intensidades de luz (rango entre 125 y 800 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no influyeron en el desarrollo de la enfermedad. Aunque en una de las cuatro pruebas se incrementó la expresión de las lesiones, los resultados no presentaron diferencias significativas.

El desarrollo de manchas bacterianas en arroz fue favorecido cuando las plantas se expusieron a bajas intensidades de luz en un estudio llevado a cabo por Devadath *et al.* 1987. Estos investigadores indican que el incremento en la susceptibilidad del cultivo puede deberse al crecimiento débil que las plantas tuvieron en la sombra.

En el caso del café, la gran diversidad de condiciones ecológicas existentes en el mundo provocan que no exista un acuerdo definitivo en el sentido de que si debe cultivarse bajo sombra o a pleno sol. Sin embargo, la sombra regulada en un cafetal favorece la longevidad de las plantas, proporciona un microclima más estable, en terrenos inclinados contrarresta la erosión, contribuye al reciclaje de nutrientes, ayuda a mantener la fertilidad del suelo, mejora la captación y retención de agua en el suelo y favorece el mejor aprovechamiento de los fertilizantes por las plantas. Estas ventajas se pierden cuando se establece el cultivo a pleno sol, presentándose un estado de estrés que debe ser contrarrestado con altas dosificaciones de fertilizantes (Williams y Joseph, 1970; Jaramillo y Gómez, 1989: Curso Regional Sobre Fundamentos de Caficultura Moderna, 1989).

En Nicaragua, Rice (1991) llevó a cabo un estudio titulado 'Observaciones sobre la transición en el sector cafetalero en Centroamérica' e indica que en la última década el Gobierno de ese País ha impulsado el cultivo del café a plena exposición solar a fin de incrementar los rendimientos, pero que luego de 10

años de haberse iniciado el proceso de 'transformación', éstos no han aumentado como lo esperaban los agrónomos y las autoridades Gubernamentales y que por el contrario, los cambios implementados en los cafetales tradicionales han alterado el agroecosistema y que algunos de los efectos negativos no aparecerán sino hasta varios años después.

Carvajal (1984) indica que mediciones realizadas en Costa Rica a lo largo de seis cosechas mostraron un efecto altamente significativo en favor del cultivo de café a pleno sol, incrementándose el rendimiento por unidad de área. No obstante, tal aumento no justificó recomendar la eliminación de la sombra en la región por el alto porcentaje de fruto que maduraba anormalmente, ya que ocurrió mucha abscisión a causa de la incidencia de Chasparria o Mancha de Hierro (*Cercospora coffeicola*).

Experiencias registradas en este País desde 1956 acerca del cultivo sin sombra indican que en algunos casos se ha producido un incremento de aproximadamente 10% en el rendimiento, pero se intensifica el ataque de plagas, especialmente malezas y hongos (Carvajal, 1984; Curso Regional Sobre Fundamentos de Caficultura Moderna, 1989). Consideraciones similares hacen Ramírez y González (1990) para la caficultura Mexicana y el Fondo Nacional para Investigaciones Agropecuarias (1988), para la Venezolana.

Zapata (1992) sostiene que la caficultura Colombiana logró incrementar significativamente su productividad cuando se dio la transformación de los cafetales tradicionales a los tecnificados, lo cual se logró al iniciarse el cultivo a plena exposición solar. Reconoce sin embargo, que en estas circunstancias la plantación recibe un estímulo que redundaba en el incremento de la cosecha, pero sufre un gran desequilibrio fisiológico.

En estas condiciones es lógico esperar que los mecanismos de defensa de la planta no funcionen adecuadamente y su susceptibilidad a las enfermedades se acentúe. Debe también considerarse que una mayor productividad no necesariamente significa mayor rentabilidad, en relación a lo cual Zapata (1992) y Ramírez y González (1990) comentan que los cafetales a plena exposición solar aumentan sus exigencias nutricionales. Esto, aunado a un incremento en la incidencia o severidad de una o más enfermedades, puede significar que los costos de producción se eleven de tal forma que el cultivo se torne poco o nada rentable.

Schoeneweiss (1975), Jones *et al.* (1985) y Greer (1990) coinciden en que cuando la cantidad de luz que llega a una planta no es la adecuada a sus requerimientos, se producen trastornos en su funcionamiento normal, lo que provoca estrés e incrementa la susceptibilidad del vegetal al ataque de patógenos.

Colhoum (1973) y Yarwood (1976) indican que el efecto de predisposición se manifiesta dependiendo de los requerimientos de luz de cada cultivo. Colhoum (1973) comenta que algunos investigadores sugieren que sustancias involucradas en el establecimiento de una infección son inactivadas bajo determinada intensidad de luz y por el contrario, sintetizadas cuando esta se modifica.

Otros autores como Boyer (1971), Kaiser *et al.* (1981) y Mishra y Singhal (1992) indican que la alta intensidad lumínica incide en un déficit hídrico, cierre de estomas, interrupción del intercambio gaseoso y por ende, reducción de la tasa de fotosíntesis. Russell *et al.* (1989) hace consideraciones similares y comenta que esto se traduce en estrés para el cultivo y que en consecuencia se incrementa la susceptibilidad a la enfermedad.

Levitt (1980) hace un amplio análisis sobre el estrés que la radiación puede provocar en las plantas e indica que este puede deberse a déficit o a exceso. En el primer caso, el efecto más evidente y rápido es la reducción del contenido de carbohidratos y daños al aparato fotosintético, particularmente a los pigmentos del cloroplasto e inhibición de la reacción de Hill. Bajo poca disponibilidad de luminosidad, en la planta se producen cambios para reducir la refracción y optimizar la absorción de luz, por ejemplo se reduce el espesor de la cutícula, la cantidad de ceras que cubren la epidermis y el número de tricomas. Esto incrementa la vulnerabilidad de la planta a la infección. También se ha comprobado que el déficit de luz reduce la resistencia de la planta al estrés por temperatura y humedad.

Este autor menciona que la alta intensidad de luz va acompañada de gran cantidad de radiación infraroja y ultravioleta; esta última induce cambios químicos en el vegetal, destrucción de auxinas, producción de células muy largas con aparente inhibición de la división celular, alteración de la permeabilidad de la membrana celular, reducción en el contenido de azúcares, inhibición de la respiración por daños a las membranas de las mitocondrias, inactivación de enzimas e inhibición de la síntesis de proteínas y ADN.

La alta intensidad lumínica provoca destrucción de la clorofila, daños a la membrana celular y al aparato fotosintético, produciéndose fotoinhibición; los tejidos protectores externos se desarrollan pobremente y hay ausencia de ceras. También se inhibe el IAA, se producen disturbios en el balance de reguladores del crecimiento y alteración de las fases de la mitosis. Los efectos metabólicos más importantes son la inhibición de la respiración por destrucción de los citocromos, fotooxidación de la clorofila, IAA y ácido ascórbico y alteración de la actividad de muchas enzimas y coenzimas (Levitt, 1980).

Obviamente, cuando la planta se expone a una intensidad lumínica inadecuada a sus requerimientos, la ocurrencia de uno o más daños de los indicados se traducirán en un incremento en la susceptibilidad a la infección y posterior colonización por patógenos.

2.5 Factores de estrés y la predisposición del hospedante al ataque de *Fusarium spp.*

Fusarium es uno de los géneros de hongos más importantes y comunmente encontrados provocando enfermedades a las plantas. Puede causar cánceres, agallas, 'damping-off', hipertrofias, pudriciones de la raíz, marchitez y algunas especies producen toxinas que causan enfermedades a animales y humanos. *Fusarium* también incluye especies no patogénicas (Booth, 1977; Leath y Kendall, 1978; Mandeel y Baker, 1991). Pertenece a los Deuteromicetos, orden Moniliales, Familia Tuberculiaceae y los estados teleomorfos son Ascomicetos del orden Hypocreales, incluyéndose *Calonectria*, *Gibberella*, *Monographella* y *Nectria*. No obstante, en muchas especies nunca ha sido descubierto el estado perfecto. Se han descrito cientos de especies y formas especiales, aunque no todas se aceptan como válidas; el número de especies fitopatógenas clasificadas oscila alrededor de las 30 (Booth, 1971; Booth, 1977; Agrios, 1985).

Fusarium produce hifas hialinas, septadas y de paredes delgadas; muchas especies producen tres tipos de esporas: clamidosporas, micro y macroconidias, las cuales son muy importantes para fines de identificación (Booth, 1971; Hsu y Lockwood, 1973; Booth, 1977).

Varias especies de *Fusarium* han sido reportadas causando pudriciones radicales al café, especialmente *F. oxysporum* f.sp. *coffae*, *F. solani* var. *minus*, *F. xylarioides*, *F. javanicum*, *F.*

culmorum, *F. lateritium*, *F. sporotrichioides*, *F. stilboides* y *F. bulbigenum* var. *coffae*. Las condiciones que favorecen el desarrollo del hongo son: (1) alta temperatura del suelo, (2) suelos pobres, (3) sombra inadecuada en la plantación y (4) heridas en la raíz. Los síntomas comúnmente asociados con la enfermedad son marchitez súbita del follaje, amarillamiento de las hojas seguido de defoliación, mientras que en la raíz se observan manchas de color pardo a rosado-púrpura y la porción interna seca y descolorida (Wellman, 1954; Adsuar, 1965; Rahman y Subramanian, 1967; Baker, 1972; Nataraj, 1973; Filani, 1975; Hernandez, 1975; Kannan, 1986).

Se ha realizado un considerable número de investigaciones relacionadas con factores de predisposición en diferentes cultivos y cuyos resultados coinciden en que el incremento en la susceptibilidad al ataque de *Fusarium spp.* se ha debido principalmente a (1) estrés por sequía, (2) altas o bajas dosis de fertilizantes (especialmente macronutrientes), (3) altas intensidades de luz y (4) uso de herbicidas (Colhoum, 1973; Huber y Watson, 1974; Papendick y Cook, 1974; Percich y Lockwood, 1975; Gristein *et al.*, 1976; Altman y Campbell, 1977; Carson *et al.*, 1991; Beddis y Burgess, 1992).

Muy pocas de estas investigaciones se han hecho en café, por lo que se cuenta con limitada información sobre la manera como estos factores de estrés inciden en la susceptibilidad de esta especie. En este sentido, Baker (1972) indica que la ocurrencia de *Fusarium* en cafetales de Kenia ha estado asociada a estrés por condiciones del medio ambiente, las cuales han incrementado la vulnerabilidad del cultivo al hongo. Kannan (1986) comenta que los principales factores a considerar para no incrementar la susceptibilidad del café son la sombra adecuada y la aplicación balanceada de nutrimentos.

La importancia del estrés y la predisposición ha sido abundantemente documentada en las últimas décadas y en la búsqueda continua de técnicas de manejo de enfermedades compatibles con la preservación del medio ambiente, esta disciplina adquiere cada día una mayor relevancia. Se tienen algunas evidencias de cómo el estrés influye en la susceptibilidad del café al ataque de *Fusarium*, aunque son muy limitadas, por lo que es necesario profundizar sobre este tema.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción general

La investigación se realizó en la sede del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, el cual se encuentra ubicado en el Cantón de Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica a $9^{\circ} 52'$ latitud norte y $83^{\circ} 38'$ longitud oeste. La altura sobre el nivel del mar es de 603 metros, precipitación pluvial promedio anual de 2636 mm, temperatura media de 21.6°C , humedad relativa de 87% y radiación promedio mensual 496 MJ m^{-2} (Jiménez, 1988).

El experimento constó de una fase de laboratorio, una de invernadero y una de almácigo. Para su desarrollo se utilizó el laboratorio de Diagnóstico y parte de uno de los invernaderos del Proyecto Regional MIP. El almácigo se estableció en un sector aledaño al mismo, en donde se ubicaron las macetas conteniendo las plantas que constituyeron las unidades de observación y unidades experimentales.

Las plantas fueron expuestas a condiciones de estrés y se midió su crecimiento, la incidencia de enfermedades foliares, la temperatura del suelo, luminosidad y la radiación fotosintéticamente activa. Al finalizar el ensayo se pesó la materia seca del follaje y las raíces y se cuantificó la severidad de daño visible en las mismas.

Los tratamientos y niveles incluidos en este estudio se presentan en el Cuadro 1 y fueron seleccionados con base en (1) el conocimiento que actualmente se tiene acerca de los principales factores de estrés que predisponen a un cultivo al ataque de patógenos y (2) la tecnología que normalmente se utiliza a nivel de finca en las plantaciones de café (Colhoum, 1973; Huber y Watson, 1974; Papendick y Cook, 1974; Percich y

Lockwood, 1975; Gristein *et al.*, 1976; Altman y Campbell, 1977; Carvajal, 1984; Programa Cooperativo ICAFE-MAG, 1989; Valencia *et al.*, 1990; Moctezuma, 1990; Carson *et al.*, 1991; Beddis y Burgess, 1992)

Cuadro 1. Factores y niveles incluidos en el experimento.

Tratamiento	Niveles
Sombra	0% 25% 50%
Fertilización	Recomendada * Baja (30%)
Herbicidas	Sin herbicida diurón oxyfluorfén
Patógenos	sin inocular inoculados

* Fertilización normal fue considerada como la recomendada para el cultivar y tipo de suelo utilizado. La baja fue la equivalente al 30% de ésta.

3.2 Etapa de preparación del experimento

La semilla para la producción del almácigo se obtuvo de las plantaciones del CATIE, en donde se seleccionaron plantas de café que no evidenciaran problemas fitosanitarios o características atípicas de la variedad caturra. Considerando un factor de conversión de 4:1 y las pérdidas en semillero, se cosechó un kilo de grano maduro, a fin de contar con aproximadamente 2,000 plantas (Programa Cooperativo ICAFE-MAG, 1989; Moctezuma, 1990).

El grano que se cosechó fue despulpado y desmucilaginado manualmente para evitar que sufriera daños. Se descartaron los 'elefantes' o gigantes, 'caracoles', 'triángulos', redondos, vanos, picados, etc. y la humedad fue eliminada introduciéndolo 72 horas en la cámara seca del Banco de Semillas del CATIE.

Para el sustrato del semillero se utilizó arena cernida de río y se desinfestó con el esterilizador eléctrico, introduciéndola por 12 horas a 200 °C. El semillero se instaló en un invernadero del Proyecto MIP y la germinación ocurrió aproximadamente a los 45 días, trasladándose las plantas a bolsas de polietileno cuando alcanzaron la etapa de 'mariposa' u hojas cotiledóneas.

Las bolsas de polietileno y las macetas plásticas fueron llenadas con suelo proveniente de un bosque de sucesión secundaria localizado en el Bajo del Chino, CATIE y al cual se le efectuó un análisis físico-químico en el laboratorio de suelos de la Institución para verificar si reunía las condiciones adecuadas para el establecimiento de un cafetal (Valencia *et al.*, 1990). Los resultados del mismo se incluyen en el Cuadro 1A.

El suelo se obtuvo de las primeras capas del horizonte, a una profundidad no mayor de 20 cm. Se introdujo en pilas de concreto y se esterilizó por 24 horas con bromuro de metilo, luego de lo cual se aireó por 72 horas.

Para la obtención del inóculo se seleccionaron lotes de la Hacienda Juan Viñas, Cartago, los cuales han presentado problemas de pudriciones radicales. A diferentes profundidades (10, 20, 30, 40 y 50 cm) se tomaron raíces con distintos grados de avance de la enfermedad y se trasladaron al laboratorio de Diagnóstico del

Proyecto MIP para su procesamiento. Esta operación se repitió en tres oportunidades para garantizar el aislamiento de los patógenos responsables de las pudriciones de la raíz.

3.3 Etapa experimental

3.3.1 Fase de laboratorio

Para aislar los microorganismos presentes, las raíces enfermas fueron fraccionadas y se introdujeron en un 'beaker' de 500 cc de capacidad, el cual se cubrió con un cedazo asegurado con una tira de hule. El 'beaker' se colocó por tres horas abajo de un chorro de agua para lavar perfectamente la superficie de los tejidos.

Posteriormente el material se sumergió por un minuto en hipoclorito de sodio al 1%, se lavó en tres ocasiones con agua destilada y se secó con papel toalla. Utilizando la cámara de flujo laminar, los fragmentos de raíz (de 1 cm²) se sembraron en agar-agua a fin de que se desarrollara el micelio de los hongos presentes en los tejidos.

En las cajas petri con agar-agua se desarrollaron dos tipos de micelio. Se tomaron puntas de hifa y se trasladaron por separado a PDA para obtener cultivos axénicos. Se incubaron a temperatura ambiente y en cada caso se desarrolló abundante micelio.

Fusarium spp. y *Trichoderma spp.* han sido reportados como dos organismos que compiten por la colonización del medio y en donde el primero es inhibido por el segundo (Sivan y Chet, 1989), sin embargo, fueron estos los hongos que crecieron consistentemente en las cajas.

La identificación se hizo a nivel de microscopio, con base en las claves y material ilustrado de Fitopatología y estimulando la esporulación de *Fusarium spp.* al irradiarlo con luz ultravioleta por períodos de 12 horas durante cuatro días (Booth, 1977; Barnes, 1979; Hawksworth *et al.*, 1983; Barnett y Hunter, 1986; Hanlin, 1989). *Trichoderma spp.* esporuló en forma natural.

Este material se multiplicó y fue utilizado posteriormente para realizar las inoculaciones respectivas, previas pruebas de patogenicidad.

Porciones del micelio desarrollado en PDA fueron trasladados a viales con V-8, cubiertos con aceite mineral y conservados a temperatura ambiente. Al finalizar el experimento fueron utilizados para compararlos con los patógenos reaislados de las macetas, garantizandose así que la enfermedad en las raíces se debió a los hongos inoculados y no a patógenos diferentes.

3.3.2 Fase de invernadero

Durante un lapso de aproximadamente tres meses se realizaron pruebas de patogenicidad a nivel de invernadero. La importancia de esta fase se basa en el hecho de que debía evaluarse la capacidad de los microorganismos aislados para causar enfermedades, ya que algunas razas de *Fusarium spp.* no son virulentas y por el contrario, *Trichoderma spp.*, un hongo básicamente saprofítico ha sido reportado causando problemas fitopatológicos en circunstancias especiales (Booth, 1977; Gilbertson *et al.*, 1987; Mandeel y Baker, 1991).

Uno de los problemas que se presentan al estudiar patógenos de la raíz consiste en la dificultad que se tiene para observar y cuantificar la evolución de la enfermedad, por lo que fue preciso

seleccionar un método adecuado para realizar las pruebas de patogenicidad.

Se utilizó el método de la "tabla inclinada" desarrollado por Kendall y Leath (1975) y el cual ha sido empleado en numerosas investigaciones de este tipo. Fue preciso introducirle ligeras modificaciones para suplir la carencia de un equipo automatizado que provee la solución nutritiva a las plantas.

Las pruebas de patogenicidad se establecieron bajo un Diseño Completamente Aleatorizado con tres tratamientos y tres repeticiones. Estos tratamientos fueron *Fusarium spp.*, *Trichoderma spp.* y el testigo.

Se utilizaron bandejas plásticas con dimensiones de 31 x 41 cm. En cada una de ellas se colocó papel toalla para conservar la humedad y sobre éste se ubicó una planta de café.

De las cajas petri con crecimiento micelial se cortaron cuadritos de PDA de un cm² y fueron colocados debajo de la raíz pivotante a la cual se le hicieron pequeñas incisiones longitudinales. De la corona hacia abajo las plantas fueron cubiertas con papel toalla y sobre éste se instaló una tabla forrada con papel aluminio. Las bandejas se instalaron con una inclinación de 50° y cada una contó con un sistema de riego por goteo proveído por mangueras de un milímetro de diámetro, con un regulador de paso y conectadas a un recipiente de agua destilada colocado a 1.5 m por encima de las bandejas, a fin de que el agua llegara por gravedad. Periódicamente se adicionaron nutrimentos a este recipiente para la alimentación de las plantas.

La cuantificación de severidad de daño se hizo en el área que abarcaba cada cuadrito, utilizando la escala propuesta por Smiley *et al.* (1992) y la cual va de 0 a 4, en donde 1= sana, 2=

< 25% del área con lesiones, 3= 51 a 75% y 4= > 76% del área con lesiones.

3.3.3 Fase de almácigo

Las plantas provenientes del semillero se trasladaron a bolsas de polietileno donde permanecieron dos meses para su desarrollo inicial. Posteriormente se trasplantaron al almácigo consistente en macetas plásticas de cinco kilogramos de capacidad y en cada una de las cuales se sembró una planta en suelo esterilizado con bromuro de metilo.

El Diseño Experimental utilizado fue un Bloques al Azar generalizado (fijo) con un arreglo factorial. Los tres niveles de sombra actuaron como factor de bloqueo y dentro de cada uno de ellos se establecieron dos repeticiones. Por tratarse de un arreglo factorial se contó con 'replicaciones ocultas o escondidas' (Still y Torrie, 1988).

Cada posible combinación de niveles y factores fue aplicada a seis macetas en cada repetición, por lo que en cada 'bloque' se tuvieron 144 macetas y un total de 432 macetas efectivas en los tres niveles de sombra, más 192 de bordes.

3.3.3.1 Aplicación de los tratamientos de sombra, herbicidas, inoculación de patógenos y fertilización

El tratamiento de sombra constó de tres niveles: 0, 25 y 50%, cada uno de los cuales constituyó un 'bloque'. Los porcentajes de sombra requerida fueron obtenidos mediante la utilización de sarán de los calibres adecuados. Estos se tendieron a dos metros de altura y a lo largo de las repeticiones orientadas de este a oeste.

Los niveles para el tratamiento de herbicida fueron: (1) sin herbicida, (2) herbicida diurón y (3) herbicida oxyfluorfén. En las unidades experimentales con el primer nivel se combatió la incidencia de malezas en forma manual, mientras que el herbicida diurón fue utilizado como un producto residual.

Estudios realizados por Dawson *et al.* (1968), indican que la concentración de residuos de este herbicida encontrada más frecuentemente en suelos agrícolas en donde se han realizado aplicaciones durante al menos seis meses consecutivos, es de 4.43 ppm (4.42 mg kg⁻¹ de suelo), distribuidos en los primeros 20 cm de profundidad. En virtud de que la capacidad de las macetas era de cinco kilogramos, a cada una de las que incluyó este nivel se le incorporó 22.1 mg del herbicida dos meses antes del trasplante definitivo, con el fin de simular condiciones reales de residualidad en el campo.

El herbicida oxyfluorfén es utilizado comúnmente por los caficultores a nivel de almácigo y campo definitivo. En la presente investigación se aplicaron las dosis comerciales equivalentes al área de la maceta y distribuyéndola con una microaspersora para evitar mojar el follaje de las plantas de café (Carvajal, 1984; Programa Cooperativo ICAFE-MAG, 1989; Moctezuma, 1990).

De las pruebas de patogenicidad se obtuvo la información de que únicamente *Fusarium spp.* era el responsable de las pudriciones de la raíz, por lo que fue éste el patógeno que se inoculó.

El hongo se reprodujo en el laboratorio y se obtuvo abundante crecimiento micelial, se irradió con luz ultravioleta y se estimuló su esporulación. Se hicieron diluciones en agua destilada y con el uso del Hemacitómetro Spencer se calibró la

solución a 2×10^6 conidias por mililitro, la cual es la concentración promedio que ha brindado los mejores resultados en estudios similares (Percich y Lockwood, 1975; French y Hebert, 1980; Castaño, 1986; Sivan y Chet, 1989; Mandeel y Baker, 1991; Carson *et al.*, 1991; Ykema y Stutz, 1991).

Considerando que no todas las especies de *Fusarium spp.* tienen la habilidad de penetrar directamente al sistema radical (Leath y Kendall, 1978), se introdujo una cuchilla a 10 cm de profundidad para lesionar parte de las raíces de las plantas asignadas a este tratamiento y con una pipeta se vertieron cinco ml de la solución conteniendo las esporas. Al control se le practicó el lesionado pero solo se adicionó agua destilada en igual cantidad.

Para el tratamiento de niveles de fertilización, el almácigo se fertilizó al suelo en cuatro ocasiones con la fórmula compuesta 18-5-15-6-2. Los dos niveles utilizados consistieron en una dosis recomendada y una baja equivalente al 30% de ésta. En el primer caso se incorporaron cinco gramos por maceta y en el segundo únicamente 1.5 g. Este factor de estrés se refiere entonces a deficiencia de nutrimentos (Carvajal, 1984; Federación de Cafetaleros de Colombia, 1988; Programa Cooperativo ICAFE-MAG, 1989; Moctezuma, 1990; Valencia *et al.*, 1990).

3.3.3.2 Mantenimiento del almácigo

Durante los meses que duró esta fase se brindó un mantenimiento normal al almácigo, igual al que se proporciona a nivel de finca. El riego se hizo de acuerdo a las necesidades prevalecientes y proporcionando la misma lámina de agua a todas las repeticiones, sin perjuicio del porcentaje de sombra que ésta tuviera.

Cada 20 días se aplicó el fungicida chlorothalonil (Daconil 2787 WP-75 o Bravo), para prevenir la incidencia de *Cercospora coffeicola*, *Mycena citricolor*, *Colletotrichum coffeanum* y *Phoma costarricensis*. La dosis empleada fue de 60 g por bomba de 16 l.

3.3.3.3 Registros periódicos

Adicionalmente al control de las variables respuesta en estudio, se llevó un registro periódico de parámetros útiles para la interpretación y análisis de los resultados obtenidos en la investigación.

Durante el tiempo que permaneció el almácigo se midió la temperatura del suelo. Para el efecto se instaló un termómetro de máxima y uno de mínima bajo cada porcentaje de sombra. Esto permitió medir las temperaturas extremas a las que estuvieron expuestas las raíces de las plantas y el hongo inoculado, colocándose el bulbo de éstos a la misma profundidad a la que se inoculó *Fusarium spp.* (10 cm).

Se midió la luz y la radiación fotosintéticamente activa que recibían las plantas en los diferentes porcentajes de sombra en un día nublado y uno completamente despejado. La medición del primer parámetro se hizo con un Luxímetro, registrándose la cantidad de Lux que estas recibieron a lo largo del día.

La radiación fotosintéticamente activa o PAR (0.4 á 0.7 μ de longitud de onda (Williams y Joseph, 1970), fue medida con un Ceptómetro. Los datos se registraron en μ Einstein $m^{-2} s^{-1}$ o μ Moles $m^{-2} s^{-1}$ a lo largo de los días con los dos tipos de luminosidad.

Para aislar los microorganismos presentes, al finalizar la fase de almácigo se obtuvieron muestras de raíces de las plantas

con y sin inóculo. El procedimiento seguido fue el mismo que se empleó en la fase inicial del estudio y que se describe en el inciso 3.3.1.

El tipo de micelio que se desarrolló en las cajas petri fue comparado con el que se conservó en viales y que fuera aislado originalmente de la plantación de café de la Hacienda Juan Viñas. También se efectuaron montajes para hacer observaciones microscópicas y comparar las estructuras de ambos micelios, cumpliéndose así con el cuarto postulado de Koch (Agrios, 1985).

3.3.3.4 Medición de las variables respuesta: altura de planta, peso seco del follaje y las raíces, severidad e incidencia de enfermedades

La variable altura se midió con una regla graduada y una periodicidad de 10 días.

Al finalizar el experimento las plantas fueron arrancadas cuidadosamente y se dividieron en dos en la región de la corona. Para obtener el peso seco de cada porción, durante ocho días se introdujeron separadamente a un horno calibrado a 70 °C y luego de haber eliminado la humedad se pesó la biomasa con una balanza analítica.

Para cuantificar la severidad de daño causada por *Fusarium spp.* en las raíces se utilizó el Índice de Severidad o DSI (Disease Severity Index) propuesto por Carson *et al.* (1991) y el cual se calculó para cada unidad experimental.

La escala de éste oscila entre 1 y 5, en donde 1= raíz sana, sin síntomas; 2= < 20% del tejido descolorido, con lesiones dispersas, sistema de raíces intacto; 3= 20-50% del tejido descolorido, coalescencia de las lesiones, algunas pérdidas del

sistema radical; 4= 50-75% del sistema radical descolorido, lesiones unidas, pocas raíces laterales y 5= raíces con lesiones severas, no funcionales o desintegradas.

Los valores del índice fluctúan entre 0.2 y 1.0 y se calculan con la fórmula siguiente:

$$DSI = \frac{NPE * VC}{NTP * 5}$$

donde:

NPE= No. de plantas enfermas en la clase

VC= Valor de la clase

NTP= No. total de plantas

Aún cuando no se realizó inoculación de organismos patógenos del follaje, cada 10 días se evaluó el porcentaje de incidencia de las enfermedades foliares que se presentaron en forma natural en el almácigo. Con base en la sintomatología observada y análisis microscópicos realizados en el laboratorio se identificó al patógeno que estuvo presente en forma consistente, a pesar de que periódicamente se aplicó un fungicida de contacto al follaje.

3.4 Análisis estadístico

El análisis de varianza de los datos fue realizado con el 'General Linear Model Procedure' de SAS y se efectuaron pruebas de comparación múltiple Tukey para detectar posibles diferencias significativas entre los tratamientos o interacciones entre éstos. Para el análisis de las interacciones se utilizó la misma prueba Tukey.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Análisis del suelo

Según Valencia *et al.* (1990), una adecuada condición física del suelo es tanto o más importante que la misma aplicación de fertilizantes y se refleja en una buena aireación, buen drenaje interno, adecuada retención de agua, desarrollo normal de raíces, buena actividad biológica y respuesta positiva a la adición de fertilizantes. Las adecuadas características químicas juegan también un importante papel para proveer a las raíces del cultivo de un buen medio para su desarrollo.

Para evitar que las variaciones en las respuestas a los tratamientos pudieran ser afectadas por el uso de un suelo con características físico-químicas inadecuadas para la variedad de café utilizada, éste se obtuvo de los primeros horizontes del perfil (profundidad < 20 cm) en un bosque de sucesión secundaria y libre de residuos de agroquímicos. Se analizó en el Laboratorio de Suelos del CATIE y los resultados obtenidos se anotan en el Cuadro 1A. Los parámetros físicos y químicos de éste coinciden con los rangos que se recomiendan para suelos 'manejables' para café (Valencia *et al.* (1990).

Esta importante información permitió eliminar la posibilidad de que problemas originados por factores físico-químicos del suelo pudieran incidir en la susceptibilidad del cultivo al ataque de patógenos del follaje o la raíz.

4.2 Obtención de cultivos axénicos e identificación de los hongos

En los aislamientos hechos originalmente en agar-agua se desarrollaron dos tipos de micelio y los cuales fueron luego

reproducidos en cultivos axénicos en PDA. Con base en las características de las colonias, el uso de material ilustrado de Fitopatología y la irradiación con luz ultravioleta a los medios de cultivo, se estableció que los hongos aislados eran *Fusarium spp.* y *Trichoderma spp.*

Ambos fueron aislados consistentemente de los tejidos de las raíces, aunque se dudaba de la capacidad patogénica de *Trichoderma spp.* No se intentó identificar a los patógenos a nivel de especie, ya que éste no era uno de los objetivos de la investigación.

4.3 Prueba de patogenicidad

La capacidad patogénica de los hongos aislados se evaluó mediante la utilización del método de la 'tabla inclinada' desarrollado por Kendall y Leath (1975), comprobándose que únicamente hubo desarrollo de lesiones en las raíces de las plantas a las cuales se les colocaron cuadritos de PDA con micelio de *Fusarium spp.*

Se observó también que la especie utilizada no tiene la habilidad suficiente para penetrar directamente los tejidos y fue necesario realizar pequeñas incisiones longitudinales en las raíces de las plantas para que se presentaran los síntomas típicos del ataque de éste patógeno. Esto se debió a que inicialmente no se manifestó ningún tipo de lesión, sin embargo, en una segunda fase de la prueba se evaluaron ambos organismos previo lesionado de las raíces, en cuyo caso sí se presentaron dichos síntomas.

A pesar del análisis hecho en relación a esta característica de la especie de *Fusarium* utilizada, no se descarta la posibilidad de que la capacidad natural de penetración directa

del hongo pudiera haber sido afectada por las condiciones peculiares en las cuales se realiza esta prueba, es decir, en un medio artificial en donde el patógeno probablemente no encuentra las condiciones óptimas requeridas para desarrollar totalmente su habilidad para penetrar al hospedante.

No obstante, se considera que éste es un excelente método para estudiar la evolución de enfermedades de la raíz y Leath y Kendall (1978) sostienen que la 'tabla inclinada' es un buen sistema para evaluar la severidad de daño causado por *Fusarium spp.* en plantas sometidas a condiciones de estrés.

La severidad promedio que se presentó fue de 79.7% y con base en la escala propuesta por Smiley *et al.* (1992), el resultado obtenido para *Fusarium spp.* se ubica en la clase 4 y los otros dos tratamientos en 1 (sana). Obviamente no existieron diferencias significativas entre los tratamientos de *Trichoderma spp.* y el testigo, pero sí entre éstos y el de *Fusarium spp.* ($p < 0.001$). En la Figura 2 se observan las diferencias porcentuales en la severidad de daño en las raíces.

A pesar de que en algunas ocasiones *Trichoderma spp.* ha sido reportado causando problemas fitopatológicos (Gilbertson *et al.*, 1987), en la prueba de patogenicidad realizada no fue capaz de provocar ningún daño a las raíces de las plantas de café colocadas en las bandejas plásticas. De esto se deduce que aunque en principio fue aislado fácilmente de los tejidos, su papel en este patosistema se limita a ser un organismo saprofitico sin importancia fitopatológica, por lo que no fue inoculado a las plantas del experimento.

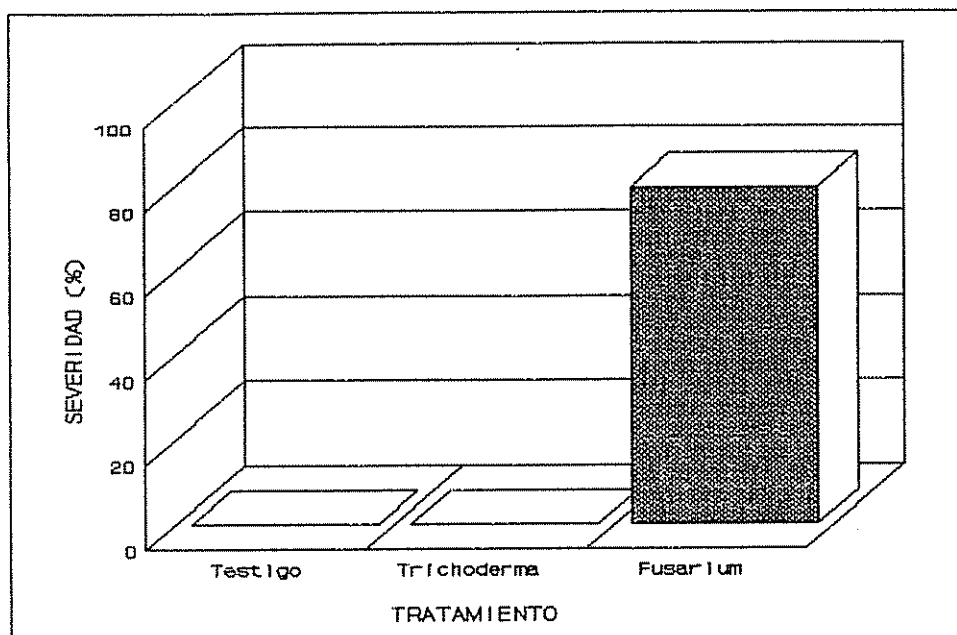


Fig 2. Severidad de daño causado por *Fusarium spp.* en la raíz de las plantas de café. Prueba de patogenicidad.

4.4 Reaislamiento de los patógenos del sistema radical

Al finalizar el experimento se realizaron reaislamientos del sistema radical de las plantas con síntomas, obteniéndose crecimiento de colonias de *Fusarium spp.*

Las estructuras desarrolladas en los medios de cultivo fueron comparadas con las que se conservaron en viales al inicio de la investigación, garantizándose así que la enfermedad presente en las raíces de las plantas se debió a este patógeno y no a algún otro hongo, ya que a pesar de que se utilizó suelo esterilizado para el llenado de las macetas, se empleó el agua de la tubería común para el riego, por lo que la posibilidad de contaminación siempre estuvo vigente.

4.5 Análisis de la radiación solar y la temperatura del suelo

Los datos del Cuadro 2 se tomaron en el lugar donde se estableció el almácigo de café e indican que a las 12 horas de un día nublado la intensidad luminosa alcanzó 8100 Lux y la radiación fotosintéticamente activa fue de $106 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, pero a la misma hora de un día despejado la intensidad luminosa fue de 52000 Lux y la RFA alcanzó los $1748 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. De acuerdo a los registros climáticos de la estación meteorológica del CATIE, durante el tiempo que permaneció el ensayo en el campo (enero-junio) se produjeron cerca de 90 días con una radiación diaria superior o igual a los 18 MJ m^{-2} (Jiménez, 1993)**, lo cual indica que las plantas localizadas a plena exposición solar estuviesen sometidas con frecuencia a alta radiación durante varias horas.

Cuadro 2. Radiación fotosintéticamente activa e intensidad luminosa en los diferentes porcentajes de sombra en un día despejado y uno nublado.

Hora del día	RFA ($\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$)						Intensidad luminosa (Lux) †					
	Día despejado			Día nublado			Día despejado			Día nublado		
	0%	25%	50%	0%	25%	50%	0%	25%	50%	0%	25%	50%
7:00	232	130	58	22	15	5	12.2	7	4	1.8	1.2	0.7
9:30	1421	1010	500	66	49	21	45	31	16	5	3.5	2
12:00	1748	1275	632	106	79	39	52	39	21	8.1	6.3	3.6
14:30	660	452	236	12	8.5	4.1	40	28	15	0.9	0.6	0.4
17:00	41	23	12	8.3	5.3	2	5.1	3.4	1.8	0.4	0.3	0.1

† miles de lux

** JIMENEZ, F. 1993. Radiación solar durante el periodo Enero-Junio/93. Turrialba, Costa Rica. CATIE. (Comunicación Personal).

Kumar (1979) indica que la mayor apertura de estomas en las hojas de las plantas de café se obtiene cuando la radiación fotosintéticamente activa oscila entre los 300 y 600 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Sin embargo, investigaciones posteriores demuestran que la máxima eficiencia fotosintética del cultivo se alcanza cuando la radiación es de 140 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y si ésta disminuye o aumenta se reduce drásticamente dicha eficiencia debido al cierre parcial de los estomas (Coffee Board, 1988-89, a y b).

Al observar los datos del Cuadro 2 se comprueba que en los días nublados en ningún momento se alcanzó la radiación requerida para obtener la máxima eficiencia fotosintética bajo los tres porcentajes de sombra, mientras que en los días despejados fue excesiva la cantidad de $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ que recibieron las plantas expuestas a pleno sol y posiblemente se produjo fotoinhibición con la consiguiente reducción de la tasa de fotosíntesis. Estos datos también demuestran que bajo el 50% de sombra se tuvo una radiación más cercana a la óptima requerida por las plantas de café y por el contrario, el mayor estrés se presentó bajo el 100% de luminosidad.

El efecto negativo producido a la fisiología de las plantas que recibieron más luz y RFA se tradujo también en daños directos a la cutícula de las hojas de algunas de ellas, pues se observaron quemaduras provocadas por el sol en las láminas foliares, lo que facilitó la penetración y posterior infección de *P. costarricensis*, constituyéndose en importante fuente de inóculo para el resto de plantas que no estuvieron expuestas a estas condiciones.

En las Figuras 3 y 4 elaboradas con base en los datos del Cuadro 2 se observan las diferencias porcentuales en la luminosidad y radiación fotosintética activa, respectivamente, en

días despejados y días nublados bajo sarán que produce 25 y 50% de sombra.

Las curvas de ambas figuras fueron calculadas respecto al 100% de exposición solar e indican que a las 12 horas se produjeron los porcentajes de luminosidad más cercanos a los que originalmente se planificaron para el experimento (100, 75 y 50%), mientras que en la mañana y en la tarde, la cantidad real de luz y RFA que llegó a las plantas fue variable, lo que se considera se debió al ángulo de inclinación en la incidencia de los rayos solares a esas horas.

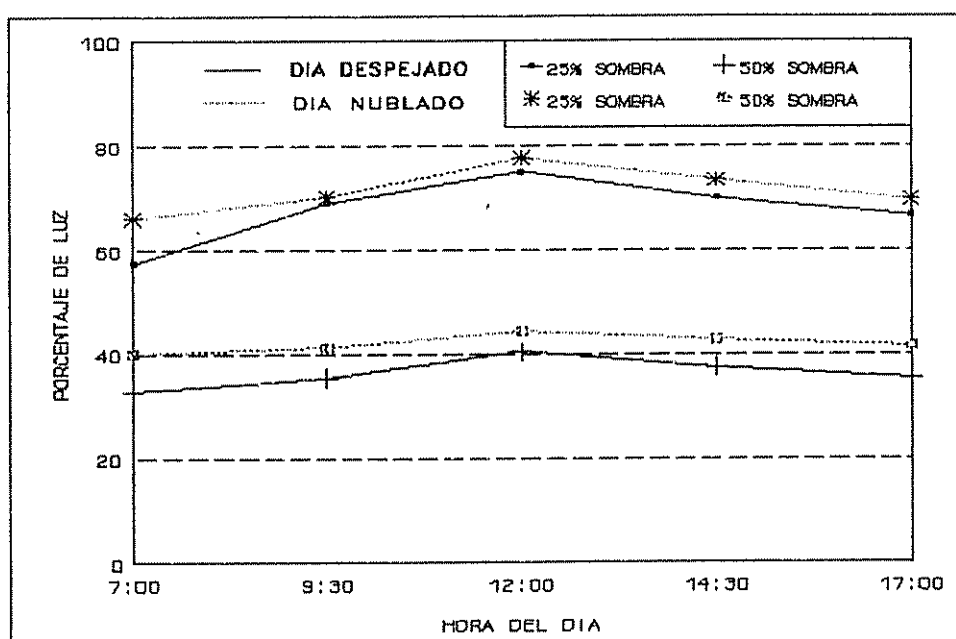


Fig 3. Porcentaje de luminosidad a diferentes horas en un día despejado y uno nublado.

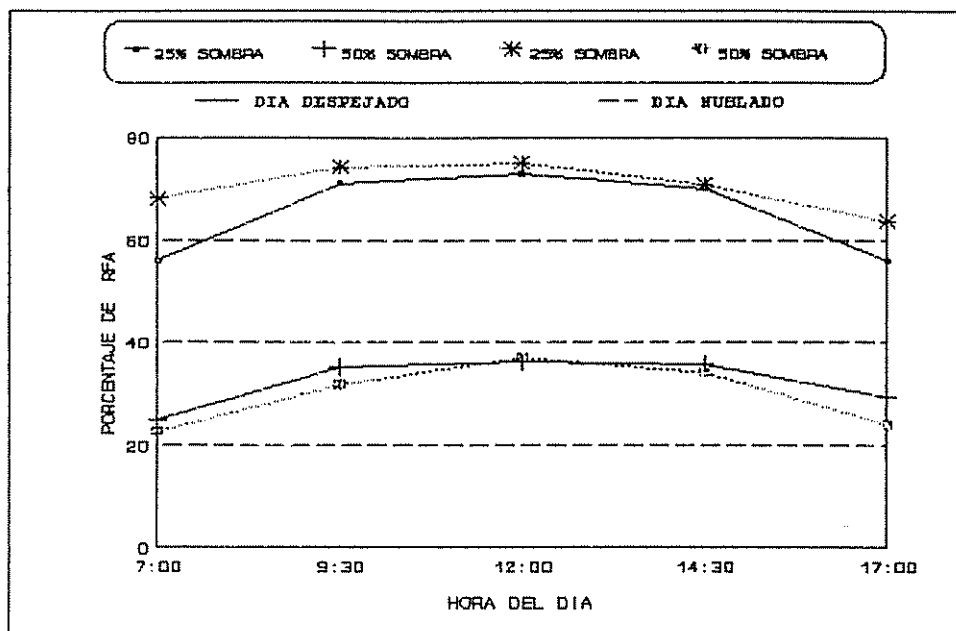


Fig 4. Porcentaje de radiación fotosintéticamente activa a diferentes horas en un día despejado y uno nublado.

Con los geotermómetros instalados en los tres niveles del factor sombra se midieron las temperaturas máximas y mínimas del suelo que se alcanzaron cada día. La temperatura máxima ocurrió en el mes de abril y alcanzó casi 40 °C de promedio mensual, mientras que la mínima se presentó en marzo con aproximadamente 12 °C.

Según se observa en la Figura 5, las temperaturas más altas y las más bajas siempre se alcanzaron en las macetas instaladas a plena exposición solar, por lo que las plantas expuestas a mayor intensidad de luz padecieron en todo momento de las temperaturas del suelo más extremas, siendo mayor el estrés y la posibilidad la pérdida de nitrógeno a la atmósfera.

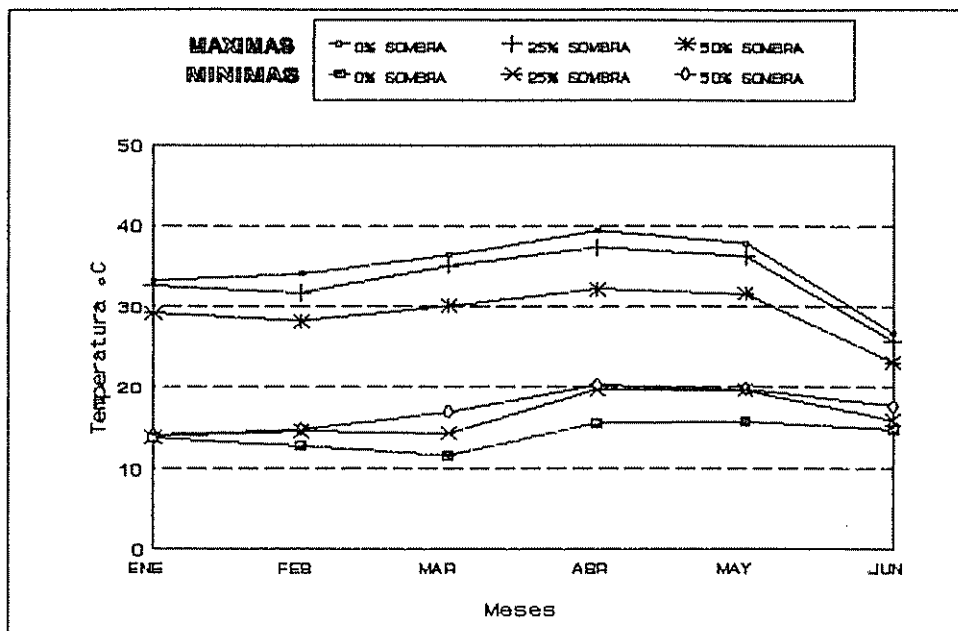


Fig 5. Temperaturas máximas y mínimas del suelo medidas a 10 cm de profundidad en los diferentes porcentajes de sombra.

A pesar de que no se midió la evapotranspiración se asume que ésta fue mayor en los tratamientos localizados a plena exposición solar, lo cual incrementa la posibilidad de estrés por agua para el cultivo. En estas circunstancias también se produce un microclima menos estable, con una temperatura del aire y humedad relativa más fluctuantes que de alguna manera influyen negativamente en la fisiología de la planta. En este sentido, Jaramillo y Gómez (1989) han encontrado que el microclima es significativamente más estable en plantaciones de café bajo sombrío que a plena exposición solar.

4.6 Efecto de los factores de estrés en el desarrollo general de las plantas

4.6.1 Altura

En el Cuadro 2A se presenta el análisis de varianza para los datos de esta variable, observándose que existen diferencias

significativas entre dos de los efectos principales y las interacciones de primer y tercer orden.

Durante el desarrollo de la investigación se midió el crecimiento de las plantas bajo el efecto de diferentes porcentajes de sombra y en la Figura 6 se observa que las expuestas a pleno sol (0% de sombra) alcanzaron una menor altura promedio, sin embargo, no fue el mayor sombreado el que les favoreció más ya que tuvieron un mejor desarrollo las que estuvieron expuestas a 25% de sombra. Según se anota en el Cuadro 3A, no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos de 25 y 50% de sombra, pero sí entre éstos y el de 0% ($p= 0.05$).

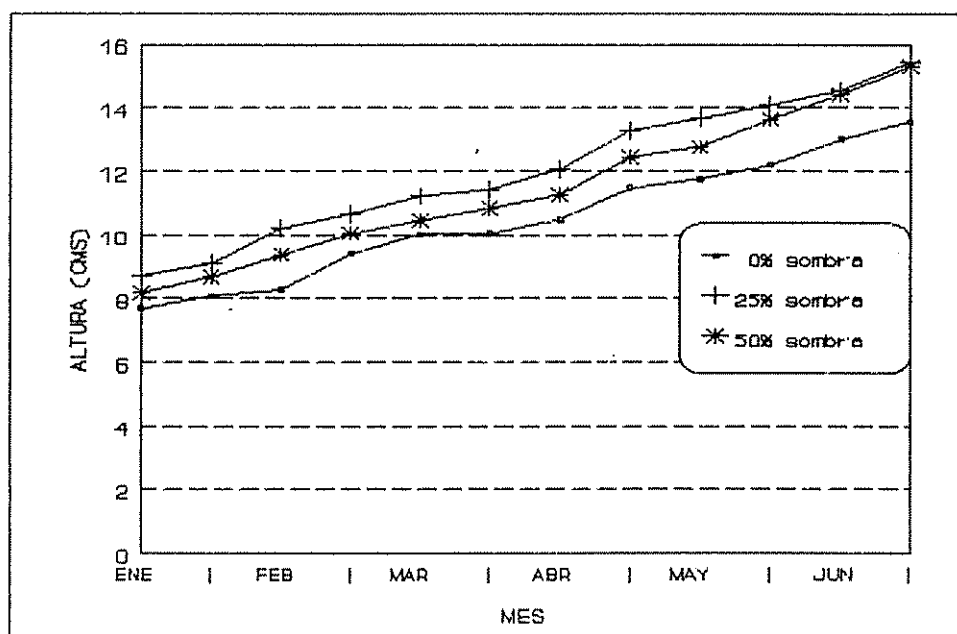


Fig 6. Altura promedio de las plantas bajo diferentes porcentajes de sombra.

Esto posiblemente se debe a que en las macetas ubicadas a pleno sol hubo una mayor evaporación del agua del suelo, lo que debió afectar la absorción de humedad y nutrimentos, además es

normal que las plantas que crecen en condiciones de baja luminosidad tienden a ser más altas que las expuestas a mayor radiación. Debe también considerarse que cuando esta radiación es muy elevada se produce cierre parcial de los estomas de la planta y la eficiencia fotosintética se reduce drásticamente.

La incidencia de *Phoma costarricensis* fue mayor en estos tratamientos, lo que también contribuyó a que la altura alcanzada fuera menor ya que el ataque de este hongo tiende a detener el crecimiento de las plantas. La incidencia de malezas también fue mayor (apreciación visual, no cuantificado) y se considera que sin ser muy significativo, aquí debió haber más competencia por agua y nutrimentos, lo cual influyó en la menor altura que alcanzaron las plantas expuestas a pleno sol.

En relación a los tratamientos de herbicidas, el crecimiento de las plantas que se encontraban en las macetas a las que se les aplicó oxyfluorfen no evidenció ninguna diferencia respecto a las que crecieron en donde no se aplicó ningún herbicida (Figura 7). Sin embargo, el efecto negativo del diurón es notorio y la altura alcanzada por las plantas expuestas a los efectos de este plaguicida fue significativamente menor. No se encontraron diferencias estadísticas ($p= 0.05$) entre los tratamientos de oxyfluorfen y sin herbicida, aunque sí entre éstos y el de diurón (Cuadro 3A).

En la Figura 8 se observa una ligera superioridad (no significativa) en la altura de las plantas a las que se les aplicó la dosis recomendada de fertilizante respecto a las que recibieron únicamente el 30% de ésta. Se considera que no se detectaron mayores diferencias entre ambos tratamientos debido a que el suelo utilizado tenía buena fertilidad.

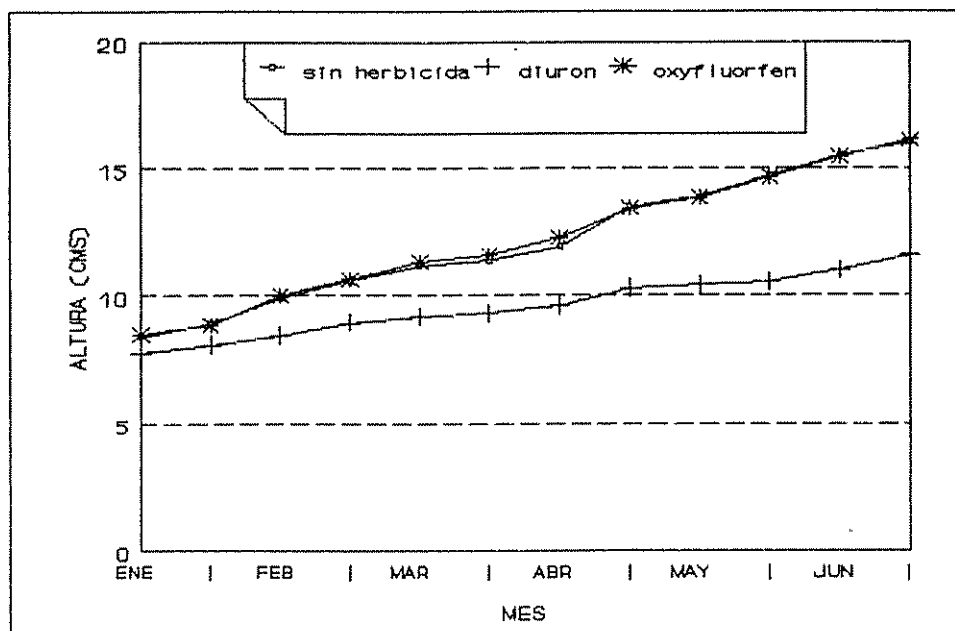


Fig 7. Altura promedio de las plantas bajo diferentes tratamientos de herbicidas.

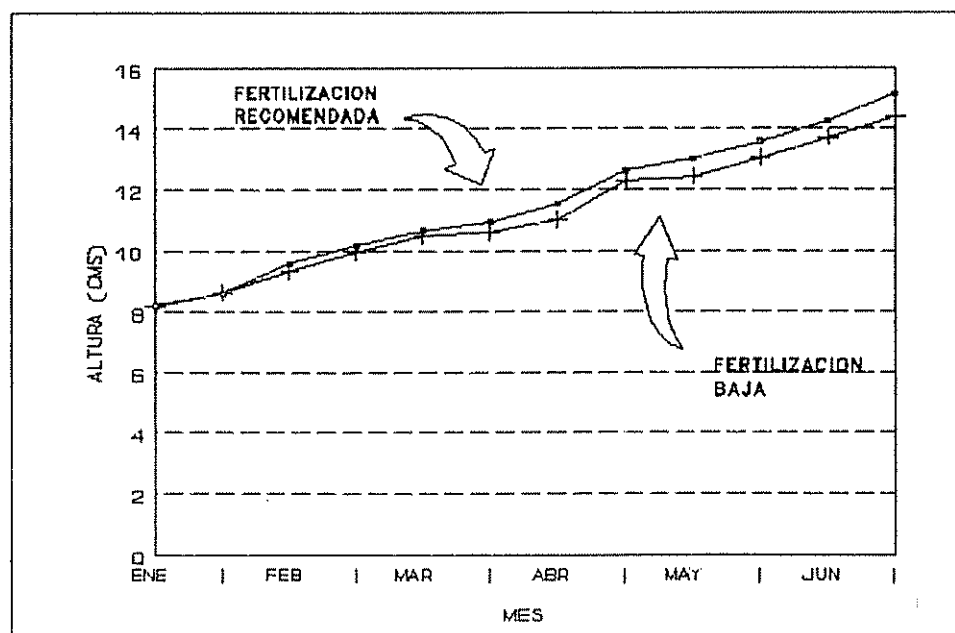


Fig 8. Altura promedio de las plantas bajo dos dosis de fertilización.

La inoculación de *Fusarium spp.* no afectó la altura que las plantas alcanzaron y según se observa en la Figura 9, son mínimas las diferencias que se presentaron entre los tratamientos con y sin patógenos.

Con base en el análisis de varianza realizado con los datos de esta variable (Cuadro 2A) se estableció que no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos de fertilización y patógenos.

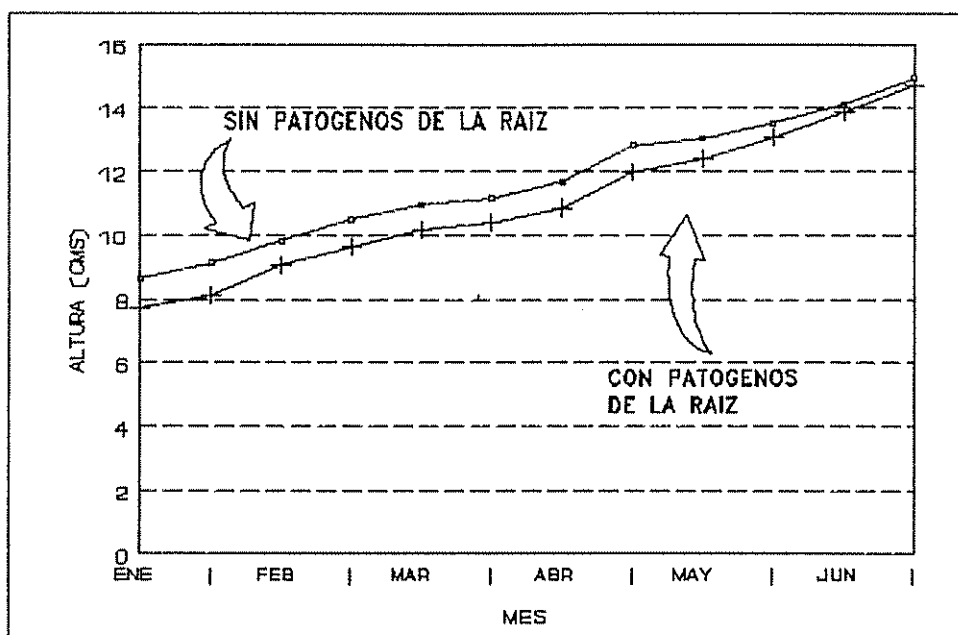


Fig 9. Altura promedio de las plantas con y sin inoculación de patógenos a la raíz.

En la Figura 10 se aprecian las diferencias en la altura alcanzada por las plantas bajo la interacción de los tratamientos de sombra x fertilización, observándose que al no haber efecto de herbicidas ni existir ataque de *Fusarium spp.* en las raíces, la

menor altura se alcanza cuando las plantas crecen a pleno sol y se aplica una dosis baja de fertilización (1.5 g por planta). Esto evidencia que la alta temperatura del suelo alcanzada en las macetas ubicadas a pleno sol no solo incrementa la pérdida de Nitrógeno, sino que al incidir en una mayor evaporación del agua se limita la posibilidad de absorción de nutrimentos, haciéndose esto más perceptible cuando la dosis de fertilización es baja.

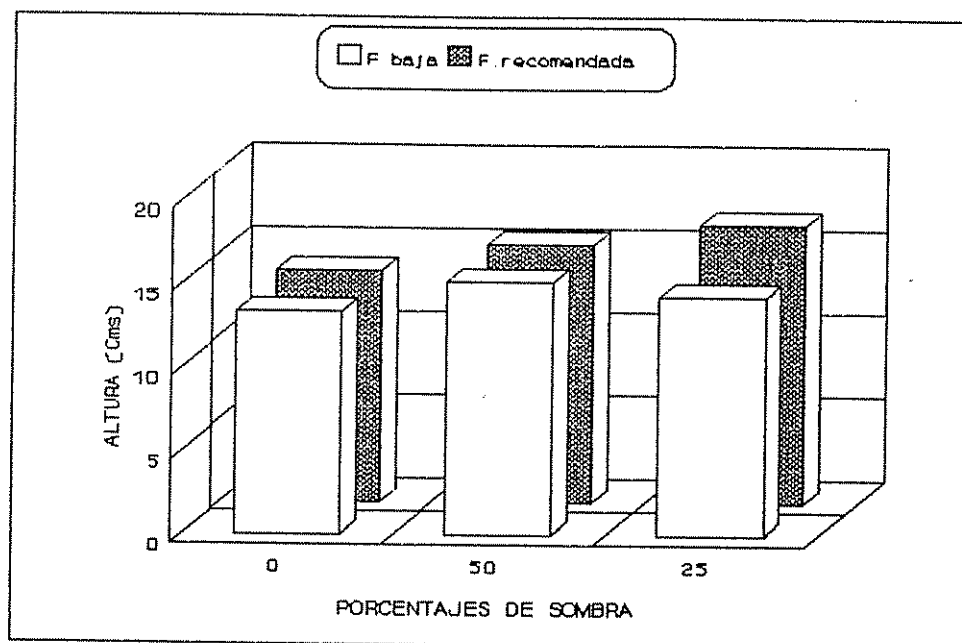


Fig 10. Altura promedio de las plantas bajo la interacción de sombra x fertilización.

En el Cuadro 4A se analiza la altura de las plantas cuando crecen bajo la interacción de herbicidas x fertilización x patógenos dentro de cada porcentaje de sombra. Se observa que la menor altura la alcanzaron las plantas expuestas a plena exposición solar y bajo el efecto de diurón (H1), fertilización baja (Fb) y a la presencia de patógenos (P1), aunque no se

encontraron diferencias estadísticas cuando *Fusarium spp.* estuvo ausente (Po). Esto pone de manifiesto el mayor efecto de estrés que los tratamientos de 100% de luminosidad, el herbicida diurón y la baja fertilización ejercen en la altura alcanzada por las plantas bajo esta interacción.

El análisis realizado con los datos de esta variable evidencia que los factores de estrés a los que se expusieron las plantas ejercen una significativa influencia en la altura que éstas alcanzan, no solo como un efecto directo sino especialmente las distintas interacciones que se presentan entre los tratamientos.

4.6.2 Peso seco de la raíz

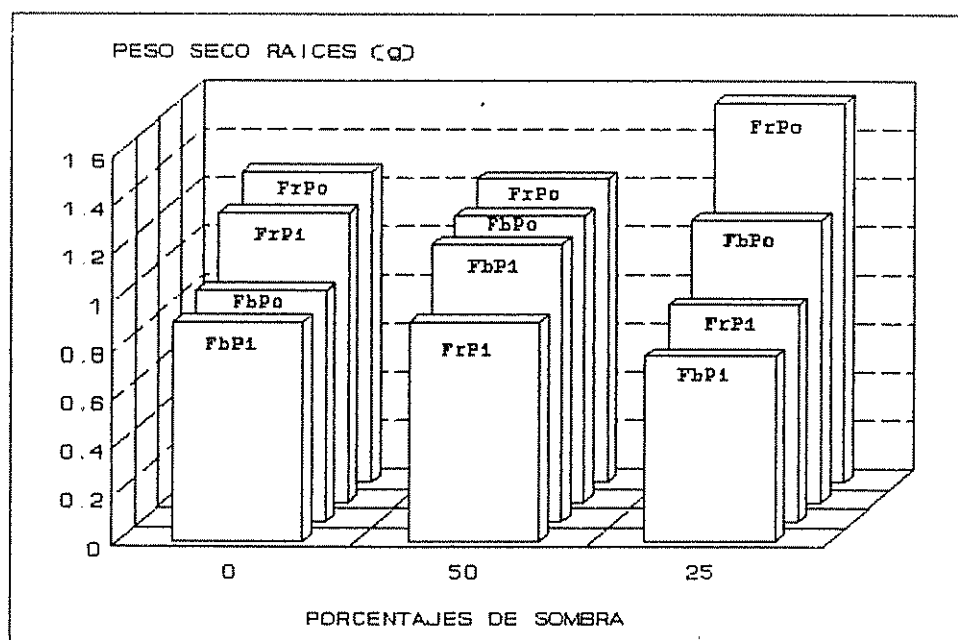
Las plantas fueron retiradas del almácigo al finalizar la fase de campo, se dividieron en la región de la corona y fueron lavadas cuidadosamente. Se introdujeron en un horno eléctrico durante 8 días y posteriormente se pesó la biomasa de la raíz y el follaje con una balanza analítica.

Los resultados del análisis de varianza se anotan en el Cuadro 5A, en donde observamos que únicamente existen diferencias significativas ($Pr > F = 0.0057$) entre los tratamientos de herbicidas, mientras que la fertilización, los porcentajes de sombra y la inoculación de *Fusarium spp.* no muestran diferencias estadísticas.

La prueba Tukey efectuada para los tratamientos de herbicidas ($p = 0.05$) indica que no hay diferencias entre oxyfluorfen y la no utilización del plaguicida (H_0), pero sí entre estos dos y el uso de diurón, en cuyo caso las raíces alcanzaron un peso seco promedio de apenas 0.89 g, siendo entonces este producto el que causó el mayor estrés en perjuicio

del desarrollo de biomasa de las raíces. En el Cuadro 5A también se observa la significancia detectada entre distintas interacciones y las cuales se analizan en los Cuadro 6A, 7A y 8A.

En el primer caso se encontró que el menor peso seco de las raíces se alcanzó cuando las plantas crecieron bajo un 25% de sombra, la fertilización fue baja y *Fusarium spp.* estuvo presente. Lo contrario ocurrió cuando la fertilización utilizada fue la recomendada, el patógeno estuvo ausente y la intensidad de luz fue la misma. En la Figura 11 se presentan las diferencias observadas y se puede notar que bajo el 25% de sombra hay una respuesta más evidente a las distintas interacciones y la heterogeneidad en el peso seco es bastante visible.



Fb= fertilización baja
Po= sin inoculación de *Fusarium spp.*

Fr= fertilización recomendada
Pi= con inoculación

Fig 11. Peso seco promedio de la raíz bajo la interacción fertilización x patógenos dentro de cada porcentaje de sombra.

Cuando no consideramos el nivel de fertilización pero se utilizan herbicidas, las respuestas más evidentes a las distintas interacciones se presentan bajo el 50% de sombra y según se observa en el Figura 12, el estrés más severo se produce cuando bajo éste porcentaje de sombra se utiliza diurón y *Fusarium spp.* ataca a la raíz. En el Cuadro 7A se incluyen los resultados de la prueba Tukey realizada para ésta interacción, observándose que cuando el patógeno está presente en la raíz (P1) no existen diferencias significativas ($p= 0.05$) entre los tres tratamientos de herbicida bajo el 50% de sombra, lo cual hace suponer que el daño causado por *Fusarium spp.* enmascara el efecto negativo que el herbicida pudo ejercer sobre el peso seco de la raíz.

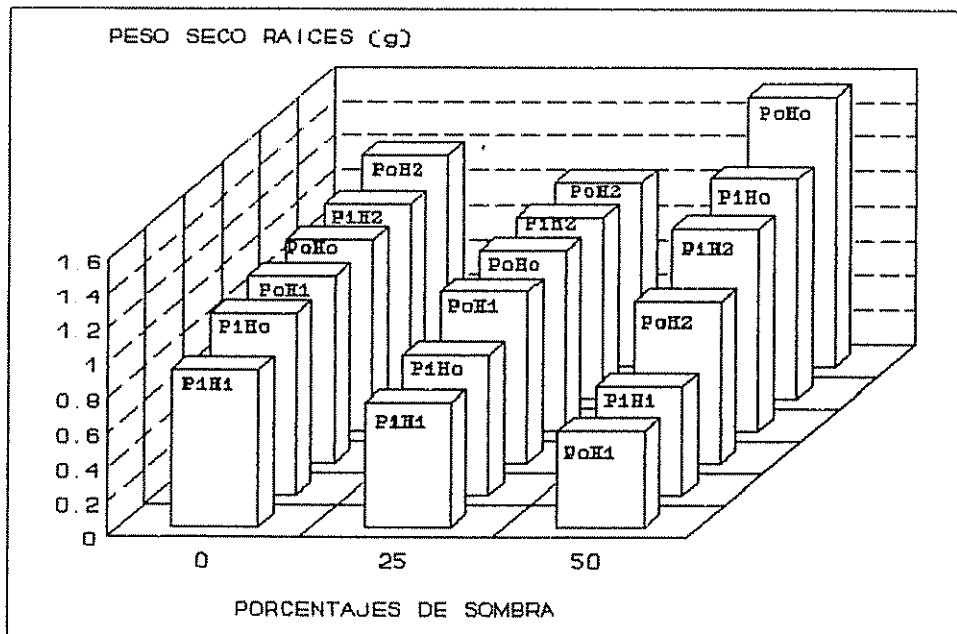
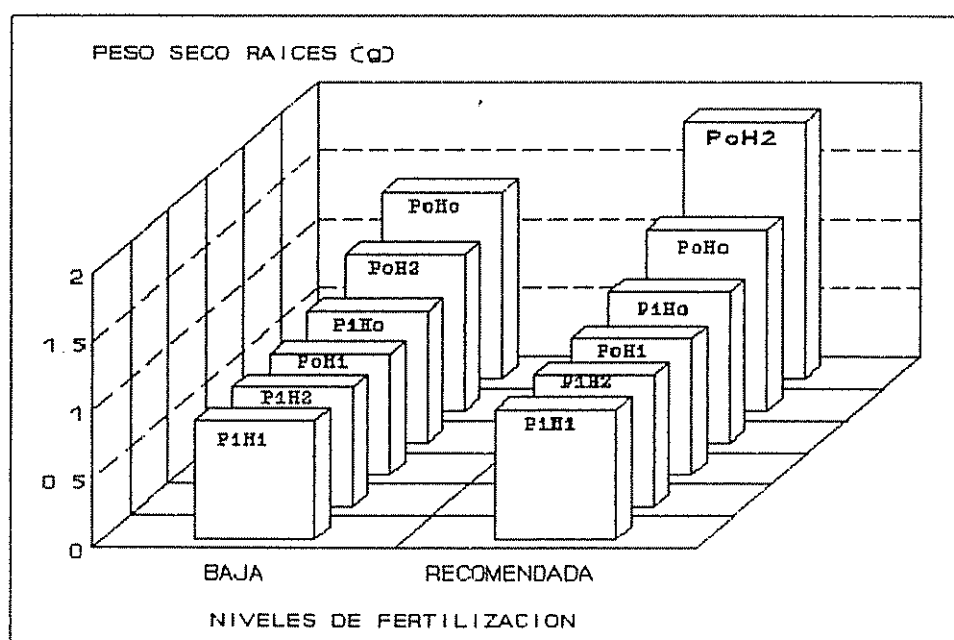


Fig 12. Peso seco promedio de la raíz bajo la interacción patógenos x herbicida dentro de cada porcentaje de sombra.

Al analizar la interacción de patógenos x herbicida (Figura 13) sin considerar el efecto de la intensidad de luz, se observa que al estar ausente *Fusarium spp.* en las raíces, se alcanza el mayor peso seco aún en los tratamientos donde se usó oxyfluorfen pero la dosis de fertilización fue la recomendada. Por el contrario, el uso de fertilización baja, el ataque del patógeno y la aplicación de diurón resulta en la combinación de factores que inducen mayor estrés que redundan en el menor peso seco de las raíces.

En el Cuadro 8A se presentan los resultados de la prueba Tukey para ésta interacción. Se observa que cuando la dosis de fertilización es baja no se detectan diferencias significativas entre los distintos tratamientos, pero sí cuando ésta es la recomendada.



Po= sin inoculación de *Fusarium spp.* P1= con inoculación
 Ho= sin herbicida H1= diurón H2= oxyfluorfen

Fig 13. Peso seco promedio de la raíz bajo la interacción patógenos x herbicida dentro de cada nivel de fertilización.

Es importante resaltar que como se esperaba, los tratamientos que incluyeron la inoculación de *Fusarium spp.* influyeron en que las raíces alcanzaran el menor peso seco. Situación obvia si consideramos que el ataque del patógeno se traduce en una reducida proliferación del sistema radical, lo que a su vez significa una menor capacidad de absorción de nutrimentos y agua.

Se considera que el herbicida diurón, presente siempre en los casos donde hubo un menor peso seco de las raíces, afectó el desarrollo normal de éstas y predispuso a las plantas e incrementó su susceptibilidad al ataque de *Fusarium spp.* y *Phoma costarricensis*.

4.6.3 Peso seco del follaje

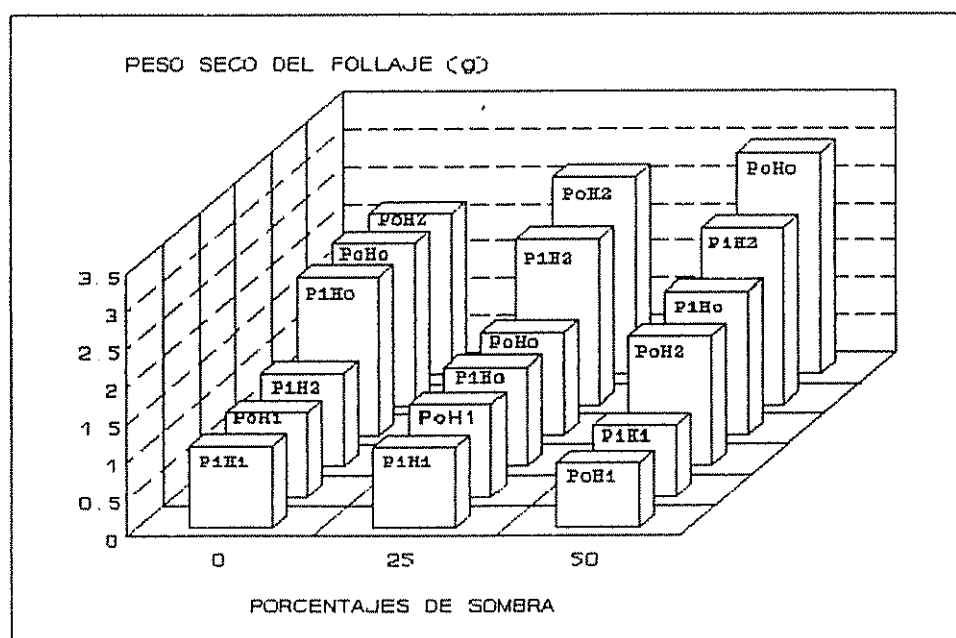
Lo que ocurre al sistema radical de las plantas de alguna manera tiende a evidenciarse en el follaje y en este caso los datos del peso seco de la parte aérea tienen similitud con los de la raíz. En el Cuadro 9A se presentan los datos del análisis de varianza, observándose que los tratamientos de herbicidas muestran diferencias significativas, así como las interacciones de sombra x patógenos x herbicida y fertilización x patógenos x herbicida.

La prueba Tukey realizada para los niveles del factor herbicida ($p= 0.05$) indican que el menor peso seco promedio del follaje (1.04 g) se obtuvo cuando se aplicó diurón, mientras que en los tratamientos de oxyfluorfén y sin herbicida se alcanzó un peso de 2.05 y 2.06 g, respectivamente, encontrándose diferencias significativas entre el primero y los otros dos.

En la Figura 14 se analiza la interacción de patógenos x herbicida dentro de cada porcentaje de sombra y de manera similar

a lo que ocurrió con el peso seco de las raíces, el efecto de estrés más evidente se tuvo cuando se aplicó el herbicida diurón y la luminosidad fue del 50%, aunque ésto ocurrió aún no existiendo el ataque de *Fusarium spp.* a las raíces. Bajo éste mismo porcentaje de sombra se observa también una mayor variación del peso seco, por lo que aquí fue más evidente la respuesta de las plantas a las interacciones de los diferentes tratamientos.

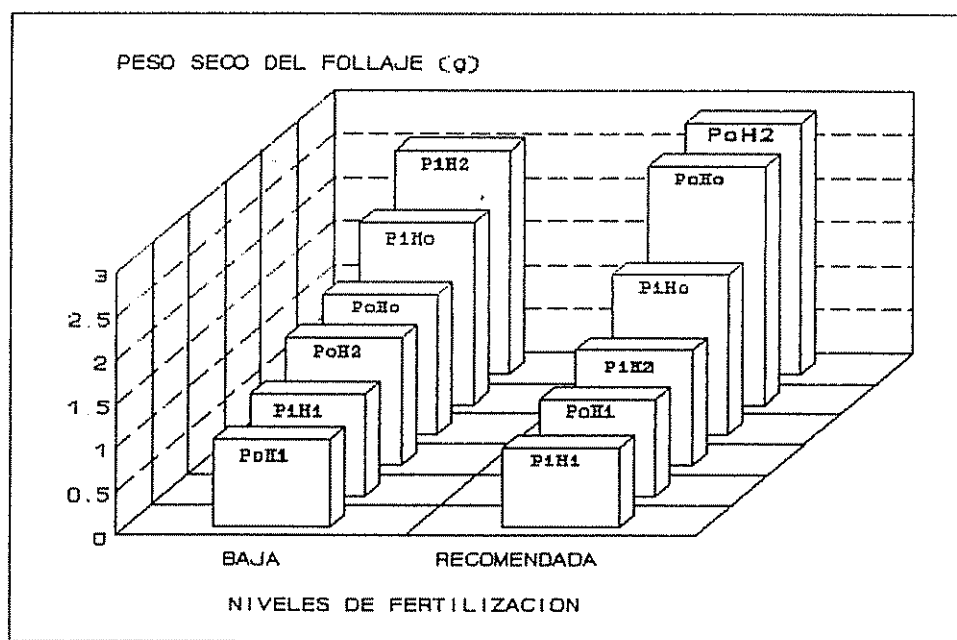
Se realizó la prueba Tukey para los datos de ésta interacción (Cuadro 10A), comprobándose que cuando el porcentaje de sombra es de 50% las diferencias significativas entre los tratamientos se hacen evidentes, lo cual no ocurre cuando se tiene el 100% de luminosidad.



Po= sin inoculación de *Fusarium spp.* Pi= con inoculación
 Ho= sin herbicida Hi= diurón H2= oxyfluorfen

Fig 14. Peso seco promedio del follaje bajo la interacción patógenos x herbicida dentro de cada porcentaje de sombra.

En la Figura 15 se analiza la interacción de patógenos x herbicida y es interesante notar que el menor peso seco promedio del follaje se alcanzó en aquellos tratamientos donde se aplicó diurón, se inoculó *Fusarium spp.* y se utilizó la dosis recomendada de fertilización. Esto significa que el patógeno y el herbicida inhibieron la respuesta de las plantas al fertilizante, puesto que la menor formación de biomasa se produjo aún en los tratamientos donde se utilizó dicha dosis. Esta observación es corroborada por el hecho de que cuando el hongo no se encuentra atacando las raíces y no se aplica diurón, el mayor peso seco se alcanza al utilizar la dosis recomendada de fertilización.



Po= sin inoculación de *Fusarium spp.* Pi= con inoculación
 Ho= sin herbicida H1= diurón H2= oxyfluorfen

Fig 15. Peso seco promedio del follaje bajo la interacción patógenos x herbicida dentro de cada dosis de fertilización.

En el Cuadro 11A se anotan las diferencias estadísticas detectadas entre los distintos tratamientos cuando la fertilización es la recomendada o la equivalente al 30% de la misma. Estos datos, presentados gráficamente en la Figura 15 demuestran que existió bastante homogeneidad en el peso seco promedio del follaje de las plantas dentro de los dos niveles de fertilización, lo que indica que hubo poca respuesta de las plantas a estos tratamientos, no así a la inoculación del hongo y el tipo de herbicida utilizado.

4.7 Efecto de los factores de estrés en la severidad del daño causado por *Fusarium spp.*

Este patógeno fue inoculado al sistema radical de las plantas y al finalizar la fase de campo del experimento se midió la severidad de la enfermedad utilizando el índice propuesto por Carson *et al.* (1991) y el cual fue calculado para cada unidad experimental. Producto del ataque de *Fusarium spp.* se presentaron varias interacciones, ya que las lesiones provocadas por el hongo redujeron la proliferación de raíces y especialmente la formación de pelos absorbentes. Esto se tradujo en un sistema radical poco profuso, menor área de contacto con las partículas del suelo y lógicamente, una menor capacidad de absorción de agua y nutrimentos.

El daño provocado por *Fusarium spp.* influyó no solo en el estrés por nutrición, sino también pudo provocar cierto estrés por humedad, ya que aunque el suelo se encontrara en capacidad de campo, la escasez de pelos absorbentes disminuyó la capacidad de las plantas para tomar agua del suelo. Experimentos realizados con diversos cultivos demuestran que éste es otro de los factores de estrés de importancia en la epidemiología de numerosas enfermedades (Papendick y Cook, 1974; Moore *et al.*, 1974;

Davinderjith y Smalley, 1974; Schoeneweiss, 1975; Schoeneweiss 1979; Schoeneweiss, 1983; International Seminar on Coffee Technology, 1988; Swart *et al.*, 1992).

El análisis de varianza realizado con los datos de ésta variable (Cuadro 12A) detectó diferencias significativas entre los niveles de efectos principales, en la mayoría de las interacciones de primer y en una de segundo orden.

Experimentos realizados por diversos investigadores (Pandey y Wincoxson, 1970; Schoeneweiss, 1975; Kaiser *et al.*, 1981; Jones *et al.*, 1985; Chase y Jones, 1986; Mishra y Singhal, 1992) han demostrado la influencia que la inadecuada intensidad de luz ejerce sobre algunos cultivos al incrementar su susceptibilidad al ataque de patógenos y en esta investigación se comprobó que existe una relación directa entre luminosidad y severidad de daño causado por *Fusarium spp.*

En el Cuadro 13A se presentan los datos de la prueba Tukey realizada para los tres niveles de sombra, en donde se observa que las plantas que crecieron a pleno sol alcanzaron un índice de severidad significativamente mayor que el de las que recibieron el 50 y 75 % de luminosidad. Entre estas dos últimas no se detectaron diferencias estadísticas. Los datos se presentan en la Figura 16.

Durante varios años se ha mantenido la discusión en relación a que si el café debe cultivarse a plena exposición solar o bajo sombrío, sin embargo en la mayoría de los casos el análisis de sus ventajas y desventajas se orienta exclusivamente a la producción. En ésta investigación dirigimos la discusión al efecto que la luminosidad ejerce sobre la mayor o menor severidad y/o incidencia de una enfermedad.

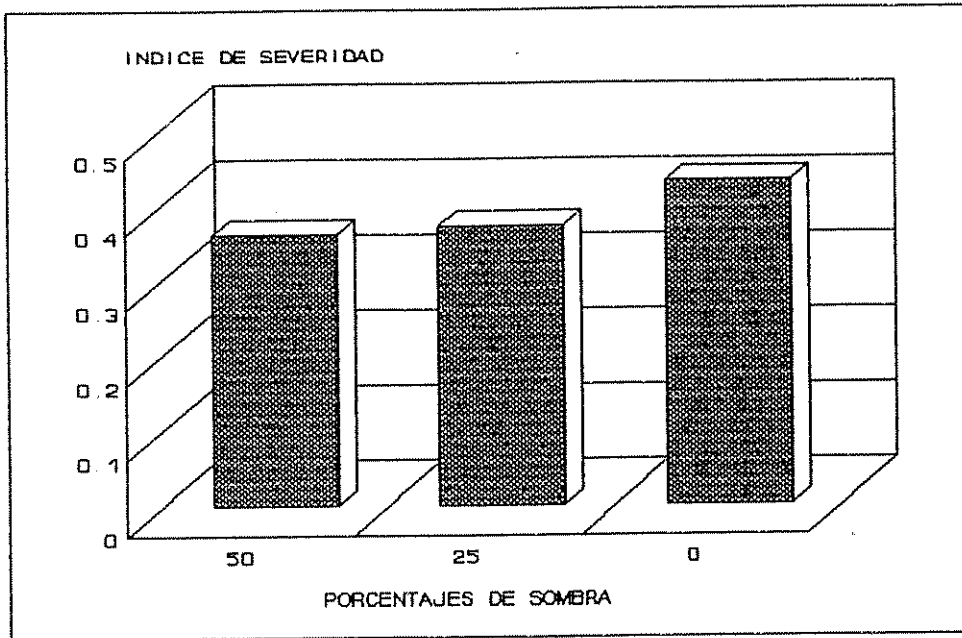


Fig 16. Severidad del daño causado por *Fusarium spp.* bajo tres porcentajes de sombra.

En el Cuadro 2 se presentaron datos sobre la intensidad luminosa y radiación fotosintéticamente activa alcanzada en los tres porcentajes de sombra y se observa que cuando las plantas crecieron al sol se tuvieron niveles considerablemente mayores que los obtenidos en los otros dos tratamientos. Los efectos negativos que esto puede tener sobre un cultivo son analizados por Levitt (1980), Russell *et al.* (1989) y Mishra y Singhal (1992), resaltando el hecho de que se produce fotoinhibición, cierre de estomas, interrupción del intercambio gaseoso y en consecuencia, reducción de la tasa de fotosíntesis.

En el caso del café, se ha comprobado que cuando se expone a radiación fotosintéticamente activa superior a los $140 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se produce un cierre parcial de los estomas, reduciéndose significativamente la eficiencia fotosintética (Coffe Board, 1988-98, a y b).

La reducción o interrupción de la síntesis de carbohidratos se puede traducir en estrés por nutrición, lo cual se incrementa si consideramos que la evapotranspiración es mayor en las plantas expuestas al 100% de luminosidad y la poca disponibilidad de agua en el suelo no solo incrementa las posibilidades de estrés por sequía, sino que limita la absorción de nutrimentos. En la Figura 5 se puede observar que en las macetas ubicadas a pleno sol se alcanzaron temperaturas promedio del suelo cercanas a los 40 °C.

A pesar de que en los tratamientos ubicados a pleno sol el hongo estuvo expuesto a las temperaturas del suelo más extremas, aquí encontró plantas más estresadas y en estas circunstancias la susceptibilidad al ataque de *Fusarium spp.* debió ser mayor.

En el Cuadro 13A también se incluyen los datos de la prueba Tukey realizada para el tratamiento herbicidas, observándose que el uso de diurón incidió en que se alcanzara un mayor índice de severidad de la enfermedad y no se detectaron diferencias entre los otros dos niveles. Llama la atención que el oxyfluorfen presente el menor índice, lo cual evidencia que su uso no afectó en lo absoluto la susceptibilidad del cultivo. En la Figura 17 se observan los índices que se alcanzaron en cada caso.

En ésta investigación se comprobó que cuando el nivel de fertilización utilizado fue bajo la severidad del ataque de *Fusarium spp.* se incrementó ligeramente, situación que es congruente con lo anotado por Huber y Watson (1974), Chase y Poole (1987), Chase y Poole (1989) y Sharma y Sharma (1991). En el Cuadro 13A se aprecian las diferencias encontradas al utilizar los dos niveles y se presentan gráficamente en la Figura 18.

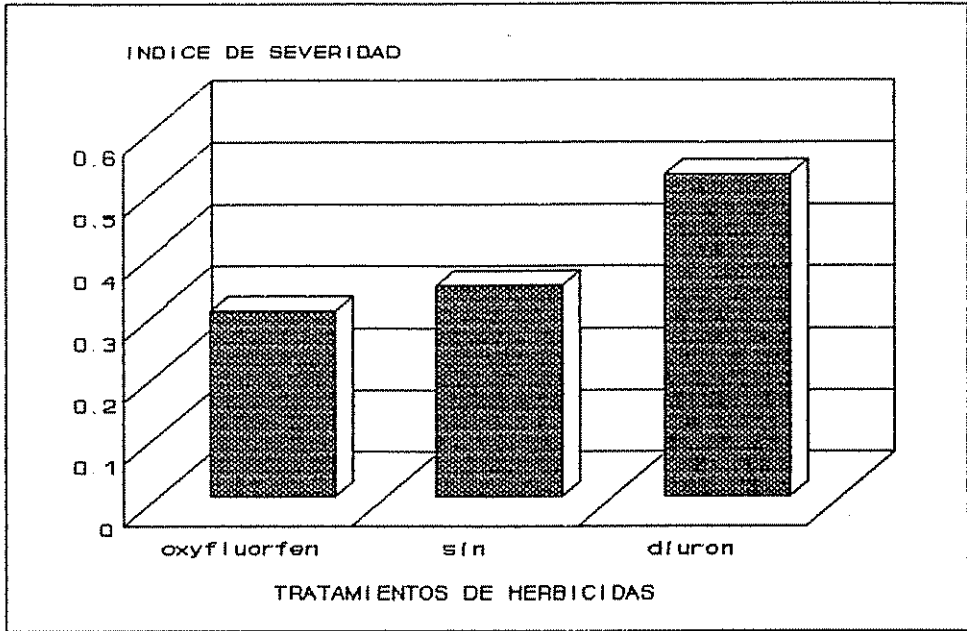


Fig 17. Severidad del daño causado por *Fusarium spp.* bajo el efecto de tres tratamientos de herbicidas.

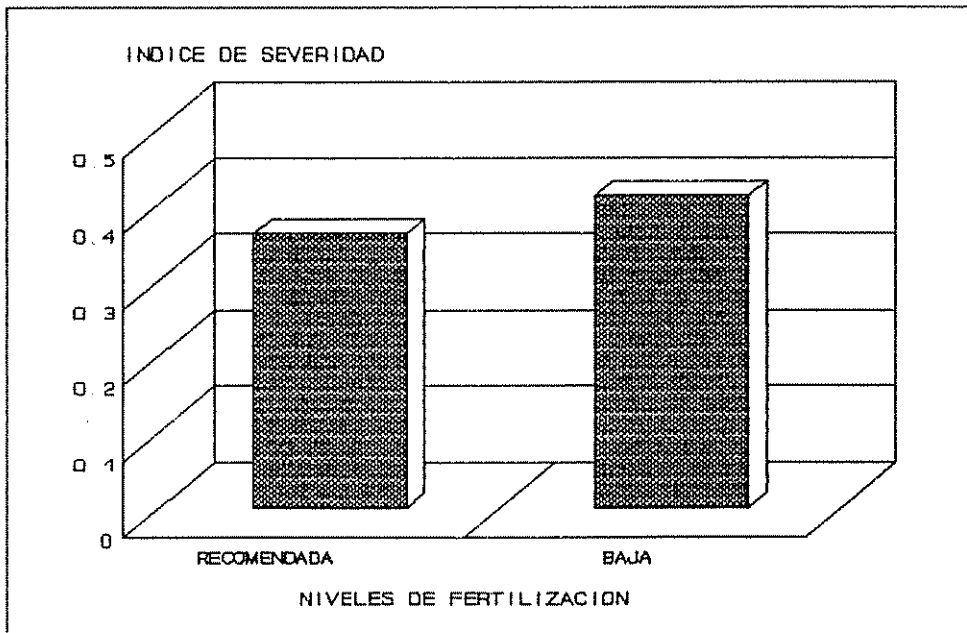


Fig 18. Severidad del daño causado por *Fusarium spp.* bajo el efecto de dos niveles de fertilización.

Investigaciones llevadas a cabo en varios países del trópico han demostrado que algunas especies de plantas incrementan su susceptibilidad al ataque de *Fusarium spp.* cuando existe estrés por sequía, se utilizan herbicidas, se aplican dosis inadecuadas de fertilización y/o existe exceso o déficit de luminosidad (Papendick y Cook, 1974; Gristein *et al.*, 1975; Carson *et al.*, 1991; Geddis y Burgess, 1992).

En el caso específico del café, en Kenia han encontrado que la mayor severidad de daño causado por este organismo está asociada a estrés por condiciones del medio ambiente y Kannan (1986) indica que los principales factores a considerar para no incrementar la susceptibilidad de los cafetales a *Fusarium spp.* son la sombra adecuada y la aplicación balanceada de nutrimentos.

En esta investigación se llega a resultados similares, pero al analizar las interacciones que se presentaron (Cuadro 14A) se comprobó que la combinación de 0 ó 25% de sombra y el uso de diurón resultó en los mayores índices de severidad (0.52 y 0.50, respectivamente), mientras que no se observan diferencias estadísticas entre los tratamientos de oxyfluorfén y sin herbicida dentro de los tres porcentajes de sombra.

En la Figura 19 se observan los índices alcanzados, los cuales fueron siempre más altos en los tratamientos ubicados a plena exposición solar.

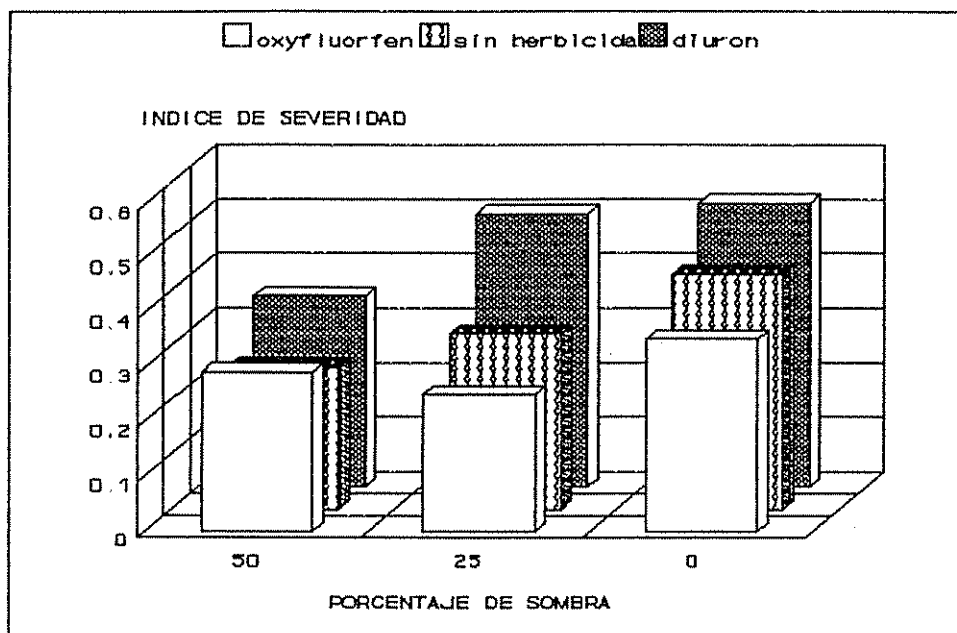


Fig 19. Severidad del daño causado por *Fusarium spp.* bajo la interacción sombra x herbicida.

4.8 Efecto de los factores de estrés en la incidencia de *Phoma costarricensis*

Aún cuando no se realizó inoculación de patógenos del follaje, se esperaba que algún hongo de este tipo pudiese colonizar e infectar las plantas, por lo que periódicamente se midió la incidencia de enfermedades de la parte aérea.

Inicialmente se presentó el ataque de *Cercospora coffeicola*, aunque su incidencia fue temporal e insignificante, por lo que no se registró su comportamiento. Casi simultáneamente se estableció *Phoma costarricensis*, hongo que colonizó agresivamente el follaje de las plantas y persistió durante todo el tiempo que el experimento permaneció en el campo.

La incidencia de *P. costarricensis* dañó los tejidos del follaje y provocó la defoliación continua de las plantas al formarse capas de abscisión en la base del pecíolo de las hojas, lo que a su vez hubo de redundar en una menor tasa de fotosíntesis en aquellas que presentaron el mayor grado de ataque de la enfermedad.

El ataque de este patógeno redujo drásticamente el crecimiento de las plantas, lo cual es uno de los síntomas característicos del síndrome del mismo pues tiende a dañar especialmente las regiones de tejidos jóvenes y en pleno desarrollo, provoca la defoliación prematura y el crecimiento de las plantas es lento o se detiene al ocurrir la muerte de las partes terminales (Carvajal, 1984; Programa Cooperativo ICAFE-MAG; 1989; Regalado y Villanueva, 1990).

La incidencia de la enfermedad se tradujo en defoliaciones, poco crecimiento, necrosis y estrangulamiento de hojas y tallos tiernos en el ápice de las plantas, por lo que además de los daños mencionados anteriormente, el ataque de *P. costarricensis* también significó una menor producción de biomasa en las que fueron infectadas.

Es obvio entonces que el estrés que originalmente incrementó la susceptibilidad de las plantas, también tuvo una influencia indirecta en la reducción del área fotosintética.

Para el combate del hongo, preventivamente se realizaron aspersiones periódicas de clorotalonil (Daconil 2787 W-75 o Bravo), no obstante, el hongo se estableció y persistió durante todo el tiempo que duró el experimento. Esto indica que aparentemente el fungicida resulta inefectivo al encontrarse las plantas sometidas a condiciones de estrés e incapaces de

desarrollar plenamente el potencial de sus mecanismos de defensa, siendo insuficiente la acción por sí sola del químico contra el patógeno.

En la Figura 20 se observa la evolución que tuvo la enfermedad bajo los tres porcentajes de sombra, comprobándose que la mayor incidencia se alcanzó en las plantas expuestas a plena exposición solar y la más baja en las que recibieron únicamente el 50% de luminosidad.

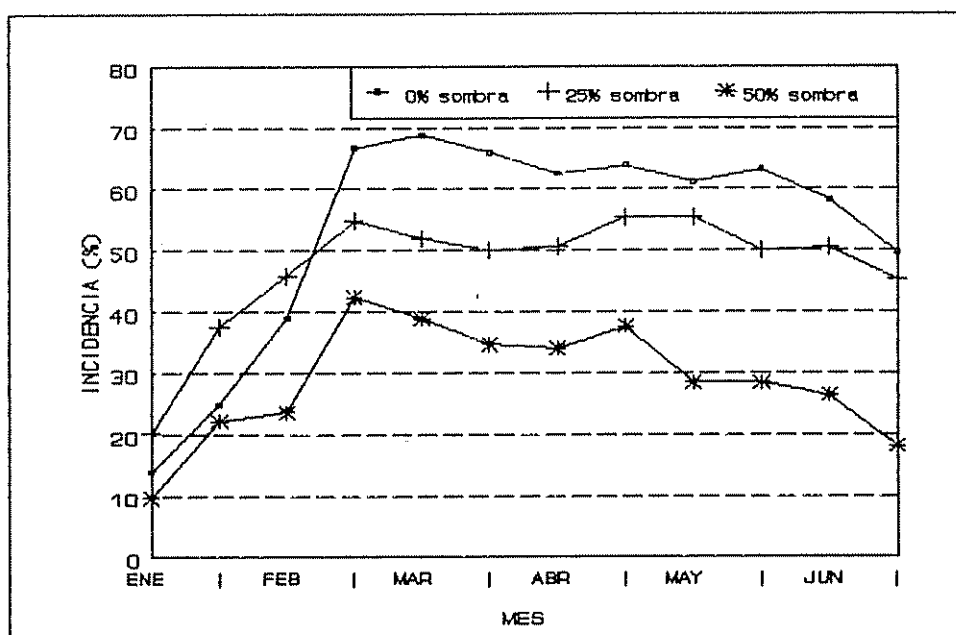


Fig 20. Incidencia de *P. costarricensis* bajo diferentes porcentajes de sombra.

A pesar de que inicialmente se esperaba una menor incidencia de la enfermedad en las plantas expuestas a 50 y 75% de luminosidad, se considera que la fuente permanente de inóculo que significó la presencia continua de plantas enfermas en los

tratamientos ubicados a plena exposición solar redundó en la contaminación de las primeras.

Es interesante observar que durante los meses de enero y febrero se incrementó drásticamente el ataque del hongo, lo que aparentemente está relacionado al hecho de que en esta época las plantas se encontraban en su fase de adaptación, el tamaño era reducido y los tejidos estaban tiernos, las cuales son condiciones ideales para el ataque de este patógeno que tiende a dañar especialmente las regiones de tejidos jóvenes y en pleno crecimiento. Posiblemente las temperaturas bajas que se presentaron en esos meses favorecieron el desarrollo del hongo (Programa Cooperativo ICAFE-MAG, 1989; Regalado y Villanueva, 1990).

La alta luminosidad prevaleciente en los tratamientos expuestos a pleno sol causó quemaduras al follaje, por lo que el establecimiento y penetración del hongo se facilitó, constituyéndose en importante fuente de inóculo para las plantas ubicadas bajo sombra.

En el Cuadro 15A se presenta el análisis de varianza para los datos de esta variable, observándose diferencias significativas entre los porcentajes de sombra y tipo de herbicida utilizado. También se detectaron diferencias estadísticas en la interacción patógenos x herbicidas. Los datos anotados en el Cuadro 16A demuestran que a pesar de que el porcentaje de incidencia fue mayor en las plantas expuestas a pleno sol, no existieron diferencias estadísticas respecto a la que se alcanzó bajo el 25% de sombra.

La incidencia de *P. costarricensis* provocó la defoliación continua de las plantas afectándose negativamente el crecimiento, lo que debió incrementar el estrés por nutrición al disponerse de una menor área foliar.

También debe considerarse que la alta intensidad de luminosidad afecta la permeabilidad de la membrana celular, produce fotoinhibición, los tejidos protectores externos se desarrollan pobremente, hay ausencia de ceras, se inhibe la respiración y/o altera la actividad de muchas enzimas (Levitt, 1980), por lo que la ocurrencia de uno o varios de estos daños debió contribuir al incremento en la susceptibilidad del café al ataque de *P. costarricensis*.

En la Figura 21 se observa el comportamiento de la enfermedad bajo el efecto de tres tratamientos de herbicidas. Es evidente que no existen diferencias en la evolución de la incidencia del patógeno en las plantas tratadas con oxyfluorfen y el tratamiento que no incluyó herbicidas, aspecto que es corroborado por la prueba Tukey realizada con éstos datos (Cuadro 16A).

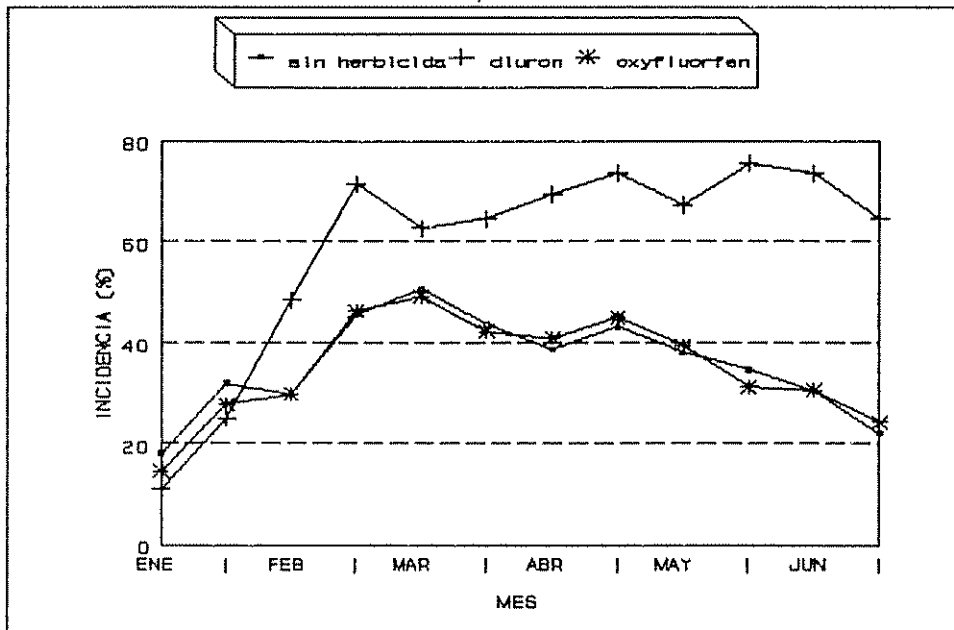


Fig 21. Incidencia de *P. costarricensis* bajo diferentes tratamientos de herbicidas.

La predisposición que diurón indujo al cultivo constituye un resultado similar al obtenido por varios investigadores que, aunque trabajando con diferentes especies y otros herbicidas han comprobado el estrés que éstos inducen, incrementando la susceptibilidad a ciertas enfermedades (Percich y Lockwood, 1975; Johal y Raje, 1984; Rovira y McDonald, 1986; Carson, 1991; Ben-Yephet *et al.*, 1991).

En la Figura 22 se observa la evolución de la enfermedad bajo el efecto de dos dosis de fertilización. Contrario a lo que se esperaba, a pesar de que la incidencia fue ligeramente mayor en las plantas que recibieron la dosis baja, no se detectaron diferencias significativas entre ambos tratamientos (Cuadro 15A).

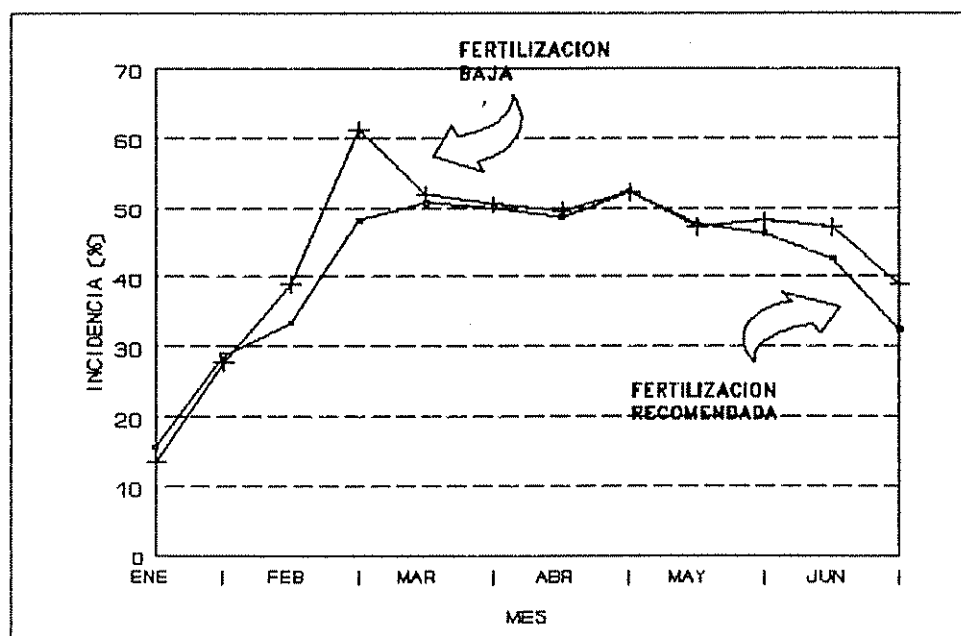


Fig 22. Incidencia de *P. costarricensis* bajo dos dosis de fertilización.

Se considera que la buena fertilidad del suelo utilizado (Cuadro 1A) y las adecuadas características que éste reunía para el establecimiento del almácigo (Valencia *et al.*, 1990) influyeron en que no se pudieran observar diferencias entre ambos tratamientos, enmascarándose los efectos que una dosis baja pudo ejercer en la susceptibilidad del cultivo a la enfermedad.

En las plantas a las cuales se les inoculó *Fusarium spp.*, el patógeno influyó muy levemente en el mayor porcentaje de incidencia que se alcanzó en éstas (Figura 23) y no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos con y sin inoculación (Cuadro 15A). Evidentemente, los daños causados por *Fusarium spp.* a las raíces no fueron lo suficientemente graves como para traducirse en una mayor predisposición del cultivo al ataque de la enfermedad foliar.

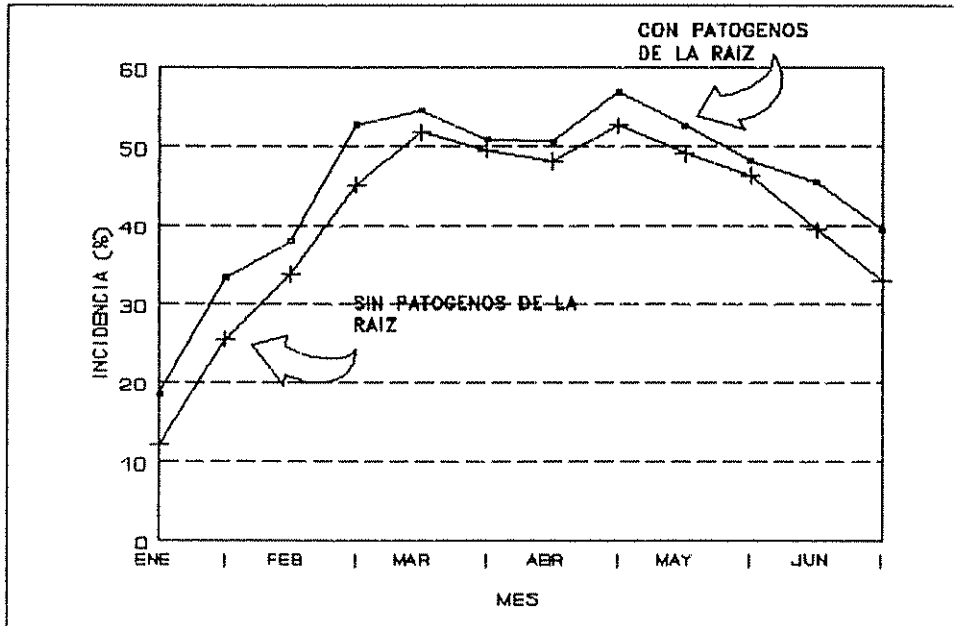


Fig 23. Incidencia de *P. costarricensis* en plantas con y sin inoculación de *Fusarium spp.*

En la Figura 24 se comparan los porcentajes de incidencia alcanzados en los distintos niveles de los tratamientos de sombra y herbicidas, observándose que la enfermedad fue más alta cuando se utilizó diurón.

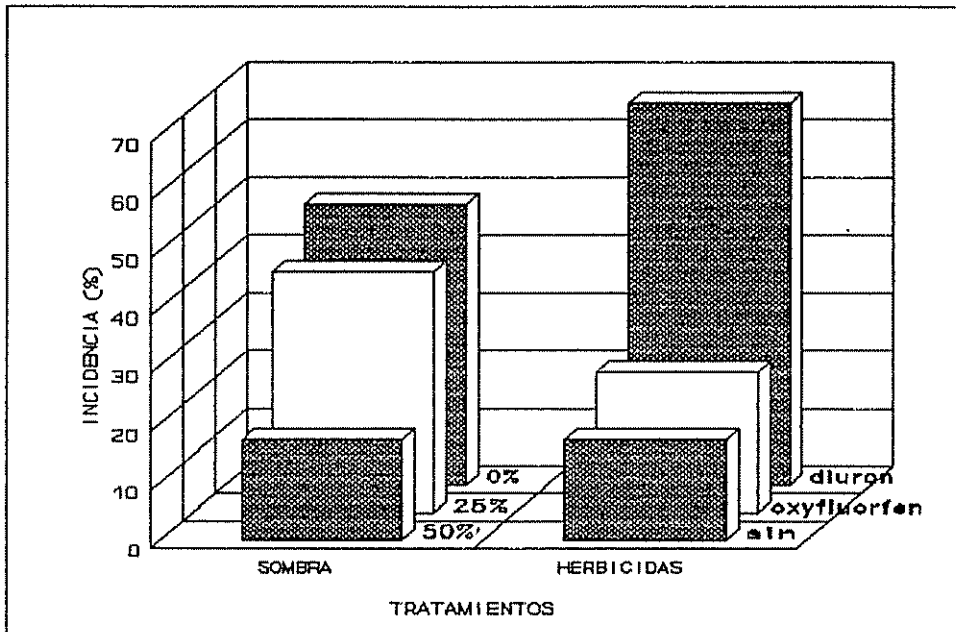


Fig 24. Incidencia de *P. costarricensis* bajo diferentes factores de estrés.

Al considerar la interacción de patógenos con herbicidas sí se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y como se aprecia en el Cuadro 17A, la incidencia fue más alta en las plantas a las cuales se les inoculó *Fusarium spp.* y se aplicó diurón. En la Figura 25 se observa que el porcentaje alcanzado en este caso fue marcadamente mayor. Aparentemente esto se debe a que se produjo un sinerjismo entre el patógeno y el herbicida.

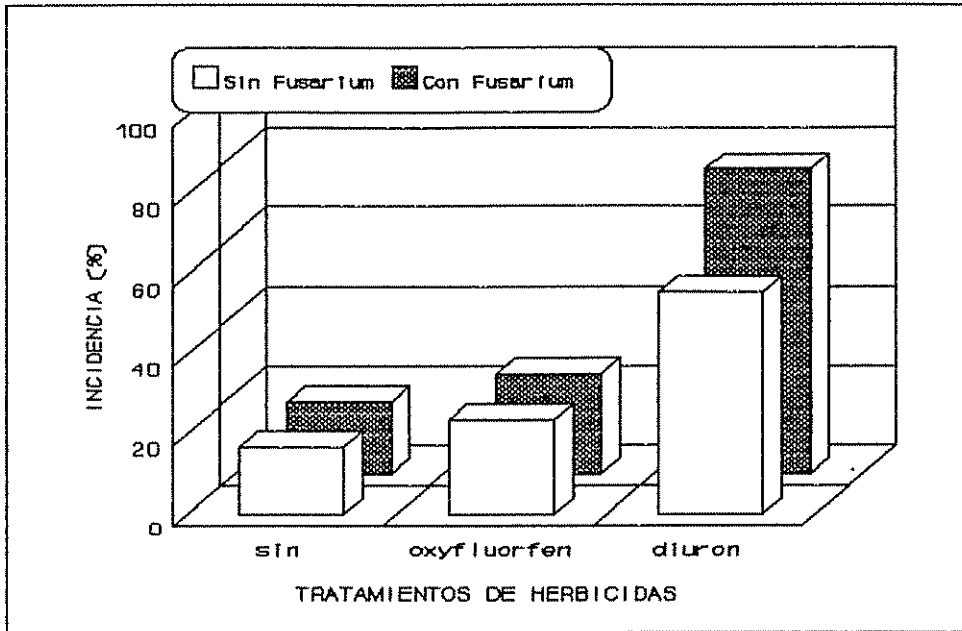


Fig 25. Incidencia de *Phoma costarricensis* bajo la interacción herbicidas x patógenos.

4.9 Discusión final

En el Cuadro 3 se presenta el resumen de los análisis de varianza que fueron discutidos y con base en los cuales se comprobó que algunos de los factores de estrés y varias de sus interacciones inciden en el desarrollo general de las plantas de café y juegan un importante papel al predisponerlas al ataque de patógenos del follaje y la raíz, por lo que deben ser considerados dentro de un programa de manejo integrado de plagas a fin de evitar las condiciones que los provocan.

Cuadro 3. Resumen de los análisis de varianza para las variables evaluadas.

Fuente de variación	Pr > F				
	Altura (cm)	PSR (g)	PSF (g)	IS	I (%)
Sombra	0.0021 **	0.9321 ns	0.8320 ns	0.0001 **	0.0001 **
Fert	0.1132 ns	0.0588 ns	0.2999 ns	0.0012 **	0.2239 ns
Patog	0.7067 ns	0.1146 ns	0.2981 ns	0.0001 **	0.1522 ns
Herbic	0.0001 **	0.0057 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **
Sombra x fert	0.0373 †	0.1085 ns	0.1953 ns	0.1618 ns	0.9874 ns
Sombra x herbic	0.1889 ns	0.0001 **	0.0073 **	0.0011 **	0.0804 ns
Sombra x patog	0.9079 ns	0.8425 ns	0.8602 ns	0.0001 **	0.7874 ns
Fert x patog	0.0525 ns	0.0071 **	0.0001 **	0.0012 **	0.4361 ns
Fert x herbic	0.4751 ns	0.1180 ns	0.3374 ns	0.0570 ns	0.3917 ns
Patog x herbic	0.5008 ns	0.2399 ns	0.8025 ns	0.0001 **	0.0408 †
Sombra x fert x herbic	0.4231 ns	0.4002 ns	0.5565 ns	0.3623 ns	0.5627 ns
Sombra x fert x patog	0.4953 ns	0.0443 †	0.1297 ns	0.1618 ns	0.4696 ns
Sombra x patog x herbic	0.8738 ns	0.0010 **	0.0323 †	0.0011 **	0.7478 ns
Fert x patog x herbic	0.3030 ns	0.0012 **	0.0109 †	0.0570 ns	0.4528 ns
Sombra x fert x patog x herbic	0.0011 **	0.0943 ns	0.1319 ns	0.3623 ns	0.6908 ns

PSR= peso seco raíz

PSF= peso seco follaje

IS= índice de severidad del ataque de *Fusarium spp.*

I= incidencia de *Phoma costarricensis*.

ns= no significativo

† significativo al 5% ** significativo al 1%

La continua lucha del hombre por obtener los mayores rendimientos por unidad de área lo induce a utilizar técnicas que contribuyen a lograrlo. No obstante, frecuentemente éstas provocan estrés al cultivo, lo que luego se traduce en altos niveles de incidencia o severidad de enfermedades que, en éste caso, han sido inducidas por él mismo.

Brindarle la importancia debida a la predisposición puede significar la reducción de problemas patológicos en el cafetal, la utilización de pocas y/o sencillas tácticas de control compatibles con el medio ambiente y menores costos de producción que pueden contribuir a marcar la diferencia entre un cultivo que reporte pérdidas y uno altamente rentable.

5. CONCLUSIONES

1. Las plantas de café pueden ser dañadas considerablemente cuando son atacadas por *Fusarium spp.* o *Phoma costarricensis*, especialmente si sus requerimientos de cultivo no son los óptimos y están expuestas a condiciones de estrés.
2. El efecto de los factores de estrés no se manifestó de manera uniforme sobre las variables de crecimiento, sin embargo, las consecuencias sí fueron evidentes en algunas de las interacciones.
3. Alta luminosidad, presencia de residuos de diurón en el suelo del almácigo y baja fertilización constituyen los factores de estrés más importantes que incrementan la susceptibilidad del cultivo al ataque de *Fusarium spp.*
4. La exposición de las plantas al 75 ó 100% de luminosidad y la presencia de residuos de diurón fueron los factores de estrés que afectaron significativamente la incidencia de *Phoma costarricensis*, la cual fue mayor (76.38%) especialmente cuando se produjo un sinerjismo entre el ataque de *Fusarium spp.* y los efectos del herbicida diurón.
5. Los residuos del herbicida diurón afectaron negativamente todas las variables de crecimiento y predispusieron a las plantas al ataque de *Fusarium spp.* y *P. costarricensis*.
6. Al establecer el almácigo bajo el 50% de sombra, utilizar suelo sin residuos de diurón y aplicar dosis adecuadas de fertilización se reducen las condiciones de estrés para el cultivo, en cuyo caso la importancia fitopatológica de *Fusarium spp.* y *Phoma costarricensis* es mínima.

6. RECOMENDACIONES

1. Establecer los almácigos de café bajo un 50% de sombra y previo análisis del suelo, aplicar la dosis adecuada de fertilización.
2. En el almácigo utilizar suelo libre de residuos de diurón, debido a la influencia que tiene al incrementar la incidencia y severidad de enfermedades del cultivo.
3. Profundizar en el estudio de los factores de estrés y el papel que juegan en la predisposición del café a las enfermedades, extendiendo las investigaciones a plantaciones en producción y considerando más patógenos del cultivo y otros herbicidas de uso común en el cafetal.
4. En estas investigaciones incluir un componente de análisis económico para evaluar las ventajas que evitar el estrés significan para la reducción de los costos de control de enfermedades y la rentabilidad del cultivo.
5. Extender este tipo de estudios a otros cultivos, identificando los principales factores de estrés que les afectan a fin de prevenir complicaciones posteriores en el manejo de las enfermedades en el campo.

7. LITERATURA CITADA

- AGRIOS, G. 1985. Fitopatología. Trad. por Manuel Guzmán. México. Limusa. 756 p.
- ADSUAR, J. 1965. Enfermedades del cafeto en Puerto Rico. Revista de Agricultura de Puerto Rico. (P.R.). 44(2):133-135.
- ALTMAN, J. 1981. Influence of trifluralin and eptam on *Fusarium* infection and *Rhizobium* nodulation in pinto beans. Phytopathology. (EE.UU.). 71(8):857 (Abstr.)
- _____; CAMPBELL, C. 1977. Effect of herbicides on plant disease. Annual Review of Phytopathology. (EE.UU.). 15:361-385.
- _____. 1972. Increasead glucose exudate and damping-off in sugar beets in soil treated with herbicides. Phytopathology. (EE.UU.). 62:743 (Abstr.).
- BAKER, C. 1972. *Fusarium solani* associated with a wilt of *Coffea arabica* in kenya. East African Agricultural and Forestry Journal. (Kenya). '38(12):137-140.
- BARNES, E. 1979. Atlas and manual of plant pathology. New York. Plenum Press. 325 p.
- BARNETT, H.; HUNTER, B. 1986. Illustrated genera of imperfect fungi. New York. Macmillan. 218 p.
- BAUSKE, E.; KIRBY, H. 1992. Effects of dinitroanilina herbicides carboxin-pentachloronitrobenzene seed treatment, and *Rhizoctonia* disease on soybean. Plant Disease. (EE.UU.). 76:236-239.
- BAWDEN, F.; KASSANIS, B. 1950. Some effects of host nutrition of the susceptibility of plants to infection by certain viruses. Annals of Applied Biology. (G.B.). 37(1):46-57.
- _____; ROBERTS, F. 1948. Photosynthesis and predisposition with certain viruses. The Annals of Applied Biology. (G.B.). 35(1):418-428.
- _____; ROBERTS, F. 1947. The influence of light intensity on the susceptibility of plants to certain viruses. The Annals of Applied Biology. (G.B.). 39:286-296.

- BEDDIS, A.; BURGESS, L. 1992. The influence of plant water stress on infection and colonization of wheat seedlings by *Fusarium graminearum* group 1. *Phytopathology*. (EE.UU.). 82:78-83.
- BEDI, P.; DHIMAN, J. 1983. Influence of nitrogen, phosphorus and potassium on the development of early blight of tomato. *Indian Phytopathology*. (India). 36(3):546-548.
- BEN-YEPHET, Y.; MHAMEED, S.; FRANK, Z.; KATAN, J. 1991. Effect of the herbicide ethalfluralin on net blotch disease of peanut pods. *Plant Disease*. (EE.UU.). 75:1123-1126.
- BLAKER, N.; MacDONALD, J. 1981. Predisposition effects of soil moisture extremes on the susceptibility of *Rhododendron* to *Phytophthora* root and crown rot. *Phytopathology*. (EE.UU.). 71:831-834.
- BOLLEN, W. 1969. Interactions between pesticides and soil microorganisms. *Annual Review of Microbiology*. (EE.UU.). 15:69-92.
- BOOTH, C. 1977. *Fusarium*. England. Commonwealth Mycological Institute. 58 p.
- _____. 1971. *The genus Fusarium*. England. Eastern Press. 237 p.
- BOYER, J. 1971. Nonstomatal inhibition of photosynthesis in sunflowers at low leaf water potential and high intensities. *Plant Physiology*. (EE.UU.). 48:532-536.
- CARSON, M.; ARNOLD, W.; TODT, P. 1991. Predisposition of soybean seedling to *Fusarium* root rot with trifluralin. *Plant Disease*. (EE.UU.). 75(4):342-347.
- CARVAJAL, J. 1984. Cafeto-cultivo y fertilización. 2a. ed. Suiza. Instituto Internacional de la Potasa. 141 p.
- CASTAÑO, J. 1990. Principios básicos de fitopatología. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 320 p.
- CHASE, A. 1989. Effect of nitrogen and potassium fertilizer rates on severity of *Xanthomonas* blight of *Syngonium podophyllum*. *Plant Disease*. (EE.UU.). 73:972-975.
- _____; POOLE, R. 1987. Effects of fertilizer rates on severity of *Xanthomonas* leaf spot of schefflera and dwarf schefflera. *Plant Disease*. (EE.UU.). 71:527-529.

- _____ ; JONES, J. 1986. Effects of host nutrition, leaf age, and preinoculation light levels on severity of leaf spot of dwarf schefflera caused by *Pseudomonas cichorii*. Plant Disease. (EE.UU.). 70:561-563.
- _____ ; POOLE, R. 1986. Effects of fertilizer rates on severity of *Alternaria* leaf spot of three plant in the Araliaceae. Plant Disease. (EE.UU.). 70(12):1144-1145.
- CHRISTIANSEN, N. 1979. Organization and conduct if plant stress research to increase agricultural productivity. *In* Stress physiology in crop plants. Ed. by Harry Mussell and Richard Staples. New York. John Wiley & Sons. 1-14 p.
- COAST, K.; CHANT, S. 1970. The effect of light wavelength on the susceptibility of plants to virus infection. Annals of Applied Biology. (G.B.). 65:403-409.
- COFFEE BOARD. 1988-89a. Forty ninth annual report. Karnataka State, India. Green Fields Engineering Corp. 408 p.
- _____.. 1988-89b. Forty second annual report. Karnataka State, India. Jwalamkhijob Press. 395 p.
- COLE, A.; BATSON, W. 1975. Effects of diphenamid on *Rhizoctonia solani*, *Pythium aphanidermatum*, and damping-off of tomato. Phytopathology. (EE.UU.). 65(4):431-434.
- COLHOUM, J. 1973. Effects of environmental factors on plant disease. Annual Review Phytopathology. (EE.UU.). 11:343-364.
- COUCH, H.; BLOOM, J. 1960. Influence of environmental on diseases on of turfgrasses. II. Effect of nutrition, pH, and soil moisture on *Sclerotinia* dollar spot. Phytopathology. (EE.UU.). 50:761-763.
- CRIST, C.; SCHOENEWEISS, D. 1975. The influence of controlled stresses on susceptibility of European white birch stem to attack by *Botryphaeria dothidea*. Phytopathology. (EE.UU.). 65:369-373.
- CURSO REGIONAL SOBRE FUNDAMENTOS DE CAFICULTURA MODERNA. (7., 1989, Antigua Guatemala, Gua.). 1989. Curso. Mario Araya Vargas. Guatemala. IICA. 56 p.
- DAVINDERJITH, B.; SMALLLEY, R. 1974. The development of *Hypoxylon* canker of *Populus tremuloides*: role of interacting environmental factors. Phytopathology. (EE.UU.). 64:658-662.

- DAWSON, J.; BRUNS, V.; CLORE, J. 1968. Residual monuron, diuron and simazine in a vineyard soil. Weed Science Society of America. (EE.UU.). 16(1):63-65.
- DEVADATH, S.; DATH, P.; JAIN, R. 1987. Effect of shade, nitrogen, water logging and inoculum concentration on the incidence of bacterial blight of rice. Indian Phytopathology. (India). 40(4):529-530.
- EL-KHADEM, M.; PAPAIVIZAS, G. 1984. Effect of the herbicides EPTC and linuron on cotton diseases caused by *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum*. Plant Pathology. (EE.UU.). 33:411-416.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETALEROS DE COLOMBIA. 1988. Tecnología del cultivo del café. Colombia. Cafetera. 404 p.
- FILANI, G. 1975. The occurrence and prevention of root and stem rot of coffee seedling in Nigeria. Plant Disease Reporter. (EE.UU.). 59(2):137-139.
- FONDO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. 1988. Paquete tecnológico para la producción de café. Venezuela. Santiago Hnos. 192 p.
- FOSTER, R. 1947. Predisposition of tomato to *Fusarium* wilt. Journal of Agricultural Research. (EE.UU.). 74(5):165-185
- FRENCH, E.; HEBERT, T. 1980. Métodos de Investigación Fitopatológica. Costa Rica. IICA. 289 p.
- GILBERTSON, R.; RUPPEL, E.; SCHWEIZER, E. 1987. Effects of herbicides on root rot of pinto bean, weeds and two soilborne fungi. Plant Disease. (EE.UU.). 71(7):627-629.
- GRAU, C.; REILING, T. 1977. Effect of trifluralin and dinitramina on *Aphanomyces* root rot of pea. Phytopathology. (EE.UU.). 67(2):273-276.
- GREER, D. 1990. The combined effects of chilling and light stress on photoinhibition of photosynthesis and its subsequent recovery. Plant Physiology and Biochemistry. (France). 28(4):447-455.
- GRISTEIN, A.; LISKER, N.; KATAN, J.; ESHEL, Y. 1984. Herbicide-induced resistance to plant wilt diseases. Physiological Plant Pathology. (EE.UU.). 24(3):347-356.
- _____; ELAD, Y.; KATAN, J.; CHET, I. 1979. Control of *Sclerotium rolfsii* by means of a herbicide and *Trichoderma harzianum*. Plant Disease Reporter. (EE.UU.). 63(10):823-826

- _____ ; KATAN, J.; ESHEL, Y. 1975. Effect of dinitroaniline herbicides on plant resistance to soilborne pathogens. *Phytopathology*. (EE.UU.). 66:517-522.
- HANLIN, R. 1989. Illustrated genera of ascomycetes. Minnesota. EE.UU. Aps Press. 263 p.
- HATFIELD, J. 1990. Remote detection of crop stress: application to plant pathology. *Phytopathology*. (EE.UU.). 80(1):37-39.
- HAWKSWORTH, D.; SUTTON, G.; AINSWORTH, G. 1983. Dictionary of the fungi. Seventh Edition. England. Commonwealth Mycological Institute. 445 p.
- HEITFUSS, R. 1982. General review of active defense mechanisms in plants against pathogens. *In* Active defense mechanisms in plants. Ed. by R.K. Wood. New York. Plenum Press. 1-18 p.
- HERNANDEZ, M. 1975. El café: sus enfermedades. *Revista Cafetalera*. (Gua.). no. 145:29-34.
- HOBBS, E.; WATERS, W. 1964. Influence of nitrogen and potassium on susceptibility of *Chrysanthemum morifolium* to *Botrytis cinerea*. *Phytopathology*. (EE.UU.). 54:674-676.
- HSU, S.; LOCKWOOD, J. 1973. Chlamydospore formation in *Fusarium* in sterile salt solutions. *Phytopathology*. (EE.UU.). 63:597-602.
- HUBER, D. 1980. The role of mineral nutrition in defense in plant disease. Ed. by J.G. Horsfall and E.B. Cowling. New York. Academic Press. 381-406 p.
- _____ ; WATSON, R. 1974. Nitrogen form and plant disease. *Annual Review of Phytopathology*. (EE.UU.). 12:139-165.
- INTERNATIONAL SEMINAR COFFEE TECHNOLOGY. (1, 1988, Chiang Mai, Thailand). 1988. Seminar. Highland Coffee Research and Development Centre. Chiang Mai Thailand. Thanabhan Printer. 285 p.
- JARAMILLO, A.; GOMEZ, L. 1989. Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrero. *Cenicafé*. (Col.). 40(3):65-79.
- JIMENEZ, F. 1988. Resumen acumulado de datos agroclimáticos. Costa Rica. CATIE.

- JOHAL, G.; RAHE, J. 1984. Effect of soilborne plant-pathogenic fungi on the herbicidal action of glyphosate on bean seedlings. *Phytopathology*. (EE.UU.). 74:950-955.
- JONES, J.; CHASE, A.; HARBAUGH, B.; RAJU, B. 1985. Effects of leaf wetness, fertilizer rate, leaf age, and light intensity before inoculation on bacterial leaf spot of *Chrysanthemum*. *Plant Disease*. (EE.UU.). 69(9):782-784.
- KAISER, W.; KAISER, G.; PRACHUAB, P.; WILDMAN, S.; HEBER, U. 1981. Photosynthesis under osmotic stress. *Planta*. (EE.UU.). 153(1):416-422.
- KANNAN, N. 1986. Root diseases of coffee. *Indian Coffee*. (India). 50(12):21-24.
- KENDALL, W.; LEATH, K. 1975. Stand-board culture methods for root observations of red clover. *Crop Science*. (EE.UU.). 14:317-320.
- KUMAR, D. 1979. Some aspects of the physiology of *Coffea arabica* L. A review. *Kenya Coffee*. (Kenya). 44(519):9-47.
- KURSCHNER, E.; BONMAN, J.; GARRITY, D.; TAMISIN, M.; PABALE, D.; ESTRADA, B. 1991. Effects of nitrogen timing and split application on blast disease in upland rice. *Plant Disease*. (EE.UU.). 76:384-389.
- LEATH, K.; KENDALL, W. 1978. *Fusarium* root rot of forage species: pathogenicity and host range. *Phytopathology*. (EE.UU.). 68:826-831.
- LEVESQUE, C.; RAHE, J. 1992. Herbicide interactions with fungal root pathogens, with special reference to glyphosate. *Annual Review of Phytopathology*. (EE.UU.). 30:579-602.
- LEVITT, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. *In* *Physiological ecology*. Ed. by T.T. Kozlowski. New York. Academic Press. 607 p.
- MacNISH, H. 1990. Methods of reducing *Rhizoctonia* patch of cereal in western Australia. *Plant Pathology*. (EE.UU.). 34:175-181.
- MANDEEL, Q.; BAKER, R. 1991. Mechanisms involved in biological control of *Fusarium* wilt of cucumber with strains of nonpathogenic *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology*. (EE.UU.). 81:462-469.

- MISHRA, R.; SINGHAL, G. 1992. Function of photosynthetic apparatus of intact wheat leaves under light and heat stress and its relationship with peroxidation of thylakoid lipids. *Plant Physiology*. (EE.UU.). 98(1):1-6.
- MOCTEZUMA, H. 1990. Viveros de café. *In* El cultivo del café en México. Mex. La Fuente. 91-105 p.
- MOORE, I.; LAGERSTEDT, B.; HARTMANN, N. 1974. Stress predisposition young filbert trees to bacterial blight. *Phytopathology*. (EE.UU.). 64(12):1537-1540.
- MUSSEL, H.; MALONE, M. 1979. Disease tolerance: reducing the impact of disease-induced stress on crop yields. *In* Stress physiology in crop plants. Ed. by Mussel and Staples. John Wiley & Sons. 510 p.
- NATARAJ, T. 1973. Preliminary studies on pathogenicity of *Fusarium oxysporum* on arabica coffee plants as a possible cause of coffee root rot. *Journal of Coffee Research*. (India). 3(3):58-60.
- NEMA, A. 1990. Nutritional application affecting resistance to *Phytophthora parasitica* var. piperina. *Indian Phytopathology*. (India). 43(3):401-403.
- PANDEY, M.; WILCOXSON, R. 1970. The effect of light and physiologic races on *Leptosphaerulina* leaf spot of alfalfa and selection for resistance. *Phytopathology*. (EE.UU.). 60(10):1456-1465.
- PAPENDICK, R.; COOK, R. 1974. Plant water stress and development of *Fusarium* foot rot in wheat subjected to different cultural practices. *Phytopathology*. (EE.UU.). 64:358-363.
- PLANT ADAPTION TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS. (1976, Beltsville, Maryland). 1976. Inventory of the mayor soil of the word with special reference to mineral stress hazards. [Meetings]. Ed. by Madison Wright. New York. Cornell University. 420 p.
- PERCICH, J.; LOCKWOOD, L. 1975. Influence of atrazine on the severity of *Fusarium* root in pea and corn. *Phytopathology*. (EE.UU.). 65(2):154-159.
- PITTY, A.; MUÑOZ, R. 1991. Guia práctica para el manejo de malezas. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 223 p.

- PROGRAMA COOPERATIVO ICAFE-MAG. 1989. Manual de recomendaciones para el cultivo del café. Costa Rica. Camaleón. 122 p.
- PUMPHREY, F.; WILKINS, D.; HANE, D.; SMILEY, R. 1897. Influence of tillage and nitrogen fertilizer on *Rhizoctonia* root rot (Bare patch) of winter wheat. Plant Disease. (EE.UU.). 71:125-127.
- RAHMAN, M.; SUBRAMANIAN, S. 1967. A new *Fusarium* wilt of coffee (*Coffea arabica*) in south india. Plant Disease Reporter. (EE.UU.). 51(9):758-760.
- RAMIREZ, E.; GONZALEZ, A. 1990. Manejo de sombra. In El cultivo del cafeto en México. Mex. La Fuente. 143-147 p.
- RAO, K.; RAJ, R.; MOHAMAD, S.; BEGUN, H. 1991. Influence of nitrogen fertilization on the incidence of charcoal rot in different maize cultivars. Indian Phytopathology. (India). 44(1):118-119.
- REGALADO, A.; VILLANUEVA, A. 1990. Enfermedades del cafeto. In El cultivo del cafeto en México. Mex. La Fuente. 179-189 p.
- RICE, R. 1991. Observaciones sobre la transición en el sector cafetalero en Centroamérica. Agroecología Neotropical. (Mex.). 2:1-9.
- ROVIRA, A.; McDONALD, H. 1986. Effects of the herbicide chlorsulfuron on *Rhizoctonia* bare patch and take-all of barley and wheat. Plant Disease. (EE.UU.). 70(9):879-882.
- RUSSELL, G.; JARVIS, P.; MONTEITH, J. 1989. Absortion of radiation by canopies and stand growth. In Plant canopies: their growth, form and funtion. Ed. by G. Russell, B. Marshall y P. Jarvis. New York. Cambridge University. 21-39 p.
- SARASOLA, A.; ROCCA, M. 1975. Fitopatología. Argentina. Hemisferio Sur. 89-125 p.
- SAS, INSTITUTE. 1989. SAS user's guide:statistics. SAS Institute, Cary, N.C. EE.UU.
- SCHOENEWEISS, D. 1983. Drought predisposition to *Cytospora* canker in blue spruce. Plant Disease. (EE.UU.). 67(4):383-385.
- _____. 1981. The role of environmental stress in disease of woody plants. Plant Disease. (EE.UU.). 65(4):308-313.

- _____. 1979. Protection against stress predisposition to *Botryosphaeria* canker in containerized *Cornus stolonifera* by soil injection with benomil. Plant Disease Reporter. (EE.UU.). 63(10):896-900.
- _____. 1975. Predisposition, stress, and plant disease. Annual Review of Phytopathology. (EE.UU.). 13:193-211.
- SCHROEDER, W.; WALKER, J. 1942. Influence of controlled environmental and nutrition on the resistance of garden pea to *Fusarium* wilt. Journal of Agricultural Research. (EE.UU.). 65(5):221-248.
- SHARMA, J.; SHARMA, U. 1991. Effect of nitrogen and phosphorus on the yield and severity of turcicum blight of maize in Nagaland. Indian Phytopathology. (India). 44:383-385.
- SIVAN, A.; CHET, I. 1989. The possible role of competition between *Trichoderma harzianum* and *Fusarium oxysporum* on rhizosphere colonization. Phytopathology. (EE.UU.). 79:198-203.
- SMILEY, R.; OGG, A.; COOK, J. 1992. Influence of glyphosate on *Rhizoctonia* root rot, growth, and yield of barley. Plant Disease. (EE.UU.). 76:937-942.
- _____; WILKINS, D. 1992. Impact of sulfonilureas herbicides on *Rhizoctonia* roots rot, growth, and yield of winter wheat. Plant Disease. (EE.UU.). 76(4):399-404.
- SOTO, A.; VALVERDE, B. 1991. Los herbicidas, propiedades fisicoquímicas, clasificación y mecanismos de acción. Costa Rica. UCR. 79 P.
- SOTOMAYOR, I.; DUCIELA, L. 1988. Manual práctico de semilleros y viveros de café. Ecuador. Edelnor. 44 p.
- STILL, R.; TORRIE, J. 1988. Bioestadística. Principios y procedimientos. 2a. ed. Trad. por Ricardo Martínez. Mex. McGraw-Hill. 622 p.
- SWART, W.; CONRADIE, E.; WINGFIERD, J.; VENTER, W. 1992. Effects of water stress on the development of cambial lesions caused by *Cryphonectria cubensis* on *Eucalyptus grandis*. Plant Disease. (EE.UU.). 76(7):744-746.
- THE ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. 1991. Pesticide Index. Ed. by Hamish Kidd and David R. James. England. Woolnough Bookbinding Ltd. 280 p.

- TU, J. 1987. Integrated control of the pea root rot disease complex in ontario. *Plant Disease*. (EE.UU.). 71(1):9-13.
- TWEEDY, B.; TURNER, N. 1965. Effect of dacthal on soil microorganisms. *Phytopathology*. (EE.UU.). 55:1080 (Abstr.).
- VALENCIA, G.; CARRILLO, I.; ESTRADA, L. 1990. La fertilización del cafetal según análisis de suelos. *In* 50 años de CENICAFE. Conferencias conmemorativas. Colombia. Colorgráfica. 97-104 p.
- VERMA, H.; SINGH, A.; AGARWAL, V. 1986. Environmental factors in relation to loose smut infection in wheat seeds. *Indian Phytopathology*. (India). 39(3):423-426.
- WELLMAN, F. 1954. Evidencia de resistencia a las enfermedades en los cafetos. Turrialba. (C.R.). 4(2):52-57.
- WILLIAMS, C.; JOSEPH, K. 1970. Climate, soil and crop production in the humid tropics. Singapore. Oxford University. 118 p.
- WOOD, M.; ROBSON, A. 1984. Effect of copper deficiency in wheat on the infection of roots by *Gaeumannomyces graminis* var. tritici. *Australian Journal of Agricultural Research*. (A.C.T.). 35:735-742.
- YARWOOD, C. 1976. Modification of the response-predisposition. *In* *Physiological plant pathology*. Vol. 4. Ed. by R. Heitefuss y P.H. Williams. Berlin. Universitätsdruckerei H. Sturtz A.G., Wurzburg. 703-718 p.
- YKEMA, R.; STUTZ, J. 1991. Isolation, identification, and pathogenicity of *Fusarium spp.* from guayule in Arizona. *Plant Disease*. (EE.UU.). 75:736-738.
- ZAPATA, J. 1992. Mejoramiento genético del café en Colombia. *In* 50 años de CENICAFE. Conferencias conmemorativas. Colombia. Colorgráfica. 46-53 p.

8. ANEXOS

Cuadro 1A. Análisis físico-químico del suelo utilizado en el almácigo. Laboratorio de Suelos. CATIE, 1993.

Técnico: H. Lobos Medina
 Localidad: Bajo del Chino, CATIE, Turrialba, C.R.
 Programa: Manejo Integrado de Plagas
 Fecha muestreo: 05/12/92
 Fecha ingreso: 09/12/92
 Fecha análisis: 08/01/93

Análisis de Textura

No. Lab.	Profundidad	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura
36971	0-20 cm	39.6	34.4	26.0	Franco

Análisis de Fertilidad

# Lab.	Prof. (cm)	pH	P (mg/l)	Ca	Mg	K	Acd. Ext.	M.O.
				(meq/100 ml de suelo)				
36971	0-20	4.5	27.6	3.24	0.48	0.12	1.25	9.33

Cuadro 2A. Análisis de varianza para la altura promedio de plantas.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Fc	Pr > F
Sombra	2	51.5584	7.35	0.0021 **
Fert	1	9.2521	2.64	0.1132 ns
Patog	1	0.5050	0.14	0.7067 ns
Herbic	2	367.5925	52.37	0.0001 **
Sombra x fert	2	25.3172	3.61	0.0373 †
Sombra x herbic	4	22.8265	1.63	0.1889 ns
Sombra x patog	2	0.6800	0.10	0.9079 ns
Fert x patog	1	14.1069	4.02	0.0525 ns
Fert x herbic	2	5.3336	0.76	0.4751 ns
Patog x herbic	2	4.9486	0.71	0.5008 ns
Sombra x fert x herbic	4	13.9607	0.99	0.4231 ns
Sombra x fert x patog	2	5.0293	0.72	0.4953 ns
Sombra x patog x herbic	4	4.2591	0.30	0.8738 ns
Fert x patog x herbic	2	8.6647	1.23	0.3030 ns
Sombra x fert x patog x herbic	4	80.3093	5.72	0.0011 **

CME= 3.5094

CV= 12.6822

GLerror= 36

ns= no significativo

† significativo al 5%

** significativo al 1%

Cuadro 3A. Prueba Tukey para la altura promedio de las plantas bajo diferentes factores de estrés.

Tratamiento	Altura (cm)	Tukey
Sombra		
0%	13.58	a
25%	15.28	b
50%	15.45	b
Herbicidas		
diurón	11.59	a
oxyfluorfen	16.10	b
sin	16.61	b

CME= 3.5094

CV= 12.6822

GLerror= 36

Alpha= 0.05

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Cuadro 4A. Prueba Tukey para la altura promedio de las plantas bajo la interacción herbicida x fertilización x patógeno dentro de cada porcentaje de sombra.

0			Porcentaje de sombra						50		
			25								
Tratam	Altura (cm)	Tukey	Tratam	Altura (cm)	Tukey	Tratam	Altura (cm)	Tukey	Tratam	Altura (cm)	Tukey
H1FbP1	9.3	a	H1FbP1	10.05	a	H1FbP1	11.03	a	H1FbP1	11.03	a
H1FbPo	10.3	a	H1FbP1	12.50	a	H1FbPo	11.77	a	H1FbPo	11.77	a
H1FrP1	10.25	a	H1FrP1	12.75	a	H1FrP1	11.52	a	H1FrP1	11.52	a
H1FrPo	11.00	a	H1FrPo	15.00	a	H1FrPo	13.60	a	H1FrPo	13.60	a
H2FbP1	13.25	a	HoFbP1	14.30	a	HoFbP1	15.90	a	HoFbP1	15.90	a
H2FbPo	15.30	a	HoFbPo	16.50	a	HoFbPo	18.20	a	HoFbPo	18.20	a
H2FrP1	14.25	a	HoFrPo	15.65	a	HoFrP1	17.33	a	HoFrP1	17.33	a
H2FrPo	14.70	a	HoFrP1	18.48	a	HoFrPo	18.43	a	HoFrPo	18.43	a
HoFbPo	14.40	a	H2FbP1	10.75	a	H2FbP1	13.65	a	H2FbP1	13.65	a
HoFbP1	15.50	a	H2FbPo	16.38	b	H2FbPo	18.00	a	H2FbPo	18.00	a
HoFrP1	16.55	a	H2FrP1	14.30	a	H2FrP1	14.58	a	H2FrP1	14.58	a
HoFrPo	18.15	a	H2FrPo	16.50	a	H2FrPo	19.33	b	H2FrPo	19.33	b

CME= 3.5074 CV= 12.6822 GLerror= 36 Alpha= 0.05
 Ho= sin herbicida H1= diurón H2= oxyfluorfen
 Fb= fertilización baja Fr= fertilización recomendada
 Po= sin inoculación de *Fusarium spp.* P1= con inoculación
 Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Cuadro 5A. Análisis de varianza para el peso seco promedio de la raíz.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Fc	Pr > F
Sombra	2	0.0174	0.07	0.9321 ns
Fert	1	0.4720	3.81	0.0588 ns
Patog	1	0.3240	2.62	0.1146 ns
Herbic	2	1.4828	5.98	0.0057 **
Sombra x fert	2	0.5856	2.36	0.1085 ns
Sombra x herbic	4	5.7245	11.55	0.0001 **
Sombra x patog	2	0.0426	0.17	0.8425 ns
Fert x patog	1	1.0105	8.16	0.0071 **
Fert x herbic	2	0.5621	2.27	0.1180 ns
Patog x herbic	2	0.3681	1.49	0.2399 ns
Sombra x fert x herbic	4	0.5153	1.04	0.4002 ns
Sombra x fert x patog	2	0.8432	3.40	0.0443 †
Sombra x patog x herbic	4	2.8882	5.83	0.0010 **
Fert x patog x herbic	2	2.0298	8.19	0.0012 **
Sombra x fert x patog x herbic	4	1.0667	2.15	0.0943 ns

CME= 0.1238

CV= 31.9784

GLerror= 36

ns= no significativo

† significativo al 5%

** significativo al 1%

Cuadro 6A. Prueba Tukey para el peso seco promedio de las raíces bajo la interacción fertilización x patógenos dentro de cada porcentaje de sombra.

Porcentaje de sombra								
0			25			50		
Tratam	PSR (g)	Tukey	Tratam	PSR (g)	Tukey	Tratam	PSR (g)	Tukey
FbP1	0.90	a	FbP1	0.76	a	FbP1	1.14	a
FbPo	0.95	a	FbPo	1.16	a	FbPo	1.18	a
FrP1	1.19	a	FrP1	0.89	a	FrP1	0.90	a
FrPo	1.28	a	FrPo	1.56	b	FrPo	1.25	a

CME= 0.1238

CV= 31.9784

GLerror= 36

Alpha= 0.05

Fb= fertilización baja

Fr= fertilización recomendada

Po= sin inoculación de *Fusarium* spp. Pi= con inoculación

PSR= promedio del peso seco de las raíces

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Cuadro 7A. Prueba Tukey para el peso seco promedio de las raíces bajo la interacción patógenos x herbicidas dentro de cada porcentaje de sombra.

Porcentaje de sombra								
0			25			50		
Tratam	PSR (g)	Tukey	Tratam	PSR (g)	Tukey	Tratam	PSR (g)	Tukey
P1H1	0.91	a	P1H1	0.72	a	P1H1	0.63	a
P1Ho	1.05	a	P1Ho	0.81	a	P1H2	1.17	a
P1H2	1.12	a	P1H2	1.05	a	P1Ho	1.27	a
PoH1	1.08	a	PoH1	0.99	a	PoH1	0.56	a
PoHo	1.10	a	PoHo	1.04	a	PoH2	0.93	a
PoH2	1.22	a	PoH2	1.06	a	PoHo	1.56	b

CME= 0.1238 CV= 31.9784 GLerror= 36 Alpha= 0.05

Ho= sin herbicida H1= diurón H2= oxyfluorfen

Po= sin inoculación de *Fusarium* spp. P1= con inoculación

PSR= promedio del peso seco de las raíces

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Cuadro 8A. Prueba Tukey para el peso seco promedio de las raíces bajo la interacción patógenos x herbicidas dentro de cada nivel de fertilización.

Nivel de fertilización					
Recomendada			Baja		
Tratam	PSR (g)	Tukey	Tratam	PSR (g)	Tukey
P1H1	0.94	a	P1H1	0.86	a
P1H2	0.96	a	P1H2	0.87	a
P1Ho	1.10	a	P1Ho	1.14	a
PoH1	0.99	a	PoH1	0.88	a
PoHo	1.32	ab	PoH2	0.96	a
PoH2	1.87	b	PoHo	1.30	a

CME= 0.1238 CV= 31.9784 GLerror= 36 Alpha= 0.05

Ho= sin herbicida H1= diurón H2= oxyfluorfen

Po= sin inoculación de *Fusarium* spp. P1= con inoculación

PSR= promedio del peso seco de las raíces

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Cuadro 9A. Análisis de varianza para el peso seco promedio del follaje.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Fc	Pr > F
Sombra	2	0.1399	0.18	0.8320 ns
Fert	1	0.4186	1.11	0.2999 ns
Patog	1	0.4216	1.11	0.2981 ns
Herbic	2	16.4164	21.70	0.0001 **
Sombra x fert	2	1.2937	1.71	0.1953 ns
Sombra x herbic	4	6.2801	4.15	0.0073 **
Sombra x patog	2	0.1144	0.15	0.8602 ns
Fert x patog	1	9.7755	25.84	0.0001 **
Fert x herbic	2	0.8473	1.12	0.3374 ns
Patog x herbic	2	0.1675	0.22	0.8025 ns
Sombra x fert x herbic	4	1.1541	0.76	0.5565 ns
Sombra x fert x patog	2	1.6368	2.16	0.1297 ns
Sombra x patog x herbic	4	4.4933	2.97	0.0323 †
Fert x patog x herbic	2	3.8838	5.13	0.0109 †
Sombra x fert x patog x herbic	4	2.8728	1.90	0.1319 ns

CME= 0.3783

CV= 35.6599

GLerror= 36

ns= no significativo

† significativo al 5%

** significativo al 1%

Cuadro 10A. Prueba Tukey para el peso seco promedio del follaje bajo la interacción patógenos x herbicidas dentro de cada porcentaje de sombra.

Porcentaje de sombra								
0			25			50		
Tratam	PSF (g)	Tukey	Tratam	PSF (g)	Tukey	Tratam	PSF (g)	Tukey
PIH1	1.09	a	PIH1	1.07	a	PIH1	0.95	a
PIH2	1.24	a	PIHo	1.32	a	PIH0	1.92	ab
PIH0	2.13	a	PIH2	2.22	a	PIH2	2.36	b
PoH1	1.13	a	PoH1	1.23	a	PoH1	0.80	a
PoH2	2.16	a	PoHo	1.38	ab	PoH2	1.73	ab
PoH0	2.16	a	PoH2	2.63	b	PoHo	2.95	b

CME= 0.3783

CV= 35.6599

GLerror= 36

Alpha= 0.05

Ho= sin herbicida

HI= diurón

H2= oxyfluorfen

Po= sin inoculación de *Fusarium spp.* P1= con inoculación

PSF= promedio del peso seco del follaje

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Cuadro 11A. Prueba Tukey para el peso seco promedio del follaje bajo la interacción patógenos x herbicidas dentro de cada nivel de fertilización.

Nivel de fertilización					
Recomendada			Baja		
Tratam	PSF (g)	Tukey	Tratam	PSF (g)	Tukey
PIH1	0.90	a	PIH1	1.17	a
PIH2	1.32	a	PIHo	2.08	ab
PIHo	1.84	a	PIH2	2.56	b
PoH1	1.11	a	PoH1	1.00	a
PoHo	2.73	b	PoH2	1.46	a
PoH2	2.88	b	PoHo	1.60	a

CME= 0.3783 CV= 35.6599 GError= 36 Alpha= 0.05
 Ho= sin herbicida H1= diurón H2= oxyfluorfen
 Po= sin inoculación de *Fusarium spp.* P1= con inoculación
 PSF= promedio del peso seco del follaje
 Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Cuadro 12A. Análisis de varianza para la severidad de daño causado por *Fusarium spp.*

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Fc	Pr > F
Sombra	2	0.0819	12.43	0.0001 **
Fert	1	0.0406	12.32	0.0012 **
Patog	1	2.5954	787.48	0.0001 **
Herbic	2	0.6933	105.19	0.0001 **
Sombra x fert	2	0.0126	1.92	0.1618 ns
Sombra x herbic	4	0.0758	5.75	0.0011 **
Sombra x patog	2	0.0819	12.43	0.0001 **
Fert x patog	1	0.0406	12.32	0.0012 **
Fert x herbic	2	0.0204	3.11	0.0570 ns
Patog x herbic	2	0.6933	105.19	0.0001 **
Sombra x fert x herbic	4	0.0147	1.12	0.3623 ns
Sombra x fert x patog	2	0.0126	1.92	0.1618 ns
Sombra x patog x herbic	4	0.0758	5.75	0.0011 **
Fert x patog x herbic	2	0.0204	3.11	0.0570 ns
Sombra x fert x patog x herbic	4	0.0147	1.12	0.3623 ns

CME= 0.0032 CV= 14.7255 GError= 36
 ns= no significativo * significativo al 5% ** significativo al 1%

Cuadro 13A. Prueba Tukey para la severidad de daño causado por *Fusarium spp.* bajo diferentes factores de estrés.

Tratamiento	Indice de Severidad	Tukey
Sombra		
0%	0.43	a
25%	0.37	b
50%	0.36	b
Herbicidas		
diurón	0.52	a
sin herbicida	0.34	b
oxyfluorfén	0.30	b
Fertilización		
Baja	0.41	a
Recomendada	0.36	b
Patógenos		
Con inoculación	0.57	a
Sin inoculación	0.20	b

CME= 0.0032 CV= 14.7255 6Lerror= 36 Alpha= 0.05
 Índice de severidad= No. plantas enfermas en la clase x valor
 de la clase/No. total de plantas x 5
 Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro 14A. Prueba Tukey para la severidad de daño causado por *Fusarium spp.* bajo la interacción de sombra x herbicidas.

Tratamiento	Indice de Severidad	Tukey
SoH1	0.52	a
SoHo	0.43	b
SoH2	0.35	b
S1H1	0.50	a
S1H2	0.32	b
S1Ho	0.25	b
S2H1	0.35	a
S2H2	0.29	a
S2Ho	0.26	a

CME= 0.0032 CV= 14.7255 GLerror= 36 Alpha= 0.05
 So= 0% de sombra S1= 25% de sombra S2= 50% de sombra
 Ho= sin herbicida H1= diurón H2= oxyfluorfen
 Indice de severidad= No. plantas enfermas en la clase x valor
 de la clase/No. total de plantas x 5
 Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro 15A. Análisis de varianza para la incidencia de *Phoma costarricensis*.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Fc	Pr > F
Sombra	2	12924.2052	21.20	0.0001 **
Fert	1	466.6512	1.53	0.2239 ns
Patog	1	651.9660	2.14	0.1522 ns
Herbic	2	33178.5339	54.44	0.0001 **
Sombra x fert	2	7.7145	0.01	0.9874 ns
Sombra x herbic	4	2770.1975	2.27	0.0804 ns
Sombra x patog	2	146.6867	0.24	0.7874 ns
Fert x patog	1	189.0216	0.62	0.4361 ns
Fert x herbic	2	586.3858	0.96	0.3917 ns
Patog x herbic	2	1975.1358	3.24	0.0408 *
Sombra x fert x herbic	4	917.8735	0.75	0.5627 ns
Sombra x fert x patog	2	470.4923	0.77	0.4696 ns
Sombra x patog x herbic	4	594.1976	0.49	0.7478 ns
Fert x patog x herbic	2	493.6913	0.81	0.4528 ns
Sombra x fert x patog x herbic	4	686.7253	0.56	0.6908 ns

CME= 304.7530

CV= 48.6547

GLerror= 36

ns= no significativo

* significativo al 5%

** significativo al 1%

Cuadro 16A. Prueba Tukey para la incidencia de *Phoma costarricensis* bajo diferentes factores de estrés.

Tratamiento	Incidencia (%)	Tukey
Sombra		
0%	48.61	a
25%	41.66	a
50%	17.36	b
Herbicidas		
diurón	65.97	a
oxyfluorfen	24.30	b
sin	17.36	b

CME= 304.7530

CV= 48.6547

GLerror= 36

Alpha= 0.05

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Cuadro 17A. Prueba Tukey para incidencia de *Phoma costarricensis* bajo la interacción de herbicida x patógenos.

Tratamiento	Incidencia (%)	Tukey
H1P1	76.38	a
H1Po	55.55	b
H2P1	25.00	a
H2Po	23.61	a
HoP1	18.05	a
HoPo	16.67	a

CME= 304.7530 CV= 48.6547 BLerror= 36 Alpha= 0.05
 Ho= sin herbicida H1= diurón H2= oxyfluorfen
 Po= sin inoculación de *Fusarium spp.* P1= con inoculación
 Medias con la misma letra no son significativamente diferentes