Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) No. 61 p.37-47, 2001

Efecto de factores de estrés tecnológico en la predisposición del café al ataque de patógenos fungosos[1]

Héctor F. Lobos Medina[2 †]
Elkin Bustamante Rojas[3]

RESUMEN. Plantas de café *(Coffea arabica)* se expusieron a factores de estrés tecnológico para evaluar su influencia en el desarrollo general del cultivo y en su susceptibilidad al ataque de hongos fitopatógenos. Su efecto no se manifestó de manera uniforme en las variables de crecimiento;sin embargo, las consecuencias 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 del herbicida 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 o 100% de luminosidad y la presencia de residuos de diurón,obteniéndose el porcentaje más alto (76,38%) cuando se produjo un sinergismo entre el ataque de *Fusarium* spp. y los efectos de diurón.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 es mínima la incidencia de *Fusarium* spp. y *P. costarricensis.*

Palabras clave: Café, *Fusarium* spp., *Phoma costarricensis*, Factores de estrés, Hongos fitopatógenos

ABSTRACT. Technical stress factors of coffee and its predisposition to attack by fungal pathogens. Coffee *(Coffea arabica)* plants were exposed to technological stress factors in order to evaluate the way in which they influence the general development of the crop and its susceptibility to attack by phytopathogenic fungi. Their effect on the growth variables was not uniform; however, consequences were evident in some of the interactions. Susceptibility to attack by *Fusarium* spp. increased when the plants were exposed to high light conditions, presence of residues of the herbicide diuron 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 there was a synergism between the attack of *Fusarium* spp. and the effects of diuron.It was shown that establishing the seedling bed under 50% shade, using soil without diuron residues and applying adequate doses of fertilization reduces the stress conditions for the crop and so the incidence of *Fusarium* spp. and *P. costarricensis* is minimal.

Key words: Coffee, *Fusarium* spp., *Phoma costarricensis*, Stress factors, Phytopathogenic fungi.

Introducción

Las plantas son inmunes o resistentes al ataque de la mayoría de microorganismos con los cuales entran en contacto, la penetración y posterior infección se previene con frecuencia mediante barreras físicas o bioquímicas. Sin embargo, factores no genéticos actúan antes del proceso de infección y someten la planta a un estado de predisposición a las enfermedades (Heitefuss 1982).

La predisposición generalmente se debe a un estrés inducido, siendo necesario identificar y evitar las condiciones que lo provocan (Schoeneviss 1983, Yarwood 1976).

La continua búsqueda de tecnologías que permitan incrementar la productividad agrícola incide en muchas ocasiones, en la adopción de prácticas de manejo que exponen a la plantación al denominado **estrés tecnológico,** mediante el cual se predispone a las plantas al ataque de enfermedades (Christiansen 1975).

Se han llevado a cabo investigaciones cuyos resultados coinciden en que el incremento en la susceptibi-

[1] Parte de la tesis de M.Sc. del primer autor. Escuela de Posgrado,CATIE, Turrialba,Costa Rica
[2] Fallecido.
[3] CATIE,Area de Fitoprotección 7170 Turrialba, **Costa Rica**. elkinbustamante@hotmail.com

lidad de las plantas a las enfermedades se debe principalmente a: (a) estrés por sequía, (b) deficiencias de nutrimentos, (c) altas intensidades de luz o (d) uso de herbicidas (Altman y Campbell 1977, Beddis y Burgess 1992, Carson *et al.* 1991, Colhoum 1973, Gristein *et al.* 1975, Huber y Watson 1974, Levesque y Rahe 1992, Levitt 1980, Papendick y Cook 1974, Percich y Lockwood 1975).

Sin embargo, pocas investigaciones en este tema se han realizado en café, por lo cual el objetivo de este estudio fue 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 fitopatógenos.

Se busca resaltar la trascendencia de 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 condiciones adecuadas de manejo de la plantación.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) ubicado en el Cantón de Turrialba, Cartago, Costa Rica. El experimento constó de tres fases: laboratorio, invernadero y almácigo. En almácigo se emplearon los tratamientos de sombra, herbicidas y fertilización. El tratamiento sombra incluyó niveles de 0, 25 y 50%; dos dosis de fertilización: la recomendada (5 g / maceta) y una baja equivalente al 30% de ésta. Para el tratamiento con herbicida se usaron dos productos comerciales con base en diurón, oxyfluorfén y un tratamiento sin herbicida.

El inóculo de *Fusarium* spp. se obtuvo de material enfermo recolectado en lotes de la Hacienda Juan Viñas, Cartago, Costa Rica, con antecedentes de presentar problemas de pudriciones radicales por este hongo.

Las pruebas de patogenicidad en raíces de plántulas de café se realizaron por el método de la tabla inclinada desarrollado por Kendall y Heat (1975). Para el ensayo se estableció un diseño completamente aleatorizado con dos tratamientos *Fusarium* spp. y el testigo y tres repeticiones. La severidad de daño se cuantificó con la escala propuesta por Smiley *et al.* (1992) y la cual va de 0 a 4, en donde 0=sana, 1=<25% del área con lesiones, 2=26 a 50% del área con lesiones, 3=51-75% área con lesiones y 4= >76% del área con lesiones.

Las plantas del semillero se trasladaron al almácigo en donde se utilizó un diseño de bloques al azar generalizado, con el tratamiento sombra como bloques (fijo) y con dos repeticiones dentro de cada bloque. 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, también se contó con repeticiones ocultas o escondidas (Still y Torrie 1988).

Los porcentajes de sombra se obtuvieron mediante la utilización de sarán del calibre adecuado y a 2 m de altura.A cada maceta con el tratamiento de diurón se le incorporaron 4,42 mg del producto por kg de suelo, para simular condiciones reales de residualidad en el campo (Dawson *et al.* 1968). Se aplicó herbicida oxyfluorfén en las dosis comerciales equivalentes al área de la maceta,utilizando una microaspersora para evitar mojar el follaje de las plantas de café.

De las pruebas de patogenicidad en la tabla inclinada se concluyó que únicamente *Fusarium* sp. era el responsable de las pudriciones de la raíz, por lo cual este fue el hongo que se inoculó.Con el uso del hemacitómetro Spencer se calibró la solución a 2 x 10^6 conidias/ml,concentración promedio que brindó los mejores resultados en estudios similares (Carson *et al.* 1991, Mandeel y Bakel 1991, Percich y Lockwood 1975, Sivan y Chet 1989,Ykema y Stutz 1991). En cada maceta se inocularon 5 ml de esta solución y con una cuchilla se practicaron lesiones a las raíces de las plantas. Un fertilizante fórmula 18-5-15-6-2, se aplicó cuatro veces incorporándose 5 y 1,5 g por maceta en cada ocasión (Carvajal 1984).Se llevaron registros periódicos de la temperatura mínima y máxima del suelo, de la intensidad luminosa y la radiación fotosintéticamente activa (RFA) para lo cual se utilizaron seis geotermómetros, un luxímetro y un ceptómetro, respectivamente.

Se evaluaron las variables (a) altura de planta,(b) peso seco del follaje, (c) peso seco de las raíces, (d) incidencia de enfermedades foliares y (e) severidad de daño del sistema radical.La altura se midió con periodicidad de 10 días y el peso seco del follaje y las raíces se cuantificó al finalizar el experimento. De igual manera se procedió con la severidad de daño del sistema radical, utilizándose el índice de severidad (DSI) propuesto por Carson *et al.* (1991) y el cual se calculó para cada unidad experimental.

Los valores en la escala para la severidad 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 de dicho índice se encuentran entre 0,2 y 1,0 y se calculan con la siguiente fórmula: DSI = número de plantas enfermas en la clase x valor de la clase/número total de plantas x 5.

Aún cuando no se realizó inoculación de organismos patógenos del follaje, cada 10 días se evaluó la incidencia de las enfermedades foliares que se presentaron en forma natural en el almácigo.

El análisis de varianza de los datos se realizó con el GLM de SAS y se efectuaron pruebas de comparación múltiple Tukey para detectar posibles diferencias significativas entre tratamientos e interacciones entre estos. Para el análisis de las interacciones se utilizó la misma prueba Tukey.

Resultados y discusión

En la prueba de patogenicidad de los aislamientos de *Fusarium* spp. se determinó una severidad promedio de 79,7% y con base en la escala propuesta por Smiley *et al.* (1992), corresponde a la clase 4 y el testigo a la clase 1.

En el almácigo se tomaron datos de radiación y se estableció que a las 12 h de un día nublado la intensidad lumínica alcanzó 8100 Lux y la radiación fotosintéticamente activa (RFA) fue de 106 µLE m^2 s^{-1}, pero a la misma hora de un día despejado la intensidad lumínica fue de 52000 Lux y la RFA alcanzó los 1748 µLE m^2 s^{-1}. De acuerdo con los registros climáticos de la estación meteorológica del CATIE,durante el tiempo del 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, F.Turrialba, CATIE. *Com personal*), lo cual indica que las plantas localizadas a plena exposición solar estuvieron sometidas con frecuencia a alta radiación durante varias horas.

Según investigaciones reportadas por el Coffee Board (1988-1989 a y b) indican que, bajo las condiciones de la experimentación analizadas, la máxima eficiencia fotosintética del cultivo se alcanza cuando la radiación es de 140 µE m^2 s^1 y si ésta disminuye o aumenta se reduce drásticamente dicha eficiencia debido al cierre parcial de los estomas. Esto significa que en los días nublados no se alcanzó la radiación requerida para obtenerla, mientras que en los despejados fue excesiva la cantidad de RFA que recibieron las plantas expuestas a pleno sol y posiblemente se produjo fotoinhibición con la consiguiente reducción de la tasa de fotosíntesis.

El efecto negativo producido a la fisiología de las plantas que recibieron más 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 *Phoma costarricensis,* constituyéndose en importante fuente de inóculo para el resto de plantas que no estuvieron expuestas a estas condiciones.

Se midieron las temperaturas máximas y mínimas del suelo que se alcanzaron cada día.La 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. Las temperaturas más altas y las más bajas siempre se alcanzaron en las macetas instaladas a plena exposición solar, con el consecuente estrés y la posibilidad de la pérdida de nitrógeno a la atmósfera.

Aún cuando no se midió la evapotranspiración se asume que fue mayor en los tratamientos 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.

Las plantas sometidas a distintos factores de estrés evidenciaron los efectos en diferente medida en las variables evaluadas, encontrándose significancias estadísticas entre algunos de los efectos principales e interacciones. En el Cuadro 1 se presenta el resumen de los análisis de varianza para las variables evaluadas.

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

Altura. Para esta variable se detectaron diferencias significativas entre dos de los efectos principales y las interacciones de primer y tercer orden (Cuadro 1). Las plantas expuestas a pleno sol (0% de sombra) al-

Cuadro 1. Resumen de los análisis de varianza y significancia para las variables evaluadas.

Fuente de variación	Altura (cm)	PSR(g)	PSF(g)	IS	I (%)
Sombra	0,0021 **	0,9321 ns	0,8320 ns	0,0001 **	0,0001 **
Fertilizante	0,1132 ns	0,0588 ns	0,2999 ns	0,001 2**	0,2239 ns
Herbicida	0,0001 **	0,0057**	0,0001 **	0,0001 **	0,0001
Patógeno	0,7067 ns	0,1146 ns	0,2981 ns	0,0001 **	0,1522 ns
Sombra xfertilizante	0,0373*	0,1085 ns	0,1953 ns	0,1618 ns	0,9874 ns
Sombra x herbicida	0,1889 ns	0,0001 **	0, 0073**	0,0011**	0,0804 ns
Sombra x patógeno	0,9079 ns	0,8425 ns	0,8602 ns	0,0001 **	0,7874 ns
Fertilizante x patógeno	0,0525 ns	0,0071 **	0,0001 **	0,001 2**	0,4361 ns
Fertilizante x herbicida	0,4751 ns	0,1180 ns	0,3374 ns	0,0570 ns	0,3917 ns
Patógeno x herbicida	0,5008 ns	0,2399 ns	0,8025 ns	0,0001**	0,0408*
Sombra x fertilizante x herbicida	0,4231 ns	0,4002 ns	0,5565 ns	0,3623 ns	0,5627 ns
Sombra x fertilizante x patógeno	0,4953 ns	00443*	0,1297 ns	0,1618 ns	0,4696 ns
Sombra x patógeno x herbicida	0,8738 ns	0,001 0**	0,0323*	0,0011**	0,7478 ns
Fertilizante x patógeno x herbicida	0,3030 ns	0,001 2**	0,0109*	0,0570 ns	0,4528 ns
Sombra x fertilizante x patógeno x herbicida	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 *Fusarium* spp.
I=incidencia de *P. costarricensis*

ns = no significativo
**significativo al 1 %
*significativo al 5%

canzaron una menor altura promedio;sin embargo, no fue la mayor sombra lo que más les favoreció ya que se desarrollaron mejor las expuestas a 25% de sombra (Fig. 1). Se estableció que no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos de 25 y 50% de sombra, pero sí entre estos y el de 0% ($P < 0,05$).

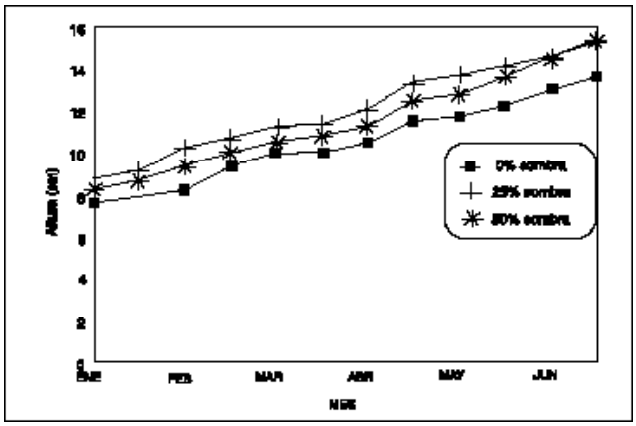

Figura 1. Altura promedio de las plantas bajo diferentes porcentajes de sombra.

Esto se debe posiblemente a que hubo mayor evaporación del agua del suelo en las macetas ubicadas a pleno sol, lo que debió afectar la absorción de humedad y nutrimentos, además es normal que las plantas que crecen en condiciones de baja luminosidad tiendan a ser más altas que las expuestas a mayor radiación. Debe también considerarse que cuando esta radiación es elevada,se produce el cierre parcial de los estomas de la planta y la eficiencia fotosintética se reduce drásticamente.

La incidencia de *P.costarricensis* fue mayor en estos tratamientos, lo que también contribuyó a que las plantas alcanzaran menor altura ya que el ataque de este hongo tiende a detener el crecimiento de éstas.

En relación con los tratamientos de herbicidas, el crecimiento de las plantas que se encontraban en las macetas a las que se les aplicó oxyfluorfén no evidenció ninguna diferencia con respecto a las que crecieron libres de herbicidas (Fig. 2). 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

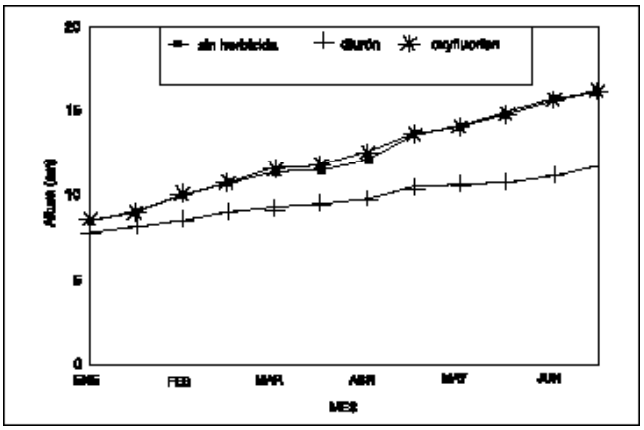

Figura 2. Altura promedio de las plantas bajo diferentes tratamientos de herbicidas.

diferencias estadísticas (P<0,05) entre los tratamientos de oxyfluorfén y sin herbicida, aunque si entre éstos y el de diurón.

Entre los tratamientos de fertilización tampoco se determinaron diferencias significativas y se considera que esto se debió a que el suelo tenía buena fertilidad natural. Tampoco se encontraron diferencias entre los niveles del tratamiento de inoculación de *Fusarium* spp., lo que evidencia que el daño provocado por este patógeno no fue tan grave como para afectar la altura alcanzada por las plantas.

La prueba de Tukey para la interacción de sombra x fertilización detectó que el mayor estrés se produce cuando las plantas crecen a pleno sol y se les aplica una dosis baja de fertilizante (1,5 g / maceta).

Al analizar la altura alcanzada por las plantas bajo la interacción de herbicidas x fertilización x patógenos dentro de cada porcentaje de sombra, se comprobó que la más baja la alcanzaron las plantas expuestas a plena exposición solar y bajo el efecto de diurón (Hl),fertilización baja (Fb) y a la presencia de patógenos (Pl), aunque no se encontraron diferencias estadísticas cuando *Fusarium* spp. estuvo ausente (Po). Esto demuestra el mayor efecto de estrés que ejercen los tratamientos de 100% de luminosidad,el herbicida diurón y la baja fertilización en la altura alcanzada por las plantas bajo esta interacción.

Peso seco de la raíz. Unicamente se determinaron diferencias significativas (Pr>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 (Cuadro 1). Con respecto a los tratamientos de herbicidas (p= 0,05) no hay diferencias entre oxyfluorfén y la no utilización del plaguicida (Ho), pero si entre éstos 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 lo que respecta a las interacciones, 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. Bajo el 25% de sombra hay una respuesta más evidente a las distintas interacciones y la heterogeneidad en el peso seco es bastante visible (Fig. 3).

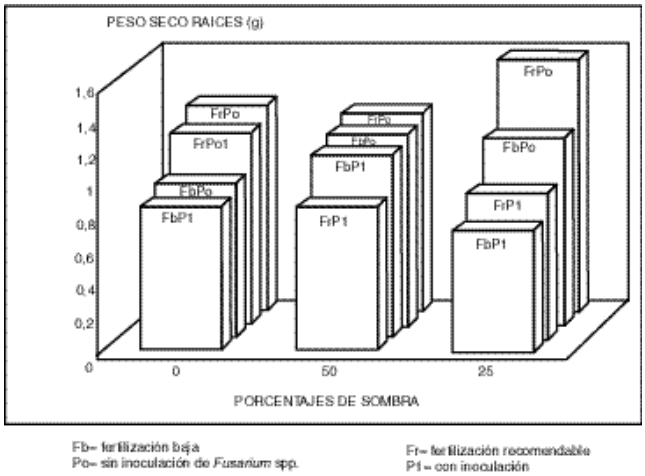

Figura 3. Peso seco promedio de la raíz bajo la interacción fertilización x patógeno para cada porcentaje de sombra.

Cuando no se consideró el nivel de fertilización, pero se utilizan herbicidas, las respuestas más evidentes a las diferentes interacciones se presentan en tratamientos con 50% de sombra y el estrés más severo se produce con este porcentaje de sombra y se utiliza diurón y así *Fusarium* spp. ataca la raíz (Fig. 4).

Para la interacción de herbicidas x patógenos dentro de cada porcentaje de sombra, se detectó que cuando el patógeno está presente en la raíz *(Pl)* 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.

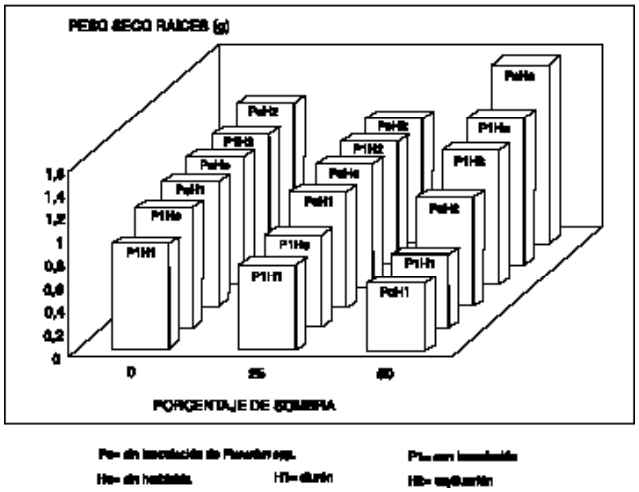

Figura 4. Peso seco promedio de la raíz bajo la interacción patógenos x herbicida para cada porcentaje de sombra.

Al analizar la interacción de patógenos x herbicida sin considerar el efecto de la intensidad de luz, se observa que al estar ausente *Fusarium* spp. las raíces alcanzaron el mayor peso seco aún en los tratamientos donde se usó oxyfluorfén,pero la dosis de fertilización fue la recomendada (Fig. 5). Por el contrario, el uso de fertilización redujo el ataque del patógeno, mientras la aplicación de diurón,es parte de los factores que inducen mayor estrés, y consecuentemente produjo menor peso seco de la raíz.

Como se esperaba, los tratamientos que incluyeron la inoculación de *Fusarium* spp. influyeron en el menor peso seco. Esta situación es obvia si se considera que el ataque del patógeno se traduce en una reducida proliferación del sistema radical, ocasionando menor capacidad de absorción de nutrimentos y agua.

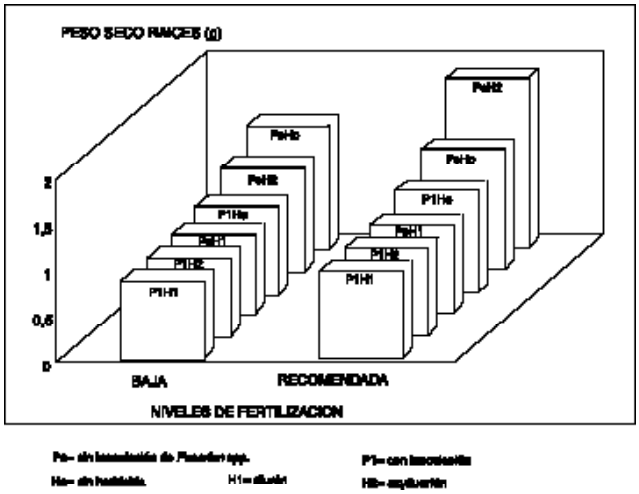

Figura 5. Peso seco promedio de la raíz bajo la interacción patógeno x herbicida para cada nivel de fertilización.

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. Los tratamientos de herbicidas muestran diferencias significativas, así como las interacciones de sombra x patógenos x herbicida y fertilización x patógenos x herbicida (Cuadro 1).

Con respecto al herbicida se determinó que el menor peso seco promedio del follaje (1,04 g) se obtuvo al aplicar 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 ($P<0,05$) entre el primero y los otros dos.

La interacción de patógenos x herbicida dentro de cada porcentaje de sombra mostró de manera similar a lo determinado con el peso seco de las raíces, que el efecto de estrés fue más evidente cuando se aplicó diurón y la luminosidad fue del 50%,aunque esto ocurrió aún sin presentarse ataque de *Fusarium* spp. en las raíces (Fig. 6).Bajo este mismo porcentaje de sombra se observa también una mayor variación del peso seco, siendo más evidente la respuesta de las plantas a las interacciones de los diferentes tratamientos.

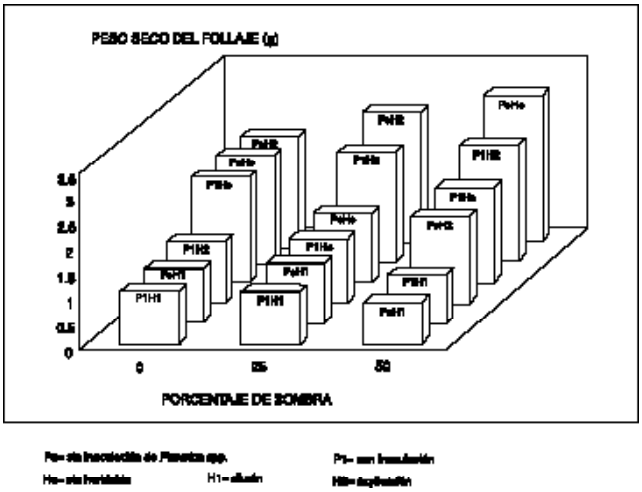

Figura 6. Peso seco promedio del follaje bajo la interacción patógeno x herbicida dentro de cada porcentaje de sombra.

Se comprobó que cuando el porcentaje de sombra fue de 50% las diferencias significativas entre los tratamientos son evidentes, lo cual no ocurre bajo el 100% de luminosidad. En la interacción de patógenos x herbicida se encontró que el menor peso seco pro-

medio del follaje se alcanzó en tratamientos donde se aplicó diurón, se inoculó *Fusarium* spp. y se utilizó la dosis recomendada de fertilización (Fig. 7).Esto significa que el patógeno y el herbicida inhibieron la respuesta de las plantas al fertilizante, puesto que la menor producción de biomasa se produjo aún en los tratamientos donde se utilizó dicha dosis. Esta observación la corrobora 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.

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 al tipo de herbicida utilizado (Fig. 7).

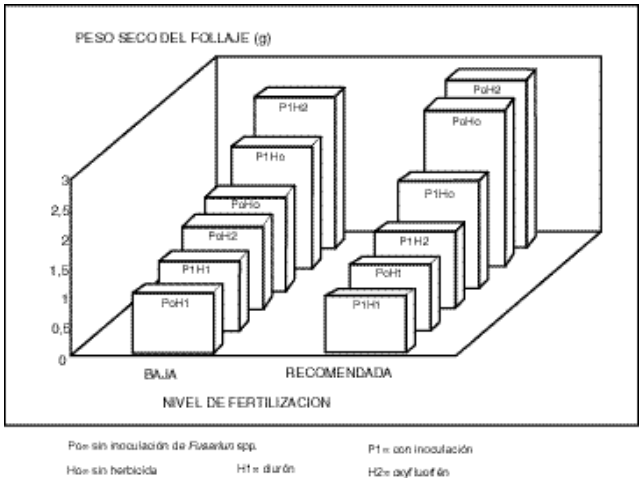

Figura 7. Peso seco promedio del follaje bajo la interacción patógeno x herbicida dentro de cada dosis de fertilización.

Efecto de los factores de estrés en la severidad del daño causado por *Fusarium* spp. Producto del ataque de *Fusarium* spp. se presentaron varias interacciones, porque las lesiones provocadas por el hongo redujeron la proliferación de raíces y especialmente, la formación de pelos absorbentes. Esto dio como resultado 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 sólo 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 (Davinderjith y Smalley 1974, International Seminar Coffee Technology 1988,Moore *et al.* 1974, Papendick y Cook 1974, Schoeneweiss 1975, 1979, 1983, Swart *et al.* 1992).

Para esta variable se determinaron diferencias significativas entre los niveles de efectos principales, en la mayoría de las interacciones de primer orden y en una de segundo (Cuadro 1).

Diversos investigadores han demostrado la influencia que ejerce la inadecuada intensidad de luz sobre algunos cultivos al incrementar su susceptibilidad al ataque de patógenos. En esta investigación se comprobó que existe una relación directa entre la luminosidad y la severidad de daño causado por *Fusarium* spp. (Chase y Poole 1987, Jones *et al.* 1985, Kaiser *et al.* 1981, Pandey *et al.* 1970, Schoeneweiss 1975).

Para los tres niveles de sombra se encontró que las plantas que crecieron a pleno sol alcanzaron un índice de severidad significativamente mayor (0,43) que el de las que recibieron 50 y 75% de luminosidad (0,37 y 0,36,respectivamente).Entre éstas dos últimas no se detectaron diferencias estadísticas (Fig. 8). Se determinaron diferencias significativas entre los niveles de efectos principales, en la mayoría de las interacciones de primer orden y en una de segundo (Cuadro 1).

Diversos investigadores han demostrado la influencia que ejerce la inadecuada intensidad de luz sobre algunos cultivos al incrementar su susceptibilidad al ataque de patógenos. En esta investigación se comprobó que existe una relación directa entre luminosidad y severidad de daño causado por *Fusarium* spp. (Chase y Poole 1987, Jones *et al.* 1985, Kaiser *et al.* 1981,Pandey y Wilcoxson 1970, Schoeneweiss 1975).

Con respecto a los tres niveles de sombra se encontró que las plantas que crecieron a pleno sol alcanzaron un índice de severidad significativamente mayor (0,43) que el de las que recibieron 50 y 75% de luminosidad (0,37 y 0,36). Entre estas dos últimas no se detectaron diferencias estadísticas (Fig. 8).

Durante varios años se ha discutido si el café debe cultivarse a plena exposición solar o bajo sombra; sin embargo, en la mayoría de los casos el análisis de sus ventajas y desventajas se orienta exclusivamente a la producción.En esta investigación la discusión se ba-

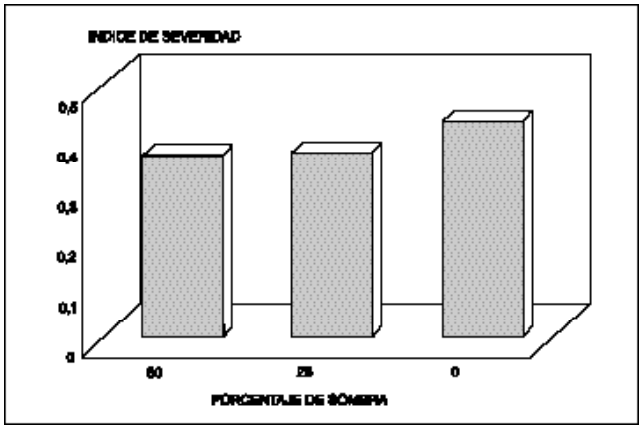

Figura 8. Severidad de daño causado por *Fusarium* spp. bajo tres niveles de sombra.

sa en el efecto que la luminosidad ejerce sobre la mayor o menor severidad e incidencia de una enfermedad.

Las plantas que crecieron al sol recibieron niveles de radiación mayores que los obtenidos en los otros dos tratamientos. Los efectos negativos que esto puede tener sobre un cultivo fueron analizados por Levitt (1980) y Russell *et al.* (1989), resaltando el hecho de que produce fotoinhibición, cierre de estomas, interrupción del intercambio gaseoso y en consecuencia, reducción de la tasa de fotosíntesis.

En el caso del café, como ya se mencionó, se ha comprobado que cuando se expone a radiación fotosintéticamente activa superior a los 140 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ se produce un cierre parcial de los estomas, reduciéndose significativamente la eficiencia fotosintética (Coffee Board 1988-89a y b).Esto 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 sólo incrementa las posibilidades de estrés por sequía, sino que limita la absorción de nutrimentos.

Con respecto a la variable herbicidas, se detectó que la presencia de residuos de diurón incidió en que se alcanzara un mayor índice de severidad de la enfermedad (0,52) y no se detectaron diferencias entre los otros dos niveles (0,34 y 0,30). El oxyfluorfén presentó el menor índice, lo cual evidencia que su uso no afectó la susceptibilidad del cultivo (Fig. 9).

Se comprobó que al utilizar un bajo nivel de fertilización, la severidad del ataque de *Fusarium* spp. se incrementó, aunque ligeramente, situación congruente con lo informado por varios investigadores en estudios similares (Chase y Jones. 1986, Chase y Poole 1986, Huber y Watson 1974, Sharma y Sharma 1991) (Fig. 10).

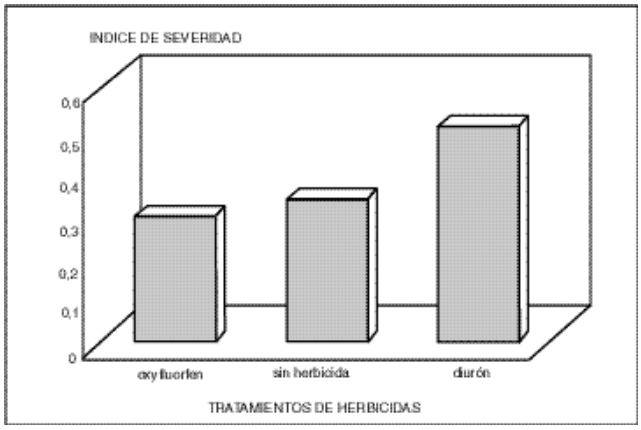

Figura 9. Severidad de daño causado por *Fusarium* spp. bajo el efecto de tres tratamientos de herbicidas.

En varios países del trópico se demostró 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 existe exceso o déficit de luminosidad (Beddis y Burgess 1992, Carson *et al.* 1991,Gristein *et al.* 1975, Papendick y Cook 1974).

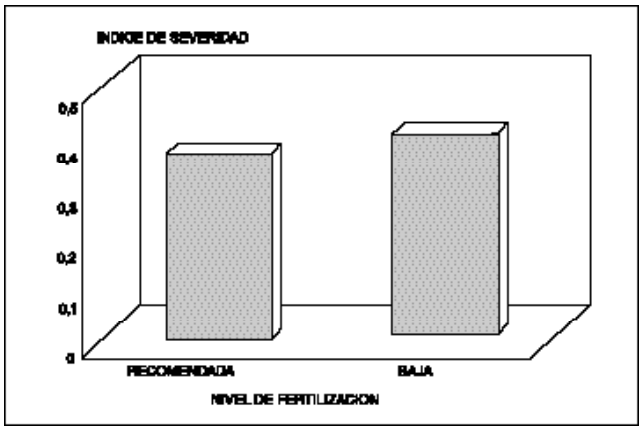

Figura 10. Severidad del daño causado por *Fusarium* spp. bajo el efecto de dos niveles de fertilización.

En Kenia, específicamente en café, encontraron que la mayor severidad de daño causado por este organismo está asociada a estrés por condiciones del ambiente y Kannan (1986) indica que los principales factores a considerar para no incrementar la suscepti-

bilidad de los cafetales a *Fusarium* spp. son la sombra adecuada y la aplicación balanceada de nutrimentos.

Esta investigación logró resultados similares, pero al analizar las interacciones que se presentaron se comprobó que la combinación de 0% o 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 encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos de oxyfluorfén y sin herbicida dentro de los tres porcentajes de sombra (Fig. 11).

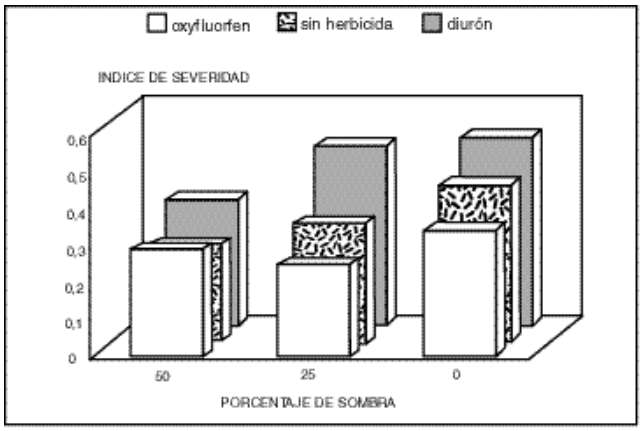

Figura 11. Severidad del daño causado por *Fusarium* spp. bajo la interacción sombra x herbicida.

Efecto de los factores de estrés en la incidencia de *P. 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 en 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 *P. costarricensis,* hongo que colonizó agresivamente el follaje de las plantas y persistió durante todo el experimento de campo.

P. costarricensis dañó los tejidos del follaje y provocó la defoliación continua de las plantas al formarse capas de absición en la base del peciolo de las hojas, lo que a su vez redundó en una tasa menor 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 (apreciación visual, no cuantificado), el cual es un síntoma característico del síndrome del mismo, porque 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).

Para el combate del hongo, se realizaron aspersiones preventivas periódicas de clorotalonil (Daconil 2787 W-75 o Bravo); no obstante, el hongo se estableció y persistió durante todo el experimento. Esto indica que aparentemente el fungicida resulta ineficaz 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 si sola del químico contra el patógeno.

La evolución de la enfermedad bajo los tres porcentajes de sombra, comprobó 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. 12).

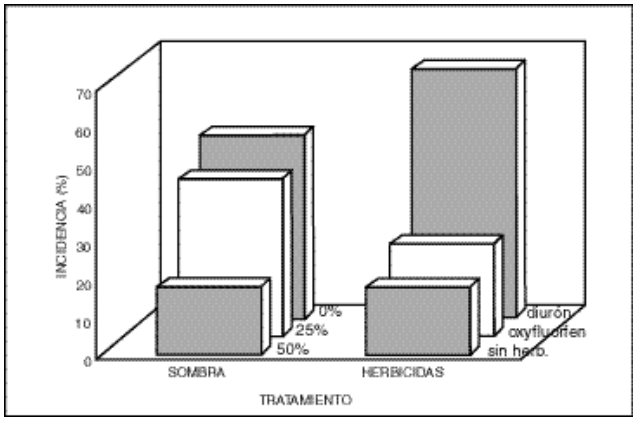

Figura 12. Incidencia de *P. costarricensis* bajo dos factores de estrés.

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 de inóculo por la presencia continua de plantas enfermas en los tratamientos ubicados a plena exposición solar, redundó en la contaminación de las primeras.

Durante los meses de enero y febrero se incrementó drásticamente el ataque del hongo, lo cual aparentemente se relaciona con el hecho de que en esta época las plantas se encontraban en su fase de adapta-

ción, el tamaño era reducido y los tejidos estaban tiernos,las cuales son condiciones ideales para el ataque de este patógeno, el cual tiende a dañar especialmente las regiones de tejidos jóvenes y en pleno crecimiento (Programa Cooperativo ICAFE-MAG 1989, Regalado *et al.* 1990). Posiblemente, las temperaturas bajas de esos meses favorecieron el desarrollo del hongo.

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

También se considera que la alta 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 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 cuanto al comportamiento de la enfermedad bajo el efecto de tres tratamientos de herbicidas, es evidente que no existen diferencias en la incidencia del patógeno en las plantas tratadas con oxyfluorfén y el tratamiento que no incluyó herbicidas, aspecto que fue corroborado por la prueba de Tukey realizada con estos datos (Fig. 12).

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 los tratamientos de fertilización, considerándose que la buena fertilidad del suelo utilizado y las adecuadas características que este reunía para el establecimiento del almácigo, impidieron que se observaran diferencias entre ambos tratamientos, enmascarándose los efectos que una dosis baja pudo ejercer en la susceptibilidad del cultivo a la enfermedad.

Tampoco se observaron significancias entre los tratamientos con y sin inoculación de *Fusarium* spp. (Cuadro 1).

Al considerar la interacción de patógenos con herbicidas se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y la incidencia fue más alta en las plantas inoculadas con *Fusarium* spp. y que se les aplicó diurón (Fig. 13). El porcentaje alcanzado en este caso fue mucho mayor y aparentemente esto se debe a que se produjo un sinergismo entre el patógeno y el herbicida.

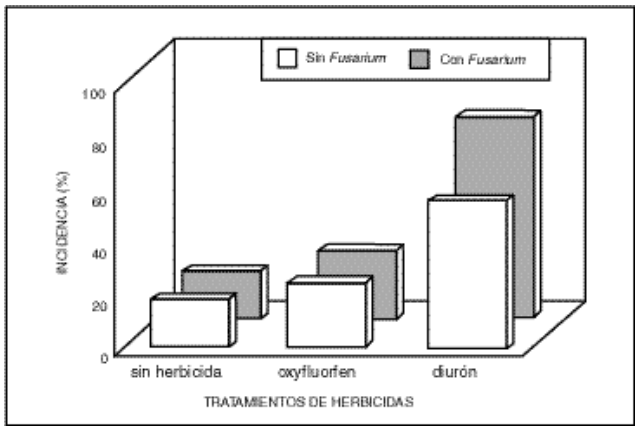

Figura 13. Incidencia de *P. costarricensis* bajo la interacción herbicidas x patógenos.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación indican que las plantas de café pueden ser dañadas considerablemente por *Fusarium* spp. o *P. costarricensis,* en especial si su manejo agronómico no es óptimo y están expuestas a condiciones de estrés.

El efecto de los factores de estrés no es uniforme sobre todas las variables de crecimiento;sin embargo, las consecuencias fueron evidentes en algunas de las interacciones.

La alta luminosidad,presencia de residuos de diurón en el suelo del almácigo y baja fertilización constituyeron los factores de estrés más importantes que incrementaron la susceptibilidad del cultivo al ataque de *Fusarium* spp.

La exposición de las plantas al 75 o 100% de luminosidad y la presencia de residuos de diurón fueron factores de estrés significativos en la incidencia de *P. costarricensis* la cual fue mayor (76,38%) especialmente cuando se produjo sinergismo entre el ataque de *Fusarium* spp. y los efectos del diurón.

Se comprobó que los residuos del diurón afectaron negativamente las variables de crecimiento y predispusieron a las plantas al ataque de *Fusarium* spp. *y P. costarricensis.*

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.

Literatura citada

Altman, J; Campbell, C. 1977. Effect of herbicides on plant disease.Annual Review of Phytopathology 15:361-385.

Beddis, A; Burgess, L. 1992. The influence of plant water stress on infection and colonization of wheat seedlings by *Fusarium graminearum* group 1. Phytopathology 82:78-83.

Carson, M;Arnold, W;Todt, P. 1991. Predisposition of soybean seedling to *Fusarium* root with trifluralin. Plant Disease 75(4):342-347.

Carvajal, J. 1984.Cafeto-cultivo y fertilización. 2 ed.Suiza,Instituto Internacional de la Potasa.141 p.

Chase, A; Jones, J. 1986. Effects of host nutrition, leaf age, and preinoculation light levels on severity of leaf spot of dwarf scheffiera caused by *Pseudomonas cichorii*. Plant Disease 70:561-563.

Chase, A; Poole, R.1986.Effects of fertilizer rates on severity of *Alternaria* leaf spot of the three plant in the Araliaceae. Plant Disease 70(12):1 144-1145.

Chase, A; Poole, R.1987.Effects of fertilizer rates on severity of *Xanthomonas* leaf spot of scheffiera and dward scheffiera. Plant Disease 71:527-529.

Christiansen, N. 1975. Organization and conduct of plant stress research to increase agricultural productivity. *In* Stress physiology in crop plant. Mussell, H; Staples, E. Ed. New York, Wiley. p.1-14

Coffee Board. 1988-1989a. Forty nineth annual report. Karnataka State, India,Green Fields Engineering Corp. 408 p.

Coffee Board.1988-1989b. Forty second annual report.Karnataka State, India,Jwalamnkhijob Press. 395 p.

Colhoum, J. 1973. Effects of environmental factors on plant disease.Annual Review Phytopathology 11:343-364.

Davinderjith, B; Smalley, E. 1974. The development of *Hypoxylon* canker of *Populos tremuloides*: role of interacting environmental factors. Phytopathology 64:658-662.

Dawson, J; Bruns,V; Clore, J. 1968. Residual monuron, diuron and simazine in a vineyard soil. Weed Science Society of America 16(1):63-65.

Gristein, A; Katan, J; Eshel, Y. 1975. Effect of dinitroaniline herbicides on plant resistance to soilborne pathogens. Phytopathology 66:517-522.

Heitefuss, R. 1982. General review of active defense mechanisms in plants against pathogens *In* Active defense mechanisms in plants. Wood, RK. Ed. New York, Plenum Press. p.1-18

Huber, D; Watson, R. 1974. Nitrogen form and plant disease. Annual Review of Phytopathology 12:139-165.

International Seminar Coffee Technology (1,1988,Chianf Mal, Thailand). 1988. Seminar. Highland Coffee Research and Development Centre. Chiang Mai, Thailand, Thanabhan Printer. 285 p.

Jones, J; Chase, A; Harbaugh, B; Raju, B. 1985. Effects of leaf weatness, fertilizer rate, leaf age, and light intensity before inoculation on bacterial leaf spot of *Chrysanthemum*. Plant Disease 69(9):782-784.

Kaiser,W; Kaiser, G;Prachuab, P; Wildman, S; Heber, U. 1981. Photosynthesis under osmotic stress. Planta 153(1):416-422.

Kannan, N. 1986. Root diseases of coffee. Indian Coffee 50(12):21-24.

Kendall, W; Leath, K. 1975. Sland-board culture methods for root observations of red dover. Crop Science 14:31 7-320.

Levesque, C; Rahe, J. 1992. Herbicide interactions with fungal root pathogens,with special reference to glyphosate. Annual Review of Phytopathology 30:579-602.

Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. *In* Physiological ecology. Koslowski, TT. Ed. New York, Academic Press. 607 p.

Mandeel,Q; Baker, R. 1991. Mechanisms involved in biological control of *Fusarium* wilt of cucumber with strains of nonpathogenic *Fusarium oxysporum*. Phytopathology 81:462-469.

Moore, I; Lagerstedt, B; Hartmann, N. 1974. Stress predisposition young filbert trees to bacterial blight. Phytopathology 63(12):1537-1540.

Pandey, M; Wilcoxson, R. 1970. The effect of light and physiologic races of *Leptosphaerulin*a leaf spot of alfalfa and selection for resistance. Phytopathology 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 64:358-363.

Percich, J;Lockwood, L. 1975. Influence of atrazine on the severity of *Fusarium* root in pea and corn. Phytopathology 65(2):154-159.

Programa Cooperativo ICAFE-MAG. 1989. Manual de recomendaciones para el cultivo del café.Costa Rica. 122 p.

Regalado, A; Villanueva,A. 1990. Enfermedades del cafeto. *In* El cultivo del cafeto en México. México, La Fuente. p.179-189

Russel,G; Jarvisi P;Monteith, J.1989.Absortion of radiation by canopies and stand growth. *In* Plant canopies:their growth, form and function. Russell, G; Marshall, B; Jarvis, P. Ed. New York,Cambridge Unviersity.p. 21-39

Schoeneweiss,O. 1975.Predisposition,stress, and plant disease. Annual Review of Phytopathology 13:193-211.

Schoeneweiss,O.1979. Protection against stress predisposition to *Botryosphaeria* canker in containerized *Cornus stolonifera* by soil injection with benomil. Plant Disease Reporter 63(10):896-900.

Schoeneweiss, O. 1983. Drougth predisposition to *Cytospora* canker in blue spruce. Plant Disease 67(4):383-385.

Sharma,J;Sharma, U. 1991.Effect of nitrogen and phosphorus on the yield and severity of turcicum blight of maize in Nagaland.lndian Phytopathology 44:383-385.

Sivan,A;Chet,I.1989. The posible role of competition between *Trichoderma harzianum* and *Fusarium oxysporum* on rhyzosphere colonization. Phytopathology 79:198-203.

Smiley, R; Ogg, A; Cook, J. 1992. lnfluence of glyphosate on *Rhizoctonia* root rot, growth, and yield of barley. Plant Disease 76:937-942.

Still,R; Torrie,J. 1988.Bioestadística.Principios y procedimientos. 2.ed.México, 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 *Eucaliptus grandis*. Plant Disease 76(7):744-746.

Yarwood, O.1976.Modification of the response-predisposition. *In* Physiological plant pathology. Heitefuss, R; Williams, PH.Ed.Berlin,Universitatsdruckerei H.Sturtz A.G,Wurzburg. 4 p. 703-718

Ykema, R; Stutz, J. 1991. Isolation, identífication, and pathogenecity of *Fusarium* spp. from guayule in Arizona. Plant Disease 75:736-738.