

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA



ESTUDIO DEL COMPLEJO FUNGOSO QUE CAUSA  
DETERIORO EN EL CAMPO DE LA PANOJA DEL SORGO  
(*Sorghum bicolor* (L) Moench Y EVALUACION DE  
RESISTENCIA GENETICA

TESIS

Presentada a la Honorable Junta Directiva de la  
Facultad de Agronomía  
de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Por  
HECTOR MANUEL VILLEDA RETOLAZA

En el acto de su investidura como  
INGENIERO AGRONOMO

En el Grado Académico de  
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, Septiembre de 1980

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central  
Sección de Tesis

01  
T(478)  
C-3

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Rector en Funciones

LIC. ROMEO ALVARADO POLANCO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

Decano	Dr. Antonio Sandoval Sagastume
Vocal 1o.	Ing. Agr. Carlos Orlando Arjona
Vocal 2o.	Ing. Agr. Salvador Castillo O.
Vocal 3o.	Ing. Agr. Rudy Villatoro
Vocal 4o.	Ing. Agr. Efraín Medina
Vocal 5o.	Prof. Edgar Franco Rivera
Secretario	Ing. Agr. Carlos N. Salcedo

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano	Dr. Antonio Sandoval Sagastume
Examinador	Ing. Agr. Edgar Ríos
Examinador	Ing. Agr. Edgar Martínez
Examinador	Ing. Agr. Rodolfo Estrada
Secretario	Ing. Agr. Carlos N. Salcedo

Guatemala,  
Agosto de 1980

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento a lo establecido por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestro criterio, el trabajo de tesis titulado "ESTUDIO DEL COMPLEJO FUNGOSO QUE CAUSA EL DE-TERIORO EN EL CAMPO DE LA PANOJA DEL SORGO (Sorghum bicolor (L) Moench) Y EVALUACION DE RESISTENCIA GENETICA", como último requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

En espera que el presente trabajo merezca vuestra aprobación, me es grato suscribirme, muy atentamente,

HECTOR MANUEL VILLEDA RETOLAZA



Referencia .....

Asunto .....

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal: No. 1845

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

8 de agosto de 1980

Doctor  
Antonio Sandoval  
Decano Facultad de Agronomía  
Presente.

Señor Decano:

Me complace informar a usted, que he concluido el asesoramiento del trabajo de investigación y he revisado el escrito de tesis titulado "ESTUDIO DEL COMPLEJO FUNGOSO QUE CAUSA EL DETERIORO EN EL CAMPO DE LA PANOJA DEL SORGO (Sorghum bicolor) Y EVALUACION DE RESISTENCIA GENETICA", presentado por el estudiante HECTOR MANUEL VILLEDA R.

Es importante resaltar que este trabajo es el primero que se realiza en Guatemala; aparte de que, su aporte en contenido científico y técnico es abundante.

Por las razones anteriores me permito recomendar al señor Decano autorice su impresión.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dr. David Monterroso S.  
FITOPATOLOGO  
Subárea Protección de Plantas

DM/nlzm.

cc. archivo

ACTO QUE DEDICO

A DIOS TODOPODEROSO

A MIS PADRES

Héctor Manuel Villeda Osorio  
María Norberta Retolaza de Villeda

A MIS HERMANOS

Luis Alberto  
Rosalina  
Blanca Iris  
Raúl Antonio  
Brendaly del Carmen  
Francis Amelia  
Juan Carlos

A MI ABUELO

Juan Domingo Retolaza Muniategui

A MIS FAMILIARES

A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO

A MIS AMIGOS EN GENERAL

TESIS QUE DEDICO

A MI PATRIA GUATEMALA

AL COLEGIO SALECIANO DON BOSCO

AL INSTITUTO NACIONAL CENTRAL PARA VARONES

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA

AL CAMPESINO GUATEMALTECO

## AGRADECIMIENTO

A mis padres, HECTOR MANUEL VILLEDA OSORIO y MARIA NORBERTA RETOLAZA DE VILLEDA con gratitud, respeto y cariño por todos los sacrificios y esfuerzos realizados en beneficio de mi superación profesional.

Al Dr. DAVID MONTERROSO, asesor del presente trabajo por sus acertadas observaciones y su valiosa orientación.

Al Dr. ALBERT N. PLANT al haber detectado el problema y su valiosa colaboración para la realización de este estudio.

Al Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, ICTA, por permitir realizar el presente estudio.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron para la realización de este trabajo.

ESTUDIO DEL COMPLEJO FUNGOSO QUE CAUSA  
DETERIORO EN EL CAMPO DE LA PANOJA DEL SORGO  
(Sorghum bicolor (L) Moench Y EVALUACION DE  
RESISTENCIA GENETICA

RESUMEN

El deterioro del grano de sorgo ocurre desde la floración hasta el secado de el grano o punto de cosecha que es un período aproximado de 30 días; esto puede ser causado por agentes externos tales como ataque de aves, insectos y hongos, estos últimos son los que más afectan sobre todo en cosechas de invierno.

Se han identificado mundialmente varios organismos fungosos atacando al grano, tales como: Alternaria, Cladosporium, Colletotrichum, Curvularia, Fusarium, Penicillium, Phoma, etc.

En el año de 1979, se procedió a efectuar el presente estudio, con el fin de poder identificar los géneros que afectan a la panoja de sorgo en las plantaciones de Guatemala, así también se evaluaron 17 líneas por su resistencia genética al deterioro de el campo. Estas líneas fueron: Tx 2536, SC 170-6-17, SC 3541, TAM 2566, SC 170-14, SC 748-5, BTx 378, SC 599-11, GRP 148, 77 CS1, SC 414-12-E, TAM 428, BTx 623, BTx 624, SC 566-14, 110-14, Tx 430.

El diseño usado en este estudio fue de Bloques al Azar con 5 repeticiones. El tamaño de la parcela fue de 3 surcos de 6 metros de longitud cada uno y a una distancia de 0.75 metros entre surcos, para evaluar el surco central; cada parcela se encontraba rodeada de un material que con anterioridad se sabía era susceptible, el cual fue usado como testigo. Los datos de campo fueron analizados



por dos métodos: Análisis de Varianza y Comparación de Epiftias.

En la identificación de los patógenos se llegó a concluir que en el país los géneros que afectan con mayor grado son los géneros Eu-sarium moniliforme y Curvularia lunata.

Los materiales de acuerdo a su grado de resistencia fueron clasificados en 4 categorías así: Susceptibles, Medianamente susceptibles, Medianamente resistentes, resistentes. De los cuales los materiales Resistentes resultaron ser: SC 748-5, SC 566-14, BTx 623, SC 599-11.

## CONTENIDO

	Hoja
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISION DE LITERATURA	5
4. MATERIALES Y METODOS	37
5. RESULTADOS Y DISCUSION	42
6. CONCLUSIONES	51
7. RECOMENDACIONES	52
8. BIBLIOGRAFIA CITADA	53

## 1. INTRODUCCION

El sorgo es cultivado a todo lo ancho de el trópico y subtrópico y regiones templadas dentro de latitudes 45° N y 45° S.

FAO en 1977 reporta que la mayor parte es cultivada en Africa, Asia, América y Australia, en regiones que son generalmente demasiado calientes para una producción de maíz consistentemente confiable. En Norteamérica y Australia el sorgo es cultivado comercialmente en grandes fincas con rendimientos de grano promediando 3053 Kg/Ha y 2222 Kg/Ha respectivamente. El grano es usado principalmente para alimento animal. En el trópico en campos menos desarrollados el sorgo es producido predominantemente por pequeños agricultores cuyo grano de sorgo tienen rendimientos bajos; por ejemplo: 544 Kg/Ha en India y 572 Kg/Ha en Africa Occidental; y el grano es usado principalmente en alimentación humana (21).

Es bien conocido que el maíz constituye el alimento básico de la población de Guatemala así como de varios países latinoamericanos y de otras regiones del mundo. También se sabe que en algunas áreas de Guatemala en épocas de escasez, el sorgo ocupa el lugar del maíz en la alimentación humana y en otras regiones principalmente Africa, el sorgo es un alimento diario de las poblaciones rurales.

Bressani y Ríos, citados por Aragón (1), analizaron 23 variedades de sorgo originarias de Estados Unidos de América y sembrados en Guatemala y de 2 selecciones de Guatemala, concluyeron que: la similitud en composición química entre el sorgo y el maíz indica que el grano de sorgo puede ocupar el lugar del maíz en la alimentación sin cambiar significativamente el valor nutritivo de la dieta o ración.

Es de mucho interés realizar en el sorgo los mismos estudios que se han realizado en maíz ya que es un grano de mucho porvenir y está reemplazando al maíz en muchos productos alimenticios y como materia prima en varias industrias, teniendo la ventaja de poder ser cultivado en suelos pobres y secos dando mejores rendimientos (1).

El sorgo es un cultivo que en Guatemala cobra cada día mayor importancia debido a la demanda que tiene por parte del sector industrial, y para consumo humano, destinándose el 85% de la producción a la elaboración de concentrados y el restante 15% en alimentación humana, aunque este último porcentaje aumenta cuando ocurre escasez de maíz o el precio adquisitivo del mismo está alto.

La producción de sorgo granífero en Guatemala se localiza principalmente en los departamentos de Jalapa, Jutiapa y Santa Rosa; ocupando una extensión aproximada de 50 mil hectáreas, con un volumen de producción de 50 mil toneladas métricas y el rendimiento promedio nacional estimado es de 1,000 Kg/Ha. Este rendimiento se considera bajo, pues el uso de mejor tecnología ha demostrado que el rendimiento puede ser cuadruplicado (4,000 Kg/Ha) (13).

El deterioro del grano de sorgo ocurre en el lapso entre la floración y el secado de el grano o punto de cosecha que es un período que puede ser de unos 30 días o más.

En el deterioro participan factores externos tales como ataque de aves, insectos, germinación prematura en panoja y ataque de hongos, siendo estos últimos los que en mayor grado afectan.

El sorgo en cosechas de invierno se ve atacado por hongos que causan deterioro y finalmente pudrición; existen varios géneros mundialmente identificados atacando al grano, tales como: Alternaria, Cladosporium, Colletotrichum, Curvularia, Fusarium, Penicillium, Phoma y otros, pero básicamente los que más afectan en Guatemala son especies de Curvularia y Fusarium.

Los problemas que conlleva el ataque de estos patógenos citados son entre otros: la reducción en el rendimiento, reducción en la calidad del grano, reducción en el porcentaje de germinación, problemas de mercado, problemas de almacenaje, probable producción de micotoxinas.

Podría tratar de controlarse el ataque fungoso mediante el uso de productos químicos fungicidas, pero además de que se incrementan los costos de producción, en muchos casos no han resultado efectivos principalmente cuando el hongo ha penetrado dentro de el grano. Debido a lo anterior, la solución más acertada es la búsqueda de materiales que presenten resistencia genética.

## 2. OBJETIVOS

- a. Determinar si el causante del deterioro en el campo de la panoja del sorgo es el complejo fungoso: Curvularia sp. y Fu-  
sarium sp.
  
- b. Comprobar la existencia de líneas resistentes entre los materiales que ICTA posee y que posteriormente puedan servir como fuente de resistencia para trabajos futuros de mejoramiento.

### 3. REVISION DE LITERATURA

El término deterioro del grano se refiere al complejo físico-químico en el que actúan organismos patógenos, otros factores que contribuyen al deterioro incluyen la alternativa de la exposición a la intemperie y el secado prolongado expuesto al sol, los insectos y las aves perjudiciales, así también el ataque de hongos.

Los síntomas de deterioro incluyen decoloración de la semilla, y germinación de la semilla en la panoja. El término moho del grano es usado para describir el daño que aparece en el grano de sorgo resultando de el desarrollo de la infección del grano de una o más especies de hongos parasíticos. El término es usado en la literatura para describir la enfermedad que aparece en los granos del sorgo infectado con moho mientras se desarrollan en el campo; después de su madurez y mientras dura el almacenaje.

Los síntomas que desarrolla el grano como resultado de infectarse de moho depende de los hongos o tipo de hongos y del tiempo expuesto dependiente de esto así será lo grave de la infección; los granos severamente infectados parecen estar completamente cubiertos de moho negro o rosado y se desintegran o convierten en polvo en el proceso de desgrane o trilla. El grano ligeramente infectado podría pasar desapercibido excepto por la leve decoloración rosada o negra en una pequeña porción de la superficie y el grano interiormente parece normal. Por experiencia se ha demostrado que el grano puede estar infectado por el moho del grano aunque exteriormente no puedan verse los síntomas (21).

Tarr en 1962 (17), no considera que el moho del grano de sorgo sea de gran importancia, en su sección de inflorescencia y

las enfermedades de los granos aunque la información es pobre. - Quince años después en los cuestionarios que se desarrollaron en el Taller Internacional de las Enfermedades en Sorgo (21), mejoradores de sorgo y patólogos de Africa, Asia y América, pusieron al mo- ho del grano como una de las enfermedades mayores y uno de los pro- blemas de investigación más grandes en la mejora de las siembras de sorgo.

Es significativo que el período de 15 años entre el libro de Tarr y el Taller Internacional ha sido un período de gran mejora en el sorgo en muchos países y particularmente en India y varios países del Africa. Ha sido también la era de "Granos Milagrosos" y la "Re- volución Verde" en la cual para empezar se pensó que corta-talla, corta-duración y fertilizantes para los cultivos era la respuesta al problema de comida del mundo.

Las plagas y patógenos han demostrado que esta doctrina no tiene sentido. Los hongos del trigo, los virus del arroz y el moho del sorgo, son ejemplos de fenómenos que demuestran claramente que si ignoramos las plagas y los patógenos seremos capaces de pro- ducir líneas con un rendimiento potencial mucho más alto pero no se- remos capaces de proveer a los agricultores en el trópico, con cul- tivos de un alto y más estable rendimiento.

El moho del grano del sorgo ha emergido y se ha dispersado como una enfermedad del sorgo, porque puede reducir la producción y la aceptación de los granos cultivados y porque nunca se ha usado un alto nivel de resistencia a moho del grano para producir la mayo- ría de los nuevos sorgos de corta duración para consumo humano.



### 3.1 TIEMPO DE INFECCION

El trabajo de Rao y Williams (1977) y de Castor (1977) evidentemente demuestra que el principal hongo del grano es patógeno y puede invadir progresivamente las florecillas desde la antesis (abertura floral). Así el problema del grano enmohecido no es un problema de hongos saprofiticos invadiendo una fuente de carbohidratos bajo condiciones húmedas, sino éste es un problema de hongos patógenos. Indudablemente si el grano de sorgo está en el campo bastante tiempo después de madurar, el tiempo es contribuyente para el desarrollo de hongos saprofiticos, entonces ellos se desarrollarán sobre el grano (21).

### 3.2 FACTORES QUE PREDISPONEN

Tarr (1962) reconoció que los hongos pueden desarrollarse en la inflorescencia del sorgo, en cualquier etapa desde la inflorescencia joven hasta la panoja madura, proporcionando condiciones que sean convenientemente húmedas. La experiencia general de trabajos en sorgo es que en tiempo húmedo, siguiendo la floración es necesario para el buen desarrollo del moho del grano, y a mayor período húmedo, es más grande el desarrollo del hongo. (Koteswar Rao y Poor-nachandrudu, 1971; Gray et al 1971; Rao y Williams, 1977) (21).

Es por lo anterior que se debe determinar el patrón exacto de lluvias, temperaturas y humedad que causan en mayor grado el desarrollo de moho al grano de sorgo.

### 3.3 AGENTES CAUSALES

Numerosos reportes han listado un gran número de hongos, los cuales pueden ser aislados de los granos de sorgo. Estos incluyen ambos: en producción y los hongos almacenados, en Texas las poblaciones de hongos predominantes pertenecen a los géneros Alternaria, Fusarium y Curvularia.

En un intento por separar los hongos saprófitos de los patógenos se comparó el predominio de hongos en muestras de apariencia normal del grano con alta germinación con las muestras de moho de grano con más baja germinación. Alternaria sp. comúnmente estuvo presente en 50 - 90% de las semillas de apariencia normal. Una comparación de semillas con la superficie esterilizada con semillas de superficie no esterilizada indicaron que el crecimiento de Alternaria sp. era superficial, el porcentaje de recuperación fue reducido con la esterilización de la superficie. En contraste Fusarium y Curvularia sp., fueron identificados como los hongos más importantes en los granos enmohecidos en Texas. Las especies principales de Fusarium y Curvularia identificadas de Fusarium y Curvularia fueron: Fusarium moniliforme, Fusarium semitectum, Curvularia lunata, Curvularia protuberata y Curvularia trifolii (2).

En Pakistán, Junejo y Malik (1967), reportaron un detallado estudio y en Africa, Denis y Girard (1977) proveen una lista considerable de hongos, asociados con moho del grano de sorgo. Hay también muchos informes sobre este asunto en U.S.A. Hansing y Hartley (1962) reportan un largo y detallado estudio, y más recientemente Castor (1977) específicamente con hongos que causan moho del grano en Texas (2).

Los hongos que han sido reportados presentes en semilla de sorgo son los siguientes: Acrothecium, Alternaria, Aspergillus, Bipolaris, Chaetomium, Chaetopsis, Cladosporium, Cladotrichum, Cochliobolus, Colletotrichum, Cunninghamella, Curvularia, Cylindrocarpum, Drechslera, Fusarium, Gloeocercospora, Gonatobotrytis, Helicosporae, Helminthosporium, Mucor, Nigrospora, Olpitrichum, Pellicularia, Penicillium, Phoma, Pestalotia, Pycnidium, Ramularia, Rhizopus, Sordaria, Thielavia y Trichothecium.

De estos los más frecuentemente encontrados son Fusarium, Curvularia, Alternaria, Aspergillus y Phoma (21).

#### 3.4 HONGOS QUE CAUSAN EL PROBLEMA DEL MOHO DEL GRANO EN EL CAMPO

Los más detallados estudios sobre los agentes causantes del moho del grano han sido hechos en ICRISAT, India (Rao y Williams 1977), en Texas, U.S.A. (Castor 1977), y en Bambey, Senegal (Girard, 1970; Denis y Girard, 1977) (21).

Rao y Williams (1977) (14) reportan el desarrollo de altos niveles del moho del grano en la panoja del sorgo inoculada en antesis con suspensiones de micelio conidial de Fusarium moniliforme, Fusarium semitectum y Curvularia lunata.

Castor (1977) reporta sobre inoculación de la panoja de sorgo en el campo con aislamientos de Fusarium moniliforme, Fusarium semitectum, Curvularia lunata, Curvularia protuberata, Alternaria sp y Helminthosporium sp, varias veces después de florecer. Los aislamientos de Fusarium y Curvularia

fueron los principales patógenos que causaron decoloración y reducción en viabilidad; Curvularia no redujo la germinación tanto como Fusarium y semillas de panojas inoculadas con Fusarium en floración tuvieron la más alta proporción de agrietadura del pericarpio. Curvularia y Fusarium recubrieron fácilmente la superficie esterilizada de la semilla. En los estudios de disección el 16 y 23% de los embriones de semillas, las líneas inoculadas fueron infectadas con Curvularia y Fusarium respectivamente.

Castor observó que el escutelo fue siempre parcialmente degradado en semillas de panojas inoculadas con Fusarium y sugiere que el hongo puede destruir el embrión indirectamente por la interferencia de la traslocación del endospermo al embrión durante la germinación. Todo (100%) el grano de panojas susceptibles a Fusarium inoculadas contenían Fusarium en el endospermo y 78% del grano de panojas inoculadas con Curvularia tuvieron hongo en el endospermo.

Más recientemente en estudios realizados por Castor (no publicado) encontró que Fusarium moniliforme es más altamente patógeno que Fusarium semitectum.

De estas observaciones y estudios en U.S.A., Africa e India, es evidente que Fusarium moniliforme, Fusarium semitectum y Curvularia lunata son los patógenos primarios en el campo del problema del moho del grano (21).

## 3.5 IMPORTANCIA DE LAS ESPECIES FUNGOSAS

Resultados de estudios comparando Curvularia y Fusarium spp. son resumidos en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Comparación de valores promedio entre tratamientos de 8 líneas de sorgo de grano en 1976

	Tratamientos <sup>a/</sup>				
	NAT	N	NW	C	F
Clasificación de campo <sup>b/</sup>	2.0	1.7	1.7	1.9	1.8
Humedad <sup>c/</sup> %	18.5	16.5	16.4	15.2	13.0
Rendimiento <sup>d/</sup> (g)	604	448	497	422	376
Peso-100 semillas (g)	3.2	2.76	2.89	2.77	2.55
Germinación (%)	92	97	95	94	77
Retoño (%)	1	6	6	8	16
Curvularia (%)	0	8	11	80	0
Fusarium (%)	4	28	29	36	100

<sup>a/</sup> Panojas inoculadas en floración y ensacadas hasta la cosecha, los tratamientos son:

- NAT - Control no inoculada y no ensacada
- N - Control no inoculada y ensacada
- NW - Control con agua rociada y ensacada
- C - Inoculada con Curvularia sp.
- F - Inoculada con Fusarium sp.

<sup>b/</sup> Clasificación en escala de 1 — 5 donde 1— semilla limpia; 5— semilla enmohecida.

<sup>c/</sup> Peso en base seca.

<sup>d/</sup> 10 panojas/tratamiento/línea.

FUENTE: Castor L.L., and R.A. Frederiksen (2).

Cuadro 2. Comparación de semilla clasificada, peso de grano, germinación y retoño entre tratamientos aplicados a 14 líneas de sorgo de grano en 1977

	Tratamientos <sup>a/</sup>			
	NAT	N	C	F
Clasificación de semilla trillada <sup>b/</sup>	2.4	2.1	2.7	3.00
Peso de 100 semillas (g)	2.62	2.68	2.53	2.34
Germinación (%)	84	90	79	71
Retoño <sup>c/</sup>	1.1	0.7	2.0	6.6

a/ Panojas inoculadas en floración; ensacadas por 1 semana, los tratamientos son:

- NAT - No inoculada, no ensacada
- N - No inoculada
- C - Inoculada con tres especies de Curvularia
- F - Inoculada con dos especies de Fusarium

b/ Clasificación en escala de 1 — 5, donde 1 semilla limpia; 5 — semilla enmohecida.

c/ Medido por observación de la ruptura del pericarpio sobre el germen.

FUENTE: Castor L.L., and R.A. Frederiksen (2).

De acuerdo a los cuadros presentados se puede indicar que: Fusarium sp. es generalmente más dañino que Curvularia sp. aunque algunas líneas pueden ser más dañadas por Curvularia sp., Fusarium sp. reduce el rendimiento, contenido de humedad, peso de 100 semillas y la germinación más que Curvularia sp., cuando es comparado con controles no inoculados. El reducido contenido de humedad en la cosecha puede indicar que Fusarium puede causar senescencia prematura de la semilla. La madurez más temprana que lo normal puede fácilmente explicar las reducciones en el peso de la semilla, tamaño y rendimiento con los tratamientos de Fusarium (2).

En este mismo estudio se presenta una comparación entre las dos especies de Fusarium para determinar la importancia relativa (cuadro 3), y se evidenció que Fusarium moniliforme es mucho más dañino que Fusarium semitectum; Fusarium moniliforme reduce el rendimiento, peso de 100 semillas y germinación en una extensión mucho más grande que Fusarium semitectum comparado con los controles o tratamientos no inoculados. Fusarium moniliforme parece ser responsable de el aumento de germinación antes de la cosecha. La contaminación con una mezcla de ambas especies de Fusarium aislados resultó en menos reducción en rendimientos y en el peso de 100 semillas que cuando Fusarium moniliforme fue inoculado solo. Esto indica que la contaminación de las especies solas en el caso de Fusarium es mayor que cuando están presentes dos especies. Esto es sostenido por datos de experimentos conducidos por el Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para las Zonas Tropicales Semiáridas (ICRISAT). Mezclas de Fusarium o mezclas de Fusarium y Curvularia sp. produjeron menos daño que las inoculadas con especies simples o aisladas. Además Curvularia lunata y Fusarium moniliforme ambos redujeron su contenido de humedad al cosecharse bajo condiciones del centro de ICRISAT; Fusarium se-

mitectum no redujo su contenido de humedad. Fusarium moniliforme es por lo general más dañino que Curvularia sp. (principalmente Curvularia lunata) bajo las condiciones de Texas. Esto es en contraste a los experimentos de ICRISAT donde Curvularia lunata se encontró que es más dañino que Fusarium moniliforme. Fusarium semitectum fue relativamente sin importancia en Texas o en ICRISAT (2).



Cuadro 3. Comparación de cuatro características entre 5 tratamientos aplicados a tres líneas de sorgo de grano en 1977

	Tratamientos <sup>a/</sup>				
	NAT	N	F	FS	FM
Rendimientos <sup>b/</sup> (g)	385	344	284	291	269
Peso de 100 semillas (g)	2.3	2.39	2.31	2.35	2.23
Germinación (%)	81	91	76	85	78
Retoño <sup>c/</sup> (%)	1.6	2.0	9.1	3.6	6.9

<sup>a/</sup> Inoculada en floración; ensacada por 1 semana. Los tratamientos incluidos son:

- NAT - Control no inoculado, no ensacado
- N - Control no inoculado
- F - Inoculación con dos especies de Fusarium
- FS - Inoculación con aislamientos de Fusarium semitectum
- FM - Inoculación con aislamientos de Fusarium moniliforme

<sup>b/</sup> Basado en 10 panojas/tratamiento/variedad.

<sup>c/</sup> Basado en pericarpio agrietado sobre el germen.

FUENTE: Castor L.L., and R.A. Frederiksen (2).

### 3.6 INFECCION

Experimentos en el campo en Texas y en el centro ICRISAT han mostrado que el mayor daño basado en reducciones sobre la germinación ocurre cuando las panojas del sorgo son infectadas en antesis o dentro de 2 a 3 días de antesis (2).

Esto indica que el tejido floral (glumas, estigma, estilos, etc) son más susceptibles en la floración y llegan a ser menos susceptibles de aquí en adelante. Una ayuda adicional para la infección temprana viene de la información sobre los tipos de daños causados por el hongo que produce el moho en el grano. Una reducción en el peso o tamaño de la semilla sugerirá una temprana y prolongada exposición a la influencia de patógenos.

Una comparación de semillas de panojas inoculadas con Fusarium moniliforme, Fusarium semitectum y Curvularia han mostrado que Fusarium semitectum produce una mínima decoloración de la semilla y ninguna degradación del endospermo y tejido del germen. El daño de Curvularia es una degradación parcial del endospermo, parece progresar lentamente en el interior del pericarpio.

En contraste Fusarium moniliforme pareció inicialmente poblar la región entre el hilium, escutelo y la unión del endospermo, la colonización progresiva del endospermo. El embrión pareció ser el último tejido dañado. Esta observación es ayudada por datos de experimentos donde los embriones fueron extirpados de las semillas.

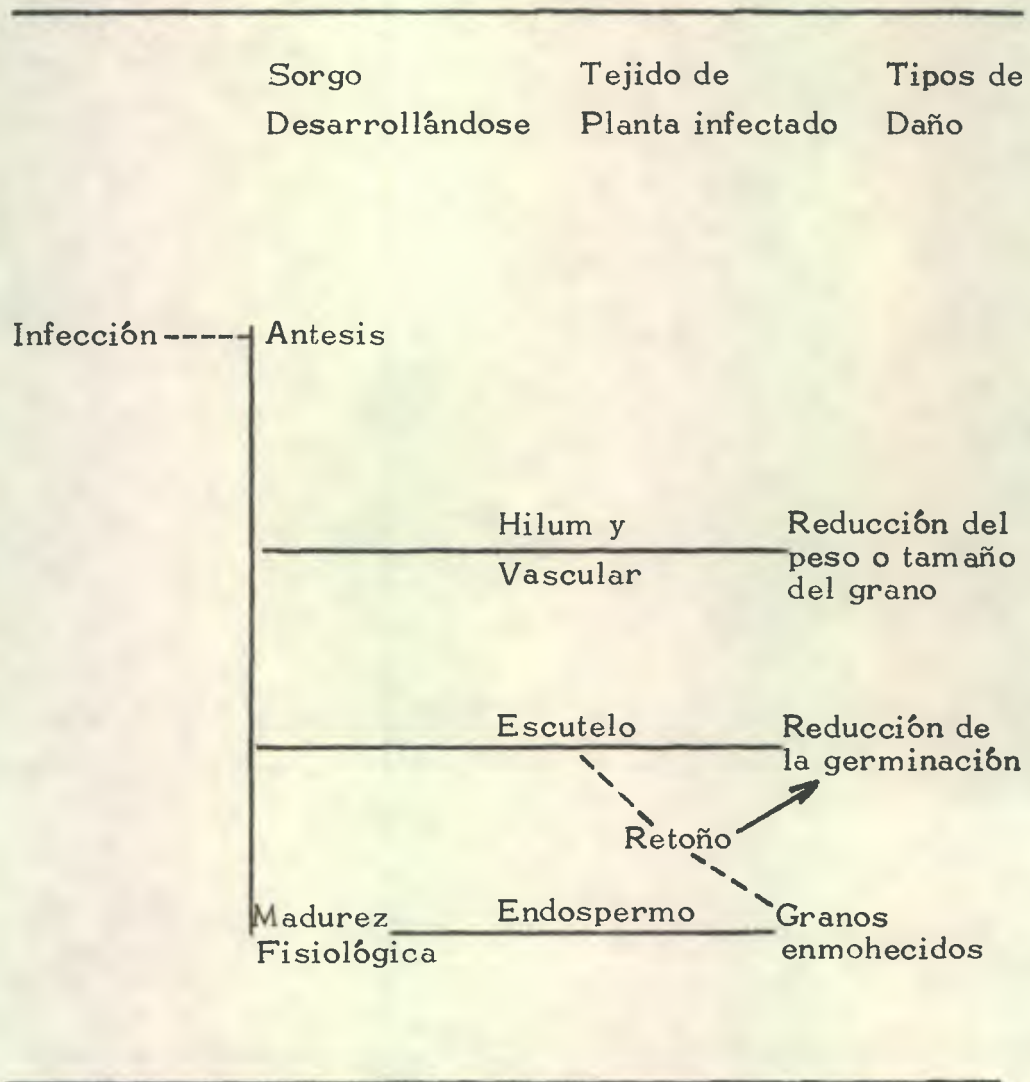
Semillas de líneas susceptibles inoculadas con Fusarium moniliforme mostraron muy poca germinación (27%) aún cuando la viabilidad del embrión fue alta (68%) (2).

Glueck declara que el germen parece ser el área primaria e inicial de el deterioro del grano antes de la cosecha, aunque ninguna distinción es hecha en el tiempo que el hongo causa el deterioro. Además los hongos aislados de glumas, semillas sin embriones y embriones han mostrado que los embriones contienen menos hongos que otros tejidos. La localización de micelio desarrollado o crecido sobre el grano ayudaría también a estas observaciones. Fusarium semitectum produjo poco o nada de moho. Curvularia sp primero produjo moho en partes de la semilla no cubierta por la gluma. El hongo Fusarium moniliforme se encontró inicialmente debajo de las glumas, alrededor del germen. - Eventualmente el hongo puede cubrir la superficie entera de la semilla con Curvularia sp. y Fusarium moniliforme. Hay alguna evidencia de que el hongo Fusarium moniliforme crece sobre la superficie de la semilla, ocurre sólo después de completar la colonización (y degradación) del tejido del endospermo (2).

La figura 1 es un diagrama esquemático mostrando como está relacionada la infección, desarrollo de la semilla y daño basado en evidencias comunes para Fusarium moniliforme.

Estudios específicos están ahora en progreso para mostrar donde los patógenos (Fusarium moniliforme y Curvularia lunata) entran en la semilla y cuando esto ocurre.

Figura 1



FUENTE: (2).

### 3.7 TIPOS DE DAÑO

El hongo o moho del grano puede causar pérdidas en la producción y calidad del grano cosechado en varias formas. Estos tipos de daño frecuentemente están relacionados y la importancia de cada uno depende grandemente sobre cómo es usado el grano. El hongo del grano mohoso puede producir decoloraciones, por la estructura fructífera de el hongo sobre el pericarpio o fuera de las regiones del endospermo de el grano. Estas manchas pueden resultar en valores reducidos en el mercado como pueden presentar un mal color cuando el grano es procesado para alimento humano. Este daño será de menos importancia en áreas del mundo donde el grano es usado como alimento para animales como en Texas (2).

Los hongos tales como Fusarium moniliforme y Curvularia lunata secretan enzimas, las que pueden degradar el endospermo (almidón) y los tejidos del germen, los procesos van acompañados a veces por moho visiblemente en el grano. Además especialmente con Fusarium moniliforme, las enzimas de la planta pueden ser estimuladas causando la iniciación de germinación y la subsecuente descomposición del tejido del endospermo. Sin hacer caso del origen, las enzimas producen grano que tiene un reducido valor alimenticio para alimentación humana o animal (2).

#### 3.7.1 Valor Nutricional

Glueck et al (1977), reporta que el deterioro del grano de sorgo resulta de cambios físicos, fisiológicos y quí-

micos. Ellos declararon que los gránulos de almidón del grano deteriorado tenían considerable picadura en la superficie (resultado de la degradación de la enzima y la proteína matriz debilitada y parcialmente hidrolizada). Sin embargo, ellos reportaron que la composición química del sorgo deteriorado no está grandemente diferenciada del grano no dañado y la digestibilidad del grano deteriorado puede ser ligeramente aumentada; en grano deteriorado los carbohidratos solubles están usualmente disminuidos porque son utilizados para proveer energía para el crecimiento y desenvolvimiento del hongo. Las proteínas están hidrolizadas y parcialmente utilizadas en la síntesis de la proteína del hongo y permanecen en el grano. Los resultados de Glueck *et al.* parecen estar basados relativamente en un ligero grado de deterioro del grano y estudios basados en grados diversos de infección por diferentes agentes climáticos (21).

### 3.7.2 Pérdidas en Viabilidad

La pérdida de viabilidad del grano de sorgo enmohecido y reducción en el vigor de la plántula es reportado por muchos investigadores. Arif y Ahmed (1969) encontraron que todo hongo aislado del grano de sorgo redujo la germinación y que Fusarium sp, fue el más perjudicial seguido por Aspergillus, Penicillium y Helminthosporium. Narasimhan y Rangaswamy (1969) encontraron una reducción en viabilidad de 40 a 80% cuando semillas sanas de sorgo fueron tratadas con aislamientos de moho. Tripathi (1974), obtuvo 56% de germinación con granos de sorgo mohoso mientras que aparentemente en grano limpio (de el mismo cultivar) obtuvo 76% de germinación. Castor (1977), reportó reducción de germinación de 95 a 75% de granos cosecha-

dos de panojas inoculadas con Fusarium sp. Mathur et al (1975), reportó que Fusarium moniliforme afectó la germinación y plántula desarrollado en muestras de grano de sorgo, y frecuentemente detectó Fusarium moniliforme en embriones de muestras de semillas. Rao y Williams (1977) obtuvieron pérdidas de viabilidad de hasta un 100% en granos de sorgo con severa infección de Fusarium y Curvularia. Denis y Girard (1977) consideraron pérdidas en viabilidad siendo así importante una parte de el síntoma de moho de grano que recomiendan una prueba de germinación que es parte de la evaluación regular para la identificación de resistencia a moho del grano (21).

Fusarium moniliforme y Curvularia lunata parece ser que interfieren con la traslocación de carbohidratos para el desarrollo del grano causando una reducción en el tamaño del grano y/o en el peso. Esto posiblemente ocurre cuando los hongos colonizan las ramas del raquis o la región hilar. En este caso la producción de grano puede ser reducida por la producción de grano visiblemente enmohecido (2).

Semillas infectadas con los hongos en referencia con frecuencia muestran una reducción en la germinación y en el surgimiento o emergencia, lo que causa malas situaciones en los campos de los agricultores. Además la plántula puede morir después de la emergencia o su crecimiento puede ser reducido. Esto es importante especialmente en áreas de Asia y Africa donde los finqueros siembran o plantan variedades más que los híbridos y ahorran su semilla para la próxima cosecha.

Fusarium moniliforme en particular parece colonizar inicialmente la región escutelar. Tal proximidad a el ger-

men puede fácilmente explicar la reducida germinación de semillas infectadas. Este daño también puede ocurrir sin producir hongos visibles en el grano (2).

### 3.7.3 Pérdidas Actuales en la Producción

Hay pocos reportes de estudios sobre la actual pérdida de peso en los granos como resultado de la infección por el moho.

Bhatnagar (1971), reporta una marcada reducción en el tamaño y el peso del grano de sorgo infectados artificialmente con Curvularia lunata, pero no provee datos suficientes. Gray et al (1971) del centro de Kentucky, reporta producciones de sorgo de varios cultivos susceptibles al moho del grano de menos de 12.49 qq/mz cuando esperaban de 43.15 qq/mz o más. Las producciones bajas fueron el resultado del ataque de moho del grano. Los síntomas descritos por Gray et al (1971) llevan a creer que el moho del grano haya sido el responsable de la baja producción (21).

Glueck y Rooney (1976), reportan variabilidad en el peso de 1,000 granos de 19.3 g y pruebas de peso de 47.3 lb/bu a 62 lb/bu bajo severas condiciones de clima, en College Station, Texas y comentan que aunque los granos hayan bajado en pruebas de peso, densidad y la germinación se expuso a condiciones climáticas la reducción fue menor para las líneas con resistencia superior al clima. Denis y Girard reportan los resultados de comparación de pérdidas e infección del moho en tres lugares de Senegal. Ellos concluyeron que cuando hay algunos otros pocos factores



que limitan el desarrollo de la planta, el moho del grano tiene un efecto negativo en el rendimiento. Castor (1977) también reporta una pérdida reducida en una prueba de peso en 1,000 granos debido al moho de la semilla causado por el género Fusarium sp (21).

Sundaram et al (1972) declaró en su reporte en una revisión de las enfermedades del sorgo y Millet en India reporta que las pérdidas en el sorgo híbrido sufrieron hasta el 50% debido a que panojas con moho fueron encontradas en las siembras experimentales en COIMBATORE. Sin embargo la tabla a que se refiere en base a su declaración indica que la proporción de plantas con infección de moho del grano subió hasta 50% y que no hay datos actuales que provean una reducción de la pérdida debida al moho. Glueck et al (1977), reportan pérdidas significantes debidas al moho del grano y que ocurrieron en Texas en 1974 y 1976 (21).

Aunque no se ha encontrado datos definitivos en la reducción de rendimientos debido al moho del grano, observaciones de varios investigadores en diferentes partes del mundo sugieren que son significantes. Es también de hacer notar que en materiales altamente susceptibles las pérdidas pueden alcanzar el 100% (21).

#### 3.7.4 Pérdidas de Calidad y Valor en el Mercado

En los granos producidos para consumo directamente humano la calidad del producto cosechado es de una importancia considerable. El moho del grano decolora al grano, reduciendo su aceptabilidad y por lo tanto el valor del grano. En investigaciones llevadas a cabo en aldeas de India Central, Von Oppen y Jambunathan (1978), encontraron que

el precio de mercado de grano de sorgo era significativamente negativo, relacionado con el grado de infección del moho y el precio del grano más enmohecido era el 20% menos que del grano más limpio (21).

Además de las actuales pérdidas de peso causadas por la infección del moho del grano, las pérdidas en el campo del mercadeo ocurren debido a la reducción de la aceptabilidad del consumidor aún con grano moderadamente enmohecido (21).

### 3.8 PRODUCCION DE MICOTOXINAS

Las micotoxinas son compuestos producidos por hongos que causan enfermedades de los animales (incluyendo al hombre), debido a la ingestión de alimentos invadidos por hongos toxigénicos. Sin lugar a dudas estas enfermedades siempre han estado con nosotros, sólo que hasta hace poco se les reconoció su importancia en la salud del hombre y la de sus animales domésticos.

En 1882 hace casi un siglo, se publicó un artículo describiendo una enfermedad de caballos sospechándose que era causada por el consumo de alimento ahongado, pero no se le dio importancia. En ese tiempo, probablemente pocos veterinarios conocían que había un área de estudio como la micología, y con toda seguridad los micólogos no tenían ni la más remota idea de que los hongos podían ser importantes en la salud de los animales.

El problema de las micotoxinas no es local o esporádico, ni es meramente una invasión ocasional de un lote de

grano, semillas o harinas de cacahuete, de semilla de algodón y de pescado, por una cepa rara de Aspergillus flavus productora de toxinas ni es un problema limitado a países desarrollados o a los que están en vías de desarrollo. Parece ser que en muchos países, aún en los más desarrollados del mundo, el envenenamiento de animales por el consumo de alimentos contaminados, con toxinas fungicidas, es común y de amplia distribución.

En regiones de Africa, India y Asia sudoriental el daño severo al hígado es común entre sus pobladores y se sospecha que es causado en parte o talvez totalmente por el consumo de alimentos contaminados por los hongos. Tal posibilidad parece ser lo suficientemente real como para ponerle más atención que la que se le ha dado hasta ahora. Los mismos problemas existen aún en los países más desarrollados, considerando que en todo lugar la gente y animales domésticos siempre están consumiendo alimentos invadidos por hongos, los que bajo condiciones ambientales adecuadas, son capaces de producir potentes toxinas (3).

Un área que concierne principalmente cuando se considera el valor nutritivo del grano de sorgo mohoso es la posibilidad de que el hongo produzca químicos mammaliotóxicos conocidos como micotoxinas. El problema de micotoxinas ha sido reconocido en tiempos relativamente recientes e inicialmente el trabajo fue concentrado sobre el grupo de químicos de la aflatoxina; las aflatoxinas son poderosos carcinógenos (precursores de cáncer) hepáticos producidos por el género Aspergillus sp, ahora se sabe que otros géneros de hongos incluyendo Fusarium, Penicillium, Stachybotris y Aspergillus, producen en los alimentos, químicos que son tóxicos para el hombre y animales (21).

Las micotoxinas conocidas, de los hongos que las producen y la naturaleza de las enfermedades que causan han sido completamente revisadas por Mirocha y Christensen (1974) y Martin y Gilman (1976) (21).

Las aflatoxinas producidas por el grupo Aspergillus flavus y Aspergillus parasiticus son altamente tóxicas para los animales en muy bajas concentraciones. Hay varios reportes de aflatoxinas detectadas en el grano de sorgo y productos de grano. Coady (1965) demostró la existencia de aflatoxina en el grano de sorgo Millet y en la harina de sorgo en Etiopía y Alpert et al (1971) encontró aflatoxinas en el sorgo de Uganda. En los Estados Unidos, Shotwell et al (1969) encontró aflatoxinas en exceso de 10 ppb en 6 de 533 muestras de sorgo (21).

En una investigación de los alimentos de Sur Africa, Martin et al (1971) y Martin (1974), reportaron la presencia de aflatoxinas en exceso de 10 ppb en 3 de 39 muestras de sorgo de buena calidad examinadas (21).

Tripathi (1973) aisló aflatoxinas B1, B2, G1 y G2, de sorgo mohoso, en el norte de India, las toxinas fueron aisladas de grano recogido de los campos al menos 7 días después de la lluvia y de granos recogidos inmediatamente después de llover y almacenados a temperatura ambiental por 7 días o más antes de su extracción. Aspergillus sp con el 13% de las colonias aisladas donde fue el cuarto género más común detectado en aislamientos del grano de sorgo mohoso, siguiendo: Curvularia (42%), Fusarium (19%) y Phoma (15%). Este reporte es significativo por lo que indica que en ciertos ambientes las aflatoxinas pueden ser importantes en el problema del moho del grano en el campo.

Sin embargo en términos del moho del grano en el campo la infección de Aspergillus no es tan importante como la infección de Fusarium. Rukmini y Bhat (1978), aislaron Fusarium incarnatum de grano de sorgo mohoso ocurriendo naturalmente y encontraron un tóxico metabólico; el cual llaman Toxina T2, asociado con la presión de estos hongos, las toxinas fueron también recobradas de arroz inoculado artificialmente (21).

Los hongos Fusarium roseum, Fusarium tricinctum, Fusarium oxysporum, Fusarium moniliforme, producen la micotoxina Zearalenone, la cual tiene propiedades estrogénicas y la que tiene efectos penetrantes considerables en algunos animales a muy bajas concentraciones. Martin (1974) demostró la presencia de Zearalenone en 4 muestras de sorgo mohoso y 27 muestras de papilla agria fermentada y muestras de cervezas del maíz y sorgo en Swaziland. Martin y Gilman (1976) estado que este estudio ha sido extendido a Lesotho donde pequeñas cantidades de Zearalenone (hasta 50 ppb) estaba formando en 16 de 71 muestras de cerveza (probablemente a base de sorgo) y concluyeron que la ingestión regular de Zearalenone por la población africana, podría talvez explicar la alta incidencia de ciertas enfermedades tales como (cáncer cervical) en una forma hasta ahora insospechada (21).

Schroeder y Hein (1975), encontraron formándose Zearalenone en el moho del grano livianamente infectado con Fusarium roseum "Gibbosum" y Fusarium roseum f. sp. semi-tectum. Granos de panojas infectadas seleccionadas contenían mucho Zearalenone. Concluyeron que la contaminación con Zearalenone puede ser un factor importante cuando Fusarium ataca la panoja, y el ataque es severo cuando el grano de sorgo está madurando, cuando la temperatura es elevada y el tiempo es húmedo (21).

Stipanovic y Schroeder (1975), investigaron el Zearalenone potencialmente producido por Fusarium roseum de cultivos aislados de sorgo mohoso. De un cultivo desarrollado en grano de sorgo aislaron Zearalenone, y dos compuestos relacionados, Zearalenol y 8'hidroxyzearalenone. Ellos concluyeron que desde el zearalenol sintético tienen actividad uterotrópica, y su presencia en el grano de sorgo puede presentar un peligro potencial para la salud.

Por lo anterior, parece ser que el mayor peligro micotóxico en el moho del grano es zearalenone. Mirocha y Christensen (1974), establecieron que un período de baja temperatura o alternando moderada y baja temperatura, es necesaria para producción de zearalenone. Sin embargo baja y moderada todavía no está definida. Los reportes sobre Zearalenone de varias ciudades africanas incluyendo el norte de Nigeria (Macdonald; comunicación personal) indican que talvez los requerimientos de temperatura no necesitan estar bajos en todos los períodos. Martin y Gilman alcanzan un interesante punto en sus conclusiones cuando publican que el hongo estrogénico puede tener importantes implicaciones ginecológicas y que Zearalenone podría talvez ser usado en la manufactura de un control químico de la natalidad (21).

### 3.9 DESCRIPCION DE LOS PATOGENOS

#### 3.9.1 Fusarium moniliforme

Tullis (1951) describió los hongos como de micelio tabicado hialino escasamente grisáceo; presentando conidiosforos hialinos, algunas veces de dos a cuatro y agudo en el

ápice. Microconidias son producidas generalmente en cadenas de 20-60 por cadena fusionándose en óvalo al principio de 2-3.5 X 3-6 $\mu$  y cuando envejece de 2-4 X 5-9 $\mu$  y eventualmente formando destrucción de las cadenas de conidias. El hongo presenta considerable variación en morfología, tanto naturalmente como en cultivo. La microconidia es ocasionalmente de dos células y Sprague (1950) dio sus dimensiones y éstas son: 2-3 X 5-12 $\mu$ . Saccas las describe como nacidas en conidioforos verticilados y midiendo 2-3.4 X 6-16 $\mu$ . En Fusarium moniliforme var. subglutinans Woll. & Reink (en Fitopatología, 15, 163, 1925 = Giberella fujikuroi var. subglutinans, Edwards, 1933, en Agric. Gaz, N.S. M., 44, 896). La macroconidia no tiene nacimiento en cadenas. Wollenweber & Reinking (1935) describieron la macroconidia como delicada con forma de lezna a forma de hoz o casi recta o derecha, estrecha en ambos extremos, frecuentemente estrechada y ocasionalmente parece garfio en el ápice, esparcidas, ocurriendo en Sporodochia o sobre pionotes, en masas anaranjadas, color ante claro de 3-5 ó (raramente) 6-7 tabiques. De tamaño considerablemente variado de 1.5 - 4 X 4 - 18 (mayormente 2 - 3 X 5 - 12) $\mu$  en esporas sin tabiques, de 2.5 - 4.5 x 58 - 90 (mayormente 2.7 - 4.2 X 61 - 82 $\mu$ ) en 7 esporas tabicadas, la mayoría de esporas fue de 3 - 5 tabiques promediando de 2 - 4.5 X 20 - 60 $\mu$  (3 tabiques) ó 37 - 70 $\mu$  (5 tabiques) (17). Figuras 2 y 3.

### 3.9.2 Curvularia lunata

Saccas (1954) hizo la siguiente descripción: Micelio septado, hialino de 3.5 - 4.5 $\mu$  en diámetro intracelular e intercelular. Conidioforos aparecen generalmente en racimos de 3 - 12 (a menudo 4 - 6), erectos ensanchados en la

base, pardo oscuro, 3-10 tabiques 7 - 9 X 80 - 210  $\mu$ , noduloso con espiral conidial. La conidia es pardo aceitunada, usualmente curvada, elipsoidal-subcilíndrica, usualmente de 3 - 4 tabiques, redondeada en el ápice y poco acuminada en la base. Tienen características asimétricas con las 2 células centrales (y especialmente la célula central superior) más asimétrica, larga y obscura que las casi hialinas células de los extremos. En la parte ancha miden 10 - 16 X 21 - 31  $\mu$  (promedian 13.9 X 26.8  $\mu$ ). Figura 4.



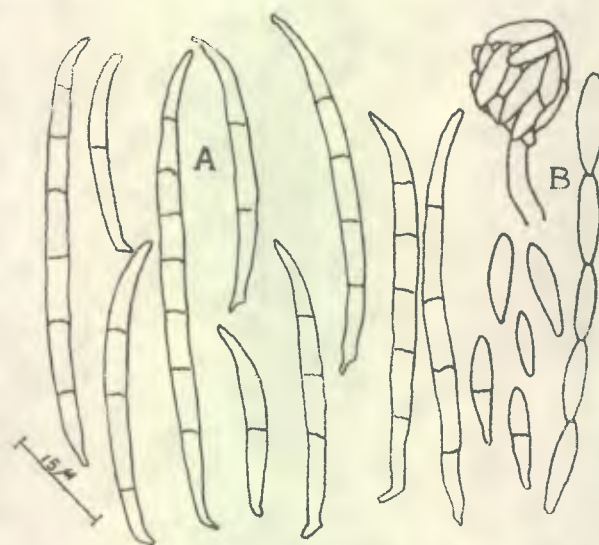


Figura 2. A. Macroconidia, y B. Microconidia de Fusarium moniliforme.

Fuente: (17)

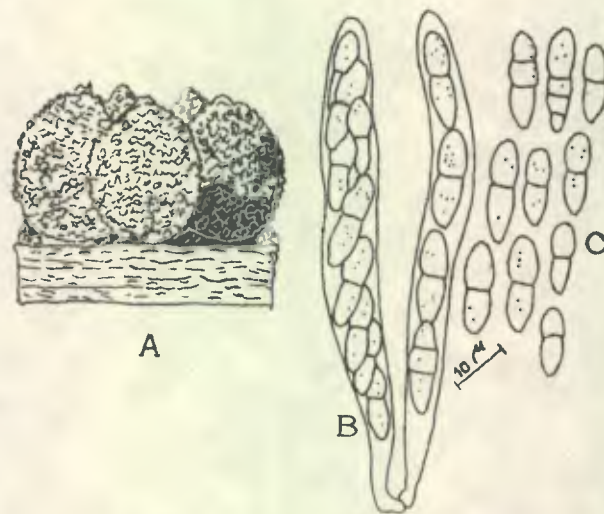


Figura 3. A. Perithecia, B. Asca, y C. Ascóporas de Fusarium moniliforme.

Fuente: (17)

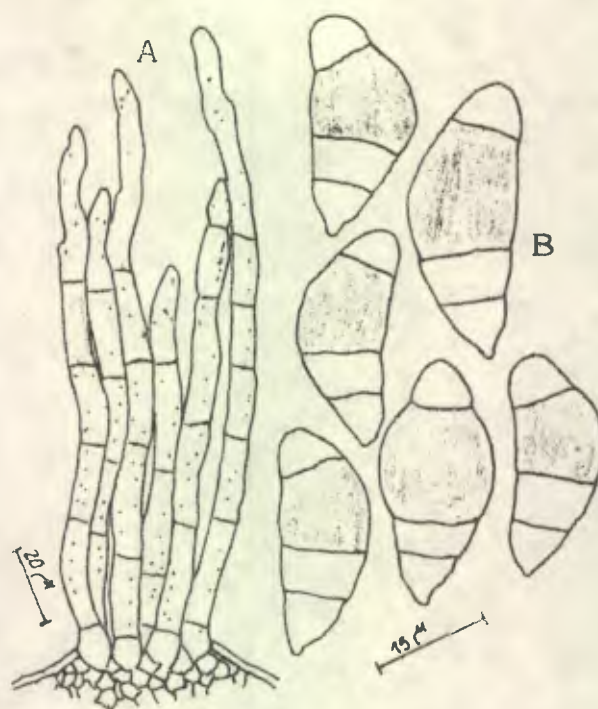


Figura 4. A. Conidioforos, y B. Conidias de Curvularia lunata.

Fuente: (17)

### 3.10 EPIFITIOLOGIA (12)

La epidemiología vegetal o epifitología es la parte de la fitopatología que estudia la población de patógenos en ó cerca de la población de hospedantes (plantas de cultivo, plantas forestales, etc) y la enfermedad resultante de la interacción de estas dos poblaciones con el ambiente y la interferencia humana.

De manera general se puede decir que se tiene que trabajar con tres poblaciones: hospedantes, patógenos y plantas enfermas (lesiones).

El estudio de la actividad individual de los patógenos como tales es de suma importancia, ya que esto podría indicarnos como se comportará la planta enferma en la población de hospedantes, si un patógeno infecta al hospedante a través del suelo; como por ejemplo: bacterias y hongos que causan desórdenes vasculares o radicales, esto provocará una determinada distribución de las plantas enfermas en el campo; mientras que si el patógeno actúa de forma localizada, pero sus productos de reproducción están más expuestos a factores externos, entonces su forma de distribución en el campo será diferente a la planteada anteriormente. Es indudable que en cada uno de los casos de distribución hay que tomar en cuenta que el ambiente y la interferencia humana influirán en la velocidad de crecimiento de la epifitias.

En función de este análisis se puede decir que existen dos tipos de crecimiento de epifitias:

- a. Las epifitias de ciclo simple (patógenos que provocan desórdenes vasculares y radicales).

- b) Epifitias de ciclo múltiple (patógenos cuyo inóculo puede ser trasladado de planta a planta por factores externos).

Es importante indicar los factores que pueden afectar el curso de una epifitias, aunque estos pueden ser muchos, se mencionan aquí los más importantes:

- a. La cantidad inicial de inóculo o inóculo primario.
- b. La tasa de crecimiento de la enfermedad en la población de plantas.
- c. El tiempo durante el cual la enfermedad puede progresar.
- d. El número de plantas disponibles para ser atacadas.

Se puede medir o estimar la cantidad de enfermedad en el campo tanto en el inicio de la epifitias como en el momento de interés, el tiempo también es determinable. Mediante el uso de la siguiente fórmula propuesta por Van der Plank (1963).

$$r = \frac{2.3}{T_2 - T_1} \left( \log. 10 \frac{X_2}{1 - X_2} - \log. 10 \frac{X_1}{1 - X_1} \right)$$

Donde:

- 2.3 = Constante  
 r = Tasa de incremento de la enfermedad  
 T<sub>2</sub> - T<sub>1</sub> = Tiempo entre la primera y segunda lectura  
 X<sub>2</sub> = Proporción de enfermedad en el momento actual  
 X<sub>1</sub> = Proporción inicial de la enfermedad (inóculo primario activo) o proporción de la enfermedad en el momento del inicio del estudio.

Esta ecuación nos da la tasa de crecimiento teórica de una epifitias de ciclo múltiple, puesto que el inóculo estará cambiando constantemente y vamos a tener con cada nueva infección una nueva fuente de inóculo.

Para expresar el crecimiento de epifitias de manera gráfica Van der Plank coloca el  $\log. 10 \frac{X}{1 - X}$  en el eje

Y, y el tiempo en el eje X.

Esto es más útil cuando se grafican los diferentes crecimientos de epifitias para su comparación. Esta graficación puede proporcionarnos información hasta del tipo de resistencia (vertical u horizontal) de la población hospedante (12).

## 4. MATERIALES Y METODOS

### 4.1 IDENTIFICACION DE HONGOS

#### 4.1.1 Medios de Cultivo: Se usaron 2 distintos medios de cultivo:

##### 4.1.1.1 P.D.A. (Papa, Dextrosa, Agar)

Papa	-	200 grs
Agar	-	20 grs
Dextrosa	-	20 grs
Acido Láctico	-	5 gotas
Agua	-	1,000 cc (1 lt)

La papa es hervida durante 15 minutos, luego se filtra, se agrega agar y se disuelve. Se agrega dextrosa y ácido láctico; se lleva a autoclave y se somete a 15 atmósferas de presión y 120°C por un tiempo de 15 minutos.

##### 4.1.1.2 Granos de Sorgo Esterilizados

En un recipiente de vidrio (erlenmeyer, balón aforado, matraz) se introduce aproximadamente una tercera parte de su capacidad con grano de sorgo de tal forma que el fondo de el recipiente quede cubierto de grano.

- a. Agregar agua, a razón de 50 cc de agua por cada 200 grs de grano.
- b. Tapar con algodón.
- c. Llevar a autoclave para esterilizar el grano; a 15 atmósferas de presión, 120°C de temperatura por 10-15 minutos.
- d. Hecho esto el grano está esterilizado.

#### 4.1.2 Colecta de Material Enfermo

El grano infectado con los hongos fue obtenido de panojas colectadas en el Centro de Producción Agrícola Cuyuta y llevado a laboratorio en bolsas de polietileno.

En el laboratorio se desinfectaron los granos en una solución de hipoclorito de sodio.

Los granos ya desinfectados se introdujeron en cajas de petri conteniendo P.D.A.

Así también se hicieron raspados para sembrar en tubos de ensayo.

Fue introducido inóculo de los hongos dentro de recipientes con sorgo esterilizado.

#### 4.1.3 Identificación de Patógenos

Teniendo los cultivos puros se procedió a preparar los montajes necesarios usando como solución colorante lactofenol, las observaciones se hicieron en un microscopio compuesto Leitz (10X y 40X), usando las claves y las citas bibliográficas necesarias para la identificación de los patógenos estudiados.



## 4.2. EVALUACION DE RESISTENCIA GENETICA

### 4.2.1 Localización del Experimento y Tamaño de la Muestra

El experimento fue establecido en el Centro de Producción Cuyuta de ICTA, situado en el departamento de Escuintla y que tiene las siguientes características ecológicas y geográficas:

	<u>Máxima</u>	<u>Mínima</u>	<u>Media</u>
Temperatura	33.9°C	21.9°C	27.9°C
Precipitación	2,063 mm/año		
Altitud	48 m.s.n.m.		
Latitud	14° 05' 16" N		
Longitud	90° 54' 40" W		

Se estableció este experimento en este Centro porque se trata de un lugar el cual llena las condiciones para el buen desarrollo de los hongos pues presenta una alta temperatura y elevada humedad relativa.

Fueron usadas 17 líneas, las cuales fueron sembradas bajo el diseño de bloques al azar con 5 repeticiones.

La parcela constó de 3 surcos de 6 metros de longitud cada uno y a una distancia de 0.75 metros entre surcos para evaluar el surco central. Cada parcela se encontraba rodeada de un material que con anterioridad se sabe es susceptible y que también fue usado como testigo en el ensayo; o sea que sirvió como un marco esparcidor de los patógenos estudiados, es decir, una fuente natural de inóculo.

Las Líneas usadas en el estudio fueron las siguientes:

Tx 2536	SC 170-6-17	SC 3541
TAM 2566	SC 170-14	SC 748-5
BTx 378	SC 599-11	GRP 148
77 CS1	SC 414-12 E	TAM 428
BTx 623	BTx 624	SC 566-14
110-14	Tx 430	

Todas estas líneas fueron introducidas por el Programa de Sorgo de el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, ICTA, y son originarias de la Universidad de Texas A & M de los Estados Unidos de América.

La toma de datos principió a los 73 días después de sembrado el ensayo, fecha en que la mayoría de los materiales habían o estaban por florecer, fueron tomadas 8 lecturas así: las primeras dos lecturas cada 6 días a partir de esto las siguientes se hicieron cada 4 días. Para calificar la presencia de patógenos se usó la escala que va de 0 - 5%. De la siguiente forma:

0	-	No se puede evaluar (posible ataque de aves, insectos).
1	-	0 - 20% de daño.
2	-	21 - 40% de daño.
3	-	41 - 60% de daño.
4	-	61 - 80% de daño.
5	-	81 - 100% de daño.

Los datos de campo fueron analizados por 2 métodos: análisis de Varianza y Comparación de Epifitias (Van der Plenk, 1963, 1968; Nelson 1973 y Whitney, 1976).

#### 4.2.2 Comparación de Epifítias

Con los datos de campo se procedió a la construcción de curvas acumulativas, que muestran el incremento total de la enfermedad sobre los materiales o líneas y la distribución de la epifítia en función del tiempo, y por transformación de estos datos a logaritmos se simplifica y describe más detalladamente por medio de líneas el progreso de la enfermedad.

El uso de la metodología de Van der Plank en el estudio del desarrollo de epifítias viene a reforzar la información que se obtiene de el análisis de varianza; ya que nos da un índice de el comportamiento de la enfermedad respecto al tiempo.

Así también a través de esta metodología se puede estimar el tipo de resistencia que presentan los materiales bajo estudio.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1. IDENTIFICACION DE PATOGENOS

- 5.1.1 De acuerdo a lo observado en los montajes preparados y según la Guía Pictórica para la Identificación de Especies de Fusarium (19), se trata de Fusarium moniliforme Sheldon y en el otro caso, de acuerdo a S.A.J. Tarr (17), se trata de Curvularia lunata Wakker.
- 5.1.2 Tanto en el caso de Fusarium como de Curvularia hubo un mayor y más rápido desarrollo y esporulación en el medio de cultivo a base de grano esterilizado que en el tradicional medio de P.D.A.
- 5.1.3 La coloración que tomó la colonia de Fusarium fue rosada a salmón.
- 5.1.4 La coloración que tomó la colonia de Curvularia fue negra verdusca.
- 5.1.5 Los hongos tardan en establecerse aproximadamente 10 días.

### 5.2. EVALUACION DE RESISTENCIA GENETICA

#### 5.2.1 Análisis de Varianza

Se efectuó análisis de varianza para cada uno de los hongos y para el efecto de los dos (cuadros 4, 5 y 6).

En Fusarium, Curvularia y Deterioro se encontró diferencias altamente significativas entre líneas — lecturas.

Se procedió a efectuar prueba de significancia para lo cual se tomó a Tuckey, quedando como materiales con mayor grado de resistencia los siguientes:

<u>Fusarium</u>	SC 748-5	a	Tuckey 0.01 % 0.0958462
	SC 566-14	a b	
	SC 599-11	a b c	
<u>Curvularia</u>	SC 748-5	a	Tuckey 0.01 % 0.1017556
	SC 566-14	a b	
	BTx 623	a b c	
<u>Deterioro</u>	SC 748-5	a	Tuckey 0.01 % 0.0717759
	SC 566-14	a b	
	BTx 623	b c	
	SC 599-11	b c d	

Resultando como el más estable y resistente el material:  
SC 748-5.

Cuadro 4. Andeva Fusarium

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.
Total	84	1.04			0.01 %
Trat.	16	0.9349	0.0584313	44.13	2.30**
Repet.	4	0.0203647	0.0050912	3.85	
Error	64	0.001324			

$$\text{TUCKEY } 0.01 \% = 0.0958462$$

Cuadro 5. Andeva Curvularia

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.
Total	84	0.8219			
Trat.	16	0.71762	0.0448513	30.06	2.30**
Repet.	4	0.00877	0.0021925	1.47	
Error	64	0.09551	0.0014923		

TUCKEY 0.01% = 0.1017556

Cuadro 6. Andeva Deterioro

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.
Total	84	0.8798			
Trat.	16	0.823	0.0514375	69.28	2.30**
Repet.	4	0.0092824	0.0023206	3.13	
Error	64	0.0475176	0.0007425		

TUCKEY 0.01% = 0.0717759

### 5.2.5 Desarrollo de Epifitias

Al calcular la tasa de incremento o valor de los patógenos según el cuadro 7, se observa que:

El material Tx 2536 que es el material más susceptible presenta los valores siguientes:

$$\text{Fusarium } r = 5.95\%/\text{día}$$

$$\text{Curvularia } r = 5.49\%/\text{día}$$

$$\text{Deterioro } r = 10.27\%/\text{día}$$

Esto nos indica que en Fusarium están siendo atacados 5.59 granos por día por cada 100 granos o 59 granos por día por cada mil granos.

En Curvularia es un valor de 5.49% o 54 granos por día por cada mil granos.

En Deterioro es 10.27% granos por día por cada mil granos; lo cual es un índice bastante alto, si consideramos que normalmente una panoja de sorgo puede tener de 2,000 granos, o más.

Cuadro 7. Tasa de Crecimiento "r" %/día

Material	Fusarium	Enfermedad Curvularia	Deterioro
SC 748-5	1.54	1.33	1.68
SC 566-14	1.95	1.75	2.20
BTx 623	2.50	1.95	2.69
SC 599-11	2.14	2.32	2.69
SC 3541	2.32	2.32	2.80
BTx 378	2.32	2.32	2.80
SC 170-6-17	2.32	2.32	2.80
BTx 624	2.50	2.32	2.93
SC 170-14	2.67	2.32	3.05
GRP 148	3.15	2.32	3.39
TAM 428	3.14	2.50	3.51
SC 414-12-E	2.99	2.83	3.63
TAM 2566	3.15	2.67	3.63
77 CS1	3.28	2.67	3.79
110-14	3.59	3.15	4.32
Tx 430	3.87	2.99	4.43
Tx 2536	5.95	5.49	10.27

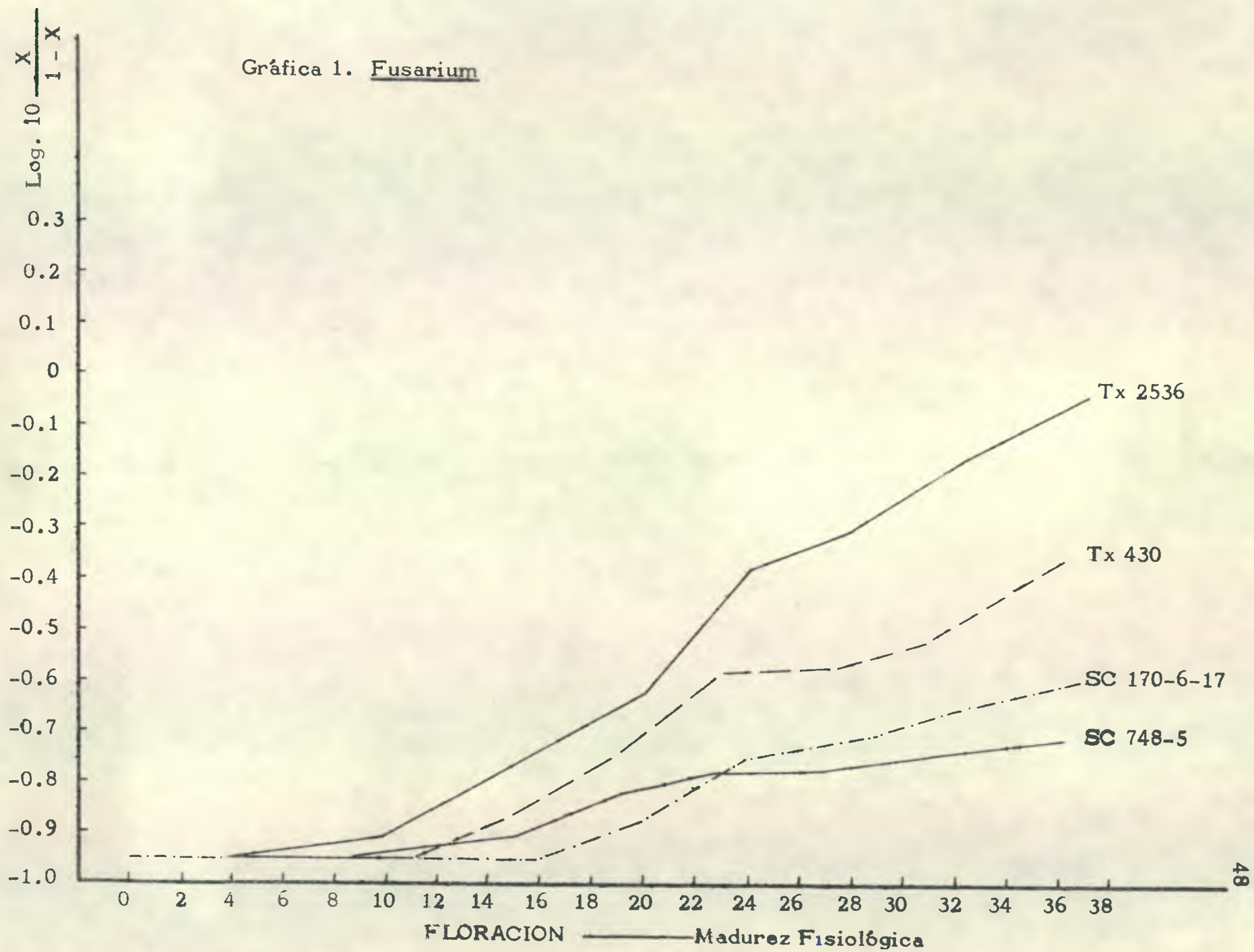


De acuerdo al valor "r" o de Tasa de Crecimiento, se agruparon los materiales en cuatro categorías así:

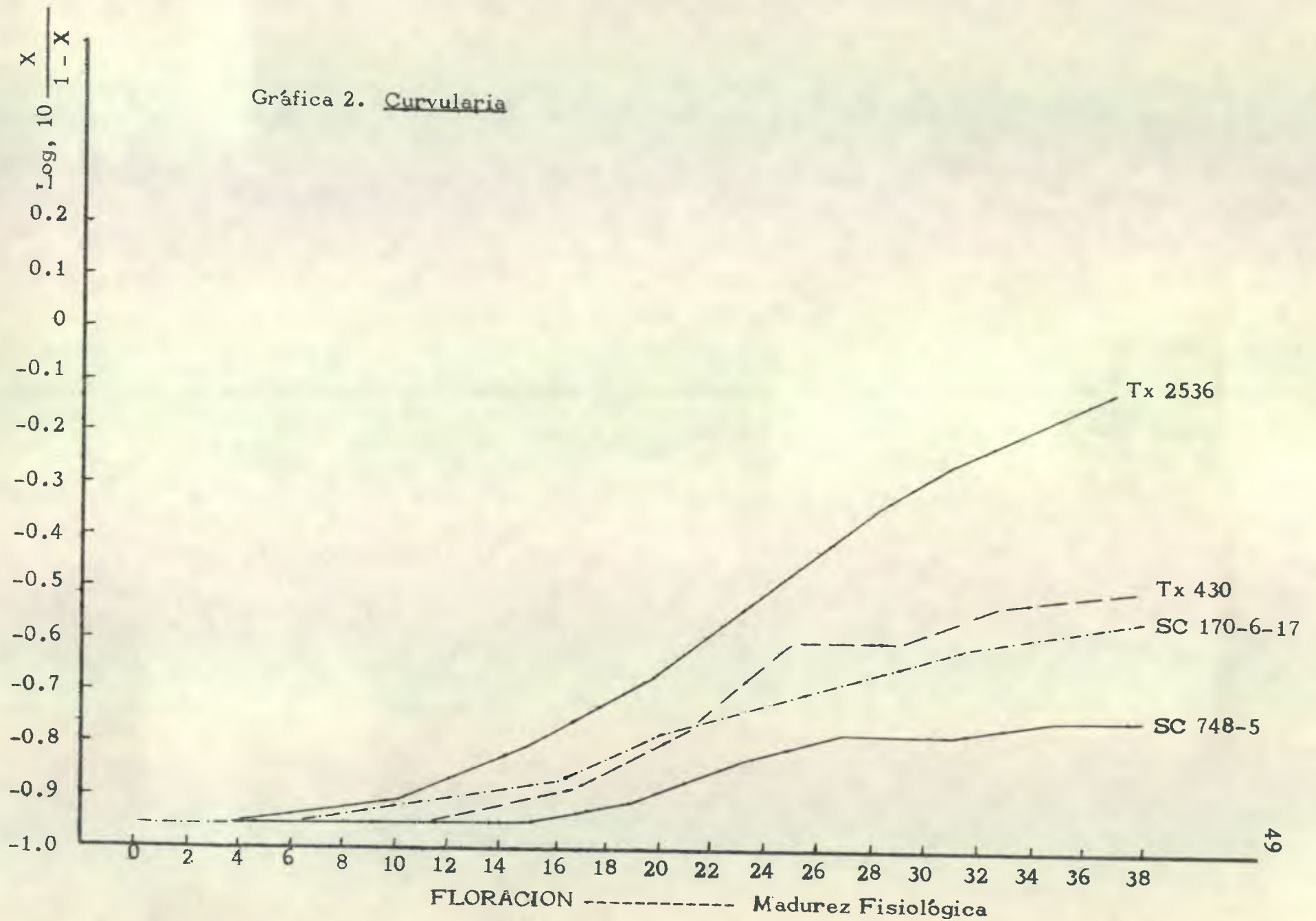
Susceptibles	Tx 2536
Medianamente Susceptibles	GRP 148, TAM 428 SC 414-12 E, TAM 2566 77 CS1, 110-14, Tx 430
Medianamente Resistentes	SC 3541, SC 170-14 BTx 378, BTx 624 SC 170-6-17
Resistentes	SC 748-5, BTx 623 SC 566-14, SC 599-11

En las gráficas 1, 2 y 3, en las cuales se expresa el crecimiento de la epifitía, se ha puesto una curva de un material de cada categoría. Por medio de las gráficas  $\text{Log. } 10 \frac{X}{1 - X}$  vrs. Tiempo, se puede detectar qué tipo de resistencia presenta una línea o material, siendo que mientras la curva tienda más a la horizontalidad, así también el tipo de resistencia es horizontal.

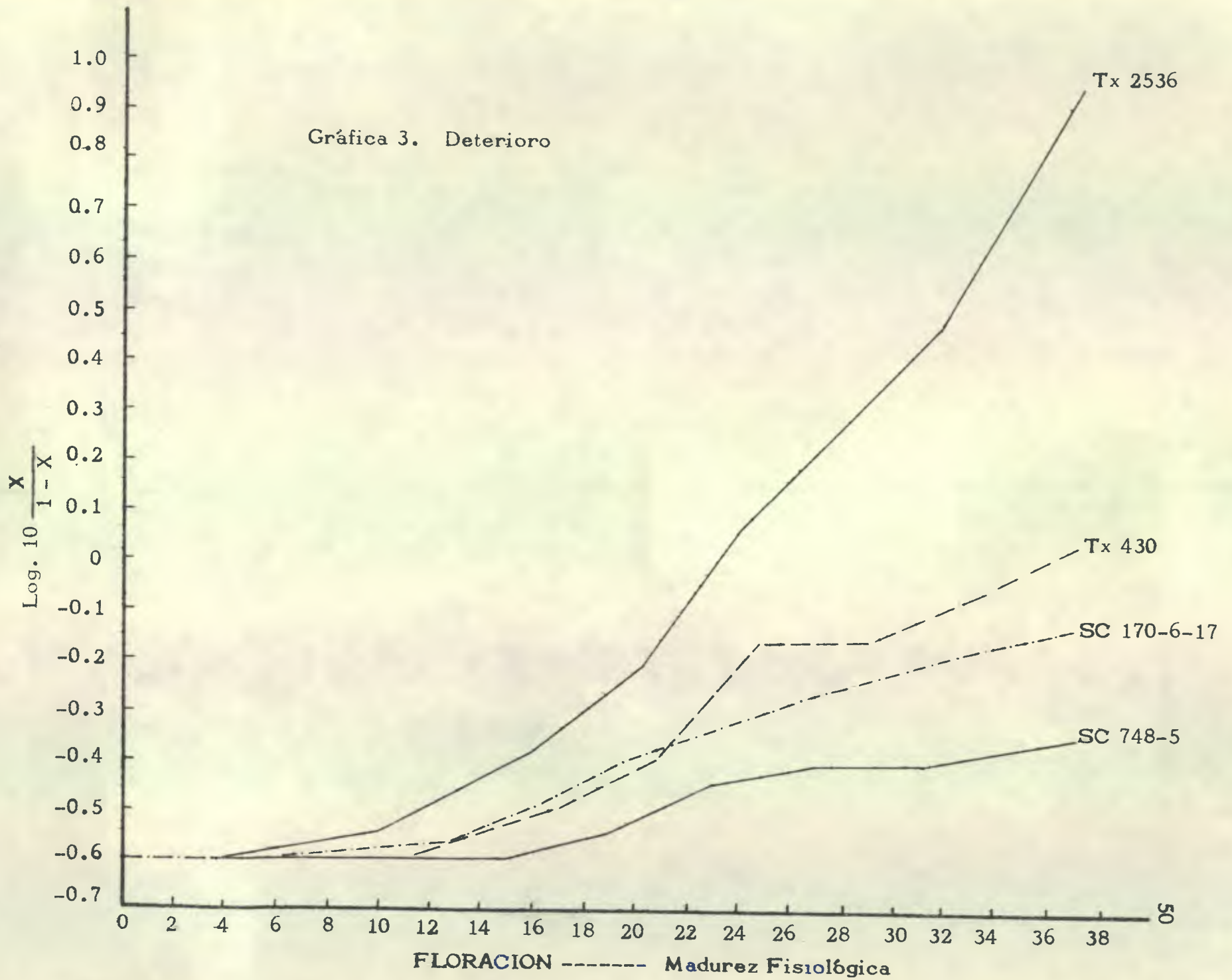
Gráfica 1. Fusarium



Gráfica 2. Curvularia



Gráfica 3. Deterioro



## 6. CONCLUSIONES

1. Los hongos principales causantes del deterioro en el campo de la panoja del sorgo son Fusarium moniliforme Sheldon y Curvularia lunata Wakker.
2. Hay un más rápido desarrollo y esporulación de los hongos en grano esterilizado usado como medio de cultivo, que en medio a base de P.D.A.
3. Los hongos Fusarium y Curvularia actúan en forma sinérgica.
4. Los hongos tardan aproximadamente 10 días después de la floración para poder establecerse.
5. Ninguno de los materiales estudiados presenta inmunidad a el ataque de los hongos causantes del deterioro.
6. Como consecuencia del punto anterior se encontró que la resistencia detectada es del tipo horizontal.
7. Los materiales más resistentes son: SC 748-5, SC 566-14, BTx 623, SC 599-11.
8. El material SC 748-5 es el que presenta mayor grado de resistencia horizontal.

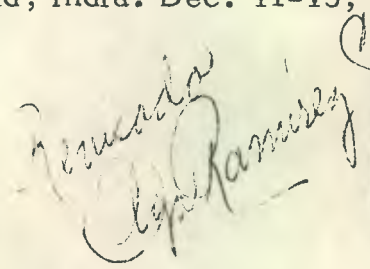

## 7. RECOMENDACIONES

1. Continuar estudios sobre resistencia con los materiales que mostraron mediana y alta resistencia.
2. Realizar cruzamientos usando los materiales con mayor grado de resistencia.
3. Realizar estudios sobre los factores físico-químicos que puedan estar determinando las características de resistencia.
4. Estudiar la posibilidad de la producción de micotoxinas por los hongos de la panoja.
5. Continuar usando la metodología de Van der Plank en el estudio de Epifítias.

## 8. BIBLIOGRAFIA CITADA

1. ARAGON HERNANDEZ, R. Efecto de la fertilización del suelo sobre la composición química del grano y valor nutritivo de la proteína del maicillo. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1963. 42 pp.
2. CASTOR, L.L. and FREDERIKSEN, R.A. Fusarium and Curvularia grain molds in Texas. Paper presented to International Workshop on sorghum diseases. Hyderabad, India, December 11-15. 1978. 38 pp.
3. CHRISTENSEN, M.C. y KAUFMAN, H.H. Contaminación por hongos en granos almacenados. México, Pax México, 1965, 109 pp.
4. COADY, A. The possibility of factors of plant (particularly fungal) origin in Ethiopian liver diseases. Ethiop. med. J. N° 3: 173-185. 1965.
5. DENIS, J.C. and GIRARD, J.C. Sorghum grain mould in Senegal methods used for identifying resistant varieties. Paper presented to International sorghum Workshop held at ICRISAT, Hyderabad, India. March 6-13. 1977.
6. DENIS, J.C. and GIRARD, J.C. Les moisissures des grains de sorgho au Senegal: e'tude de quelques facteurs conditionnant leur de'veloppement. Paper presented at International Workshop on sorghum diseases. ICRISAT, Hyderabad, India. Dec. 11-15. 1979.
7. GLUECK, J.A. et al. Physical and structural properties of field deteriorated (weathered) sorghum grain. Third Annual Progress Report. Texas, Texas A & M University, 1977. pp 102-112.
8. HUERTA PALACIOS, G. Razas fisiológicas de Pyricularia oryzae cav., en el estado de Tabasco y evaluación de resistencia de algunas variedades de arroz. Tesis Mag. Sc. México, Colegio Superior de Agricultura Tropical, 1978. 42 pp.
9. KOTESWARA RAO, G. and POORNACHANDRUDU, P. Isolation of head molds and assessment of moldy grains in certain sorghum varieties. The Andhra Agric. India. J. 18 (4): 153-156. 1979.
10. LITTLE, M.T. y HILLS JACKSON, F. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. México, Trillas, 1979. 270 pp.

11. MARTIN, P.; GILMAN, G.A. and KEEN, P. The incidence of fungi in foodstuffs and their significance, based on a survey in The Eastern Transvaal and Swaziland. Symposium on Mycotoxins in Human Health. London, Mac Millan, 1971. pp. 281-290.
12. MONTERROSO, D. Uso de epifitología en el control de enfermedades. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1979. 6 pp. Mimeografiado.
13. PINTO, M.L. Efecto de cinco herbicidas a base de triazinas sobre el rendimiento de catorce híbridos comerciales de sorgo (Sorghum bicolor). Tesis. Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1977. 44 pp.
14. RAO, K.N. and WILLIAMS, R.J. The ICRISAT sorghum pathology program. Paper presented to International sorghum Workshop, Hyderabad, India, March 6-13, 1977.
15. RUKMINI, C. and BHAT, R.V. Occurrence of T-2 toxin in Fusarium infected sorghum from India. J. Agric. Food chem. India. N° 26: 647-649. 1978.
16. SUNDARAM, N.V. et al. Disease survey of sorghum and millets in India. Plant Disease. Report N° 56: 740-743. 1972.
17. TARR, S.A.J. Diseases of sorghum, Sudan grass and broom corn. The Commonwealth Mycological Institute, Kew, Survey, 1962. pp 88-93, 321-326, 380.
18. TRIPATHI, R.K. Head fungi of sorghum, phytotoxins and their effects on seed germination. Indian Phytopath. India. vol. 27: 499-501. 1974.
19. TOUSSOUN and NELSON. A pictorial guide to the identification of Fusarium species. 2a. ed. London, The Pennsylvania State University Press, 1976. pp 16-23.
20. VON OPPEN, M. and JAMBUNATHAN, R. Consumer preferences for cryptic and evident quality characters of sorghum and millet. Paper presented at the Diamond Jubilee Scientific Session of the National Institute of Nutrition, Hyderabad, India. Oct. 23-27. 1978.
21. WILLIAMS, R.J. and RAO, K.N. A review of sorghum grain molds. Paper presented to International Workshop on sorghum diseases. Hyderabad, India. Dec. 11-15, 1978. 38 pp.





FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia \_\_\_\_\_  
Asunto \_\_\_\_\_

"IMPRIMASE"



*Antonio A. Sandoval S.*

DR. ANTONIO A. SANDOVAL S.  
D E C A N O