1168

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

FACULTAD DE AGRICULTURA

ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

EFECTO DE LAS RADIACIONES DEL COBALTO 60 PARA LA OBTENCION DE RESISTENCIA A *Fusarium moniliforme* Sheldon EN SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench)

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO
P R E S E N T A

JUAN JOSE RIOS CHAVEZ

GUADALAJARA, JALISCO, 1985

EFECTO DE LAS RADIACIONES GAMMA DEL Co^{60} PARA LA OBTENCION DE RESISTENCIA A *Fusarium moniliforme* SHELDON EN SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench).

ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
Facultad de Agricultura

Expediente .....
Número .....

Enero 8, 1985.

ING. ANDRES RODRIGUEZ GARCIA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRICULTURA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA.
PRESENTE.

Habiendo sido revisada la Tesis del PASANTE JUAN JOSE RIOS CHAVEZ titulada,

"EFECTO DE LAS RADIACIONES DEL COBALTO 60 PARA LA OBTENCION DE RESISTENCIA A Fusarium moniliforme Sheldon EN SORGO (Sorghum-bicolor)."

Damos nuestra aprobación para la impresión de la misma.

DIRECTOR.

DR. ALBERTO BETANCOURT VALLEJO.

ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

ASESOR.

DR. ROGELIO LEPIZ ILDEFONSO

ASESOR

ING. M.C. SALVADOR A. HURTADO Y DE LA PEÑA.

hlg.

Al contestar este oficio sírvase citar fecha y número

RESUMEN

El cultivo del sorgo se ha extendido rápidamente en México, de tal forma que como toda planta sometida al monocultivo intensivo, ha llegado a tener problemas severos con algunas enfermedades, tal como la pudrición del tallo, causada por *Fusarium moniliforme* Sh. El presente trabajo fue realizado con objeto de probar la técnica de mutagenesis en la inducción de resistencia a tal enfermedad; para lo cual se sometieron a estudio 5 líneas "R" del Programa de Sorgo de "El Bajío", progenitoras de los híbridos nacionales y susceptibles a la enfermedad con 10 dosis de rayos gamma: 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 y 60 krads, durante 3 generaciones (M_1, M_2 y M_3). Fueron inoculadas artificialmente en la M_3 y seleccionadas por su baja cantidad de infección en condiciones de invernadero. La línea mas radiosensible fue la 3E-315, seguida de las líneas 3-252 y 3E-458. De las que se seleccionaron la mayor cantidad de posibles mutantes, fueron en el siguiente orden: 3-252, 3E-315 y 3E-458; las otras líneas E10Ax1-11R y 4E-300 no mostraron efectos significativos respecto al testigo. La dosis que indujo el mayor número de variaciones en la dirección deseada, fue la de 15 krads, seguida de la de 20 krads. Todas las líneas presentaron diferente grado de sensibilidad a las dosis de radiación. Fueron seleccionados 20 posibles mutantes que serán probados en condiciones de campo para resistencia al patógeno, con objeto de seleccionar poblaciones mutantes con resistencia a la pudrición del tallo por *F. moniliforme* Sheldon.

AGRADECIMIENTOS

El Autor desea expresar su agradecimiento a las siguientes:

INSTITUCIONES:

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), por las facilidades prestadas en el uso de sus instalaciones en Santiago Ixcuintla Nayarit, en Tepatitlán, Jalisco y en Durango, Dgo.

Al Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara (U. de G.) por facilitar el uso de sus laboratorios y equipo para aislar el patógeno.

Al Instituto de Madera Celulosa y Papel, por permitirnos usar sus laboratorios en la identificación del patógeno.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, por las facilidades prestadas en la irradiación del material genético utilizado.

Y particularmente a la Universidad de Guadalajara, por haberme permitido ser lo que siempre quise ser, conocer lo que siempre quise aprender y hacer lo que me gusta hacer. A quien debo mi formación profesional.

A LAS SIGUIENTES PERSONAS:

Al Dr. Alberto Betancourt Vallejo, que siempre supo

ser Amigo, Profesor y Asesor; pues su ayuda fue inapreciable.

Al M.C. y Profr. Ing. Salvador Hurtado de la Peña, por su valiosa ayuda técnica, moral y material durante el desarrollo del presente trabajo.

Al Dr. Rogelio Lépiz Ildefonso, por su asesoría técnica, por sus observaciones y recomendaciones para mejorar la calidad del presente.

Al Ing. Humberto Delgadillo Jiménez por su valiosa colaboración en la identificación del patógeno.

Al Ing. Luis Alberto Parra Negrete, por su mediación en la irradiación de la semilla.

A mis Hermanos y Amigos: Ariel, Rocío y Paty, por su constante apoyo físico y moral.

A Ana Luz Herrera M. y a Ma. Esther Jiménez C. por su colaboración en la realización mecanográfica del presente trabajo.

A todos mis Condiscípulos.

D E D I C A T O R I A

A MI PADRE:

A Quien Ofrezco Todo Lo Que Hago

A MI MADRE Y A MIS HERMANOS:

A Quien Debo Todo Lo Que Tengo y a Quienes Dedico Todo Lo Que Sé.

A FERNANDO

ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

A LOS ESTUDIANTES

INDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN..... iii

I INTRODUCCION..... 1

II REVISION DE LITERATURA.....

Mutaciones..... 5

Naturaleza y Características de las Mutaciones..... 6

Clasificación de las Mutaciones..... 9

Mutaciones Genomiales..... 10

Mutaciones Génicas..... 10

Aberraciones Cromosómicas..... 11

Mutaciones Extranucleares..... 13

Tipos y Fuentes de Radiación..... 14

Daño al DNA..... 17

Reparación del DNA..... 17

Objetivos del Tratamiento..... 19

Tipos de Material Vegetal..... 19

Radiosensibilidad y Factores Modificantes..... 21

Factores Ambientales..... 22

Oxígeno..... 22

Contenido de Agua..... 23

Almacenamiento post-irradiación..... 24

Temperatura..... 25

Factores Biológicos..... 25

Diferencias Varietales y Genéticas..... 25

Efecto de los Agentes Mutagénicos en la M_2..... 26

Uso de Mutaciones en Fitomejoramiento..... 28

Leguminosas..... 29

Gramíneas..... 30

Solanáceas..... 32

Relación Hospedero-Parásito..... 33

Pudrición del Tallo..... 34

Fuente de Inóculo..... 35

Infectología..... 35

Control..... 36

Distribución..... 36

Clasificación Taxonómica..... 37

Epifitología..... 37

III MATERIALES Y METODOS

A) Materiales

Material Genético..... 39

Siembra de Poblaciones Mutantes..... 40

Equipo de Laboratorio (Materiales y Reactivos)... 41

B) Métodos

Tratamientos..... 43

Obtención de la Generación M_1..... 44

Obtención de la Generación M_2..... 45

Obtención de la Generación M_3..... 45

Evaluación..... 46

Aislamiento del Hongo por el Método del Tejido

Plantado..... 47

a) Cultivo del Hongo..... 47

b) Aislamiento del Hongo..... 48

Identificación del Hongo..... 48

a) Tinción en Fresco del Hongo..... 48

b) Observación al Microscopio e Identificación.. 49

Esterilización de los Palillos..... 49

Inoculación..... 49

Creación de Epifitotia Artificial..... 50

Toma de Datos..... 50

IV RESULTADOS Y DISCUSION

Supervivencia en la Generación M_1..... 52

Supervivencia en la Generación M_2..... 56

Supervivencia en la Generación M_3..... 59

Esterilidad..... 63

Intensidad de la Infección..... 67

Altura de Planta a Madurez..... 70

Días a 50% de Floración..... 70

V CONCLUSIONES..... 80

LITERATURA CITADA..... 82

APENDICE..... 97

INDICE DE CUADROS

Pág.

CUADRO 1. LINEAS DE SORGO DE REACCION "R" UTILIZADAS EN EL PRESENTE ESTUDIO Y GRUPOS DONDE SE DERIVARON.... 40

CUADRO 2. DISTRIBUCION DE LOS TRATAMIENTOS DE RAYOS GAMMA (Co^{60}) UTILIZADOS EN EL PRESENTE ESTUDIO..... 44

CUADRO 3. CREACION DE EPIFITOTIA ARTIFICIAL..... 50

CUADRO 4. ANALISIS DE VARIANZA PARA EL GRADO DE INFECCION POR *F. moniliforme* DE 5 LINEAS DE SORGO EN LA GENERACION M_3..... 73

CUADRO 5. PRUEBAS DE COMPARACION DE MEDIAS DE DUNCAN Y TUKEY PARA DETECTAR DIFERENCIAS ENTRE LINEAS Y DOSIS EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS..... 74

CUADRO 6. COMPARACIONES ORTOGONALES PARA 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADO Y PARA DIVERSAS DOSIS DE RADIACION GAMMA (KRADS)..... 75

CUADRO 7. PRUEBA DE COMPARACION DE MEDIAS DE TUKEY AL 0.01 (99%) PARA DETERMINAR EL EFECTO DE VARIAS DOSIS DE RAYOS GAMMA (KRADS) EN 5 LINEAS DE SORGO..... 75

CUADRO 8. PLANTAS SELECCIONADAS POR SU GRADO DE TOLERANCIA AL ATAQUE DE *F. moniliforme* EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS. (GENERACION M_3)..... 79

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA A LOS 10 DIAS EN LA GENERACION M_1 53

FIGURA 2. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA A LOS 30 DIAS EN LA GENERACION M_1 54

FIGURA 3. PORCENTAJE DE PLANTAS COSECHADAS EN LA GENERACION M_1 55

FIGURA 4. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA A LOS 10 DIAS EN LA GENERACION M_2 57

FIGURA 5. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA A LOS 30 DIAS EN LA GENERACION M_2 58

FIGURA 6. PORCENTAJE DE PLANTAS COSECHADAS EN LA GENERACION M_2 60

FIGURA 7. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA A LOS 10 DIAS EN LA GENERACION M_3 61

FIGURA 8. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA A LOS 30 DIAS EN LA GENERACION M_3 62

FIGURA 9. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA A LA COSECHA EN LA GENERACION M_3 64

FIGURA 10. PORCENTAJE DE ESTERILIDAD MASCULINA EN LA GENERACION M_1 65

FIGURA 11. PORCENTAJE DE ESTERILIDAD MASCULINA EN LA GENERACION M_2 66

FIGURA 12. PORCENTAJE DE ESTERILIDAD MASCULINA EN LA GENERACION M_3 68

FIGURA 13. INTENSIDAD DE LA INFECCION POR *Fusarium moniliforme* Sh. EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON Co^{60} (EN LA GENERACION M_3) 69

FIGURA 14. ALTURA DE PLANTA EN CENTIMETROS Y SU C.V. EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON Co^{60} (EN LA GENERACION M_2) 71

FIGURA 15. DIAS A FLORACION Y SU C.V. EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON Co^{60} (EN M_2) 72

ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

INDICE DE TABLAS

TABLA I. NUMERO DE VARIEDADES DESARROLLADAS MEDIANTE EL USO DE MUTACIONES INDUCIDAS HASTA DICIEMBRE DE 1975..... 15

TABLA II. CANTIDAD DE VARIEDADES REGISTRADAS POR EL USO DIRECTO DE LOS MUTANTES O POR EL USO DE LOS MUTANTES EN PROGRAMAS DE CRUZAMIENTO (SIN INCLUIR ORNAMENTALES, HASTA 1975)..... 16

APENDICE

CUADRO 1A. SUPERFICIE COSECHADA EN HA EN EL ESTADO DE JALISCO Y EN LA NACION..... 98

CUADRO 2A. RENDIMIENTOS MEDIOS Y PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL NACIONAL EN CULTIVOS BASICOS EN JALISCO. 98

CUADRO 9. METODOS PARA USAR LAS MUTACIONES EN FITOMEJORAMIENTO..... 99

FIGURA 16. DIFERENTES TIPOS DE CONIDIOFOROS EN *F. moniliforme*..... 101

FIGURA 17. *F. moniliforme* Sheldon. (A) ASCOSPORAS (*G. fujikuroi*), (B) MACROCONIDIAS, (C) MICROCONIDIAS, (D) CONIDIOFORO Y MACROCONIDIAS, (E) CONIDIOFORO CON MICROCONIDIAS..... 102

FIGURA 18 A 21. FOTOMICROGRAFIAS DE *F. moniliforme*..... 103

I INTRODUCCION

El sorgo es en la actualidad el quinto cereal más importante del mundo, tanto en la alimentación del hombre y animales, como por sus usos industriales; dado que se emplea en la elaboración de alcoholes, jarabes, azúcar, etc.

Originario del cuadrante Noreste de Africa y parte de Asia, su cultivo se ha extendido ampliamente por todo el mundo, sobre todo en los paises de clima cálido. En 1983 el estado de Jalisco reportó una superficie cosechada de 1'347,274 ha, que representan el 6.4% del total nacional. De las cuales 188,214 ha se cosecharon para producción de grano, con rendimiento medio de 4.7 ton/ha, que representan el 12.4% del total nacional; lo que ubica al sorgo en el tercer lugar nacional en cuanto a superficie y en el segundo lugar en producción, como se aprecia en el Cuadro 1-A del Apéndice.

Por su amplia adaptación y su alto grado de tolerancia a la sequía, su cultivo en México se ha extendido notoriamente, pero al igual que otros cultivos que se siembran en forma intensiva año tras año, el sorgo en la actualidad presenta problemas de enfermedades, plagas, problemas de manejo de suelos, de cultivo, etc., que están afectando significativamente la producción de grano en los últimos años.

De las enfermedades de mayor importancia en el cultivo del sorgo, se destaca la pudrición del tallo y panoja por *Fusarium moniliforme* Sheldon. Este hongo puede vivir parasiticamen-

te en la planta sin manifestar síntomas visibles, pero causando pérdidas en peso debido al mal llenado de grano, que pueden llegar a ser superiores al 60% (Zummo, 1978).

Durante el ciclo agrícola primavera-verano 1979, se presentó un período de tiempo lluvioso seguido de condiciones secas prolongadas en la zona sorguera de Ocotlán, La Barca en Jalisco, y el incremento en la pudrición del tallo por *F. moniliforme* fue considerable. De cada 10 plantas muestreadas en los ejidos San José Casas Caidas, El Carmen y Loreto, Mpio. de La Barca, Jalisco y El Potrero, Mpio. de Ocotlán, Jal. seis presentaban severo ataque de pudrición del tallo; la merma en la producción fue considerable, probablemente superior a 60% en algunos lotes comerciales (*).

Año tras año, con alto grado de probabilidad podemos decir que el inóculo del patógeno causante de la pudrición del tallo se ha diseminado ampliamente por toda el área sorguera de la región, a través de medios naturales (agua, aire, etc.) o artificiales (pastoreo, maquinaria, etc.) y que de presentarse de nuevo las condiciones apropiadas, la enfermedad puede tomar dimensiones de epifitia. En los programas de mejoramiento genético del sorgo en México, así como en otros programas internacionales, la gran mayoría de las variedades, híbridos y líneas de este cultivo son susceptibles a la pudrición

(*) Betancourt. Comunicación personal.

del tallo, lo que origina reducciones notables en los rendimientos. Cabe hacer notar que esta enfermedad se presenta en todas las zonas sorgueras de México.

A causa de lo anterior, se plantea como una alternativa de solución de este problema la obtención de líneas con algún grado de resistencia a esta enfermedad, pues el mejoramiento genético resulta a largo plazo más económico y en una producción agrícola extensiva los costos deben permanecer bajos. Además, se conoce poco sobre el control químico del patógeno, a excepción de las investigaciones realizadas con algunos fungicidas en Ocotlán (*).

De los métodos de mejoramiento genético, la mutagénesis puede proporcionar en un período relativamente corto, líneas con resistencia a enfermedades (Favret, 1965). En contraste con los métodos tradicionales de cruzamiento que toman un plazo más largo para llegar a la misma meta.

Por lo anteriormente expuesto y para contribuir en algo a la obtención de líneas resistentes a *Fusarium moniliforme*, agente casual de la pudrición del tallo y panoja del sorgo, se llevó a cabo la presente investigación con los siguientes objetivos:

1) Determinar la dosis óptima de radiación gamma en que se detecten el mayor número de posibles mutantes con

(*) Betancourt, comunicación personal.

resistencia a la enfermedad en cuestión.

2) Obtener líneas mutantes de sorgo con algún grado de resistencia a *Fusarium moniliforme* Sheldon.

3) Proporcionar una alternativa de solución al problema de las enfermedades limitantes de la producción de sorgo en México y otros países.

Hipótesis

La presente investigación se basó en las siguientes hipótesis:

a) La resistencia a enfermedades es gobernada por factores mendelianos en herencia simple, los cuales se pueden identificar fenotípicamente, usando adecuadas técnicas de inoculación.

b) Mediante el uso de mutágenos, es posible inducir cambios genéticos hereditarios en la dirección deseada, si se utilizan las técnicas apropiadas.

II REVISION DE LITERATURA

2.1 Mutaciones

Charles Darwin (1859) en su libro "El Origen de las Especies por Medio de la Selección Natural", define la mutación como un cambio brusco ocurrido espontáneamente en las características genéticas de una especie, que es transmitida a su descendencia y que es la causa de la variación entre los individuos y entre las especies; además, Darwin enuncia que las mutaciones (denominadas por El "Sports") ocurren de una forma natural de tiempo en tiempo y son provocadas y modificadas grandemente por las condiciones ambientales y dan origen a nuevas variedades y/o especies desconocidas hasta entonces.

En la época contemporánea, Jugenheimer (1981), Poehlman (1983), House (1982), y De la Loma (1982) denominan mutaciones a las variaciones bruscas, discontinuas, aleatorias y heredables que constituyen diversos tipos de fenómenos genéticos, y consideran que el proceso de la mutación debe ser la fuente básica de la evolución. Y Baldwin (1976) opina que pueden intervenir en tales cambios un gene, parte de un cromosoma entero, o bien, una serie completa de cromosomas. Por su parte Brauer (1978) considera las mutaciones como cambios heredables en la constitución física o química de un organismo y que en un momento dado harían que un organismo estuviese mejor adaptado al medio ambiente o a cualquier condición desfavorable, dando por resultado su sobrevivencia o su desaparición. El nombre de mutación se debe al naturalista francés Duchesne, quien lo sugi-

rió a fines del siglo XVIII.

De Vries, botánico Holandés, posterior a Darwin (citado por Brauer, 1982), en observaciones sobre *Oenothera lamarkiana* (manto de la virgen) sugiere que las nuevas especies se producen, no por acumulación gradual de diferencias diminutas, como Darwin entendió, sino por cambios repentinos del tipo progenitor, un proceso al cual llamó mutación; además, De Vries anuncia que la mutación en primera instancia es debido al cambio en la constitución genética de una sola célula, la cual posteriormente se multiplica por el proceso de división celular.

2.2 Naturaleza y Características de las Mutaciones

Se considera que el proceso de la mutación debe ser la fuente básica de la evolución de las especies (Darwin, 1859; Baldwin, 1976; De la Loma, 1982; Allard, 1978; Brauer, 1978; Babcock y Clausen, 1927; House, 1982; Jugenheimer, 1981; Gardner, 1969).

Las mutaciones son raras en la naturaleza (House, 1982; Brauer, 1978), pero generalmente hay una proporción constante en la que muta cada gen, y aunque las mutaciones son generalmente recesivas (House, 1982; Brauer, 1978; Poehlman, 1983) pueden aparecer en la condición dominante. Las tasas de mutación son constantes en ambas direcciones, y del orden de 10^{-4} a 10^{-8} (es decir, una mutación A a en 10,000 a 100'000,000 de gametos) de acuerdo con House, 1982. Brauer (1978) opina que la frecuencia

de mutaciones es de aproximadamente una por cada millón de células que se producen. Pero, tomando en cuenta que una planta superior está constituída por muchos millones de células, las mutaciones por planta pueden ser varias; por ejemplo, en el maíz el gen R para el factor color, muta a una proporción de mutación de 100 por millón de gametos, y el gen sn (para grano arrugado) muta a la proporción de solamente 1 por millón de gametos (House, 1982).

Es relativamente raro que un gen recesivo mute a su forma dominante. Las mutaciones son generalmente reversibles, y si un gen "A" muta en "a", entonces puede mutar de nuevo en "A". Sin embargo, la proporción de mutación en las dos direcciones puede ser diferente (House, 1982). El mismo autor señala que la mayoría de las mutaciones son recesivas y a menudo no se expresan en la misma generación (llamada M_1), sino solamente si son homocigotes en la M_2 o una generación subsecuente.

Por su parte, Poehlman (1983) en referencia a que casi todas las mutaciones son recesivas, opina que la R_2 (segunda generación después de la irradiación) es la generación segregante.

Jugenheimer (1981), considera que a pesar del hecho de que la mayoría de las mutaciones que se presentan son deletéreas, las variaciones pueden presentarse por otras causas. Por ejemplo, la hibridación, la segregación, el entrecruzamiento o la liberación de un gene de un factor letal balanceado, pueden con

ducir a nuevas recombinaciones.

House (1982) considera que la mayoría de las mutaciones son dañinas y no sobreviven en una población. Pero las pocas mutaciones benéficas que se producen pueden utilizarse en el desarrollo de nuevos genotipos mejorados. Las mutaciones cromosómicas raramente son útiles y casi siempre son dañinas.

Stadler (1930 a.b.) citado por Brauer (1978) observa que hay muy pocas probabilidades de producir experimentalmente variaciones que no se hayan presentado ya en la naturaleza.

Brauer (1978) cita que en las plantas alogamas una mutación recesiva puede permanecer oculta durante muchas generaciones y de esta manera estar presente en el momento en que resulta favorable; mientras que Gustaffson (1951) citado por Brauer (1978) opina que sí hay mutaciones naturales o artificiales que mejoran la adaptación del organismo y que tales mutaciones favorables son relativamente frecuentes entre las plantas cultivadas.

Por otra parte, House (1982) considera que un gen mutante se perderá de una población si no tiene ventaja selectiva y que la probabilidad es mayor en las primeras generaciones. Si existe siquiera una pequeña ventaja de selección hay la posibilidad de que el gen permanezca indefinidamente en una población. Además, el mismo autor afirma que si la mutación ocurre en la misma dirección que la selección, la proporción del cam-

bio en frecuencias se incrementaría.

Jugenheimer (1981) cita que el germoplasma es el material hereditario que se transmite a la descendencia a través de las células embrionarias. Es la parte del protoplasma celular que determina el caracter de la especie y es la base física de la transmisión hereditaria. La posibilidad de influir o dirigir la variabilidad heredable de los organismos ha sido uno de los objetivos del hombre a través de los siglos. Además, opina que el germoplasma puede modificarse por cambios en los cromosomas, en los genes o ambos. El mismo autor sugiere también que el citoplasma es una fuente de variación; de hecho, parece probable que caracteres tales como la esterilidad citoplásmica del maíz son el resultado de la mutación de algún componente citoplásmico.

Además, Gardner (1969) escribe que la variabilidad causada por las mutaciones inducidas no es esencialmente diferente de la variabilidad causada por las mutaciones naturales durante la evolución.

2.3 Clasificación de las Mutaciones

Las mutaciones se pueden clasificar de la siguiente manera: (Jugenheimer, 1981; Baldwin, 1976; Sube (1954) citado por Brauer, (1978); House, 1982; De Gaul, 1963):

Mutaciones génicas

Mutaciones Genomiales

Mutaciones cromosómicas

- Duplicaciones
- Deficiencias
- Traslocaciones
- Inversiones

Mutaciones citoplásmicas

ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

2.3.1 Mutaciones Genomiales

Las mutaciones genomiales son los cambios en el número total de cromosomas característico de una especie. Pueden presentarse porque el conjunto total de cromosomas se repita más de dos veces, dando origen a una poliploidía. También puede haber cambios en el número de cromosomas que se refieren a cromosomas completos, pero no de todo el genomio y se conocen como aneuploides (De Gaul, 1963; Brauer, 1978).

2.3.2 Mutaciones Génicas

El gene está constituído por ADN, o en algunos virus por ARN y es una estructura doble que comprende cuatro bases nucleotídicas. A los cambios dentro de un gene que solamente afectan la acción del propio gene, se les denomina mutaciones génicas, cambio repentino en un gen particular y al individuo que lo manifiesta se le llama mutante (Jugenheimer, 1981; Brauer, 1978).

Baldwin (1976) menciona que en una mutación génica participa un solo gen; cada gene controla la producción de una enzima,

la que a su vez controla la expresión de uno o más caracteres.

Por su parte, House (1982) escribe que los cambios en genes individuales, llamados mutaciones génicas, pueden clasificarse en:

1) Mutaciones dominantes y/o recesivas
2) Mutaciones benéficas o dañinas
3) Mutaciones que ocurren en células somáticas (células vegetales diploides normales) o mutaciones que ocurren durante la producción de gametos. Si la mutación tiene lugar en tejido somático durante la mitosis, todas las células mutantes llevarán la mutación y el tejido vegetal tendrá por tanto una mezcla de tejidos con y sin mutación.

2.3.3 Aberraciones Cromosómicas

Jugenheimer (1981) menciona que el estado normal del aparato cromosómico en cualquier línea, variedad o especie es aquel en el que:

1. El número de cromosomas es constante
2. Cada cromosoma comprende un juego definido de genes
3. Los genes dentro de cada cromosoma están ordenados en una cadena lineal constante.

Cualquier desviación de las características anteriores constituya una aberración cromosómica (Dobzhansky, 1936; House,

1982); las derivaciones cromosómicas comprenden los cambios en el número de cromosomas y aquellos que alteran el número o el ordenamiento de los genes dentro de un cromosoma. La siguiente clasificación de las aberraciones cromosómicas fue publicada por Sinnott, Dunny y Dodzhansky (1950).

1. Cambios en el número de cromosomas.
   a) Cambios que comprenden juegos completos
      i) Haploidía (n); cada cromosoma está presente una vez (Jugenheimer, 1981)
      ii) Poliploidía; cada cromosoma está representado por más de dos homólogos. Triploidía (3n), Tetraploidía (4n) Pentaploidía (5n), etc. (Jugenheimer 1981).
   b) Cambios en el número de cromosomas en un juego (Heteroploidía).
      i) Monosómicos: Son los que sufrieron la pérdida de un cromosoma en juego (an-1). (Baldwin, 1976; Jugenheimer, 1981).
      ii) Los polisómicos resultan de la adición uno o más cromosomas en un juego. Trisómicos (2n+1), Tetrasómicos (2n+2). (Baldwin, 1976).
      iii) Los nulisómicos son el resultado de la pérdida de los dos cromosomas de un par.

2. Cambios en el número o en el ordenamiento de los locigeñicos dentro de un cromosoma.

a) En número

i) Deficiencia o delección; es la pérdida de un gene o más (Brauer, 1978; House, 1982; Jugenheimer, 1981).

ii) Duplicación: Adición de un gene o más como consecuencia del cual el organismo lleva el gene repetidamente en su complemento cromosómico haploide (Brauer, 1978; House, 1982; Jugenheimer, 1981).

b) En ordenamiento

i) Translocación o intercambio: Permuta de segmentos entre cromosomas no homólogos, para formar dos nuevos cromosomas (Baldwin, 1976; Brauer, 1978; House, 1982; Jugenheimer, 1982).

ii) Inversión: Dentro de un cromosoma un bloque de genes puede rotar 180°. (Baldwin, 1976; Brauer, 1978; House, 1982; Jugenheimer, 1981).

2.3.4 Mutaciones Extranucleares

Brauer (1978) menciona que son los cambios que afectan la estructura de partículas tales como los plastidios y los condriosomas que se hayan típicamente en el citoplasma de la célula. Cuando una mutación se presenta en las células que constituyen el cuerpo de una planta, se conoce con el nombre de mutación somática.

2.4 Tipos y Fuentes de Radiación

Los mutágenos pueden ser físicos o químicos. Entre los mutágenos físicos o radiaciones ionizantes, podemos destacar a la luz ultravioleta, rayos X, rayos Gammas, partículas Alfa y Beta, Protones y Neutrones (Dale, 1966). El número de mutágenos químicos es muy grande y su descubrimiento está en continuo incremento. Sin embargo, para propósitos prácticos de inducción de mutaciones en plantas, sólo unos cuantos son realmente útiles. La mayor parte de ellos se encuentra en la clase especial de los agentes alkilatantes y puede enumerarse como sigue: Etilmetano sulfonato (EMS), dietil sulfato (DES), etilenamina (EI), etil nitroso uretano (ENU), etil nitroso urea (ENH) y metil nitroso urea (MNH). Los ácidos son también mutágenos efectivos. (Jacobs, 1964).

Es difícil hacer una comparación de la eficiencia de los mutágenos para producir mutantes útiles en la obtención de variedades comerciales a causa de que los investigadores tienen la tendencia a usar los mutágenos que les son más accesibles. Así que en las primeras investigaciones todos los tratamientos mutagénicos se hicieron utilizando rayos X. De 95 variedades registradas en 1973, derivadas de mutaciones, el rango de uso de los agentes mutagénicos es el siguiente: rayos X con 43, rayos gamma 23, neutrones 19, químicos 8 e isótopos internos (^{32}P) 2 (Sigurbjörnsson y Micke, 1974).

En los siguientes 3 años el número de variedades en diver-

sos cultivos, se ha incrementado en más del 30%, mientras que el número de variedades derivadas de cruzas con mutantes se ha triplicado. Se han obtenido gran cantidad de variedades de cebada y trigo, indudablemente porque se ha trabajado más activamente con estos cereales. Los resultados en otras especies se incrementará en proporción a la cantidad de trabajo. (Tablas 1 y 2; Micke, 1976).

TABLA 1. NUMERO DE VARIEDADES DESARROLLADAS MEDIANTE EL USO DE MUTACIONES INDUCIDAS, HASTA DICIEMBRE DE 1975. (IAEA, 1977)*.

	Del uso directo de los mutantes	De la utilización de mutantes como progenitores en cruzas
A) Cultivos Agrícolas		
(1) Con propagación generativa.	87	36
(2) Con propagación vegetativa.	9	1
	96	37
B) Ornamentales		
(1) Con propagación generativa.	-	4
(2) Con propagación vegetativa.	60	-
T O T A L:	156	41

* Basada en información recibida de los investigadores en todos los paises que realizan investigación hasta diciembre de 1975.

TABLA II. CANTIDAD DE VARIEDADES REGISTRADAS POR EL USO DIRECTO DE LOS MUTANTES O POR EL USO DE LOS MUTANTES EN PROGRAMAS DE CRUZAMIENTO (SIN INCLUIR ORNAMENTALES) HASTA 1975. (IAEA, 1977).

	Variedades						
	Antes de 1950	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	Total*
A) Uso Directo de mutantes							
Cebada			2	5	7	4	19
Otros Cereales			3	5	8	12	29
Otras Plantas	1	4	3	6	14	17	38
Total	1	4	8	16	29	33	96
B) Uso de Mutantes En Programas de Cruzamiento							
Cebada				1	4	14	21
Otros Cereales				1	2	5	8
Otras Plantas			2	3	1	2	8
Total			2	5	7	21	37

* Incluyendo 1975.

La mayoría de las variedades han sido inducidas por Rayos X u otra radiación ionizante, aunque el número de variedades de mutantes inducidos químicamente está en aumento. (Scholz, 1976).

2.5 Daño al DNA

La irradiación del DNA, ya sea en solución o en estado sólido, produce un número de cambios químicos. Se pueden observar rastros de fosfatos o bases. Las bases son atacadas por desaminación, la ruptura de la estructura cíclica y formación de peróxidos. En la desoxirribosa se lleva a cabo la oxidación de los grupos alcohol, y es muy común la ruptura del ligamento entre carbono y carbono. Muchas de estas alteraciones químicas afectarán la molécula de DNA como un todo. Un ataque en la desoxirribosa, por ejemplo, conducirá a la ruptura de uno de los travezaños, o los puntos de soporte se rompen en ambos lados, lo que ocasiona la ruptura de la doble hélice. Es difícil indicar cual de los cambios químicos es biológicamente más importante, debido a la gran cantidad de ellos y aunado a que el espectro de cambios químicos es alterado por las enzimas reparadoras. En el caso de la ruptura simple, la integridad de la molécula de DNA permanecerá intacta. Si los dos soportes de los travesaños se rompen, la molécula se romperá en dos partes (Dean, Feldchreiber and Lett, 1966).

2.6 Reparación del DNA

Por largo tiempo ha sido claro que el daño primario inducido por la radiación ionizante es modificado por procesos enzimáticos reparadores y sólo una pequeña fracción del daño permanece para causar un cambio biológico (Lea, 1955).

Una bacteria que ha recibido una dosis letal de luz ultravioleta puede recuperarse si después de colocarla en el porta objetos, es iluminada por luz visible. Se ha encontrado que el principal evento letal inducido por la luz ultravioleta (U.V.) en el DNA, la pirimidina atenuada, fue monomerizada in situ y la enzima fue responsable por ese efecto. Para realizar su función, la enzima necesitó de una fuente de energía, la luz visible. Sin embargo, se comprobó que la bacteria poseía un proceso reparador que funcionaba aún en la obscuridad. Las bases removidas del DNA fueron substituidas por un nuevo material. Varias enzimas están involucradas en este proceso, inicia con una endonucleasa que hace un corte en la cadena defectuosa adyacente a la base. Una exonucleasa difiere la parte del travesaño defectuoso y en el hueco así formado, son colocados nuevos nucleótidos por una polimerasa. Como paso final, la nueva pieza sintetizada es fijada a los viejos travesaños por unas ligaduras. El proceso íntegro es conocido como reparación por escisión. (Howard-Flanders and Boyce, 1966).

Sin embargo, es interesante notar que una fracción de las rupturas permanecen sin reparación. Esta fracción de rupturas no reparadas es significativamente mas alta después de la irradiación con neutrones rápidos que después de los rayos gamma. Hay también una clara diferencia entre el tipo de reparación por escisión, por el daño de los rayos U.V. y la que se realiza después de la radiación ionizante. Cuando una pirimidina es reemplazada por un nuevo material, varios cientos de nucleóti-

dos pueden ser insertados por cada base removida. Después de los rayos gamma sólo unos cuantos nucleótidos son insertados por lesión. Esto indica que diferentes enzimas reparadoras están involucradas, dependiendo del tipo de daño (Ahnström and Edvarsson, 1974).

2.7 Objetivos del tratamiento

Todas las partes de la planta pueden ser irradiadas por uno u otro método. Pero algunas son más fáciles de tratar que otras. Además de los tratamientos comunes de las semillas y el polen, plantas completas, cortes de tejidos, tubérculos, bulbos, estolones y células, se pueden irradiar órganos en cultivos artificiales (Sax, 1941).

Tipos de Material Vegetal

Plantas Completas. Las plantas muy grandes son más fácilmente irradiadas en campos gamma o en un salón gamma. Las plántulas o pequeñas plantas pueden ser fácilmente irradiadas por máquinas de rayos X o fuentes de rayos gamma en invernadero o cuartos aislados. (Sparrow, 1966).

Semillas. Las semillas pueden ser irradiadas en muchos ambientes físicos. Pueden ser desecadas, remojadas, calentadas o enfriadas. Pueden ser mantenidas por largo tiempo al vacío libres de oxígeno y a altas presiones de gases. Esto es favorable para controlar los factores que modifican el daño inducido

por la radiación en la semilla (Nilan *et al.*, 1961).

Granos de Polen. Una gran ventaja del método de irradiación de polen respecto a la irradiación de semillas o de plántulas, es que raramente se producen quimeras. La desventaja de la irradiación del polen incluye la dificultad de obtener suficiente material de algunas especies y la frecuentemente corta viabilidad del polen. (Nitsch, 1974).

Meristemos. La irradiación de la semilla es esencialmente un tratamiento de los meristemos embrionarios. La anatomía y patrón de crecimiento de los meristemos embrionarios es importante para el tratamiento a las semillas (tanto como para las otras partes de los vegetales). Cualquier mutación inducida por irradiación de la semilla aparecerá en únicamente un sector de la planta madura. La estructura de las regiones meristemáticas y la formación de nuevos meristemos de tejido diferenciado es de importancia particular en la irradiación de las plantas de propagación vegetativa (Stein and Sparrow, 1966).

Células o cultivos de Tejidos. El uso de células y tejidos en cultivo, ofrecen un gran potencial de aplicación en mutagenesis para las plantas superiores. Los avances logrados en el cultivo de tejidos vegetales, hace posible aplicar las avanzadas técnicas de la microgenética a las formas superiores. Tales técnicas incluyen la producción de protoplastos (células sin pared celular) y su uso. Otro avance incluye la formación y cultivo de células mutantes, y la regeneración y diploidiza-

ción de plantas derivadas de cultivos haploides. Se espera que así sean desarrolladas nuevas técnicas, que puedan ser utilizadas en programas de mejoramiento. (Sunderland, 1974; Nitsch, 1974).

2.8 Radiosensibilidad y Factores Modificantes

La respuesta de las células de plantas superiores a los mutágenos físicos y químicos, es influenciada en grado variable por numerosos factores biológicos, ambientales y químicos. Esos factores modifican la efectividad (mutaciones por dosis unitaria) y la eficiencia (proporción de mutaciones contra el daño ocasionado a las plantas u otros efectos tales como aberraciones cromosómicas) de los mutágenos en las células de las plantas superiores. Los mecanismos por medio de los cuales muchos de esos factores influencian las frecuencias de mutaciones y aberraciones cromosómicas, no son conocidos aún. Sin embargo, ciertos de esos factores deben ser controlados con objeto de obtener resultados más aceptables en los tratamientos mutagénicos (Murray, 1971).

Los factores importantes en la modificación de la radiosensibilidad de la semilla no son necesariamente los mismos que para los tejidos de crecimiento activo de las plantas. Por ejemplo, los dos factores mas importantes para la irradiación de la semilla, son el oxígeno y el contenido de agua, mientras que para los tejidos activos son probablemente mas importantes

factores, tales como el estado de desarrollo, incluyendo la relación entre la síntesis de DNA y la dosis. Factores tales como el volumen de los cromosomas en la interfase y el volumen nuclear de cromosomas, son importantes para los tejidos activos, tanto como para los dormantes. Los factores que modifican la respuesta de las semillas a las radiaciones ionizantes se puede agrupar en dos grandes categorías: 1) Factores ambientales y atmosféricos; contenido de agua en la semilla, almacenamiento después de la irradiación y temperatura; y 2) Factores biológicos, tal como diferencias genéticas, volúmenes cromosomales en el núcleo y durante la interfase (Murray, 1971).

2.9 Factores Ambientales

2.9.1 Oxígeno

El oxígeno es el mayor factor modificante del daño biológico y genético inducido por los rayos X y la radiación gamma en las semillas. Otros factores tales como el contenido de agua, temperatura y almacenamiento posterior a la irradiación, parecen ser secundarios, interactuando con los efectos del oxígeno. Los factores ambientales son menos importantes con las radiaciones densamente ionizantes, tal como los neutrones rápidos. (Conger, Constantin y Carabia, 1972).

Los mecanismos por medio de los cuales el oxígeno altera el daño genético, involucran la interacción de los radicales libres, producidos por la radiación y el oxígeno para producir

productos radioquímicos altamente reactivos y dañinos. Por ejemplo: (Ehrenber, L., 1960).

$$H_2O \xrightarrow{\text{radiación}} H_2O^+ + e^-$$

$$H_2O^+ \longrightarrow H^+ + OH^-$$

$$e \longrightarrow e^-aq$$

$$e^-aq \longrightarrow H + OH^-$$

La recombinación entre los radicales libres, dará por resultado:

$$e^-aq - e^-aq \longrightarrow H_2O^+ + 2\ OH^-$$

$$H + H \longrightarrow H_2$$

$$OH + OH \longrightarrow H_2O_2$$

ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

2.9.2 Contenido de Agua

Para el fitomejorador, el contenido de agua en la semilla es probablemente el factor secundario más importante. La humedad varía más fácilmente y es la que puede ajustarse mas fácilmente. Bajo condiciones atmosféricas normales, las semillas con $\leq$14% de agua incrementan en sensitividad a la radiación X y gamma conforme disminuye el contenido de agua, (Nilan *et al.*, 1961) por ejemplo, ha sido demostrado con semillas de cebada que un pequeño incremento en el contenido de agua de 10.7 a 11.0% reduce la respuesta al tratamiento de oxígeno en post irradiación, aproximadamente 3 veces (Conquer, Nilan and Konzad

1968 b).

Las semillas almacenadas bajo condiciones normales de laboratorio, se encuentran a menudo en el rango de contenido de agua entre 10.0 y 11.5 y una diferencia de 0.2 a 0.3% podría alterar grandemente la radiosensitividad de algunas especies. Esto podría significar la diferencia entre elegir una dosis mutagénica efectiva, una dosis demasiado alta, dando como resultado una esterilidad excesiva o ninguna supervivencia de las plantas. (Nilan and Konzak, 1968 b).

2.9.3 Almacenamiento Post-irradiación

Las condiciones y duración de la semilla en almacenamiento después de la irradiación, puede modificar marcadamente la respuesta biológica, dependiendo del contenido de agua de la semilla y su exposición al nitrógeno antes, durante y después de la irradiación. Algunos estudios con cebada demostraron que la variación se debe a una respuesta al contenido de oxígeno cuando la humedad se mantiene constante dentro de los límites citados anteriormente y hay poco o ningún efecto por almacenamiento por períodos de 2 a 4 semanas después de la irradiación a temperatura ambiente. Hay aún pocas evidencias de la acción de los mecanismos reparadores durante el almacenamiento de la semilla ($\leq$12% de agua). El período de almacenamiento de post irradiación generalmente no debe exceder unas cuantas semanas, porque se reduce la viabilidad. Si es necesario almacenar la semi-

lla por largo tiempo, deberán estar congeladas. Esto se aplica a la irradiación con rayos X, gamma y neutrones rápidos. (Conquer Niland and Konzak, 1968 b).

2.9.4 Temperatura

La temperatura de las células de la planta durante, antes y después de la irradiación pueden afectar la suma total de daño inducido por los rayos X y gamma. Sin embargo, el efecto de la temperatura como un factor modificante del daño por irradiación no es comprendido claramente y parece que hay una estrecha correlación del contenido de agua, de oxígeno y la temperatura en la determinación del daño por irradiación en semilla de cebada (Caldecott, 1961).

2.9.5 Factores Biológicos

Volumen de cromosomas en el núcleo y durante la Interfase.

El volumen nuclear (VN), el volumen de cromosomas en la interfase (VI) y el contenido de DNA son los factores biológicos más importantes que gobiernan la radiosensitividad de las especies vegetales. Se ha demostrado que hay una relación inversa entre radiosensitividad y VCI y en menor grado, entre la radiosensitividad y el contenido de DNA. (Osborme y Lunden, 1965).

2.9.6 Diferencias Varietales y Genéticas

Se han reportado diferencias en la radiosensitividad entre genotipos dentro de especies, siendo en algunos casos las diferencias relativamente grandes. Las diferencias pueden deberse a varios factores, pero no parecen estar relacionadas con el volumen nuclear de cromosomas o con el volumen de cromosomas durante la interfase. Sin embargo, la diferencia de radiosensitividad entre genotipos dentro de especies, es por lo general mucho menor que entre especies. Por eso, en el fitomejoramiento por mutaciones inducidas, los factores del genotipo probablemente sean ignoradas a causa de que la radiosensitividad de un cultivar en particular, generalmente se determina de la realización de experimentos de campo con diferentes dosis. (Walther y Haug, 1973).

2.10 Efectos de los Agentes Mutagénicos en la Generación M_2

Los mutágenos físicos y químicos ocasionan tres tipos de efectos, que son de interés en genética y fitomejoramiento (Sparrow, 1961):

1. Daño fisiológico (daño primario)
2. Mutaciones puntuales y génicas (factor mutations)
3. Mutaciones cromosomales (aberraciones cromosómicas)

Las mutaciones puntuales (factor mutations) y cromosómicas se pueden transferir de la M_1 a las siguientes generaciones. Los llamados daños fisiológicos generalmente registados están restringidos a la generación M_1. Las mutaciones puntuales no

pueden ser reconocidas en la M_1, excepto cuando se usan técnicas especializadas; éste tipo de mutaciones son cambios bien definidos del material genético. Los efectos fisiológicos son de naturaleza muy variada, representan daños que pueden determinarse citológicamente, que pueden ser medidos en un órgano o que consisten de una reacción del organismo completo (Sparrow, 1961).

Los tres efectos mencionados dependen de la dosis. El daño fisiológico inicia en cierto nivel de incremento de dosis y finaliza en un punto cuando la letalidad es de 100%. Para un tratamiento mutagénico dado, hay una correlación en los cereales entre la altura de plántula en M_1 y la supervivencia por un lado, y la frecuencia de mutación por el otro. (Gaul, 1959 a).

El efecto de las mutaciones sobre la planta se puede medir en la generación M_1 en varias formas, (Gaul, 1959 a):

a) Altura de plántula, determinada en un estado fenológico particular, después de la germinación en el laboratorio.
2) Longitud de raíz, determinada después de la germinación en el laboratorio.
3) Emergencia bajo condiciones de campo o germinación bajo condiciones de laboratorio.
4) Supervivencia bajo condiciones de campo o laboratorio
5) Número de inflorescencias por planta

6) Número de flores por inflorescencia

7) Número de semillas por inflorescencia

8) Frutos y/o semillas por plantas

2.11 Uso de Mutaciones en Mejoramiento

Las siguientes características de los cultivos pueden ser mejoradas mediante el uso de mutaciones (IAEA, 1977):

a) Habilidad de rendimiento

b) Floración y precocidad

c) Adaptación

d) Tipo de planta y hábito de crecimiento

e) Resistencia al acame y ruptura del tallo

f) Resistencia a la caída de hojas, flor y fruto

g) Tolerancia a las bajas temperaturas, sequía y salinidad

h) Resistencia a enfermedades y plagas

i) Calidad:

   1. Almidón
   2. Proteína
   3. Grasas, aceites y ácidos grasos
   4. Substancias tóxicas

El uso de mutagenesis se ha extendido ampliamente en los últimos años como una opción del fitomejoramiento, p.e., la obtención de mutaciones morfológicas, de rendimiento y penetra-

ción en chícharo (Gottschalk, 1976) utilizando rayos X; mutantes semienanos en trigo, usando rayos gamma (Konzak, 1976) el uso de mutantes con alto grado de proteína en fitomejoramiento (Rabson, 1976); mutaciones para precocidad en arroz (Ismachin y Mikaelsen, 1976) la obtención de androesterilidad (Driscoll y Barlow, 1976; Gottschalk, 1976); la producción de translocaciones y su transferencia por cruzamiento (Bhatia, 1976), obtención de incompatibilidad sexual en flores (Pandey y Nettan Court, 1976); obtención y transferencia de mutaciones con alta heterosis (Powell, 1976), todos los últimos con el uso de rayos gamma. Además, se han efectuado investigaciones en variados cultivos básicos, algunos de los cuales se enuncian a continuación.

2.11.1 Leguminosas

El frijol arriñonado (Var. Vaghya) irradiado con 250 y 500 r. de radiación gamma mostró una variación cuantitativa de la proteína, atribuida al incremento de la actividad de la proteasa (Pal y Gaur, 1983). También se están haciendo observaciones del efecto de los mutágenos en un híbrido de frijol (*P. vulgaris*) (Isasi abreu, 1983).

En tratamientos con varias concentraciones de malathión en los meristemos de la raíz de haba (Vicia faba), las frecuencias de alteraciones cromosómicas, se incrementaron conforme aumentó la concentración, excepto para los micronúcleos. Además, se ob

servó que las dosis bajas de malathión (50, 75 y 100 ppm) estimularon el índice mitótico, mientras que en las dosis altas (125, 200 y 300 ppm) el efecto fue inhibidor (Gómez A. *et al.*, 1982).

Muchas semillas de chícharo de la variedad Freezer 68 y Primavera, fueron tratadas con rayos X (10 y 15 krads) y Dietil-Etano-Sulfonato (1 y 5%) por más de 5 horas. Se han obtenido 1,084 progenies de un total de 17,500 plantas M_2 que se están probando para resistencia a Mildew velloso y tizón de la hoja (*Ascochyta spp*) (Ciccarone y Scariscia, 1974) en Italia. Además se están haciendo investigaciones en la obtención de mutaciones resistentes a la roya del frijol (*Uromyces phaseoli*) en Egipto (Fadl, 1983).

2.11.2 Gramíneas

En cuatro variedades de sorgo (*Sorghum bicolor*): Aispuri Shallu, Feterita y Fara-Fara; se estudió el efecto de la hirazina (HZ) y el ácido sódico (NaN_3), observándose efecto en altura de planta a madurez, longitud de panoja, rendimiento por planta y peso de 100 granos. (Reddy y Cheralu, 1984).

Utilizando rayos X en variedades altas de sorgo en la India (BP 53, Surat 1 y GJ 108) se redujo la altura de planta en la variedad Surat 1, (Kukadia *et al.*, 1982).

En trigo (*Triticum vulgare*) se han realizado una variedad de

pruebas para obtener mutaciones para resistencia parcial o alta tolerancia a enfermedades.

Fueron detectados 15 mutantes con alta resistencia a la roya lineal, 11 a la roya del tallo y 35 al mildew velloso en trigo harinero de las variedades Dobrovickv 8 y Valtaiky y 10 mutantes de cebada de la variedad Diamante, resistentes a Mildew velloso, irradiadas con rayos gamma y seleccionadas por infección artificial en invernadero y en infección en campo en la M_2 y generaciones sucesivas (Hanis, 1974).

Además, se han obtenido en otros lugares mutantes con alta resistencia a las diferentes royas del trigo: *Puccinia graminis tritici* (Knott y Hughes, 1974; Kiraly y Barabas, 1974, Borojevic, 1974); *Puccinia recóndita* (Knott y Hughes, 1974 y *Puccinia striiformis*, Line y Konzak, 1974). En mildew velloso (Hanis, 1974; Kiraly y Barabas, 1974).

En cebada se han reportado mutaciones resistentes al mildew velloso (*Erysphe graminis*), (Jorgensen, 1974; Fuchs *et al.*, 1974).

En maíz (*Zea mays*) se han realizado estudios sobre el efecto de las radiaciones gamma, observándose diferencias en la altura de planta a la madurez, días a 50% floración, longitud de los entrenudos y longitud y diámetro de la mazorca. (Zárate, 1982).

Para mijo (*Pennisetum spp*), fueron seleccionadas tres mutan-

tes con alta resistencia al mildew velloso (*Eysiphe spp*) con completa esterilidad masculina y completa restauración de la fertilidad del polen en sus combinaciones híbridas, (Murty, 1974).

En arroz se han reportado mutantes altamente resistentes a la pudrición del tallo (Ahmed *et al.*, 1974; Kawai, 1974; Marie y Tinarelli, 1974) y helmintosporiosis en la hoja (Nayak y Padmanabhan, 1974).

Los trabajos realizados en caña de azúcar reportan mutantes resistentes a la pudrición roja (*Phyalospora tucumanensis*) (Bari, 1974; Haq *et al.*, 1974; Jagathesen *et al.*, 1974).

2.11.3 Solanáceas

En papa (*Solanum spp*) se reportan mutantes tolerantes a *Pytopthora ifestans* y *Pseudomona solanaceum* en la India (Upadhya, 1974).

Debido a que la mayoría de las mutaciones son recesivas, a menudo no se expresan en la misma generación (llamada la M_1) sino solamente si son homocigóticas en la M_2 o una generación subsecuente (House, 1982).

La reacción a la enfermedad es uno de los más importantes aspectos del mejoramiento moderno. Los trabajos citados muestran el importante desarrollo que ha tenido la mutagenesis en el mejoramiento para resistencia a enfermedades.

El mejoramiento para variedades resistentes es en muchos casos la medida más económica y menos peligrosa para controlar las enfermedades de los cultivos. El propósito de las mutaciones es inducir genes de resistencia contra las razas patogénicas del parásito o patógeno. Generalmente se selecciona un mutante resistente a la enfermedad por inspección ocular del tamaño de las lesiones causadas por el patógeno. Para asegurar el criterio de selección, se usa la inoculación artificial (Micke, 1977), a menos que bajo las condiciones de campo se tenga suficiente inóculo y condiciones apropiadas para el desarrollo del patógeno.

2.12 Relación Hospedero-Parásito

La condición de resistencia dentro de las especies susceptibles, es común en la naturaleza (Vavilov, 1974) y aunque su frecuencia es muy variable, las formas resistentes son generalmente bajas en número (Favret, 1965). Pero como la enfermedad es el producto de la interacción entre el organismo hospedero y el organismo patógeno (hongo, bacteria, virus), la variabilidad genética se puede expresar tanto en el primero como en el segundo. En el patógeno la variabilidad se expresa por medio de genes para virulencia o avirulencia, cuya diferenciación en un lote de variedades sigue a la identificación del fenotipo conocido como "razas fisiológicas" o "patogénicas". Este tipo de interacción es identificada en el hospedero como resistencia específica, que en ocasiones ha demostrado ser de valor tempo-

ral en mejoramiento porque el organismo patógeno crea nuevas razas virulentas, mientras el mejorador desarrolla nuevas formas resistentes, así originando un equilibrio dinámico. Esta situación obliga al mejorador a buscar continuamente fuentes de resistencia o encontrar medios de controlar la evolución del patógeno. (Mode, 1958).

2.13 Pudrición del Tallo

La pudrición del tallo causada por *Fusarium moniliforme* Sheldon, es de las principales causas de acame en los cultivos. Los síntomas de la pudrición del tallo en sorgo, incluyen pudrición de raices fibrosas y raices de sostén, decremento en el crecimiento de la planta y reducción del rendimiento hasta de un 60% por deficiente llenado del grano. *F. moniliforme* afecta a las plantas en todas las etapas de su crecimiento y puede causar pudrición de la raíz, de la panoja, tallo y de la corona en el sorgo. Los tejidos afectados toman una coloración rojizo-parduzca en la planta (Zummo, 1978).

El patógeno primero ataca los puntos de crecimiento de las plántulas y obstaculiza una posterior elongación de la raíz. Las pérdidas pueden ser directas, debido al pobre llenado del grano y pedúnculos debilitados o acamados; o indirectas a través de pérdidas en la cosecha debidas al rompimiento del tallo. El grano mohoso que es indeseable para el consumo animal, también contribuye significativamente a estas pérdidas. (Zummo,

1978).

2.14 Fuente de Inóculo

Las especies de fusarium son comúnmente detectadas en el suelo y permanecen viables por años viviendo en la materia orgánica y en tallos infestados (Claflin, 1981), o existir como saprófitos en tejidos moribundos de hospederos vivos, o como patógenos oportunos esperando las condiciones de tensión en el huésped (Kommedhal *et al.*, 1979).

El inóculo parece estar diseminado primariamente sobre el suelo. El inóculo de *F. moniliforme* es diseminado por el viento o lluvia y las esporas diseminadas por insectos; lo que constituye factores importantes a considerar en la infección de la pudrición del tallo (Kommedhal *et al.*, 1979).

2.15 Infectología

La pudrición del tallo es mas severa cuando a un período lluvioso sigue un período seco y de altas temperaturas. El inicio de la infección es difícil de determinar, aunque se sabe que la infección puede tener lugar poco antes de la emergencia y puede continuar hasta la cosecha. Aunque las plantas pueden estar infectadas con el organismo de la pudrición del tallo en etapas tempranas del desarrollo, los síntomas rara vez son visibles hasta que las plantas se acercan a la madurez. En el sorgo las panojas pierden su brillantez y se doblan como si madu-

raran prematuramente (Claflin, 1981).

2.16 Control

No se conoce control efectivo contra la pudrición del tallo del sorgo, ni están disponibles híbridos de sorgo que tengan alta resistencia a la enfermedad y poco se desconoce de su dispersión, fase y forma de infección; sin embargo, algunos híbridos comerciales muestran cierta tolerancia conferida por el polinizador RTX 430, en otros casos se ha observado algo de resistencia en materiales derivados de la línea de sorgo Río(*).

Se ha sospechado que varias prácticas culturales contribuyen al incremento de la enfermedad, tales como: labranza máxima, alta fertilización nitrogenada, altas densidades de plantas y cultivos contínuos. Pero nada específico es conocido a la fecha para controlar al patógeno. (Zummo, 1978; Claflin, 1981).

2.17 Distribución

F. *moniliforme* se encuentra distribuido en todas las regiones sorgueras de México, principalmente en Tamaulipas, Nayarit, Michoacán y Guanajuato de la región del Bajío; y es un inóculo potencial capaz de producir una epidemia en las regiones productoras de sorgo (Betancourt, 1978).

De 1975 a la fecha se ha observado un incremento conside-

(*) Betancourt, comunicación personal.

rable de este patógeno en la mayoría de los híbridos comerciales en Jalisco(*).

2.18 Clasificación Taxonómica

El agente causal de la pudrición del tallo del sorgo, es clasificado de la siguiente manera (Barnett y Hunter, 1972):

Clase: *Deuteromycetes*

Orden: *Moniliales*

Familia: *Moniliaceae*

Género: *Fusarium*

Especie: *Moniliforme* (Sheldon)

El *Fusarium moniliforme* Sheldon es el estado conidial de *Gibberella fujikuroi* (Saw) Wr.

2.19 Epifitología

Walker (1973) menciona que las microconidias de *G. fujikuroi* presentan de 3 a 5 tabicaciones con dimensiones de 2.9 a 3.5 por 30 a 56μ, pero son muy escasas. Los microconidios son numerosos de formación basípeta, sobre conidioforos simples o verticilados, permanecen adheridos, dando lugar a la formación de cadenas, o bien, por deslizamiento lateral se reunen en ramilletes; su forma es ovoide a elipsoidal; las ascas son rec-

(*) Betancourt, comunicación personal.

tas, las ascosporas fusiformes a elipsoidales, con sus extremos redondeados y presentando estrechamientos a la altura de los tabiques.

El mismo autor escribe que se ha observado una considerable capacidad de mutación, tanto en las características de cultivo como en lo referente a la virulencia de esta especie, en comparación con las otras muchas de *Fusarium*.

Por su parte Sarazola (1975) reporta que el patógeno induce crecimiento acelerado en arroz como resultado de la formación de giberelinas; causa plantas más altas, internudos y vainas de las hojas mas largas, angostas y delgadas; el ángulo entre hojas y caña es mayor, el crecimiento de raíz y macollaje de las plantas se reduce. El mal llenado de grano reduce el rendimiento.

El mismo Sarazola opina que la producción de giberelina ocurre bajo una escala estrecha de temperaturas y es óptima a 35°C con un contenido elevado de la humedad del suelo para arroz.

III MATERIALES Y METODOS

A Materiales

A.1 Material Genético

En el presente estudio se utilizaron 5 líneas R del Programa de Sorgo de El Bajío, proporcionadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (antes INIA) conocidas por su buena aptitud combinatoria, pero con limitaciones en cuanto a su resistencia a enfermedades; las 5 líneas pertenecen a los grupos de sorgo Shallu y Feterita de endospermo corneo-amarillo. Los dos grupos combinan bien con Kafir, de donde derivaron las hembras de los híbridos comerciales de este programa (*).

Las líneas mencionadas están bien adaptadas, pero tienen la inconveniencia de su alta susceptibilidad a la pudrición del tallo por *F. moniliforme* y a enfermedades foliares en general, principalmente al mildew velloso. Sus características se presentan en el siguiente Cuadro:

ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

(*) Betancourt, comunicación personal.

CUADRO 1. LINEAS DE SORGO DE REACCION "R" UTILIZADAS EN EL PRESENTE ESTUDIO Y GRUPOS DONDE SE DERIVARON.

Linea	Genealogía	Origen
E10Ax1-11R	(COES x White Matn h SH. Kaura	CIAB (1)
3E-315	x Plainsman R.F.Y.E. 2-5-1 (Se-	"
4E-300	lección)	"
3E-458	Shallu Yellow Endosperm	"
3-252	Kafir Yellow Endosperm 5A 7526	"
	(Derivado)	
	White Nn. gnd. (Big seed) x W.X.	
	Sooner X.	
	Perkins.	

E = Endospermo amarillo
(1) = Programa de Sorgo del Centro de Investigaciones Agrícolas de "El Bajío" (CIAB).

Siembra de las Poblaciones Mutantes.

Este trabajo se llevó a cabo en la siguiente forma: la generación M_1 fue sembrada en una localidad de invierno para sorgo, en terrenos del Campo Agrícola Experimental de Santiago Ixcuintla (CAESIX) del INIA en Nayarit. La generación M_2 se sembró en los invernaderos del Campo Agrícola Experimental de "Los Altos de Jalisco" (CAEAJAL) del INIA en Tepatitlán, Jal., durante los ciclos otoño-invierno 81-82 y primavera-verano 82, respectivamente. La M_3 se cultivó en los mismos in-

vernaderos del CAEAJAL en el ciclo primavera-verano 1983.

En la localidad del CAEAJAL se hizo la inoculación y selección y se encuentra ubicada en la región denominada "Los Altos de Jalisco", situada a 20°49' de latitud Norte y 102° 45' de longitud Oeste, con una elevación de 1,800 msnm.

Equipo de Laboratorio

a) Preparación del medio de cultivo para el hongo: PDA (Papa-Dextrosa-Agar) de uso general para hongos, preparado de la siguiente forma:(*)

1. Se cortaron las papas en rebanadas, se cocieron en 500 ml de agua.
2. Se coló el líquido.
3. Se calentaron 500 ml de agua hasta hervir y se añadió agar granulado mientras se batía.
4. Se redujo la flama al agregar agar, pues produce espuma.
5. Se calentó y se agitó hasta la disolución del Agar.
6. Se añadió Dextrosa.
7. Se combinó la infusión de papas y la solución dextrosa agar y se aforó a 1,000 C.C. en el matraz.
8. Se agregó la estreptomicina.
9. Se esterilizó en autoclave por 15 minutos a 25 li-

(*) Betancourt (1980), apuntes del curso de Fitopatología. Escuela de Agricultura. Universidad de Guadalajara.

bras de presión.

Reactivos: Estreptomicina 100 mgr(*), agua destilada 1 litro.

Materiales: Papas en rebanadas 200 gr; Dextrosa 20 gr y Agar-Agar 17 gr. Se utilizaron además: Soporte universal, tela de asbesto, aro metálico, matraz erlenmeyer de 1,000 C.C. tapones de algodón, auto clave, pipeta de 10 C.C., agitador de vidrio.

b) Aislamiento del hongo de material enfermo.

Materiales: Matraz erlenmeyer de 1,000 C.C., cajas petri con PDA, mechero bunsen, auto clave, tapones de algodón, agitadores de vidrio, higrotermógrafo, estufa con temperatura regulable, asa de micromo, material vegetal enfermo, papel estéril.

Reactivos: Cloro al 5%, ácido láctico al 50% y agua destilada.

c) Identificación del patógeno.

Materiales: Cepas puras del patógeno en cajas petri, porta objetos, cubre objetos, pinzas para porta objetos, microscopio de contraste de fase con cámara adaptada para tomar microfotografías, asa de micromo, mechero.

(*) La estreptomicina fue para librar al PDA de bacterias.

Reactivos: Azul de metileno y agua destilada.

d) Esterilización de los palillos.

Materiales: Vaso de precipitados de 250 C.C., palillos de madera, soporte universal, tela de asbesto, mechero bunsen.

Reactivos: Solución diluída de hidróxido de sodio, agua destilada.

e) Inoculación

Materiales: Cepas puras de *F. moniliforme* Sh., palillos estériles, punta metálica esterilizada, higrotermógrafo.

B. Métodos

Tratamientos:

Los tratamientos utilizados para la irradiación de la M_1 fueron de 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 y 60 krads, más un testigo sin irradiar.

La distribución de los tratamientos utilizados se muestra en el siguiente Cuadro:

CUADRO 2. DISTRIBUCION DE LOS TRATAMIENTOS DE RAYOS GAMMA (Co^{60}) UTILIZADOS EN EL PRESENTE ESTUDIO.

Línea			Dosis de Radiación Gamma Aplicada a la Semilla en Krads (*)							
E10Ax1-11R	00	(Test.)	10	15	20	25	30	40	50	60
3E-315	00	"	10	15	20	25	30	40	50	60
4E-300	00	"	10	15	20	25	30	40	50	60
3E-458	00	"	10	15	20	25	30	40	50	60
3-252	00	"	10	15	20	25	30	40	50	60

(*) Al irradiar la semilla presentaba una humedad de 14%.

Obtención de la Generación M_1

Para obtener la generación M_1 se irradió la semilla en un reactor nuclear de potencia "Zero" del tipo piscina con una fuente de rayos gamma del Co^{60}. Este reactor se encuentra en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) en Salazar, Edo. de México. La M_1 se sembró en Santiago Ixcuintla, Nayarit en campos del CAESIX del INIA, en el ciclo otoño-invierno 81-82 bajo condiciones de aislamiento genético para evitar posibles contaminaciones. No se hizo selección alguna de acuerdo con la metodología planteada y de acuerdo con House (1982). No se utilizó diseño experimental.

Obtención de la Generación M_2

Para la obtención de la generación M_2, las plantas M_1 se auto fecundaron colocando una bolsa de papel poco antes de que las panojas empezaran a derramar polen. Se eliminaron aquellas plantas sobrevivientes que mostraron esterilidad o malformaciones. No fue utilizado diseño experimental alguno. Se utilizaron los invernaderos del CAEAJAL y la siembra se hizo en macetas, sembrando toda la M_1.

Obtención de la Generación M_3

La M_3 se sembró en macetas bajo condiciones de invernadero con una densidad de 10 semillas por maceta, las semillas fueron elegidas al azar de una mezcla homogénea de cada tratamiento. Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, con tres repeticiones, siendo la parcela grande la línea de sorgo y la parcela chica la dosis. El tamaño de parcela chica fue de 5 macetas.

La fertilización fue la recomendada por INIA en sorgo, 80-40-00 en aplicación fraccionada. El control de malezas, plagas y labores culturales fueron a mano.

En el invernadero se dieron las condiciones óptimas para la aparición del patógeno. Tales como riego durante varios días, seguido por un período seco prolongado y manteniendo alta la humedad ambiental, aplicando aspersiones en el invernade

ro periódicamente según es enunciado por Zummo (1978). La humedad ambiental osciló de 70 a 80%.

Evaluación

La evaluación se hizo según la escala propuesta por Frederiksen y Rosenow (1978) que se enuncia a continuación:

0.0 Ninguna evaluación posible (ausencia de síntomas).

0.1 Reacción mínima, indistinguible a la realizada por un palillo estéril.

0.2 Decoloración centrada por la médula, progresando más lejos por las partes superficiales del tallo, pero no llegando a ningún nudo.

0.5 Decoloración extensiva progresando más lejos por la parte central del tallo.

0.8 La decoloración llegando a uno o ambos nudos superficialmente o formando un cilindro.

1.0 La mayoría o todo un entrenudo colorado sin penetración de las áreas nodales.

1.1 Ligera penetración de uno o ambos nudos.

1.2 Penetración casi completa de uno o ambos nudos

1.5 Penetración de un nudo y ligera invasión de un internudo siguiente.

2.0 Más de uno, pero no más de dos internudos afectados. La infección debe haberse dispersado a través de dos o más nudos.

3.0 La infección ha pasado a través de dos o más internudos.

4.0 Invasión extensiva de la planta, pero no muerte.

5.0 Muerte de la planta debido a la pudrición del tallo.

Aislamiento del Hongo por el Método del Tejido Plantado(*)

a) Cultivo del hongo

Este método utiliza la habilidad de los micro-organismos para crecer en medios artificiales independientemente del tejido susceptible.

Procedimiento:

Se cortó un pedazo de tejido de un tallo de sorgo que se supone está infectado por *Fusarium moniliforme* Sheldon. Se vació el PDA en cajas de petri a un tercio de su volumen y se dejó solidificar. Se desinfectó el trozo de tallo enfermo sumergiéndolo en Cloro(**), al 5% durante 3 minutos y después se le quitó el exceso con papel secante.

Se esterilizó el asa de nicromo al mechero y en medio estéril, se pasó el tejido enfermo a las cajas petri con PDA.

Se sellaron las cajas con cinta, se rotularon y se pusie-

(*) Betancourt (1980), Notas del Curso de Fitopatología. E. de A.U. de G.

(**) El Cloro se utilizó para eliminar las bacterias de la muestra (Bactericida), evitando así contaminaciones.

ron a incubación durante 5 días en la estufa a 27°C.

b) Aislamiento del Hongo

A los 5 días de incubación se pasó el hongo sospechoso de causar la pudrición del tallo a otra caja petri con PDA con el objeto de obtener una cepa pura. Se siguió el procedimiento que se cita a continuación:

Con una asa estéril se pasó una fracción de micelio a una nueva caja estéril y en medio estéril para sembrarse siguiendo el método de zig-zag; se selló la caja petri y se incubó a 27°C durante 5 días. Se obtuvieron de este modo cepas puras del hongo presente en el tejido enfermo.

Identificación del Hongo

a) Tinción en fresco del hongo

El teñido es con objeto de facilitar las observaciones del hongo.

Procedimiento:

Se esterilizó el asa al mechero, se dejó enfriar y se pasó una fracción de micelio de una cepa pura del hongo en un porta objetos conteniendo una gota de azul de metileno. Todo esto en medio estéril.

Se colocó un cubreobjetos a la preparación y se observó al microscopio. Se colocó una gota de agua destilada al borde del cubreobjetos y se secó con la punta de un pedazo de papel estéril porque había un exceso de colorante.

b) Observación al microscopio e identificación

Procedimiento:

Se colocó el portaobjetos con la preparación del hongo en el microscopio de contraste de fase con cámara fotográfica adaptada. Se observaron las estructuras y se tomaron microfotografías del hongo y se hicieron mediciones de las microconidias. Se compararon las fotografías del hongo con el modelo de dimensiones conocidas. La comparación fue positiva y se comprobó que el hongo presente en el tallo enfermo de pudrición es *Fusarium moniliforme* Sheldon.

c) Esterilización de los palillos (Frederiksen and Rosenow, 1978)

Se hirvieron los palillos en una solución diluída de hidróxido de potasio con el fin de eliminar cualquier microorganismo presente; después se lavaron con agua destilada en medio estéril y fueron secados en cajas petri tapadas en la estufa.

d) Inoculación

El procedimiento de la inoculación se resume en el si-

guiente Cuadro:

CUADRO 3. CREACION DE EPIFITOTIA ARTIFICIAL

Invernadero	*Fusarium moniliforme* Sheldon
1. Inóculo	Cultivo del hongo en PDA. Se insertó un palillo con un trozo de micelio sobre el segundo nudo a partir de la línea del suelo(*).
2. Estado del cultivo para la inoculación.	De 15 a 20 días después de la floración.
3. Humedad, temperatura y tiempo de inoculación.	75% de humedad relativa, 25-28°C de temperatura. Inoculación entre 11:00 y 13:00 hs.
4. Otras facilidades para la prueba.	Se hizo la herida con una punta de metal esterilizada.
5. Tiempo esperado para la aparición de los primeros síntomas de enfermedad.	De 10-15 días (no visible).

(*) De acuerdo con Frederiksen and Rosenow, (1978).

Toma de Datos

Cuando el 50% de la población llegó a madurez fisiológica, se cosecharon todas las plantas, se abrieron longitudinalmente con una navaja bien afilada y se procedió a hacer la calificación de pudrición del tallo del sorgo según la escala citada.

IV RESULTADOS Y DISCUSION

Supervivencia en la Generación M_1

El efecto de la radiación en la supervivencia de la generación M_1 se presenta en las Figuras 1, 2 y 3.

En la Figura 1 se puede apreciar el efecto de las radiaciones en la supervivencia a los 10 días después de la siembra. Todas las líneas muestran un comportamiento similar, aumentando la supervivencia en las primeras dosis (20 y 30 krads) para disminuir progresivamente la supervivencia con el incremento de la dosis de radiación, a excepción de la línea 3E-458 que mostró los mas bajos valores de supervivencia en todas las dosis.

A los 30 días, el conteo de plantas arrojó una cantidad porcentualmente similar que a los 10 días, mostrando un comportamiento parecido conforme aumentaron las dosis, como puede apreciarse en la Figura 2.

En la cosecha se pudo observar una variación muy grande en el número de plantas sobrevivientes, pero en general se apreció una tendencia a disminuir al aumentar la cantidad de rayos gamma. En las dosis de 25 y 30 krads, sobresalieron por sus altos valores las líneas 3-252 y 4E-300 y la línea 3E-458 continuó con el menor número de individuos cosechados. (Figura 3).

En una forma general, durante todo el ciclo se observó la tendencia a disminuir la población con el incremento de la can-

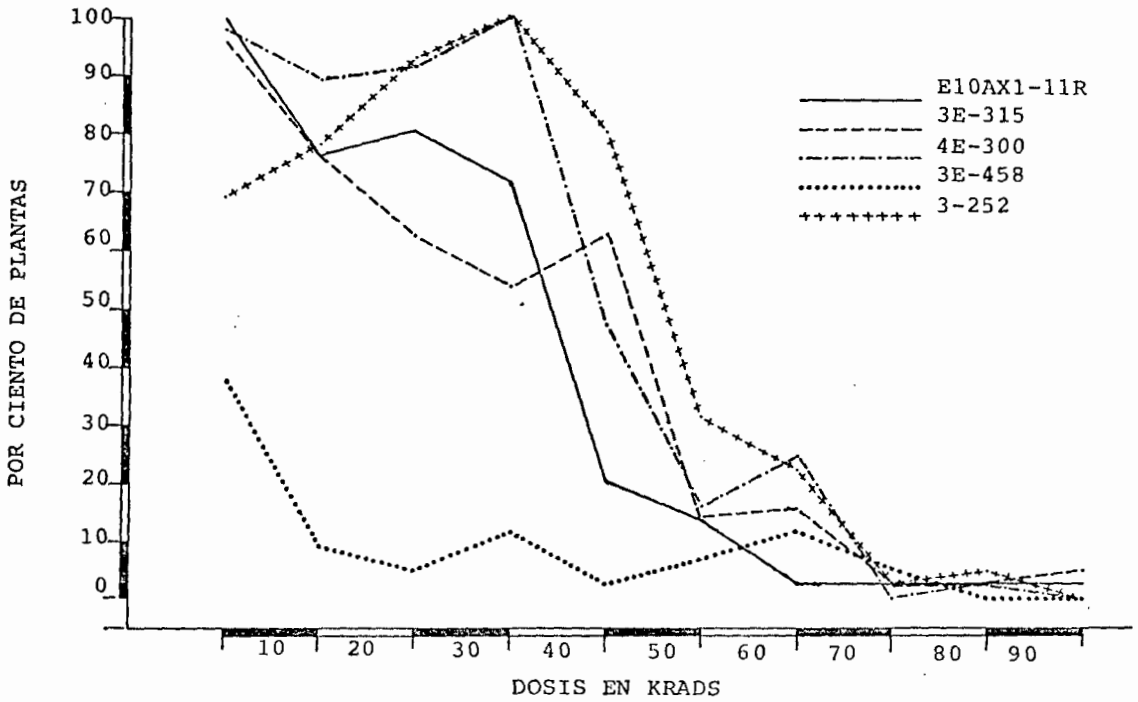


FIGURA 1. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA (Co^{60}) A LOS 10 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA, EN LA GENERACION M_1 EN SANTIAGO IXCUINTLA, NAY.

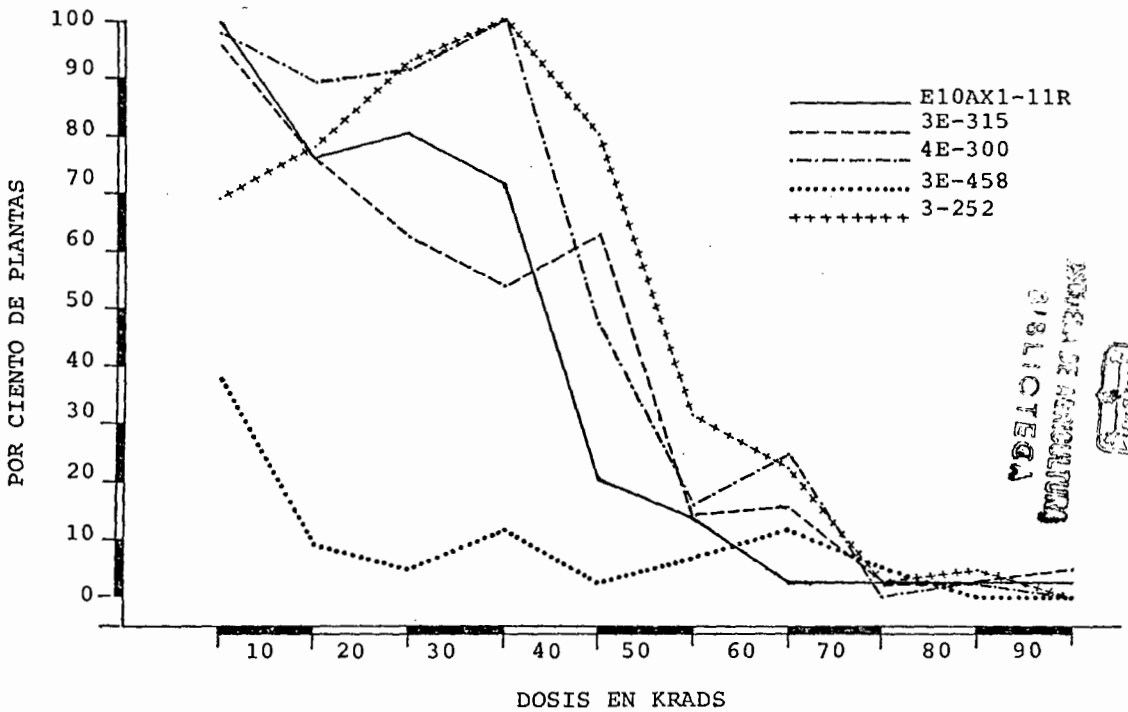


FIGURA 2. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA (Co^{60}) A LOS 30 DIAS DE LA SIEMBRA EN SANTIAGO IXCUINTLA, NAY. EN LA GENERACION M_1.

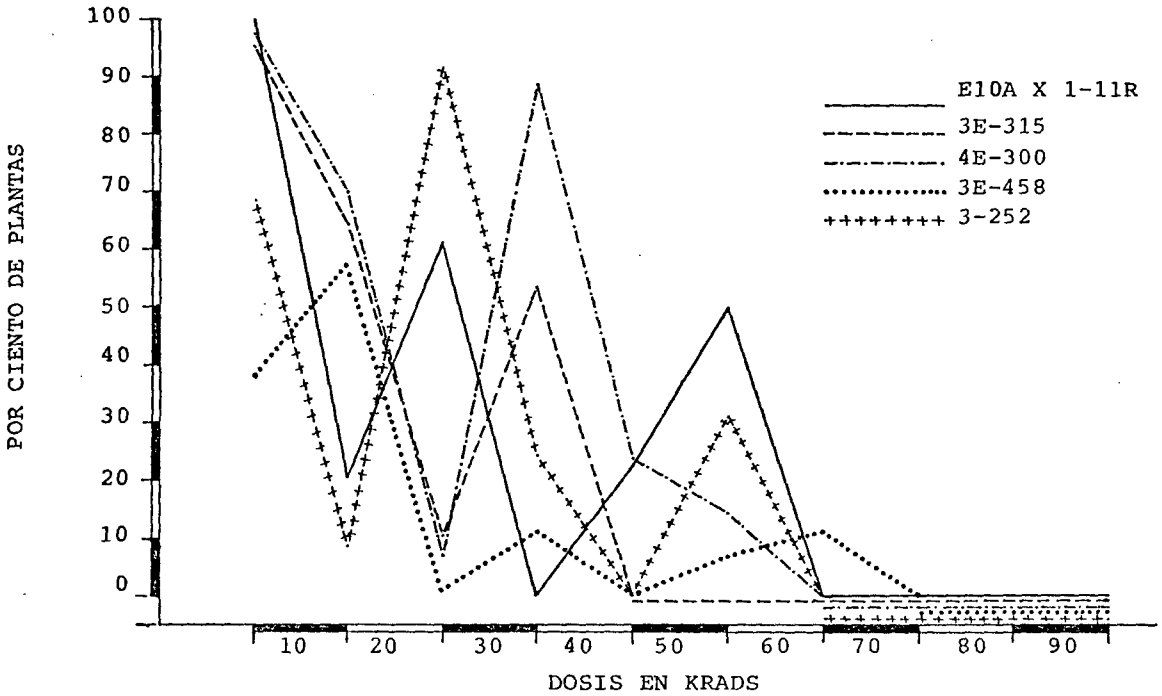


FIGURA 3. PORCENTAJE DE PLANTAS COSECHADAS(**) DE 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA (Co^{60}) EN LA GENERACION M_1 EN SANTIAGO IXCUINTLA, NAY.

(**) Plantas con semilla.

tidad de rayos gamma aplicados. Y es conveniente hacer notar que una gran cantidad de plantas murieron antes de los 10 días debido a factores tales como clorosis, enanismo, deficiencias clorofílicas o albinismo y otros factores no determinados que quizá fueron producto de las radiaciones.

Sobrevivencia en M_2

En la segunda generación la disminución de las plantas sobrevivientes fue mas drástica conforme aumentó la dosis de rayos gamma, notando que la línea 3E-458 continuó con los valores mas bajos, tal y como se aprecia en la Figura 4.

A los 30 días se pueden observar en la Figura 5, algunas tendencias poco esperadas, la línea 3-252 redujo su población en la dosis de 15 krads, aumentó en 20, 25 y 30 krads para descender brúscamente a los 40 krads, pero en la dosis de 50 krads observó los mas altos valores de sobrevivencia, conjuntamente con la línea 3E-315, que mostró un comportamiento similar. Todas las demás líneas bajaron brúscamente su población después de los 30 krads, conservando el valor más bajo siempre la línea 3E-458.

En la cosecha se observó un decremento muy fuerte en la población de todas las líneas en la dosis de 10 krads, se desconoce la causa, para después aumentar progresivamente alcanzando el máximo valor en la dosis de 35 krads y ser casi nulo después de los 30 krads. Sobresalieron las líneas E10AX1-11R y 3E-315

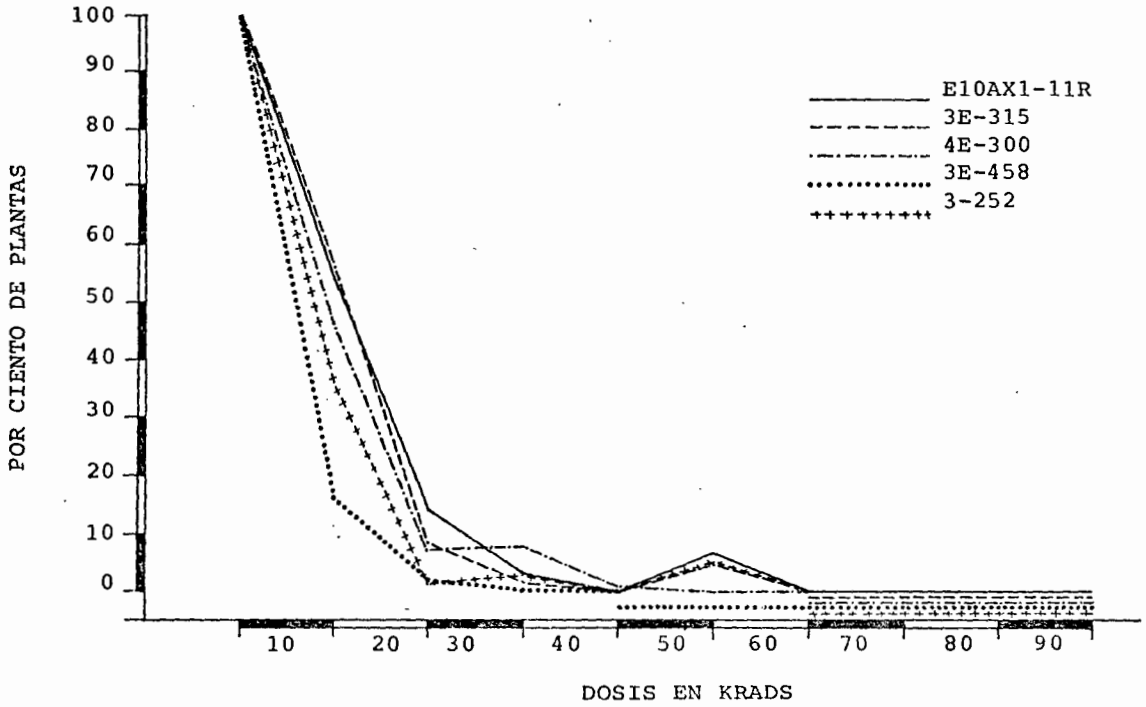
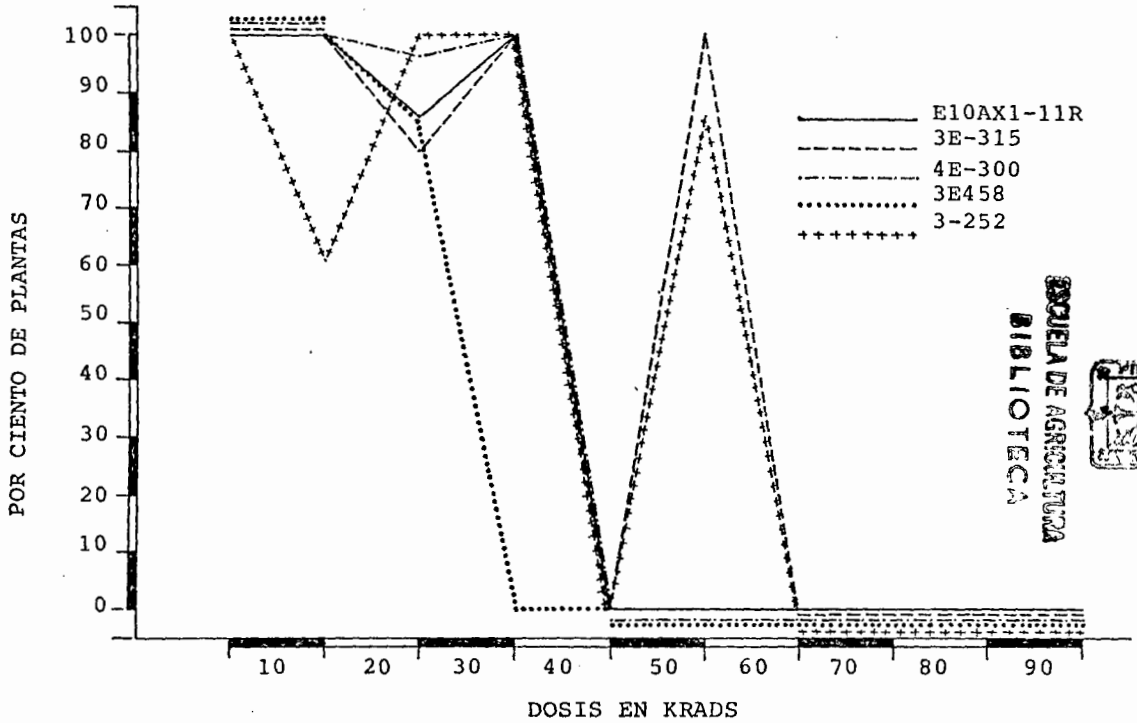


FIGURA 4. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA (Co^{60}) A LOS 10 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA EN LA GENERACION M_2 EN TEPATITLAN, JAL.



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

FIGURA 5. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA (Co^{60}) A LOS 30 DIAS DE LA SIEMBRA EN LA GENERACION M_2 EN TEPATITLAN, JAL.

con los mas altos porcentajes. El valor intermedio lo mostraron las líneas 4E-300 y 3-252, y el mas bajo lo continuó mostrando la línea 3E-458 (Figura 6).

La gran variabilidad observada durante el comportamiento de la población estudiada, parece evidenciar el efecto de las radiaciones gamma, pues además de la sobrevivencia, se observó gran variación en altura, floración entre plantas, presencia de daño por insectos sólo en unas cuantas plantas dentro de una línea, clorosis y esterilidad.

Supervivencia en la Generación M_3

Como puede apreciarse en la gráfica de la Figura 7, a los diez días de la siembra se observó una disminución en el número de plantas vivas en la dosis de 20 krads, para llegar a ser casi nula en las dosis mayores. La excepción fueron las líneas E10Ax1-11R y 4E-300, que conservaron alto porcentaje de supervivencia hasta la dosis de 30 krads para disminuir después al nivel de las demás.

A los 30 días después de la siembra, el porcentaje de supervivencia fue similar en todas las líneas, presentaron una disminución a los 20 krads para luego aumentar a los 30 krads y decrecer después. la excepción fueron las líneas 4E-300 que se conservó con valores altos hasta los 30 krads, y la línea 3E-458 que presentó los mas bajos valores desde los 20 krads en adelante (Figura 8).

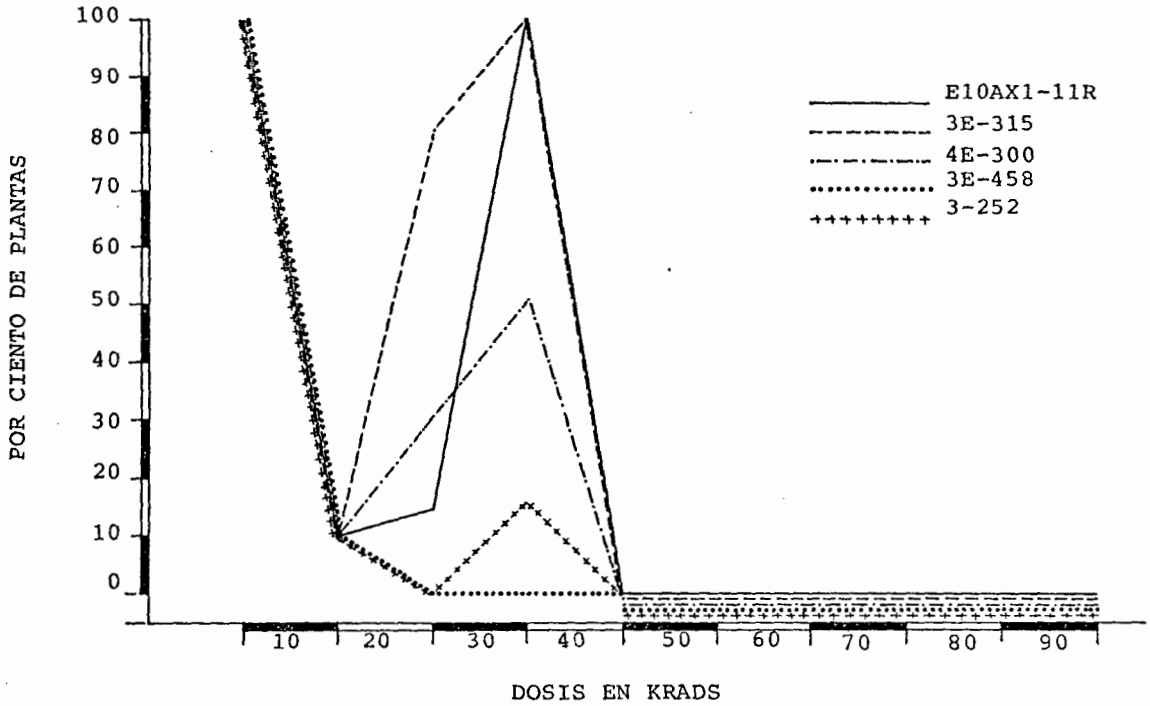


FIGURA 6. PORCENTAJE DE PLANTAS COSECHADAS (**) DE 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA (Co^{60}) EN LA GENERACION M_2 EN TEPATITLAN, JAL.

(**) Plantas con semilla.

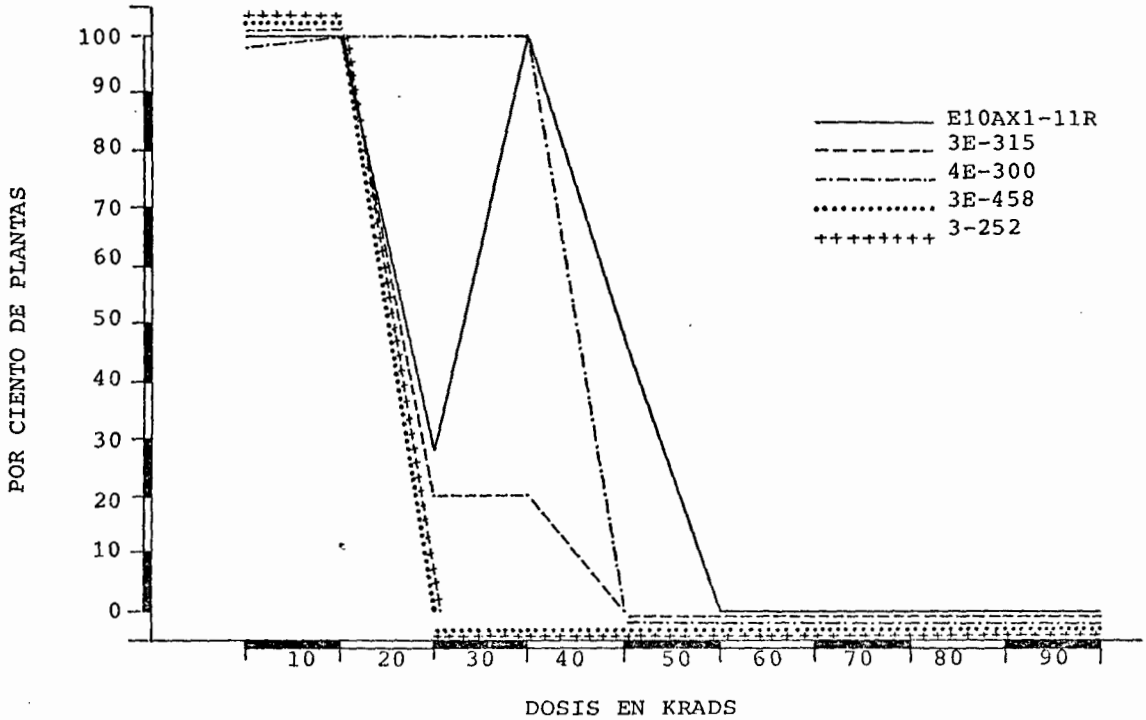
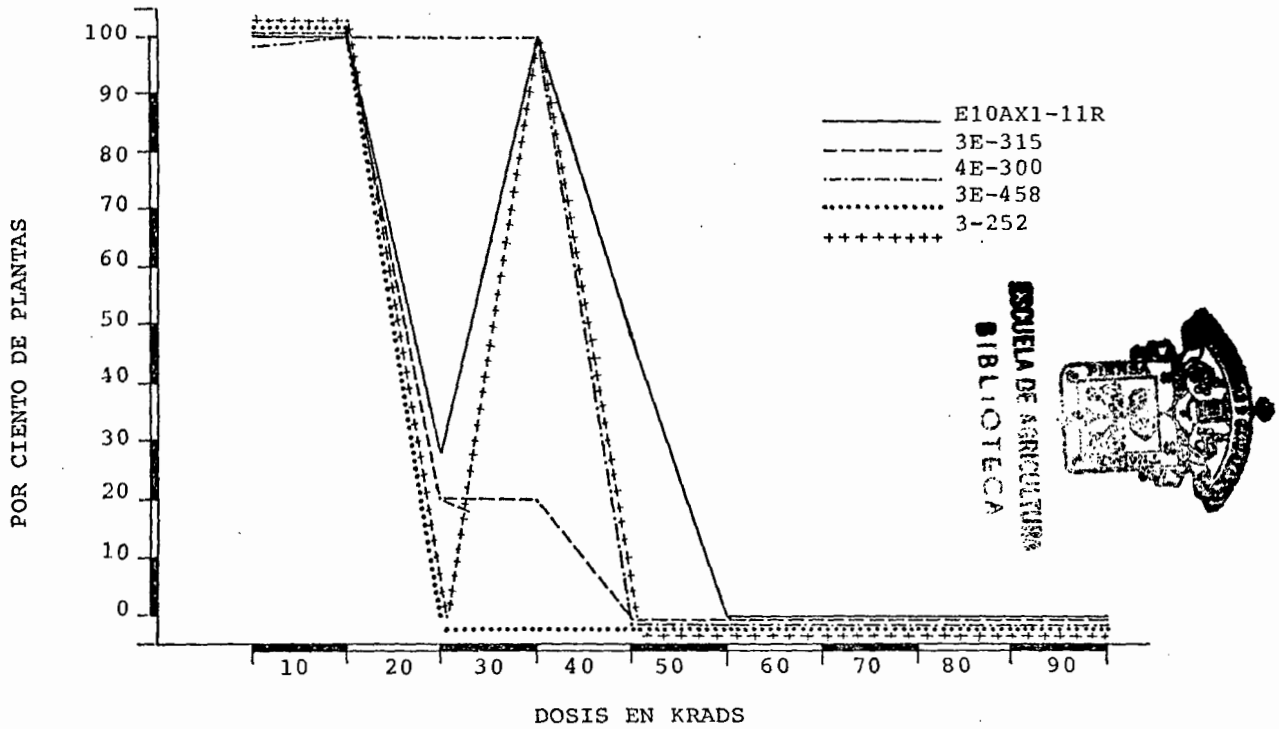


FIGURA 7. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA (Co^{60}) A LOS 10 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA EN LA GENERACION M_3 EN TEPATITLAN, JAL.



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

FIGURA 8. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA (Co^{60}) A LOS 30 DIAS DE LA SIEMBRA EN LA GENERACION M_3 EN TEPATITLAN, JAL.

En la cosecha los porcentajes de supervivencia bajaron drásticamente en todas las líneas, siendo mayor en las líneas E10Ax1-11R y 4E-300 y menor en la línea 3E-458. Las líneas 3-252 y 3E-315 siempre mantuvieron valores promedio, como se puede apreciar en la Figura 9. Se nota el efecto de la inoculación artificial en todas las líneas.

Como se puede observar, las líneas E10Ax1-11R y 4E-300 siempre mostraron los mas altos valores de supervivencia, lo cual evidencía un alto grado de radio resistencia, mientras que la línea 3E-458 siempre mostró bajos niveles de población, indicando ser más dañada por las radiaciones; mientras que las líneas 3-252 y 3E-315 siempre conservaron niveles promedios, que sugiere una estabilidad en cuanto al daño por radiaciones.

Esterilidad

En la generación M_1 se puede apreciar (Figura 10) una tendencia al incremento de la esterilidad en todas las líneas conforme aumentó la dosis.

En la segunda generación (M_2) todas las líneas mostraron un incremento en la esterilidad en la dosis de 10 krads, para luego disminuir hasta cerca de cero en la dosis de 30 krads y luego incrementarse según aumentaba la dosis. Los menores porcentajes de plantas estériles los mostraron las líneas 3E-315 y E10Ax1-11R y los mas altos las líneas 3-252 y 3E-458 como se nota en la Figura 11.

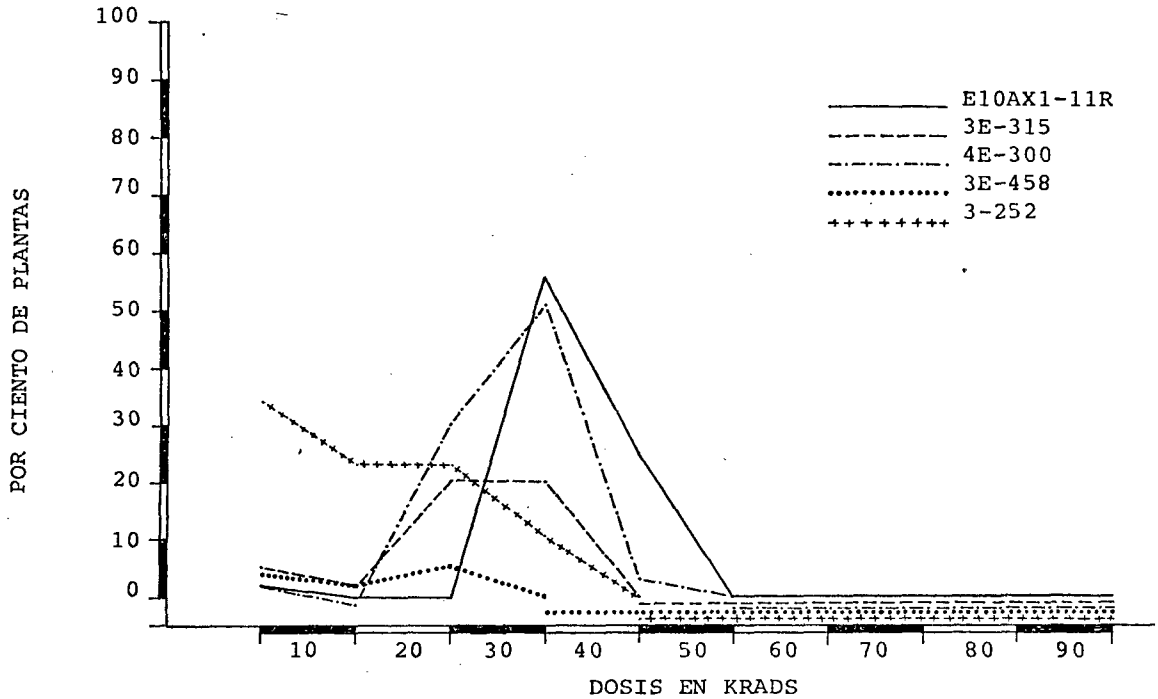


FIGURA 9. PORCENTAJE DE PLANTAS COSECHADAS (**) DE 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA (Co^{60}) EN LA GENERACION M_3 EN TEPATITLAN, JAL.

(*) Inoculada a 15-20 días de la floración
(**) Plantas con semilla

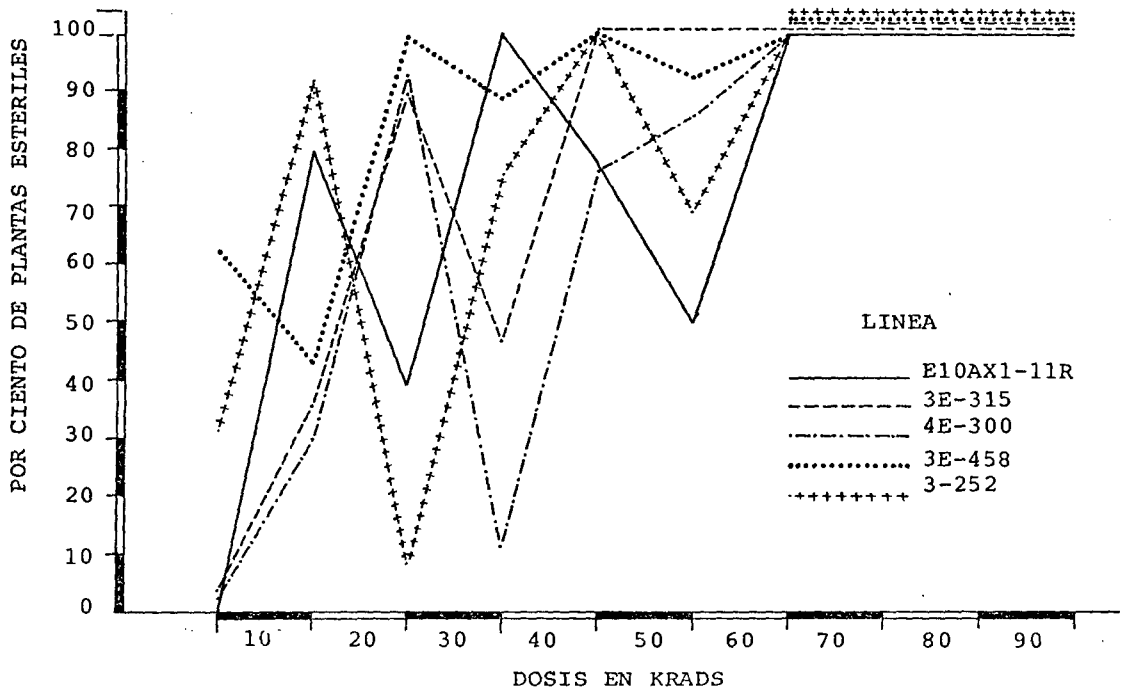


FIGURA 10. PORCENTAJE DE PLANTAS ESTERILES EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON COBALTO 60 EN LA GENERACION M_1.

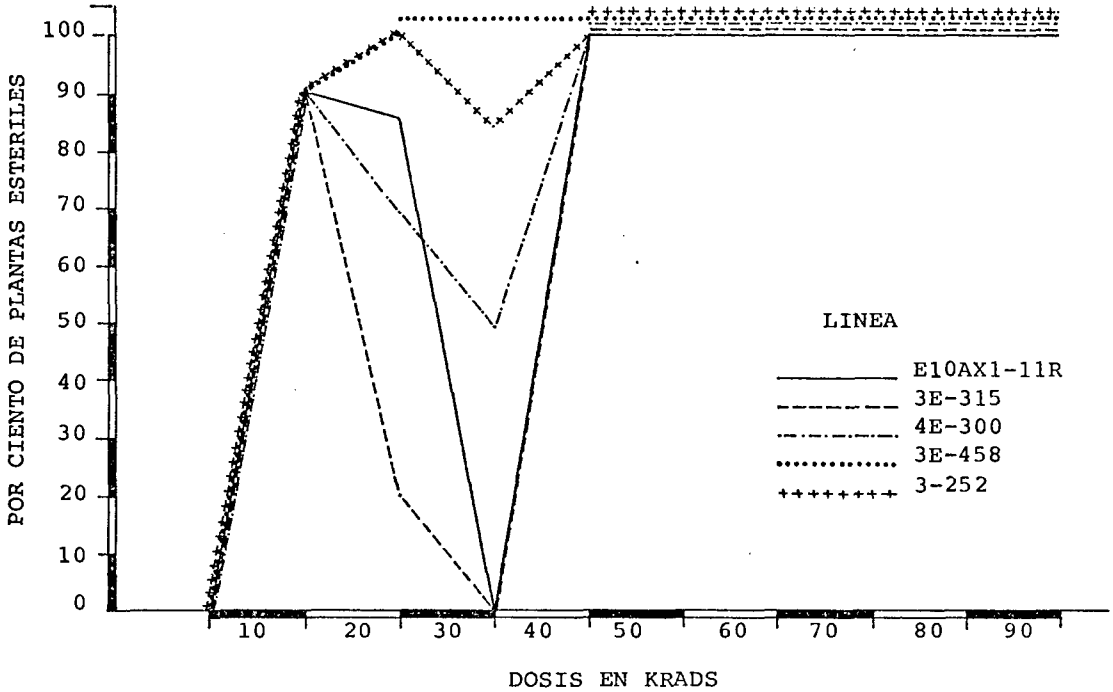


FIGURA 11. PORCENTAJE DE PLANTAS ESTERILES EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON COBALTO 60 EN LA GENERACION M_2.

En la M_3 hubo un incremento notable en esterilidad para todas las líneas, sobresaliendo por su mas alto valor la línea 3E-458 y por su mas bajo las líneas E10Ax1-11R y 4E-300. (Figura 12).

La línea mas dañada por las radiaciones fue en las tres generaciones la 3E-458 y las que mostraron menos daño fueron las líneas E10Ax1-11R y 4E-300, y en cuanto a las líneas 3E-315 y 3-252 mostraron una tendencia a mantener un equilibrio durante los tres años de prueba. En la M_3 el decremento tan drástico en la población muestra el efecto de la inoculación artificial.

La intensidad de la infección, medida según la escala de Frederiksen y Rosenow (1978) presentó una tendencia a disminuir conforme aumentó la dosis, como se aprecia en la Figura 15. Correspondiendo los valores mínimos en las dosis de 15 y 20 krads. Las líneas 3E-458 y 3-252 presentaron los mas bajos valores de infección en las dosis de 15 y 20 krads, mientras que las líneas 3E-315 y 4E-300 sólo mostraron el mas bajo nivel de infección en la dosis de 20 krads. La línea E10Ax1-11R tuvo los mas altos valores de infección en todas las dosis.

La Gráfica muestra como las líneas 3E-458 que a lo largo de 3 generaciones se comportó como la mas radio sensible y la línea 3-252 que siempre mostró tendencia al equilibrio, dieron una mejor respuesta a la inducción de resistencia a la infección por el patógeno, mientras que la línea mas radio resisten-

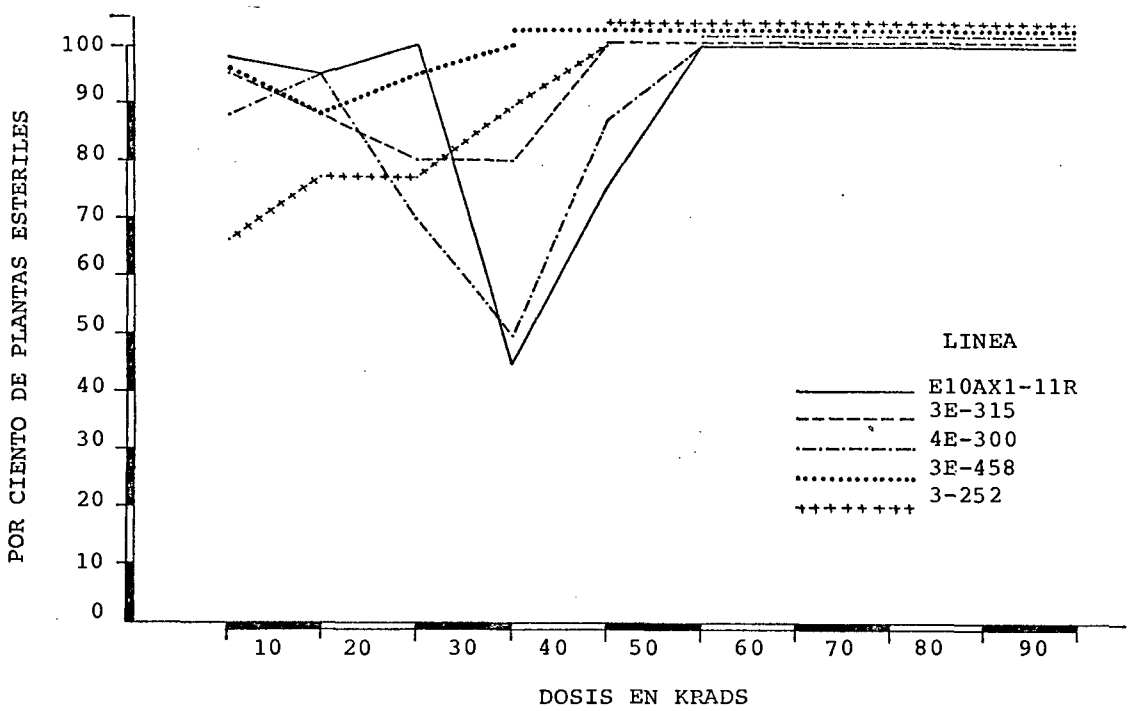


FIGURA 12. PORCENTAJE DE PLANTAS ESTERILES EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON COBALTO 60 EN LA GENERACION M_3.

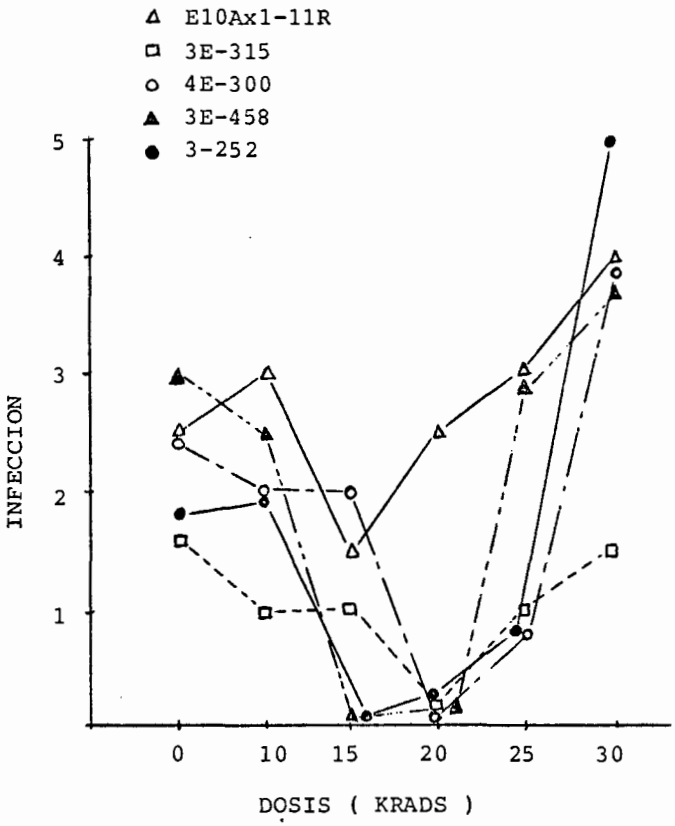


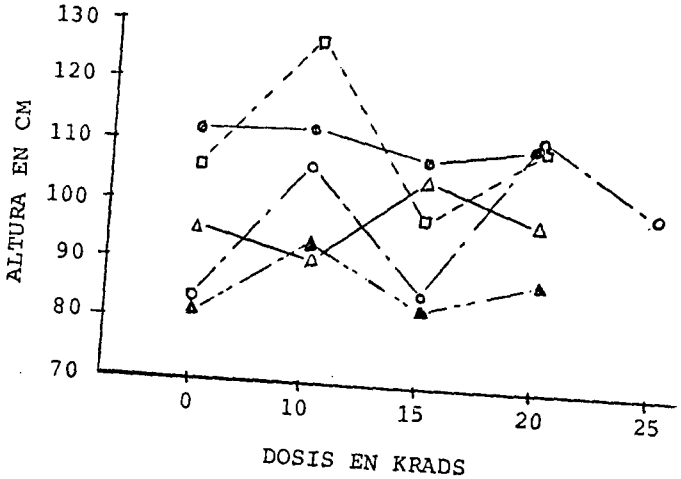
FIGURA 13. INTENSIDAD DE LA INFECCION POR *Fusarium moniliforme* SH. EN 5 LINEAS DE SORGO, IRRADIADAS CON Co^{60} (EN LA GENERACION M_3.)

te, la E10Ax1-11R fue severamente dañada conforme aumentó la dosis, aunque mostró una tendencia a resistirse a la infección y colonización del hongo en la dosis de 15 krads.

La altura de planta mostró gran variabilidad entre las dosis y entre las líneas. Como se puede apreciar en la Figura 13, los coeficientes de variación se elevaron en la dosis de 10 krads para disminuir después al aumentar la dosis. Los mas altos valores corresponden a las líneas 3-252, 3E-458 y 3E-315. Los mas bajos coeficientes de variación los mostraron las líneas 4E-300 y E10Ax1-11R.

Lo anterior nos afirma lo dicho anteriormente, que las líneas 4E-300 y E10Ax1-11R son mas radio resistentes que las líneas 3-252, 3E-458 y 3E-315, pues la variación fenotípica fue mínima. Esto apoya la afirmación de que las radiaciones inducen variabilidad para factores fenotípicos y en esta Figura 13, se puede observar que fue la dosis de 10 krads donde la variación fue mayor, en lo que respecta a altura para las líneas mas radio sensibles.

En cuanto a floración (Figura 14) la variación no fue muy grande, la máxima variación la mostró la línea 3E-458, que disminuyó su promedio de floración en 10 días respecto al testigo. Los coeficientes de variación fluctuaron de 1 a 7.5 para todas las líneas, siendo los mayores para las líneas 3E-458 y E10Ax1-11R en la dosis de 10 krads y los menores para la línea 4E-300 en la dosis de 15 krads. La línea 3E-315 mostró una disminu-



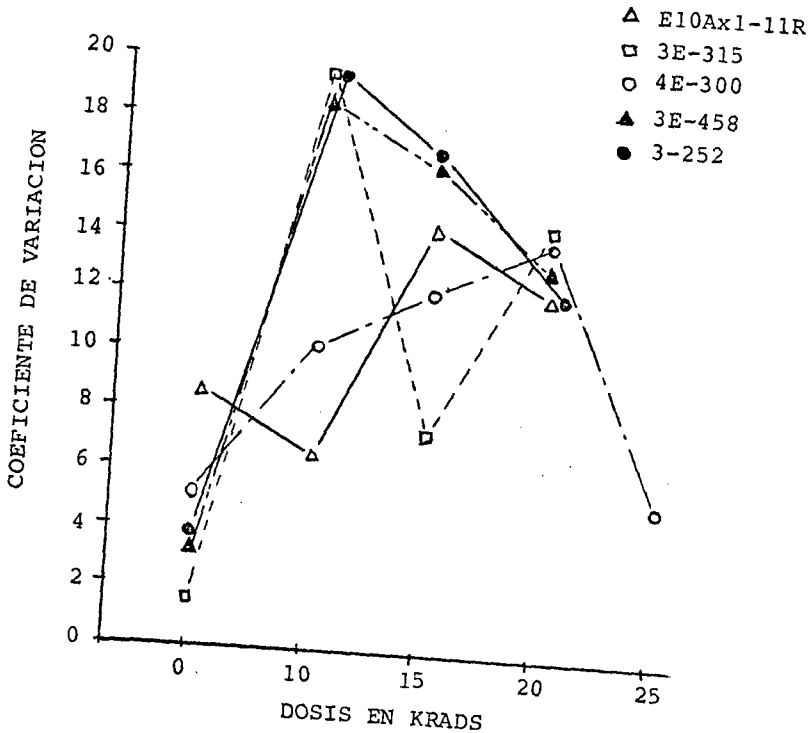
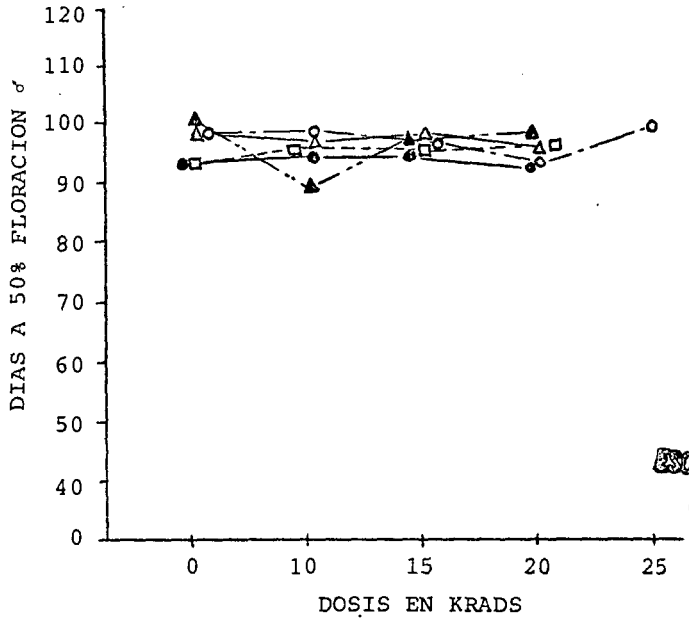


FIGURA 14. ALTURA DE PLANTA EN CENTIMETROS Y SU C.V. EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON Co^{60}(EN LA GENERACION M_2.)



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

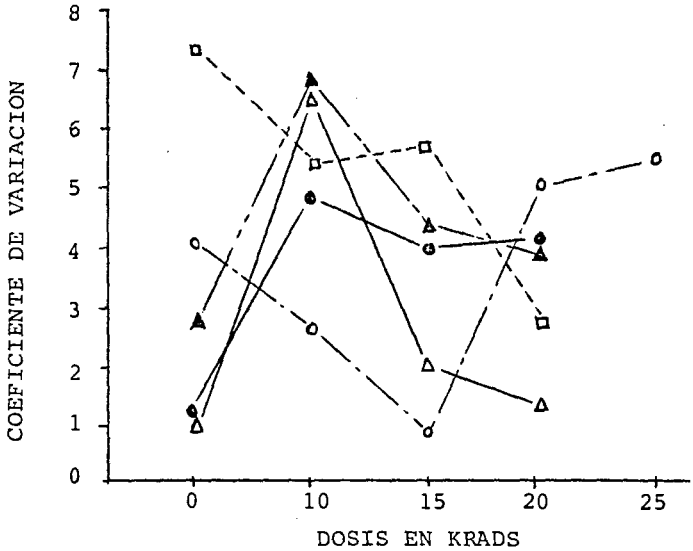


FIGURA 15. DIAS A FLORACION Y SU C.V. EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS CON Co^{60} (EN M_2.)

ción progresiva del C.V. para floración conforme aumentó la dosis. Aunque es conveniente hacer notar que las variaciones en la floración entre plantas dentro de una misma línea y dosis fueron tan altas como 10 a 20 días respecto al testigo.

La identificación del hongo se realizó con microfotografías del medio aislado del tejido enfermo (Figuras 16 a 21 del Apéndice).

El análisis de varianza de los resultados reveló diferencias altamente significativas entre líneas, entre dósis y en la interacción de ellas. Tal como se muestra en el siguiente Cuadro:

CUADRO 4. ANALISIS DE VARIANZA PARA EL GRADO DE INFECCION POR *F. moniliforme* DE 5 LINEAS DE SORGO EN LA GENERACION M_3.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	F(05)	F(01)
Bloques	2	7.94				
Líneas (A)	4	20.41	5.10	7.08**	3.84	7.01
Error A	8	5.74	0.72			
Parcelas grandes	14	34.09				
Dosis (B)	4	27.73	6.93	10.04**	2.61	3.83
Interacción AxB	16	38.90	2.43	3.52**	1.90	2.49
Error B	40	27.79	0.69			
Total	74	128.51	1.74			

** Altamente significativo C.V. = 42.60

Debido a lo anterior, se procedió a efectuar pruebas de comparación de medias para detectar diferencias entre líneas y entre dosis. Los resultados de las pruebas de Duncan y Tukey se muestran a continuación:

CUADRO 5. PRUEBAS DE COMPARACION DE MEDIAS DE DUNCAN Y TUKEY, PARA DETECTAR DIFERENCIAS ENTRE LINEAS Y DOSIS EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS.

Línea	Duncan (.01)	Tukey (0.01)	Dosis (krads)	Duncan (.01)	Tukey (0.01)
3-252	a	a	00	a	a
E10Ax1-11R	a	a	25	a b	a b
3E-458	a b	a	10	a b	a b
4E-300	a b	a b	20	b c	a b
3E-35	b	b	15	c	b

Pero las citadas pruebas no detectaron claramente cual de las dosis produjo el efecto mas significativo, ni cual de las líneas mostró mas resistencia a la infección; por lo cual se procedió a hacer comparaciones ortogonales para las líneas y para las dósis. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

CUADRO 6. COMPARACIONES ORTOGONALES PARA 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADO Y PARA DIVERSAS DOSIS DE RADIACION GAMMA (KRADS).

Comparación de Líneas		Diferencias	Comparación de dosis (krads)		Diferencias
E10Ax1-11R	VS Testigo	NS	10	VS Testigo	NS
3E-315	VS Testigo	**	15	VS Testigo	**
4E-300	VS Testigo	*	20	VS Testigo	*
3E-458	VS Testigo	NS	25	VS Testigo	NS
3-252	VS Testigo	*	Todas	VS Testigo	NS

Después se procedió a determinar cual de las dosis tuvo un efecto mas significativo dentro de cada una de las líneas, utilizando la prueba de comparación de medias, pero como la prueba de Duncan no permitió apreciar bien las diferencias, se prosiguió con la de Tukey, y los resultados se muestran a continuación:

CUADRO 7. PRUEBA DE COMPARACION DE MEDIAS DE TUKEY AL 0.01 (99%) PARA DETERMINAR EL EFECTO DE VARIAS DOSIS DE RAYOS GAMMA (KRADS) EN 5 LINEAS DE SORGO.

E10Ax1-11R		3E-315		4E-300		3E-458		3-252	
Dosis	Tukey	Dosis	Tukey	Dosis	Tukey	Dosis	Tukey	Dosis	Tukey
0	a	0	a	0	a	25	a	15	a
20	a	10	a	15	b	0	a b	20	b
25	a	15	a	10	b c	10	b c	10	b c
10	a b	25	a	25	c	20	c	0	c d
15	b	20	a	20	c	15	c	25	d

Los valores altamente significativos obtenidos en el análisis de varianza, demuestran gran heterogeneidad del material probado en lo que respecta a su respuesta a la radiación; además del efecto notorio de la radiación gamma en cada una de las líneas de sorgo, lo cual era de esperarse. El coeficiente de variación de 42.6 es considerado alto, lo cual indica la gran variabilidad de las unidades experimentales y previene cierta cautela al utilizar los datos como promedio de todas las plantas.

La línea que tuvo el efecto mas favorable en cuanto a su respuesta a la infección, no pudo detecarse con la prueba de Duncan ni la de Tukey; por lo que se realizaron comparaciones ortogonales y lo mismo pasó con las dosis.

Las comparaciones individuales de las líneas respecto al testigo, nos muestran un efecto altamente significativo en la línea 3E-315, lo que nos demuestra su gran radio sensibilidad. Las líneas 4E-300 y 3-252 tuvieron un efecto significativo, mostrando algún grado de radio resistencia. Y por último, las líneas E10Ax1-11R y 3E-458 mostraron un efecto no significativo evidenciando alta resistencia a las radiaciones.

Respecto a las dósis, el análisis mostró un efecto altamente significativo para la dósis de 15 krads, lo que indica que esta dósis indujo el mayor grado de variabilidad de las líneas de sorgo para el factor estudiado, seguida de la dosis de 20 krads con un efecto significativo, que indica que indujo un me-

nor grado de variabilidad, pero estadísticamente fue detectado. Las demás dósis (10 y 25 krads) tuvieron un efecto no significativo, indicando que no produjeron variación detectada estadísticamente en las líneas de sorgo con respecto a su respuesta a la infección por el patógeno en estudio.

Al buscar cual dósis causó mayor efecto dentro de cada línea, se observó una gran variabilidad de los datos:

Línea de sorgo	Dósis que indujo mas variación (krads)*
E10Ax1-11R	10, 20 y 25
3E-315	10,15, 20 y 25
4E-300	10 y 15
3E-458	25
3-252	15

* Estadísticamente iguales.

Lo que nos demuestra que cada línea tiene diferente comportamiento frente a las radiaciones. O sea que, para cada línea hubo una (s) dósis dada (s) que causó la mayor variación, en cuanto a su respuesta a la infección se refiere.

Los valores mas bajos de infección corresponden a las líneas 3E-458 y 3-252 (ver Figura 15) en la dosis de 15 krads y a las líneas 4E-300 y 3E-315 en la dosis de 20 krads.

Las líneas 3E-458 y 3-252 mostraron ser mas dañadas por

las radiaciones durante las 3 generaciones, con mayor esterilidad en la M_2 para estabilizarse en M_3. En las líneas 4E-300 y 3E-315 el daño aumentó con la dósis, pero también tuvieron cierta resistencia a la infección del patógeno en la dosis de 20 krads que se supone fue inducida por las mismas. Por último, la línea E10Ax1-11R demostró siempre alta resistencia a la radiación, pero fue más atacada por el patógeno en todas las dósis.

De las líneas en estudio fueron seleccionadas plantas que mostraron menor colonización del patógeno, tallo vigoroso, buen aspecto, y otras características agronómicas favorables, que se enuncian en el Cuadro 8. Todo lo cual se asume fue inducido por las radiaciones y que será probado en pruebas subsiguientes con estudios mas detallados.

CUADRO 8. PLANTAS SELECCIONADAS POR SU GRADO DE TOLERANCIA AL ATAQUE DE *F. moniliforme* EN 5 LINEAS DE SORGO IRRADIADAS. (GENERACION M_3).

Dosis Krads	Línea	Plantas seleccionadas*	Calificación de *F. moniliforme*	Calificación del testigo
20	3E-315	1	0.2	1.16
20	4E-300	1	0.1	2.5
		2	0.1	2.5
		3	0.5	2.5
		4	0.8	2.5
25	4E-300	1	0.8	1.84
15	3E-458	1	0.1	2.92
20	3E-458	1	0.0	2.92
		2	0.2	2.92
		3	0.5	2.92
15	3-252	1	0.0	1.84
		2	0.1	1.84
		3	0.1	1.84
		4	0.1	1.84
		5	0.2	1.84
		6	0.2	1.84
		7	0.5	1.84
		8	0.5	1.84
		9	0.5	1.84
20	3-252	1	0.2	3.9

* Probables mutantes.
Plantas Seleccionadas: 20

Plantas probadas: 1,250
% de probable mutación: 1.6
O sea, 12.8 por cada 10,000

V CONCLUSIONES

Todo lo anteriormente expuesto nos conduce a las siguientes conclusiones:

1. La mayor variabilidad respecto al factor estudiado se presentó en las líneas donde hubo la mayor variabilidad fenotípica observada.

2. La dosis de 15 krads mostró el mayor número de individuos considerados como probables mutantes con varios niveles de tolerancia a la infección y colonización de *Fusarium moniliforme* Sh.

3. Utilizando agentes mutagénicos es posible inducir cambios genéticos que se pueden canalizar en la dirección deseada utilizando técnicas apropiadas.

4. En la M_2 se presentó la mayor variación fenotípica.

5. Cada línea mostró diferente grado de radiosensibilidad y de respuesta a la infección por el patógeno.

6. La línea 3E-315 presentó la mayor variabilidad.

7. La técnica de inoculación utilizada es bastante confiable.

ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

LITERATURA CITADA

Ahmed, L.S., Gad El-Kar, M. y Balbi, M.S. 1974. Selection of some mutants for rice-improvement in Egypt. Research coordinated meeting FAO/IAEA. Novi-Sad. 4-8 June 1973. Vienna, Austria, pp. 149.

Ahnström, G. y Edvardsson, K.A. 1974. Radiation-induced Single-Strand breaks in DNA determined by rate of alkaline strand separation and hydroxilapatite chromotography: an alternative to velocity sedimentation, Int. J. Radiat. Biol. 26. P. 493. In manual on mutation breeding, IAEA, Vienna, 1977.

Allard, W. 1980. Introducción a la mejora genética de las plantas. Ed. Omega 4a. Edición. Barcelona, España. pp. 453-478.

Anónimo, 1977. Induced mutations in breeding for disease resistance. Proceedings of an advisory group. FAO/IAEA. Viena, Austria.

Babcock E.B. y Clausen R.E. 1927. Genetics in relation to Agriculture. Mc Graw-Hill Book Company Inc. Second Edition. New York, U.S.A.

Baldwin, E.R. 1976. Genética Elemental. Ed. Limusa 1a. Edición, México. pp. 185-215.

Bari, G. 1974. Induction of somatic mutations for disease resistance in sugar cane. Research coordinated meeting

FAO/IAEA. Novi-Sad 4-8 June 1973, Vienna, Austria. pp. 149.

Barnett, H.L. y Hunter, B.B. 1972. Ilustrated genera of imperfect fungi. 3a. Edition. Burgess Publishing Company. Minesota, U.S.A. pp. 241.

Betancourt, V.A. 1978. Sorghum diseases in México. International Workshop on sorghum diseases. Hyderabad, India; december 1978. pp 22-28.

Bhatia, C.R. 1976. The use of allien gene transfers. In proceedings of an advisory group. FAO/IAEA. 13-17 oct. Viena, Austria pp. 141-147.

Borojevic, K. 1974. Screening induced mutations for resistance to leaf rust in wheat. Research coordinated meeting FAO/IAEZ; Novi-Sad; 4-8 Jun 1973; Vienna, Austria, pp 133-146.

Brauer, O. 1978. Fitogenética aplicada. Ed. Limusa; 3a. reimpresión, México.

Caldecott, R.S., 1961. Seedling height, oxygen availability, storage and temperature; their relation to radiation-induced genetic and seedling injury in barley, efects of ionizing radiations on seeds (Proc. conf. Karlsruhe, 1960), IAEA, Vienna, pp. 3-24.

Ciccarone, A. y Scarcia-Mugnozza, G.T. 1974. Induced mutations for resistance to *Erysiphe polygoni* and *Ascochita spp.* in pea. Research coordinated meeting. FAO/IAEA; Novi-Sad; 4-8 Jun 1973. Vienna, Austria, pp. 101.

Claflin, L.E. 1981. Fusarium Stalk and root-rot. In proceedings of the short course on sorghum diseases for Latin America; INIA-ICRISAT-CIMMYT-INTSORMIL, Batán, Texcoco. México.

Conger, B.J. Nilan, R.A. y Konzak, C.F. 1968 b. Radiobiological damage: a New class identified in barley seeds by post-irradiation storage, science 162, pp. 1142-43.

Conger, B.V., Constantin M.J. y Carabia, J.V., 1972. Seed radiosensitivity; Wide range in oxygen-enhancement ratio after gamma-irradiation of eight species, int. J. Radiat. Biol. 22. 225-35.

Dale, W.M. 1966. Direct and Indirect efects of ionizing radiation, Enciclopedia of medical Radiology, II, part 1, springer-verlag, Berlín, pp. 1-34.

Darwin, C. 1859. El origen de las especies por medio de la selección natural. Ed. Diana 8a. Edición. México. 1964.

Dean, C.J., Feldschreiber, P. y Lett, J.T. 1966. Repair of X-

ray damage to the deoxyribonucleic acid in *Micrococcus radiodurans*, Nature (London) 209, pp. 49-52.

De la Loma, J.L. 1982. Genética General y Aplicada. Ed. UTEHA, México. 1982. pp. 251-97.

Driscoll, C.J. y Barlow, K.K. 1976. Male sterility in plants, Induction, isolation and utilization. In proceedings of an advisory group. FAO/IAEA. 13-17 oct. Vienna, Austria. pp 123-131.

Ehrenberg, L. 1960. Chemical mutagenesis: biochemical and chemical point of view on mechanisms of action, Abh. Dt. Akad. Wiss. Berl. (Med)., chemische mutagenese. Erwin-Baur-Gedachtn isrorlesungen I, 1959, pp. 124-36 In manual on mutation Breeding. IAEA, Viena, 1977.

Fadl, F.A.M. 1983. Induced Mutations in Beans and Peas for resistance to rust. In research coordination meeting on the induced mutations for desease resistance in crop plants, 2nd. Denmark, 1981 Proceedings, Vienna FAO/IAFA. pp 163-170.

Favret, E.A. 1965. Induced mutations in breeding for disease resistance. The use of Induced Mutations in plant Breeding (Rep. FAO/IAEA Tech. Meeting Rome, 1964), Pergamon Press. Oxford, pp. 521-36.

Favret, E.A. *et al.*, 1977. Discrimination Between specific and non-specific reactions in the host pathogen relationship. In Breeding for disease resistance using induced mutations. IAEA. Viena.

Frederiksen and Rosenow, 1978. Breeding in Sorghum for disease resistance. Texas E. & M. University. College Station. Texas U.S.A.

Fuchs, W.H., Heitefuss, R. y Robbelen, G. 1974. Investigation on the horizontal resistence of barley and wheat against mildew (*Erysiphe graminis*) and Yellow rust (*Puccinia striiformis*). Research coordinated meeting. FAO/IAEA. Novi-Sad; 4-8 June 1973 Vienna, Austria, pp 79-84.

Gardner, C.O. 1969. Genetic variation in irradiated and control populations of corn after ten cycles of mass selection in plants. In Proc. symp. pullman, 1969. IAEA, Vienna 1977.

Gaul, H. 1959 a. Determination of the suitable radiation dose in mutation dose in mutation experiments, proc. 2nd. congr. European Asociation for Research on plant Breeding, Cologne, 1959, pp. 65-69.

Gaul, H. 1963. Mutationen in der pflanzenzüchtung, Z. Pflanlenzuecht. 50, Trad. Ingl. IAEA. Viena, Austria. pp. 194-307.

Gómez-Arroyo, S., Baiza, M.A. y Villalobos-Pietrini, R. 1982. Efectos producidos por el malathion en los cromosomas de las células meristemáticas de la raíz de *Vicia faba*. In Memorias SOMEFI. Congreso, Uruapan, México.

Gottschalk, W. 1976. Genetically conditioned male sterility. In proceedings of an advisory group. FAO/IAEA. 13-17 oct. Viena, Austria. pp 133-139.

Hanis, M. 1974. Induced mutations for disease resistance in wheat and barley. Rescarch co-ordination meeting; Novi-Sad 4-8 Jun. 1973. FAO/IAEA; Vienna, Austria pp. 49-56.

Haq, M.S., Tin, M.M. y Myint, T. 1974. The prospect of breeding Red-rot resistant sugar cane varieties trought induced mutations in Burma. Research coordinated meeting. FAO/IAEA. Novi-Sad 4-8 June 1973, Vienna, Austria pp. 149.

House, Leland, R. 1982. El sorgo. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, México.

Howard-Flanders, P. y Boyce, R.P. 1966. DNA repair and genetic recombination studies on mutants of *Escherichia colli* defective in these processes, Radiat. Res. Suppl. 6 pp. 156-84.

Isasi, E. M. y Abreu, F.S. 1983. Influencia del Tratamiento

mutagénico en un híbrido intervarietal de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) Cuba. Instituto de Investigaciones en Agricultura Tropical. Reporte de Investigación No. 12, 11p. Espe. Res. Esp.

Ismachin, M. y Mikaelsen, K. 1976. Early maturing mutants for rice Breeding and their use in cross-breeding programs. In proceedings of an advisory group. FAO/IAEA. 13-17 oct. Viena, Austria. pp. 119-122.

Jacobs, M. 1964. Test de L'activité mutagenique de la 5-Bromodeoxyuridine et de la 5-iodo-deoxyuridine chez une plante superieure *Arabidopsis thaliana* L., cultiveé in vitro, Lejeunia 25, pp. 1-7. Trad. Al Ingl. IAEA/Vienna, 1977.

Jagathesen, D. Balasundaram; N. y Alexander, K.C. 1974. Induced Mutations for disease resistance in sugar cane. Research coordinated meeting. FAO/IAEA, Novi-Sad; 4-8 June 1973. Vienna Austria. pp. 151-153.

Jorgensen, J.H. 1974. Induced mutations for Powdery mildew resistance in barley. Research coordinated meeting: Novi-Sad. 4-8 June FAO/IAEA 1973. Vienna, Austria; pp. 67.

Jugenheimer, R.W. 1981. Maíz, Variedades mejoradas, métodos de cultivos y producción de semillas. Ed. Limusa, primera Edición. México.

Kawai, T. 1974. Induction of blast-resistence mutations in rice. Research coordinated meeting. FAO/IAEA, Novi-Sad; 4-8 June 1973. Vienna, Austria. pp. 153.

Kiraly, Z. y Barabas, Z. 1974. Report on mutation breeding for mildew and rust resistance of wheat in Hungary. Research coordinated meeting FAO/IAEA. Novi-Sad 4-8 June 1973; Vienna, Austria pp. 85-88.

Knott, D.R. y Hughes, G.R. 1974. Studies on stemm and leaf rust resistance in wheat. Research coordination meeting; Novi-Sad, 4-8 Jun 1973, FAO/IAEA; Vienna, Austria, pp 35-44.

Kommedahl, T., Windels, C.E. y Stucker. 1979. Ocurrence of Fusarium Species in Roots and Stalks of Syntomless corn plants during the Growing Season. Phytopathology, Vol. 69 No. 9, 1979 pages 961-965.

Konzak, C.F. 1976. A review of semidwarfing gene sources and a description of some new mutants useful for breeding short-stature wheat In Proceedings of an advisory group. FAO/IAEA; 13-17 oct. Vienna, Austria pp 79-91.

Kukadia, M.U., Desai, K.B. y Patel. 1984. Mutagenesis in Sorghum Using X-Rays. In Sorghum Newsletter Vol. 27. Tucson Arizona, pp 109. U.S.A.

Lea, D.E. 1955. Actions of Radiations on Living Cells. The University Press, Cambridge, 416 pp.

Line, R.F. Konzak, C.F. y Allan, R.E. 1974. Evaluating resistance to *Puccinia striiformis* in wheat. Research coordited meeting FAO/IAEA; Novi-Sad; 4-8 June 1973. Vienna, Austria pp. 125-132.

Marie, A.F. y Tinarelli, A. 1974. Rice mutants and resistance to blast disease. Research coordinated meeting, FAO/IAEA; Novi-Sad; 4-8 June 1973. Vienna, Austria pp. 154.

Micke, A. 1976. Induced mutations in cross-breeding. In proceedings of an advisory group. Vienna, 13-17 oct. 1975. FAO/IAEA. Austria pp 1-4.

Micke, A. 1977. Scope and aims of the coordinated research programme on induced mutations for disease resistance in crop plants. In Breeding for disease resistance using induced mutations. IAEA, Viena.

Mode, C.J. 1958. A Mathematical model for the co-evolution of obligate parasites and their hosts, Evolution 12, pp. 158-65. In manual on mutation Breeding. IAEA, Viena. 1977.

Murray, J.J. 1971. Additional observations on mutation breeding to obtain verticillium-resistant strains of peppermint, mutation breeding for disease resistance

(Proc. Panel Vienna, 1970), IAEA, Vienna, pp. 171-95.

Murty, B.R. 1974. Mutation breeding for resistance to downy mildew and ergot in *Pennisetum* and to *Ascochyta* in chick pea. Research coordinated meeting FAO/IAEA; Novi-Sad, 4-8 June 1973. Vienna, Austria pp. 89-100.

Nayak, P. y Padmanabhan, S.Y. 1974. Induced mutations for desease resistance in rice. Research coordinated meeting. FAO/IAEA; Novi-Sad 4-8 June 1973. Vienna, Austria, pp. 154.

Nilan, R.A. y Konzak, C.F. 1961. Increasing the efficiency of mutation induction mutation and plant breeding, NAS-NRC 891, pp 437-60. In Manual on Mutation Breeding IAEA. Vienna 1977.

Nitsch, C. 1974. Pollen culture a new technique for mass production of haploid and homozygous lines. Haploids in Higher plants-Advances and potential, University of Guelph, pp. 123-34.

Osborne, T.S. y Lunden, A.P. 1965. Prediction of seed radiosensitivity from embryo structure, the use of Induced mutations in Plant Breeding (Rep. FAO/IAEA Tech. Meeting Rome, 1964), Pergamon Press, Oxford, pp. 133-49.

Pal, K.V. y Gaur, B.K. 1983. Quantitative and cualitative

changes in mitocondrial protein isolated from gamma-irradiated kidney bean hypocotyl segments. Environmental and Experimental Botany 23(2); 143-148. Ingl., Res. Ingl., 22 Refs.

Pandey, K.K. y Netancourt. 1976. Radiation-induced mutation and sexual incompatibility in flowering plants. In proceedings of an advisory group. FAO/IAEA 13-17 oct. Vienna Austria pp. 157-177.

Poehlman, J.M. 1983. Mejoramiento Genético de las Cosechas. Ed. Limusa, Octava reimpresión. México.

Powell, J.B. 1976. Induced mutations in highly heterozygous vegetatively propagated grasses. In proceedings of an advisory group. FAO/IAEA. 13-17 oct. Vienna, Austria, pp. 219-222.

Rabson, R. 1976. Considerations on the use of protein mutants in cross breeding. In proceedings of an advisory group. FAO/IAEA; 13-17 oct. Vienna, Austria. pp. 113-118.

Reddy, C.S. y Cheralu, C. 1984. Induced Quantitative Variation in Indian, African Sorghums. In Sorghum Newsletter Vol. 27, 1984, Tucson Arizona, U.S.A. pp. 103.

Sarada Mani, N. 1984. Induced Autotetraploid Grain Sorghum.

In Sorghum Newsletter. Vol. 27. Tucson Arizona. pp-111. U.S.A.

Sarasola, A.A. y De Sarasola M.A.R. 1975. Fitopatología curso moderno. Tomo I. 1a. Edición. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. pp. 55-56.

Sax, K. 1941. The behavior of X-ray induced chromosomal aberrations in *Allium* root tip cells, Genetics 26, pp. 418-25.

Sholz, F. 1976. Experience and opinions on using induced mutants in cross breeding. In proceedings of an advisory group. FAO/IAEA; 13-17 oct 1975. Viena, Austria pp. 5-16.

Sigubjörnsson, B. y Micke, A. 1974. Philosophy and accomplishments of mutation breeding, polyploidy and induced mutations in plant breeding (Proc. Meeting Bari, 1972) IAEA. Vienna, pp. 303-43.

Sparrow, A.H. 1961. Types of ionizing radiation and their cytogenetic effects, mutation and plant breeding, NAS-NRC 891, pp. 55-119, In manual on mutation breeding, IAEA, Vienna, 1977.

Sparrow, A.H., 1966. Research uses of the gamma field and related facilities al brookhaven national laboratory, radial, Bot. 6, pp. 377-405.

Stein, O.L. y Sparrow, A.H. 1966. The effect of acute irradiation in air, N_2 and CO_2 on the growth of the shoot cupex and internodes of *Kalanchoe* CV "Brillante Star", Radiat. Bot. 6, pp. 187-201.

Sunderland, N. 1974. Anther culture as a means of haploid induction, Haploids in Higher plants-Advances and potential, University of Guelph, pp. 91-122.

Upadhya, M.D. Anand, S.K. y Pandey, S. 1974. Mutation induction for resistance to bacterial wilt in potato. Research coordinated meeting, FAO/IAEA. Novi-Sad; 4-8 June 1973. Vienna, Austria. pp. 172.

Walker, J.H. 1973. Patología Vegetal. 2a. Edición. Editorial Omega. Barcelona, España. pp. 402-410.

Walther, F. y Haug, A. 1973. Radiobiological Investigations in cereals. VII. Relationship between radical content and radiosensitivity in caryopses of radiosensitive and radioresistant wheat cultivars, Radiat. Bot. 13, pp. 19-25.

Zárate, Z.F.J. 1982. Efecto de las radiaciones gamma Co^{60} en maíces de El Bajío. Tésis profesional. Escuela de Agricultura Universidad de Guadalajara, México.

Zummo, N. 1978. Fusarium disease complex of sorghum in west Africa. International workshop on sorghum diseases;

International crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). Hyderabad, India. Dec. 1978. pp. 297-99.

APENDICE

Cultivo	Sup. cosechada en en Jalisco			Sup. cosechada en el país		
	Riego	Temporal	Total	Riego	Temporal	Total
Maíz	48,096	783,263	831,359	923,088	6'497,585	7'420,623
Sorgo	19,615	168,599	188,214	550,952	966,811	1'517,763
Frijol	5,460	85,229	90,689	216,574	1'779,834	1'996,408

CUADRO 1A. SUPERFICIE COSECHADA EN HA EN EL ESTADO DE JALISCO Y EN LA NACION.*

Cultivo	Rendimientos Jalisco	(ton/ha) Nacional	Producción Jalisco	(ton) Nacional	Porcentaje respecto al total Nacional (Prod.)
Maíz	2.407	1.760	2'001,359	13'061,208	15.32
Sorgo	4.685	3.193	881,689	4'846,337	18.19
Frijol	0.612	0.642	55,479	1'281,706	4.33

CUADRO 2A. RENDIMIENTOS MEDIOS Y PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL NACIONAL EN CULTIVOS BASICOS EN JALISCO.

*FUENTE: Secretaría de Programación y Presupuesto. 1983.

APENDICE

3A. METODOS PARA USAR LAS MUTACIONES EN FITOMEJORAMIENTO (I.A.F.A. 1977).

I. USO DE MUTACIONES PUNTUALES

1. Especies Autógamas:
   a) Uso directo de mutantes: Mutantes usados directamente como variedades mejoradas.
   b) Mejoramiento por cruzas utilizando mutantes:
      i) Cruzando los mutantes con la variedad o línea progenitora.
      ii) Cruzando diferentes mutantes de la misma línea progenitora..
      iii) Cruzando diferentes mutantes de diferentes líneas progenitoras.
      iv) Cruzando el mutante con una variedad o línea diferente.
      v) Cruzando dos variedades que llevan aparentemente el mismo mutante.

2. Especies Alógamas: Inducción de mutaciones para incrementar la variabilidad.

3. Mejoramiento de la Heterosis: Inducción de mutaciones en líneas puras.
   Inducción de esterilidad masculina (en autógamas y alógamas).

4. Plantas asexuales: Inducción de "sports".

II. USO DE MUTACIONES CROMOSOMICAS

1. Uso de Translocaciones: Para transferir caracteres de otros géneros y especies.

2. Uso de Translocaciones: (Con conocimiento de los puntos de ruptura) para la producción de duplicaciones "dirigidas".

3. Diploidización de poliploides.

III USO DE AGENTES MUTAGENICOS PARA PROBLEMAS ESPECIALES DE FITOMEJORAMIENTO.

1. Uso de mutaciones para producir haploides.

2. Uso de mutágenos para incrementar o bajar la frecuencia de quiasmas.

3. Uso de radiación para producir sexualidad transitoria en los organismos apomícticos.

4. Uso de la radiación para reducir la incompatibilidad en las cruzas.

5. Uso de mutaciones inducidas para estudios especiales de los procesos fisiológicos, morfológicos y bioquímicos en las plantas cultivadas.

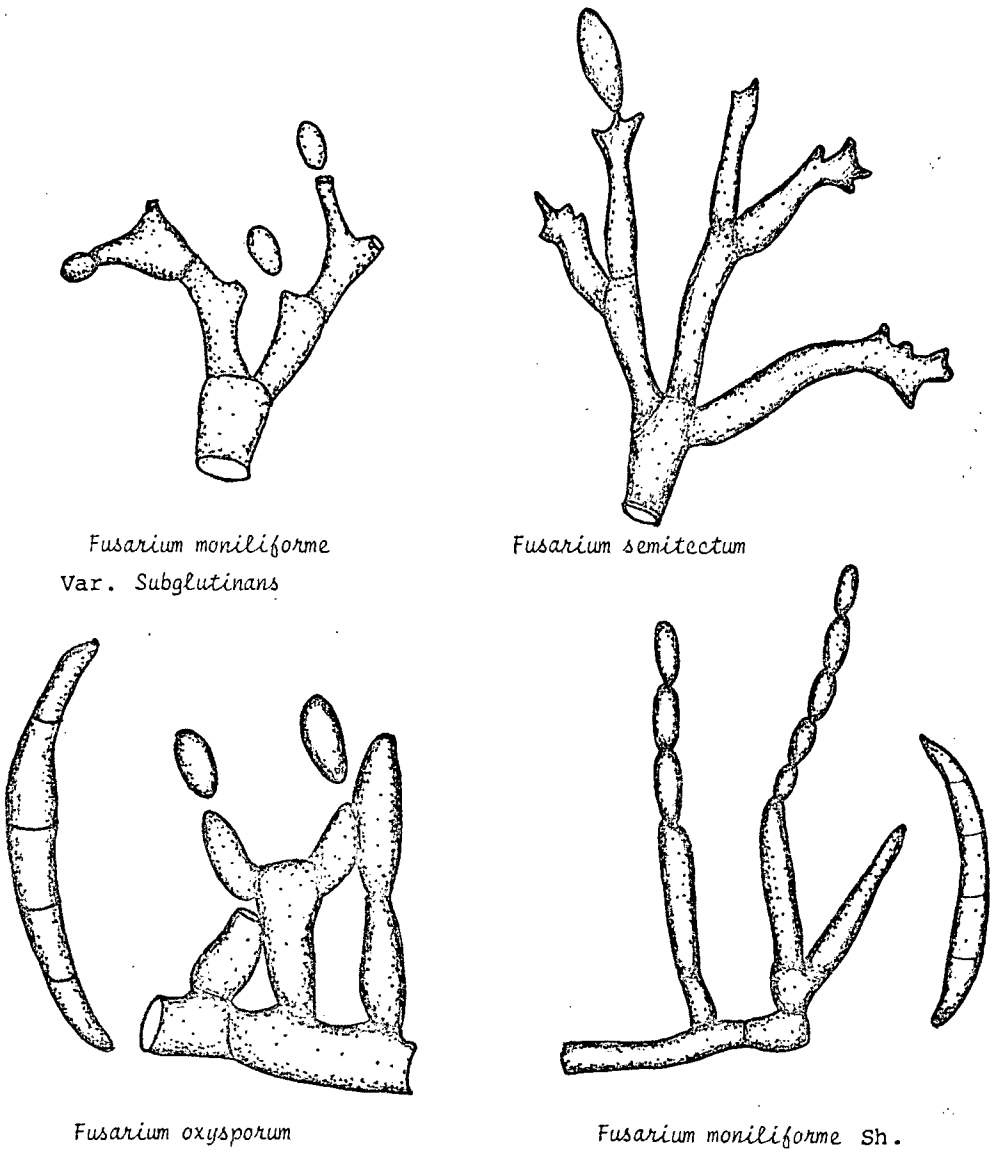


FIGURA 16. *DIFERENTES TIPOS DE CONIDIOFOROS EN *Fusarium spp.*

*FUENTE: Walker, 1973.

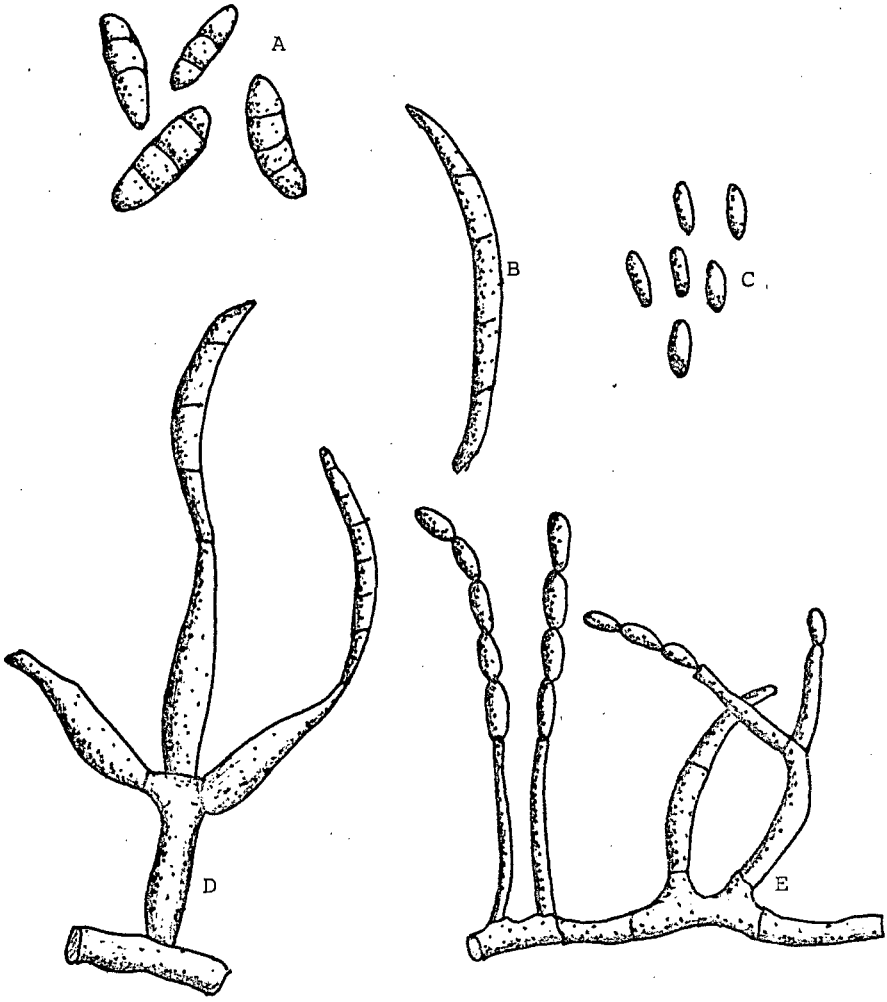


FIGURA 17. *Fusarium moniliforme* Sheldon. (A) Ascosporas (*G. fujikuroi*); (B) Macroconidias; (C) Microconidias; (D) Conidioforo y macroconidias; (E) Conidioforo con microconidias y micelio septado.

FUENTE: Walker, 1973.

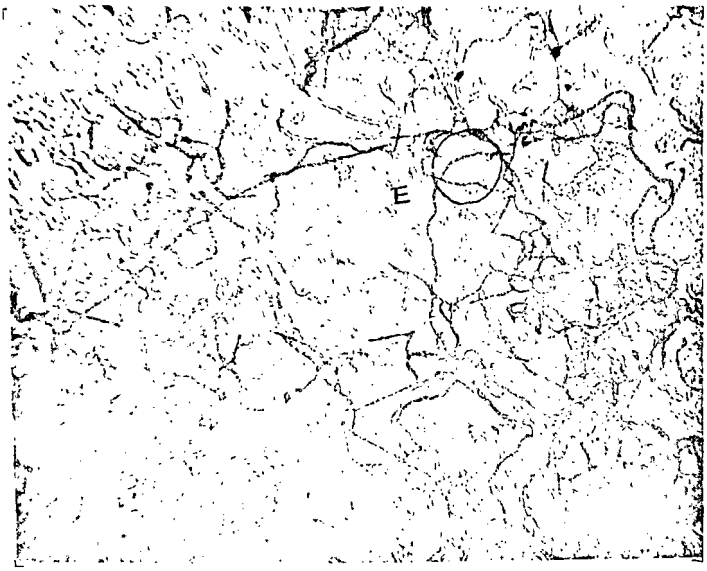
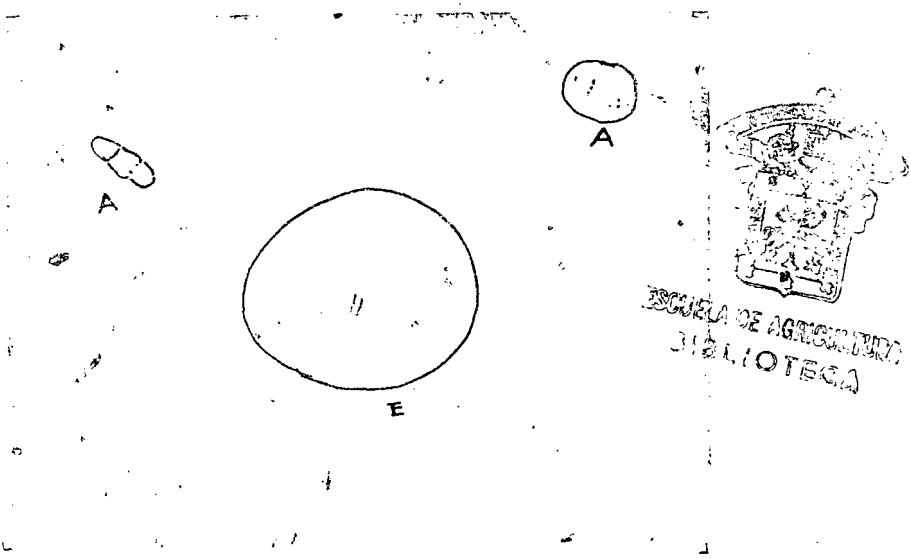


FIGURA 18. MICELIO AEREO RAMIFICADO CON GRANDES CADENAS DE MICROCONIDIAS (E) EN MEDIO DE CULTIVO 10X. (FOTO: HUMBERTO DELGADILLO J.)



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

FIGURA 19. CONIDIOFOROS LATERALES (E) 100X. (FOTO: HUMBERTO DELGADILLO J.).

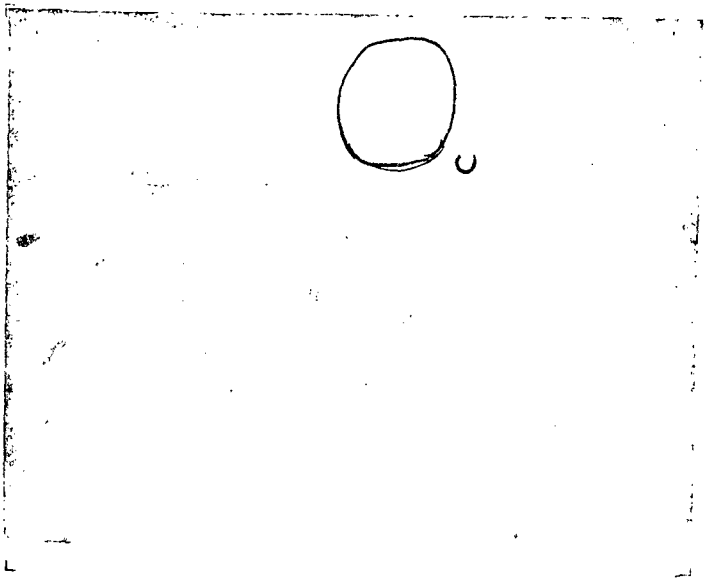
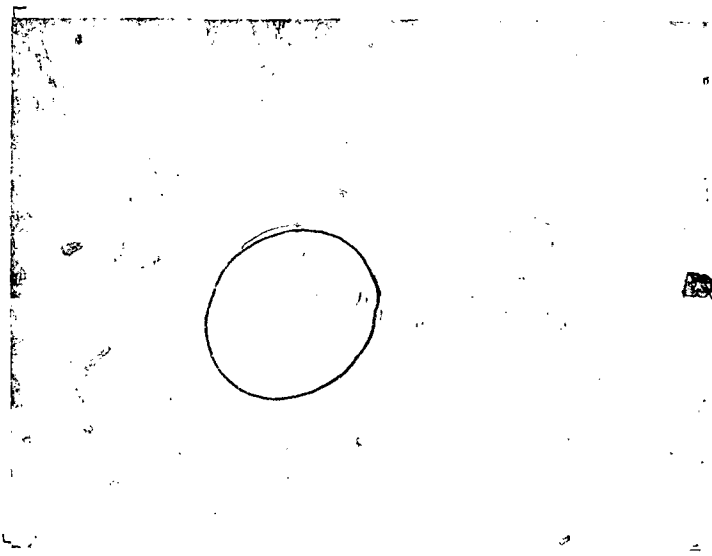


FIGURA 20. MICROCONIDIAS. 100X (FOTO: HUMBERTO DELGADILLO J.).



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

FIGURA 21. SEGMENTO DE HIFA EN EL QUE SE APRECIA LA UNION DE UN TABIQUE. 100X (FOTO: HUMBERTO DELGADILLO J.).