

26  
2eje.



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**"EFECTO DE LA IRRADIACION CON Co" EN EL  
RENDIMIENTO DEL AMARANTO (Amaranthus spp.)  
Y SELECCION DE IDEOTIPOS"**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO AGRICOLA**  
P R E S E N T A N :  
**DAVID ERNESTO GUTIERREZ LOPEZ**  
**HUGO RIVAS MENDOZA**  
**SAUL HUMBERTO SANTIAGO AGUIRRE**

ASESOR: ING. HILDA CARINA GOMEZ VILLAR

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1994

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U. N. A. M.  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR FACULTAD DE ESTUDIOS  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Efecto de la irradiación con Co60 en el rendimiento del  
amaranto (Amaranthus spp.), selección de ideotipos".

que presenta el pasante: David Ernesto Gutiérrez López  
con número de cuenta: 9216979-4 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Agrícola ; en colaboración con:  
Hugo Rivas Mendoza y Saúl Herberto Santiago Aguirre

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 30 de agosto de 199 3

PRESIDENTE	<u>Dr. Aquiles Ceballos Carballo</u>	
VOCAL	<u>Ing. Hilda Carina Gómez Villón</u>	
SECRETARIO	<u>M.C. Margarita Tadeo Robledo</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>M.C. Juan Virgen Vargas</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Guillermo Basante Butrón</u>	



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Efecto de la irradiación con  $^{60}Co$  en el rendimiento del  
amaranto (*Amaranthus spp.*) y selección de ideotipos"

que presenta el pasante: Hugo Arias Mendoza.  
con número de cuenta: 0113368-2 para obtener el TÍTULO de:  
Ingeniero Agrícola ; en colaboración con:

David Ernesto Gutiérrez López y Sr. Humberto Santiago Aguirre

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlan Izcalli, Edo. de Méx., a 30 de agosto de 1992

PRESIDENTE	<u>Dr. Aquiles Carballeo Carballeo</u>
VOCAL	<u>Ing. Hilda Carina Gomez Villa</u>
SECRETARIO	<u>M.C. Margarita Tacos Robledo</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>M.C. Juan Virgen Vargas</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Guillermo Bassie Butrán</u>



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVANZADA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN, U. N. A. M.  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR FACULTAD DE ESTUDIOS  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES SUPERIORES-CUAUTITLÁN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Efecto de la irradiación con Co60 en el rendimiento del  
amaranto (Amaranthus spp.) y selección de ideotipos".

que presenta el pasante Saul Humberto Santiago Aguirre  
con número de cuenta: 8233064-8 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Agrícola ; en colaboración con:  
David Ernesto Gutiérrez López y Hugo Alvarado Mendoza.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 30 de agosto de 199 3

PRESIDENTE Dr. Aquiles Carballo Carballo  
VOCAL Ing. Hilda Carina Gómez Villanueva  
SECRETARIO M.C. Margarita Tadeo Robledo  
PRIMER SUPLENTE M.C. Juan Virgen Vargas  
SEGUNDO SUPLENTE Ing. Guillermo Basante Estrón

*A Mis Padres:*

*Alfonso Gutiérrez Montes de Oca  
Amparo López Fernández*

*De quienes siempre he recibido comprensión,  
entusiasmo y cariño sin límites; mil Gracias  
por brindarme esta oportunidad y más...*

*A Mis Hermanos:*

*Alfonso y Sofía*

*Que con su infinita hermandad me han apoyado  
en todo momento.*

*A Lorena:*

*En quien he encontrado la razón para lograr  
mis metas, Gracias por todo...*

*A Hugo y Saúl:*

*Por compartir esta experiencia conmigo.*

*A todos mis Amigos.*

*David E. Gutiérrez López.*

***A Mis Padres:***

***Lucio Rivas Valdes  
Nohemí Mendoza López***

***Por todo el apoyo y ánimo que siempre me han dado, sin ponerme condiciones; ya que sin ustedes este trabajo no hubiera sido posible y por ser los mejores Padres que hay.***

***A Mis Hermanos:***

***Edmundo, Alfredo, Mirna e Ivan  
A mi Abuela Lola y a Ricardo***

***Porque siempre pude contar con ustedes por su impulso y ánimo para hacer las cosas.***

***A Lupita:***

***Mi querida flaca... por soportarme, por compartir todo lo que compartes conmigo y sobre todo, porque esto es por nosotros.***

***A mis compañeros y Amigos:***

***Por sus charlas, comentarios, críticas y el gran apoyo moral que siempre han sido.***

***Hugo Rivas Mendoza.***

*A Mi Padre:*

*Gracias a los consejos y al apoyo que me brindaste hasta el último momento, lograste que yo llegara a tu meta.  
Por esto y más Gracias.*

*A mi Madre*

*Nunca es tarde... pero me habría gustado que estuvieras en estos momentos. Las palabras son pocas para Tí, pero sólo quiero decirte que esto que he logrado fue parte de tu esfuerzo e ilusión...*

*A Mis Hermanos:*

*Les doy a todos ellos las gracias por su apoyo y comprensión durante todos estos años de estudio, y si alguna vez falle les ruego me disculpen.*

*Y a Ti:*

*Que más puedo decirte, también formaste parte de esta meta, y lo único que me queda es agradecertelo eternamente.*

*Saúl H. Santiago Aguirre.*



*De Nuestra Parte:*

*Un agradecimiento muy especial a la Ing. Hilda C. Gómez V. y al Ing. Armando Aguilar por su valiosa asesoría, consejos y paciencia.*

*A la Biol. Margarita Sosa por compartir sus conocimientos, y al Inst. Nal. de Investigaciones Nucleares (ININ) por permitirnos hacer uso de sus Instalaciones.*

*A todos los Profesores, que con sus comentarios y críticas ayudaron a mejorar este trabajo.*

# INDICE

	PAG.
RESUMEN	1
I. INTRODUCCION	4
1.1. Objetivos	6
1.2. Hipótesis	6
II. REVISION DE LITERATURA	7
2.1. Antecedentes del amaranto	7
2.1.1. Origen geográfico	7
2.1.2. Clasificación taxonómica	9
2.1.3. Descripción botánica	10
2.1.4. Características fisiológicas	11
2.1.5. Valor nutricional	11
2.1.6. Condiciones ambientales óptimas para cultivo	12
2.1.7. Temperatura	13
2.1.8. Altitud	13
2.1.9. Precipitación	13
2.1.10. Suelos	14
2.1.11. Técnica de cultivo	14
2.1.12. Densidad de siembra	18
2.1.13. Fertilización	18
2.1.14. Cosecha	19
2.1.15. Componentes de rendimiento	20

	PAG.
2.2. Material hereditario y mutaciones	21
2.2.1. Mutaciones inducidas	25
2.2.1.1. Mutaciones genómicas	25
2.2.1.2. Mutaciones cromosomales	26
2.2.1.2.1. Cambios de estructura o aberraciones	26
2.2.1.2.2. Cambios génicos o mutaciones génicas	26
2.2.1.3. Mutaciones extranucleares	28
2.2.2. Inducción de mutaciones	29
2.2.2.1. Mutágenos físicos	30
2.2.2.2. Mutágenos químicos	32
2.2.3. Material genético a ser tratado con agentes físicos	33
2.2.4. Efectos inmediatos en M1	34
2.2.4.1. A nivel génico	34
2.2.4.2. A nivel cromosómico	35
2.2.4.3. A nivel celular	35
2.2.4.4. A nivel tejido	36
2.2.4.5. A nivel cuerpo	36
2.2.4.6. A nivel población	36
2.2.4.7. A nivel ecosistema	36
2.3. Radiación	37
2.3.1. Tipos de radiación	37
2.3.2. Mecanismo de acción de los rayos gamma	38
2.3.3. Unidades radiactivas	39

	PAG.
2.3.4. Radiosensibilidad del material y dosis de irradiación apropiada por aplicar	40
2.4. Técnicas de mutagénesis	41
2.4.1. Terminología de mutagénesis	43
2.4.2. Selección de mutantes inducidos en plantas propagadas por semilla	47
2.4.2.1. Selección de variedades para mejoramiento por mutaciones	48
2.4.2.2. Criterios de selección	48
2.4.2.3. Manejo de la generación M1	49
2.4.2.4. Siembra de las semillas	50
2.4.2.5. Aislamiento del material M1	52
2.4.2.6. Cosecha de la M1	52
III. MATERIALES Y METODOS	54
3.1. Localización geográfica	54
3.2. Climatología	54
3.3. Genotipos utilizados	54
3.4. Metodología	55
3.5. Diseño experimental	58
3.6. Variables evaluadas	58
3.6.1. Tiempo y porcentaje para prueba de germinación	58
3.6.2. Componentes morfológicos de rendimiento	59
3.6.2.1. Altura de planta	59
3.6.2.2. Diámetro de planta	59
3.6.2.3. Longitud de panoja	59

	PAG.
3.6.2.4. Peso fresco de planta	59
3.6.2.5. Peso seco de planta	59
3.6.2.6. Rendimiento de grano.	60
3.7. Análisis estadístico	60
IV. RESULTADOS	61
4.1. Prueba de germinación en laboratorio	61
4.2. Prueba de germinación en almácigo	61
4.3. Análisis de varianza	62
4.4. Prueba de comparación de medias	63
4.4.1. Genotipos	63
4.4.2. Tratamientos	65
4.4.3. Interacción genotipos x tratamientos	66
4.5. Alteraciones radiobiológicas obtenidas en M1	69
V. DISCUSION	71
VI. CONCLUSIONES	76
VII. BIBLIOGRAFIA	78

## RESUMEN

El presente trabajo es la evaluación en campo del efecto de seis dosis (2.5, 5, 10, 20, 35, 50 Krad) de irradiación con  $Co^{60}$  en dos genotipos de amaranto: (1) La Línea CP-7 liberada y proporcionada por el Colegio de Postgraduados Montecillos, México y (2) la semilla criolla proveniente del Edo. de Puebla.

Los objetivos que se persiguieron con esta técnica de mutagénesis fueron: (1) La determinación de una dosis de irradiación adecuada para esta especie que genere variación genética favorable desde el punto de vista agronómico. Esto tiene su fundamento en que cada especie presenta diferentes grados de radiosensibilidad. (2) La detección de posibles efectos radiobiológicos en la población promovidos a partir de los tratamientos aplicados; así como la manifestación de estos efectos en forma de diferencias estadísticas en los componentes del rendimiento. (3) Analizar la relación entre dichos efectos radiobiológicos y la producción total de semilla, la cual será utilizada como fuente de germoplasma para futuros programas de mejoramiento.

La meta a largo plazo sería dar seguimiento a la conducta de generaciones posteriores y reconocer así posibles mutaciones que puedan ser aprovechables al mejoramiento de la semilla y sus características (i.e. disminuir la dehiscencia, incrementar rendimiento, etc.).

Los parámetros evaluados durante el estudio incluyeron: Pruebas de germinación en laboratorio y en campo; la altura de planta; el diámetro del tallo; la longitud de inflorescencia; los pesos fresco y seco de planta y, por último, el rendimiento total de grano. Todos estos parámetros fueron considerados para cada tratamiento en los dos genotipos estudiados a lo largo de todo su ciclo productivo.

De manera general, los resultados finales muestran que los mejores efectos se obtuvieron con 2.5 y 5 Krad para el caso de la semilla CP-7 y la criolla, respectivamente. En ambos casos se superó con eficiencia a los testigos.

Las plantas que presentaron mayores efectos de variación radiobiológica fueron las que provinieron de los genotipos irradiados con las dosis de 2.5, 5 y 10 Krad. Por otra parte las dosis de 35 y 50 Krad registraron los más altos índices de mortandad a tal grado que su población no fue representativa para hacer posible en estos tratamientos las pruebas estadísticas implementadas. En menor proporción, la dosis de 20 Krad también genera bajas en su densidad de población aunque es favorable el efecto de variación en la misma. Es importante establecer que al hablar de efectos radiobiológicos nos referimos a todos aquellos cambios o modificaciones morfológicas y/o fisiológicas de las plantas que fueron sometidas a esta técnica de mutagénesis en combinación con el medio. Un hallazgo interesante lo fue la

generación de "quimeras", tales como plantas bifurcadas en su tallo y la deformación general de toda la planta.

La irradiación con  $\text{Co}^{60}$  en mejoramiento genético se ha explotado con resultados favorables en otras especies. En este estudio con amaranto se demuestran también respuestas inmediatas de esta técnica en algunos componentes del rendimiento. No obstante, esto es sólo el principio de una técnica de mejoramiento cuyos resultados finales se obtendrán de las siguientes generaciones que surjan de aquí y del cuidadoso seguimiento que se le de a cada mínimo detalle de cambio. Con esto se lograrían establecer mutaciones que sean favorables y permanentes en el genoma del individuo.



# I. INTRODUCCION

La agricultura sin duda siempre ha sido punto esencial para la humanidad; actualmente con el crecimiento constante de la población, esta actividad ha necesitado de un desarrollo técnico, científico y socioeconómico, con la finalidad de abastecer la creciente demanda de alimentos, sobre todo de los que por sus características representan las mayores fuentes de proteína disponible y asimilable. En esta transformación el hombre se ha dado a la tarea de obtener y seleccionar plantas más productivas mediante el uso de técnicas basadas en el conocimiento de las leyes de la herencia - que es la base principal del mejoramiento genético de las plantas y que constituye para la obtención de variedades mejoradas.

La importancia del uso de las técnicas de mutagénesis dentro de la agricultura es la de generar otra ruta mediante la cual el fitomejorador pueda ocasionar variabilidad genética, con el fin de seleccionar por medio de la metodología adecuada, individuos que por los procesos de multiplicación lleguen a convertirse en nuevas variedades.

El presente trabajo tiene la finalidad de probar la técnica de irradiación en amaranto, planta que por naturaleza posee una morfología extremadamente plástica y cualidades nutricionales excepcionales.

Los objetivos específicos que persigue este trabajo son los de establecer una dosis óptima de irradiación para semilla de amaranto y evaluar su efecto sobre el rendimiento y sus componentes morfológicos. La información así generada, debe ser aprovechada para la discusión de los resultados.

### 1.1. OBJETIVOS

- Determinación de una dosis de irradiación con  $Co^{60}$  adecuada para el amaranto que genere variación genética favorable desde el punto de vista agronómico.

- La detección de posibles efectos radiobiológicos en la población promovidos a partir de los tratamientos aplicados; así como la manifestación de estos efectos en forma de diferencias estadísticas en los componentes del rendimiento.

- Analizar la relación entre dichos efectos radiobiológicos y la producción total de semilla.

### 1.2. HIPOTESIS

- La variación genética entre plantas será incrementada a medida que se aumente la dosis de irradiación de  $Co^{60}$ .

- Si se parte de diferentes dosis de irradiación se obtendrá una amplia diversidad de plantas, lo cual facilitará la selección de ideotipos.

- La dosis de irradiación en combinación con el medio ambiente provocará diferencias en la capacidad de sobrevivencia en las plantas generadas a partir de semillas irradiadas.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. ANTECEDENTES DEL AMARANTO

#### 2.1.1. Origen Geográfico.

Sauer (1950) recopiló información con respecto al amaranto ubicando su origen, indiscutiblemente, en el continente americano. Con más precisión sitúa su origen en el suroeste de Estados Unidos de Norteamérica y norte de México. Existen indicios de que tribus de esas zonas cultivaban al amaranto para alimento; posteriores migraciones trasladaron el cultivo hacia la Mesa Central, donde alcanzó su mayor relevancia.

Los primeros indicios del amaranto en México indican que desde mucho tiempo antes de la conquista (5200 años a.c.) esta planta tenía usos alimenticios, ya que se recolectaban las hojas y semillas de plantas silvestres. En el tiempo del Imperio Azteca fue cuando el amaranto cobró gran importancia tanto como cultivo alimenticio como por su carácter ceremonial, al grado de que las provincias que estaban sometidas al Imperio enviaban anualmente grandes cantidades de semilla de amaranto a Moctezuma como tributo (Sauer, 1950 y Singh, 1961).

Sahagún describió en 1574 la importancia del amaranto en la alimentación de los antiguos mexicanos. Su papel ritual

dentro de algunas ceremonias particularmente dedicadas al Dios Huitzilopochtli en los templos aztecas, durante la cual comulgaban con hostias de amaranto, está consignada en los códices. Aparentemente, ésta fue la razón principal por la cual los frailes españoles decidieron suprimir el cultivo del amaranto y borrar toda huella de esas prácticas, al construir iglesias y conventos sobre los templos indígenas. Así fue como los aspectos religiosos y políticos de aquella época resultaron decisivos para el desarrollo y evolución del cultivo, pues al decretarse su prohibición, se le condenó casi a la extinción. Sin embargo, importantes fuentes de germoplasma se perpetuaron mediante el cultivo que se practicó subrepticamente en tiempos posteriores a la conquista y colonización de México.

Actualmente esta planta en México, se cultiva en muy pocos lugares y la superficie cultivada posiblemente no exceda a las 500 ha/año. Siendo la Región Central de México, donde se cultivan diversas especies y variedades de amaranto de grano, principalmente en los estados de Tlaxcala, Puebla y Morelos, así como en Tulyehualco, D.F.. Las principales especies de amaranto en México son:

Amaranthus hypochondriacus,

Amaranthus cruentus,

Amaranthus hybridus.

Amaranthus retroflexus,

Amaranthus caudatus.

(Espitia, 1986)

2.1.2. Clasificación Taxonómica.

El amaranto pertenece a la familia Amaranthaceae (dicotiledoneas, orden Caryophyllales) se compone de 60 géneros y cerca de 800 especies (Feine et. al., 1979). El género Amaranthus se divide en sección Amaranthus y sección Blitopsis; para la clasificación de las especies se considera la forma y proporción de las estructuras pistiladas (Feine et al., 1979). Las especies de Amaranthus son difíciles de distinguir, especialmente para quienes no se encuentran familiarizados con el grupo.

Con la modificación de Stafford a la clasificación botánica realizada por Linneo la planta pertenece según Medina (1982):

Reino: Vegetal  
División: Embriophyta  
Subdivisión: Angiospermae  
Clase: Dicotyledoneae  
Subclase: Archiclomidae  
Familia: Amaranthaceae  
Género: Amaranthus  
Especie: hypochondriacus  
          cruentus  
          caudatus  
          spp.

Por su gran diversidad y semejanza en las especies ha habido gran confusión para su clasificación. El nombre de A. hypochondriacus L. lo propuso la National Academy of Sciences (Aguilar y A la Torre, 1978).

### 2.1.3. Descripción Botánica.

Alejandre (1981) y Sánchez (1980) mencionan que el género *Amaranthus* comprende hierbas anuales, procumbentes o erectas, con hojas simples, alternas, enteras y largamente pecioladas.

Plantas generalmente matizadas con un pigmento rojizo, llamado amarantina; algunas formas cultivadas son intensamente coloreadas, los colores más comunes que se observan son verde, rojo, púrpura, púrpura intenso y rosa (solamente las semillas pálidas y blancas son las que se usan como grano). Las flores son unisexuales y su fruto es un pixidio.

Todas las especies de amaranto para grano y hortalizas son plantas monoicas o dioicas, presentan protoginia y son predominantemente de autopolinización (Kauffman, 1979). Sin embargo también ocurre de manera natural cierto entrecruzamiento por medio de insectos, viento y por contacto entre plantas (Sauer, 1967; Pal, 1972; Kauffman, 1981).

#### 2.1.4. Características Fisiológicas.

Hauptli (1977) menciona el potencial agronómico del amaranto, destacando el hecho de que esta planta siga en su proceso fotosintético la ruta de fijación C4, la cual constituye una manera más eficiente de fijación de carbono que de las plantas C3, y emplean aproximadamente 3/5 partes de la cantidad de agua utilizada por una planta C3 para producir la misma cantidad de biomasa.

Una planta C4 muestra ácidos de cuatro carbonos (málico y aspártico) como un primer producto de la fijación del CO<sub>2</sub>. Las plantas C4 casi siempre muestran velocidades de fotosíntesis más rápidas que las especies C3 cuando ambas son expuestas a altas intensidades de luz y temperaturas; cuando el rango de temperatura es de 25 a 35 grados C y la intensidad de luz es alta, las C4 presentan una eficiencia mayor (casi del doble) que las plantas C3 para convertir la energía del sol en materia seca, dicha eficiencia resulta principalmente de la elevada fotorrespiración en la planta C3 e insignificante en la C4 (Grajales y Martínez, 1982).

#### 2.1.5. Valor Nutricional.

Diversos autores mencionan el gran valor nutritivo del grano del amaranto, tanto por su contenido de proteína como por su balance de aminoácidos.



Casillas (1984) considera a la semilla como un producto con cualidades nutricionales excepcionales, ya que su contenido y calidad de proteína, así como su alto contenido de ácido linoléico indican su potencialidad como fuente de nutrientes en la alimentación. El grano de amaranto contiene 14 a 16% de proteína de excelente calidad, superior a la encontrada en trigo (12-14%), arroz (7-10%), maíz (9-10%) y otros cereales ampliamente consumidos (Figura 1).

González (1984) manifiesta que el aminograma de la proteína de esta especie contiene triptofano en mayor proporción que la encontrada en trigo, soya, frijol y maíz (véase Cuadro 1).

Los amarantos son ricos en lisina -que es limitante en los cereales- y en aminoácidos azufrados -que es limitante en las leguminosas- por lo que pueden combinarse unos con otros complementariamente.

Las hojas del amaranto son fuente de vitaminas y minerales esenciales como el calcio, fósforo y hierro (Feine et. al., 1979).

#### 2.1.6. Condiciones Ambientales Optimas para Cultivo.

El amaranto se ha desarrollado históricamente en climas templados, cálidos, tropicales y subtropicales; en casi toda

clase de suelos, cuando están bien abonados y porosos (Nogerón, Feine et. al. citados por Pal, 1972 y Suárez, 1980)

Huaptli (1977) ha observado que el amaranto es extremadamente plástico y es capaz de adaptarse en un amplio rango de ambientes para la producción de grano. Latitudinalmente en México se distribuye de los 16 a los 28 grados Norte, es decir, en niveles muy amplios.

#### 2.1.7. Temperatura.

En cuanto a la temperatura, ha mostrado buen desarrollo en lugares muy cálidos, con temperaturas muy altas (29 grados C) y uniformes todo el año como en Atoyac, Gro., hasta en localidades templadas (Tulyehualco y Milpa Alta, D.F.) con temperatura media anual de 14 grados C, inviernos definidos y presencia de heladas tempranas que afectan principalmente al follaje, pero poco al grano.

#### 2.1.8. Altitud.

La altura no es limitante para el desarrollo del amaranto ya que se le encuentra desde los 100 hasta los 2,000 m.s.n.m. (Reyna, 1984).

#### 2.1.9. Precipitación.

Respecto a la precipitación, se ha observado que se cultiva en condiciones de temporal aún en sitios con menos de

400 mm de lluvia al año, y recibidas casi exclusivamente durante el verano, pero es factible encontrarlo también en zonas donde la precipitación es más abundante (por ejemplo en algunas localidades de Oaxaca), superior a 1300 mm (Reyna, 1984).

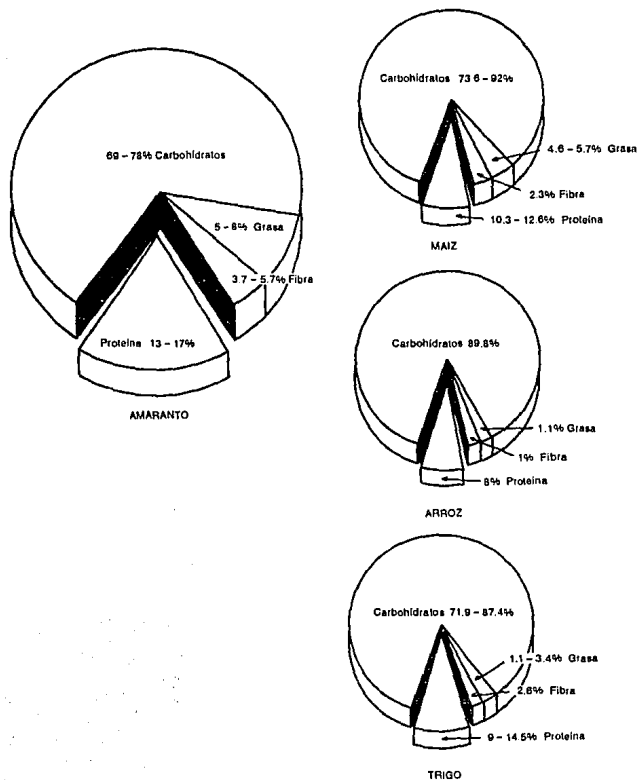
#### 2.1.10. Suelos.

Es muy poco lo que se conoce acerca de los requerimientos de suelo de *A. hypochondriacus*, sin embargo, se sabe que requiere de suelos aireados, con buen drenaje; altos niveles de nitrógeno, un buen balance de nitrógeno-fósforo y cantidades adecuadas de potasio, calcio y magnesio; es tolerante a suelos ácidos, altos en aluminio y hasta condiciones salitrosas. En cuanto a textura, es tolerante a suelos toscos, pero también prospera en suelos finos (Duncan, citado por Cervantes, 1982).

#### 2.1.11. Técnica de Cultivo.

Escasos reportes sobre la técnica de cultivo se tienen hasta la fecha; entre ellos se encuentran los de Early (1977), quien describió la técnica de cultivo en dos sistemas de siembra básicamente; el de chinampas que es característico de la zona lacustre del Valle de México y actualmente llevado a cabo en los pueblos de Tulyehualco, Xochimilco, San Gregorio Atlapulco y otros cercanos a éstos. El otro sistema

Figura 1. Análisis bioquímico aproximado del grano de amaranto



Fuente: Okerman, H.W, 1978 y Saunders y Becker, 1984.

**Cuadro 1. Comparación en gr de aminoácidos en 100 gr de muestra de diferentes semillas.**

	Amaranto	Maíz	Trigo	Frijol	Soya
Lisina	5.11	2.84	2.76	7.39	6.54
Isoleucina	2.80	4.43	4.17	5.43	5.10
Treonina	4.40	3.90	2.89	4.28	3.94
Valina	3.00	5.06	4.59	5.82	5.20
Leucina	4.90	12.89	6.70	8.43	7.87
Triptofano	3.64	0.62	1.25	0.93	1.31
Metionina	1.25	1.85	1.52	1.02	1.26
Fenilalanina	3.50	4.61	4.87	5.47	4.87

Fuente: Casillas, 1984.

es el de siembra directa y es el que se practica en las demás zonas del país no lacustres.

Las labores culturales que requiere el amaranto para sembrarlo, es en primer lugar el barbecho, rastreo y surcado, esto, cuando el suelo es tipo migajón o poco arcilloso; pero si el sustrato es pesado (muy arcilloso), debe dársele un barbecho, rastreo, cruza y posteriormente surcarse. La distancia entre surcos es de 80 cm aproximadamente (Martínez, 1989).

El sistema de chinampas se divide en dos etapas: la primera es en almácigo, donde las plantas pasan los primeros 30-35 días de vida, teniendo como ventaja la posibilidad de seleccionar las mejores plantas para realizar la segunda etapa: trasplante en tierras de temporal. La siembra se realiza en el mes de abril, trasplantándose las plantulas (chapines) en los meses de mayo-junio cuando dan inicio las lluvias.

La siembra directa se lleva a cabo mediante un bandeado o mateado; después de la siembra el manejo del cultivo es el mismo. La siembra se efectúa en el mes de junio, fertilizándose después de la misma; también se realiza el aclareo de plantas a los 20-25 días, dejándose una planta cada 8 a 10 cm o de 3 a 4 plantas cada 35 cm cuando es mateado (Martínez, 1989).

#### 2.1.12. Densidad de Siembra.

En cuanto a la densidad de siembra, varía según el método, para la siembra directa se requieren 2 kg de semilla/ha; mientras que para la técnica de trasplante tan sólo se usan 500 gr de semilla por almácigo para una hectárea.

La densidad de población va de 150 a 200 mil plantas en los estados de Morelos y Puebla; en tanto que en Tlaxcala y Tulyehualco, D.F. es de 70 a 100 mil plantas por hectárea (Martínez, 1989).

#### 2.1.13. Fertilización.

Varios trabajos señalan la habilidad del amaranto de responder a la aplicación de los fertilizantes para el incremento de rendimiento y producción de proteína (Grubben, 1979; Orea y Trinidad, 1984).

En 1986 la SARH probó diversas dosis de fertilización en Tulyehualco D.F. siendo éstas: 120-60-00, 80-46-00 y 100-80-40, obteniendo el mejor rendimiento (3075 kg/ha), con la dosis 80-46-00.

El porcentaje de proteína se eleva conforme aumenta la fertilización nitrogenada y puede alcanzar valores de 27% en las hojas y 16% en las plantas completas hasta antes de la

formación de la panoja (Oke, 1979; Cheeke y Bronson, 1979; Medina, 1982).

Por su parte Alejandro (1981), obtuvo en Tulyehualco D.F. rendimientos de grano de 2,279 kg/ha con las dosis de fertilización 90-30-00 y 30,000 plantas/ha, y sugiere que para obtener rendimientos arriba de 2 ton/ha se aplique la fórmula 30-30-00 y 50,000 plantas/ha bajo el sistema de chinampas. Reporta que a mayor número de plantas, el rendimiento es mayor siempre y cuando se tenga buena disponibilidad de nutrientes, encontrando aparte, una alta correlación positiva entre nitrógeno aplicado y rendimiento.

#### 2.1.14. Cosecha.

Según Gómez (1984) el amaranto se cosecha a fines de noviembre y principios de diciembre. Para el productor el mejor indicador de la maduración de plantas es cuando la plantación ha tirado las hojas, entonces quedan únicamente tallos desnudos y panojas, adquiriendo una coloración pardo dorado.

El tiempo a la cosecha depende también de la especie que se haya sembrado; para A. hypochondriacus se cosecha a los 180 días, y a los 160 días cuando se siembra A. cruentus (Early, 1977; Alejandro, 1981; Espitia, 1984).

Para la siega los productores prefieren las primeras



horas de la mañana, pues es cuando las panojas están húmedas por el rocío; entonces hay menos dehiscencia de los utrículos y, por lo tanto es menor la caída de semillas (Alejandre, 1981; Gómez, 1984).

#### 2.1.15. Componentes de Rendimiento.

El rendimiento de los cultivos, ha sido definido como la acumulación de sustancias elaboradas por la planta en los órganos vegetales de importancia para el hombre (Donal y Hamblin, citado por Mena y Vidal, 1985).

Este rendimiento está determinado por las estructuras morfológicas y los procesos fisiológicos que los genotipos presentan desde que la planta emerge del suelo hasta el momento en que el grano alcanza su madurez fisiológica, bajo la acción de las fuerzas ambientales y con la participación voluntaria o involuntaria del hombre. Los componentes de rendimiento no son constantes y pueden ser modificados por el ambiente, el manejo del cultivo, el genotipo y de un año a otro comportarse de manera diferente (Arellano, 1984).

Hauptli y Jain (1978) y Hauptli (1977) mencionan que el porcentaje de biomasa del tallo está relacionada en forma negativa con la biomasa de la semilla. Los trabajos de Hauptli y Jain (1984) reflejan claramente esta tendencia, los tipos de amaranto con floración más tardía fueron los más

altos, los de menor rendimiento por planta y los de menor índice de cosecha; una estrategia sugerida por estos autores es desarrollar, cultivares con tamaño más corto y floración precoz, con más tiempo de llenado de grano.

## 2.2. MATERIAL HEREDITARIO Y MUTACIONES

Los investigadores del siglo XIX afrontaron uno de los problemas de mayor trascendencia en biología; a saber, la identificación del puente físico entre generación y generación encargado de gobernar el desarrollo y características del nuevo ser; en otras palabras, la naturaleza del material hereditario.

Fue el médico suizo Friedrich Miescher, quien en 1869, estableció un método para separar los núcleos de la célula de su citoplasma. El análisis químico de los núcleos aislados reveló la presencia de un componente ácido con un alto contenido de nitrógeno y fósforo (Miescher 1871). El autor denominó a dicha sustancia nucleína, que actualmente constituye los ácidos nucleicos, ribonucleico (ARN) y desoxirribonucleico (ADN). De esta manera, lo que actualmente se conoce como genética, en sus diversas modalidades, ha permitido establecer tres aspectos fundamentales sobre el material hereditario (ADN): Constitución química, transmisión y manera de actuar (Hernández y Sosa, 1988).

La relación estructura-función en los procesos

biológicos, demanda cualquier sustancia que se pudiera considerar como portadora del material hereditario debe llenar, cuando menos las siguientes características:

- Habilidad para almacenar información genética de una manera estable y ser capaz de transferir dicha información a otras partes de la célula.

- Habilidad para duplicar dicha información sin errores durante la división celular y la formación de gametos, en su caso.

- Capacidad de cambio de dicha información mediante el proceso conocido como mutación (Hernández y Sosa, 1988).

Una mutación es un cambio repentino heredable en la constitución física o química de un organismo, que no es debido a agregación o recombinación mendeliana. De Vries acuñó el término mutación de la palabra latina "mutare" que quiere decir cambio. Las mutaciones ocurren espontáneamente en la naturaleza en muy pequeñas cantidades, puede ser una en un millón de eventos debido a alteraciones en el habitat de un ser vivo, ejemplo; rayos cósmicos, radiaciones ultravioleta y sustancias carcinogénicas.

La mayoría de estas mutaciones son recesivas y aún muchas de éstas son deletéreas en los medios en que aparecen;

ahora bien, desde el punto de vista evolutivo, la variación natural en los diferentes organismos ha resultado de la ocurrencia de mutaciones seguidas por recombinación y selección natural (Parra, 1992).

Con el propósito de su utilización, las mutaciones pueden ser inducidas artificialmente, mediante la aplicación de ciertas sustancias químicas o formas de energía cuya intensidad y duración (dosis) son regulables a voluntad por el hombre. El agente con el cual se induce al organismo a mutar es un mutágeno y al proceso con el cual una mutación es desarrollada se le llama mutagénesis (Parra, 1992).

La manera de actuar de la mayoría de los mutágenos no se comprende del todo. No obstante que la mutagénesis ha sido un tema favorito en los estudios de genética, es hasta nuestros días en que se ha alcanzado un entendimiento parcial de los aspectos moleculares de la mutación. El daño que los diferentes mutágenos pueden causar al ADN incluyen modificaciones químicas de las bases, pérdida de purinas, rompimientos en una o en las dos bandas, ligamientos inter e intra bandas e intercalación. No obstante su diversidad de acción, todos los mutágenos se caracterizan porque su efecto es aleatorio, sin existir unidad hereditaria (gene) que sea mutado en forma preferencial por algún mutágeno en particular (Hernández y Sosa, 1988).

Al igual que las proteínas y polisacáridos, las

moléculas de ADN constituyen polímeros formados, en este caso, por unidades (monómeros) denominados nucleóticos. Cada una de estas unidades está constituida por una base púrica o pirimídica, un azúcar y un grupo fosfato. El modelo en hélice de doble banda constituye la estructura secundaria de estas moléculas y fue dado por Watson y Crick en 1953. Actualmente, el ADN es considerado como una secuencia de nucleótidos caracterizada por la correspondencia de apareamiento entre las bases nitrogenadas que lo constituyen; no obstante que éste es el modelo más común, existen modalidades al respecto; anillos, una sola banda, etc. (Suzuki, 1986).

Lo actualmente se conoce como dogma genético, establece que la información almacenada en el ADN se expresa en forma de proteínas (estructurales y enzimáticas), mediante un código genético cuya naturaleza es degenerativa. Se han reconocido 20 aminoácidos, unidades que forman las proteínas, de tal manera que si cada aminoácido requiriera de un nucleótido, únicamente se formarían cuatro aminoácidos ( $4^1$ ); si se requirieran dos sería posible la formación de 16 ( $4^2$ ). En el mejor de estos casos, faltarían cuatro aminoácidos del conjunto conocido, por lo que en la actualidad se reconoce la intervención de tres nucleótidos (tripletes) para la formación de un aminoácido ( $4^3$ ), situación que nos da la posibilidad de formación de 64 aminoácidos, lo que permite reconocer que diferentes tripletes son capaces de codificar

para el mismo aminoácido (Nirenberg, citado por Hernández y Sosa, 1988).

Las mutaciones pueden ser dominantes o recesivas, siendo estas últimas las más comunes. La capacidad de una mutación para transformar un fenotipo en forma inmediata depende de la dominancia o recesividad del gene o genes mutados, del tipo de célula en que se presenta y la etapa por la cual pasa la célula. (Poehlman, 1965)

Las mutaciones dominantes de los genes generalmente producen un efecto inmediato en un individuo. En cambio en una mutación recesiva el efecto se manifiesta únicamente hasta que dos genes recesivos se unen en un individuo como resultado de segregaciones (Poehlman, 1965).

2.2.1. Mutaciones inducidas: Parra (1992) establece la siguiente Clasificación:

2.2.1.1. Mutaciones genómicas.

2.2.1.2. Mutaciones cromosomales.

2.2.1.2.1. Cambios de estructura o aberraciones

2.2.1.2.2. Cambios génicos.

2.2.1.3. Mutaciones extranucleares o citoplásmicas.

2.2.1.1. Mutaciones Genómicas:

Son los cambios en el número total de cromosomas característico de una especie, a lo que es lo mismo cambio en la ploidia de la especie. Cuando un organismo diploide es

tratado con un mutágeno, el genomio puede llegar a ser "doblado" resultando un tetraploide. Ahora bien, cuando el doblamiento es inducido en un diploide homocigótico, el tetraploide resultante es un autotetraploide; mientras que será llamado alotetraploide cuando el doblamiento se lleva a cabo en un diploide heterocigótico o un híbrido entre dos organismos genéticamente diferentes.

La adición o deleción de uno o más cromosomas en el genóma de un organismo, son también referidas como mutaciones genómicas; tales variaciones son aneuploides. Este tipo de suceso ocurre cuando un desigual número de cromosomas son distribuidos a gametos durante la división meiótica de la fase reproductiva.

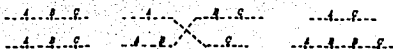
Cuando un solo cromosoma es perdido ( $2n-1$ ) el organismo resultante es llamado monosómico y cuando ocurre un cromosoma adicional ( $2n+1$ ) es llamado trisómico. Cuando dos cromosomas son perdidos ( $2n-2$ ) éstos es un nullisómico, mientras que la presencia de dos cromosomas adicionales ( $2n+2$ ) dá como resultado un tetrasómico.

#### 2.2.1.2. Mutaciones cromosomales:

2.2.1.2.1. Cambios de estructura o aberraciones, hay cuatro tipos:

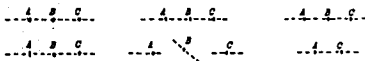
a) Adición. Esto es debido a la adición de un segmento

cromosómico de un cromosoma a otro normal.



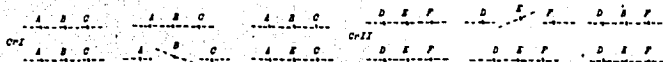
Rompimiento cromosómico, y cruzamiento entre cromátidas no hermanas.

b) Delección. Esto es la pérdida de un segmento de material genético de un cromosoma normal.

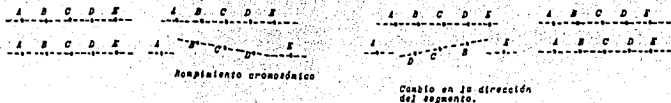


Rompimiento cromosómico y pérdida de un segmento.

c) Traslocación. Esto es el intercambio de un segmento de un cromosoma con el segmento de un cromosoma homólogo.



d) Inversión. Esto es un arreglo de un segmento de un cromosoma de forma contraria a un ordenamiento original.



#### 2.2.1.2.2. Cambios génicos o mutaciones génicas.

Son los cambios físicos o químicos en la estructura de los genes. Es a través de este tipo de mutación que ocurre un



cambio en la expresión de un carácter específico, el cual llega a ser estable y transmitido por herencia. Desde el punto de vista del fitomejorador esta es la mutación más importante para sus planes de generación de variabilidad. Existe una gran lista de ejemplos de este tipo de mutación que han dado lugar a variedades mejoradas de reconocida importancia, como es el caso de cientos de mutantes enanos de trigo y arroz, "los opacos" con alto contenido de lisina en maíz y sorgo, la semilla de colores ámbar en trigo con alto contenido de proteínas y particularmente lisina, etc.

#### 2.2.1.3. Mutaciones extranucleares.

Cualquier cambio repentino en la constitución citoplásmica de un organismo sin ningún cambio asociado en los cromosomas, es referido a una mutación extranuclear. Un ejemplo es el cambio de un citoplasma normal fértil a un citoplasma con efecto de esterilidad masculina, el cual ha dado origen a la identificación y utilización de la androesterilidad génico-citoplásmica (msc) en sorgo, mijo y maíz.

Gaul (1961) indica que fenotípicamente, la alteración de caracteres inducidos por mutaciones, pueden ser grandes o pequeños y las clasifica de la siguiente manera:

I. Macro-mutaciones. Son mutaciones grandes y drásticas, detectables en una sola planta:

a) Trans-específicos. Son mutaciones sistémicas de organización.

b) Intra-específicos. Es el tipo de mutación más común.

II. Micro-mutaciones. Son mutaciones pequeñas, detectables en un grupo de plantas:

a) Manifiestas. Son detectables si en el medio inalterado y en el fondo genético se aplican métodos adecuados de protección y observación.

b) Cripticas. No pueden ser reconocidas constantemente en un grupo grande de plantas, bajo condiciones normales de crecimiento.

2.2.2. Inducción de mutaciones; Parra 1992, establece la siguiente clasificación:

Una mutación puede ser inducida por la exposición del material biológico, usualmente semillas y plántulas, a cualquiera de los diferentes mutágenos, los cuales pueden ser:

a) Físicos.

b) Químicos.

### 2.2.2.1. Mutágenos físicos:

#### 1. Ionizantes

- a) Rayos alfa
- b) Rayos beta
- c) Rayos X
- d) Rayos gamma
- e) Neutrones

#### 2. No ionizantes

- a) Rayos ultravioleta

**Rayos alfa:** Son rayos radioactivos formados de dos protones y dos neutrones con una carga positiva, los cuales son emitidos principalmente por los isótopos de elementos pesados como el "radio" y el "plutonio", y cuando pasan a través de la materia provocan ionización. Tienen muy poco poder de penetración, principalmente causan aberraciones cromosómicas.

**Rayos beta:** Son rayos radioactivos con una carga negativa, son electrones de alta velocidad emitidos del núcleo de un átomo inestable. Tienen menos poder de ionización, pero mayor poder de penetración que los rayos alfa. Causan tanto aberraciones cromosómicas, como mutaciones génicas. El fósforo 32 ( $P^{32}$ ) y el azufre 35 ( $S^{35}$ ) son usados como fuentes de estos rayos.

**Rayos X:** Son radiaciones electromagnéticas que tienen

una longitud de onda mucho más corta que aquellos de la luz visible. La longitud de onda promedio de estos rayos es generalmente 0.5 grados A. Dan lugar a mutaciones genómicas y mutaciones génicas.

**Rayos gamma:** Son también radiaciones electromagnéticas, similares a los rayos X en sus características físicas y acción sobre los organismos. Son de longitud de onda muy corta y de mayor penetración. La mayoría de los rayos gamma tienen una longitud de onda de menos que 0.01 grados A, comparados contra 4,000 grados a 7,000 grados A de la luz visible y 0.5 grados A de los rayos X. Principalmente producen mutaciones génicas.

**Neutrones:** Son partículas eléctricamente neutras y sus efectos biológicos son debidos a la densidad o cantidad de ionización de los protones, los cuales pueden ser lentos o rápidos. Estos también causan mutaciones génicas. Mucho cuidado debe tenerse en el uso de estos rayos.

**Rayos ultravioleta:** Tienen muy bajo poder de penetración. Su uso es limitado a la irradiación de granos de polen o tejidos reproductivos. Esta radiación es aplicada con una lámpara de luz ultravioleta. Producen de igual manera aberraciones cromosómicas y mutaciones génicas.

Algunos radioisótopos son algunas veces aplicados de manera interna, esto quiere decir incorporados a los fluidos

de las plantas; los más comunes son el fósforo 32 ( $P^{32}$ ), el azufre 35 ( $S^{35}$ ) y el carbono 14 ( $C^{14}$ ). Sustancia como la tiamidina ha sido tratada con estos radioisótopos y han tenido bastante interés porque se concentran de forma selectiva en los cromosomas.

#### 2.2.2.2. Mutágenos químicos:

1. Análogos de base.
2. Antibióticos.
3. Agentes alquilantes.

##### Análogos de base:

- a) 5-bromo-uracil (tiamina)
- b) 2-amino-purina (adenina).

##### Antibióticos:

- a) Estreptonigrin.

##### Agentes alquilantes:

- a) Amino etileno.
- b) Etil metano sulfonato (EMS).
- c) Propil metano sulfonato.
- d) Dietil sulfato (DES).
- e) Dimetil sulfato (DMS)
- f) Butil metil sulfonato.
- g) Nitroso metil urea (NMU).
- h) Hidroxil amina.
- i) Acido nitroso.
- j) Gas mostaza.

### 2.2.3. Material Genético a ser Tratado con Agentes Físicos.

Las diversas partes de la planta que pueden ser tratados con fines de mejoramiento, ya sea con agentes mutagénicos físicos o químicos, son: semillas secas o germinadas, varetas, tubérculos, bulbos, granos de polen, raíces y la planta misma. Las semillas son las más frecuentemente usadas, por su fácil manejo; principalmente en función del tipo de fuentes de irradiación estacionarias como son el "Gammacell 220" y el "Triga Mark III" con que cuenta el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) (Parra, 1992).

En el tratamiento con radiación ionizante, es muy importante el contenido de la humedad de la semilla, ya que es sobre los iones hidrógeno donde ocurren las excitaciones o ionizaciones que a su vez producen o inician reacciones químicas en intervalos muy cortos de tiempo (<1 seg.). Los cambios químicos producidos son obviamente los que producen alteraciones biológicas. El efecto neto producido por la radiación ionizante es principalmente función de la dosis, o sea la cantidad de energía absorbida por unidad de masa del material absorbente (Parra, 1992).

Los efectos primarios después de un tratamiento mutagénico son tanto genéticos como fisiológicos. Los "primeros" efectos aparecen alterando el crecimiento inicial

del tamaño y forma de las hojas, textura del peciolo, deformación de hojas, bifurcación del tallo, deficiencia clorofílica y manchas (Donini, 1992. Lect. 2).

También afectan los retoños o renuevos en la reducción de su crecimiento; deformación, bifurcación, exceso de nudos, etc. (Gunkel, 1957).

Los primeros efectos pueden dar información útil observando la estructura de los brotes y número de los primordios (tanto a hojas y yemas axilares) ya presentes en el material tratado (Pratt, 1963; Hough et. al. 1965; Katagiri, 1982).

A lo largo del crecimiento de vástagos, los primeros efectos son mayormente detectados en la parte inferior, mientras que en la parte superior esos efectos desaparecen.

2.2.4. Efectos Inmediatos en M1, de Acuerdo a Ichikawa (1975).

Efectos generales biológicos de las radiaciones:

Efectos observables en la generación M1.

2.2.4.1. A nivel génico.

Mutaciones somáticas, observables como sectores mutantes, bandas mutantes, mutaciones en yemas. Más

frecuentemente observables con materiales heterocigóticos para caracteres específicos.

#### 2.2.4.2. A nivel cromosómico.

Aberraciones cromosómicas en células somáticas y generativas.

a) Cambios estructurales de cromosomas. Fragmentos acéntricos, cromosomas dicéntricos (forman puentes en anafase), anillos cromosómicos, deficiencias, cromosomas holocéntricos, traslocaciones, inversiones, etc.

b) Aneuploidia. Disminuye o aumenta el número de cromosomas.

c) Poliploidia. Ocurre raramente.

#### 2.2.4.3. A nivel celular.

Inhibición de la división celular: Pérdida completa de la habilidad divisoria, mitosis tardía. Extensión de la duración del ciclo celular.

Anormalidades fisiológicas de las células: Células gigantes, pequeñas, deformes. A menudo correlacionado con la pérdida de la habilidad divisoria.

Diferencias anormales de células: Diferenciación falsa,



desaparición de la diferenciación y restauración de la habilidad meristemática, formación de células cancerosas o tumores.

2.2.4.4. A nivel de tejido o de órganos.

Inhibición de desarrollo.

Desarrollo anormal.

Reducción en el funcionamiento.

2.2.4.5. A nivel de cuerpo (vegetal o animal).

Inhibición de crecimiento.

Anormalidades fisiológicos.

Esterilidad.

Letalidad.

Otros efectos posteriores.

Inducción de cáncer.

2.2.4.6. A nivel de población.

Decrecimiento de la habilidad reproductiva.

Decrece el promedio de fertilidad.

Decremento de la actividad fisiológica total.

2.2.4.7. A nivel de ecosistema.

Pérdida de balance o equilibrio entre especies, debido a radiosensibilidad diferencial.

Cambio en la fase ecológica.

### 2.3. RADIACION

La radiación se define como el fenómeno de la emisión y propagación de la energía en el espacio a través de la materia (Robles, 1971; White, 1965).

Asimismo, Robles (1971) menciona que todas las radiaciones, empezando desde las ondas de radio hasta los rayos cósmicos, viajan a la velocidad de la luz, difiriendo solamente en la amplitud y frecuencia de las mismas; no así las partículas alfa, electrones, protones y otras que viajan según el gradiente potencial existente.

#### 2.3.1. Tipos de Radiación.

Por su manera de actuar las radiaciones inductoras de mutaciones pueden dividirse en: ionizantes y no ionizantes (Robles, 1971). Siendo las radiaciones ionizantes las de mayor interés para los trabajos de investigación agrícola.

#### Radiaciones ionizantes.

Burke (1971) y Winchester (1977) dicen que al referirnos a cualquier forma de energía como rayos luminosos, ondas de radio, ultravioleta, etc., estamos citando las radiaciones de alta energía, debido a la gran cantidad de energía que encierran.

También se les ha denominado radiaciones ionizantes

debido a que producen iones en la materia que atraviesan. Se pueden dividir en dos tipos:

a) Tipo de radiaciones electromagnéticas (ondas).

Entre éstas las más importantes son los rayos gamma y los rayos X, que se presentan en forma de onda corta y de alta energía estando además la luz ultravioleta, rayos infrarrojos y ondas de radio.

b) El segundo se les denomina como radiaciones particuladas por presentarse en forma de partículas subatómicas que son emitidas por átomos de alta energía (partículas alfa, beta, neutrones, protones y núcleos pesados).

### 2.3.2. Mecanismo de Acción de los Rayos Gamma.

Los rayos gamma son radiaciones electromagnéticas emitidas por los núcleos atómicos durante ciertas transformaciones nucleares. Se producen cuando el núcleo inestable se vuelve estable por la liberación de energía (Burke, 1971).

Arreaza (1976) citando a Blanchar (1966) dice que la emisión gamma pura es un fenómeno desconocido, pues en la radioactividad natural generalmente va acompañada por desintegración de partículas alfa o beta.

### 2.3.3. Unidades Radiactivas.

Burke (1976) indica que la medición de la radiación involucra la intensidad de la fuente, el efecto acumulativo sobre el sustrato y la velocidad a la cual es llevado el efecto; entre las unidades más comunes para la medición de las radiaciones se encuentran las siguientes:

R (roentgen). Es la unidad de exposición a los rayos X o gamma, basada sobre la ionización que estos rayos producen en el aire.

r (rad). Es una unidad de dosis absorbida para cualquier radiación ionizante. Un rad corresponde a la absorción de 100 ergios por gramo de cualquier sustancia, siendo ésta de mayor aplicación por estimar la energía absorbida y no emitida como en el caso de R.

Un ergio es una unidad de trabajo aplicable también a la energía, equivale a una dina por centímetro (Shite, 1965).

Una dina es una fuerza que aplicada a una masa de 1 gr le produce una aceleración de 1 cm/seg.

Kilorad (Krad). Es igual a 1000 rads (Robles, 1971).

Remm. Unidad equivalente de dosis, numéricamente igual a la dosis en rad, multiplicada por factores modificantes apropiados como RBE o DF, donde:

RBE es la eficiencia biológica radiactiva y DF es el factor de distribución de dosis.

Ci (Curie). Es la unidad de actividad de un núcleo radiactivo.

Gray (g). Unidad de medida equivalente a 100 rads.

#### 2.3.4. Radiosensibilidad del Material y Dosis de Irradiación Apropriada por Aplicar.

En genética y mejoramiento de plantas la irradiación es la exposición de semilla, polen y otros órganos de las plantas a los rayos gamma, o a otras fuentes de radiaciones, para aumentar las probabilidades de mutación (Robles, 1973).

Entre especies, variedades o cultivo de plantas propagadas vegetativamente hay respuesta diferente a los mutágenos físicos y químicos, o de diferente manera ellos muestran diversos grados de resistencia: más radorresistencia o más radiosensibles. Es por eso que se debe establecer la concentración de dosis apropiada. Sin embargo una prueba preliminar con diversas dosis tiene que ser realizada, con un cierto número de mutágenos físicos o distintas concentraciones de mutágenos químicos que nos permitan establecer varias dosis de tratamiento (Donini, 1992 lect. 2).

Para cada dosis un número de cincuenta esquejes, varetas, semillas o de otro tipo de material son necesarios. Al igual que un número de material controlado para hacer posible una comparación entre material irradiado y no irradiado.

Parámetros tales como, inhibición del crecimiento de retoños o reducción del largo de los mismos, así como el número o tamaño de manchas en las hojas, la medida de proliferación de renuevos y todo tipo de mutaciones somáticas observables son usadas para estudios de radiosensibilidad. De los 30 a los 60 días, después del tratamiento se manifiestan cambios morfológicos en el material. La(s) dosis del efecto que se estudie o investigue puede ser entonces establecida (Donini, 1992 lect. 2).

#### 2.4. TECNICAS DE MUTAGENESIS

El fitomejoramiento mediante mutagénesis se realiza en la mayoría de los Estados miembros del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Su desarrollo ha presentado altas y bajas en los distintos países que lo practican; sin embargo, no hay duda de que esta metodología ha dejado de ser considerada como una mera curiosidad académica. Se puede establecer que la metodología en cuestión, actualmente ni se subestima ni se sobreestima, sino que ha quedado ubicada como una herramienta más en la lucha

del género humano por establecer variedades con mejores características agronómicas (Hernández y Sosa, 1988).

La figura 2 muestra un esquema general de la liberación comercial de una variedad perteneciente a una especie autógena (que sólo acepta su propio polen para ser fecundada), (Hernández y Sosa, 1988).

Dentro de las ventajas que se encuentran en el uso de mutágenos en fitomejoramiento, se pueden citar los siguientes:

- La posibilidad de lograr cambios heredables en una o dos características de relevancia agronómica, sin modificar grandemente el resto de la dotación hereditaria del individuo (genotipo). Este aspecto contrasta con la metodología convencional, en donde los productos de la hibridación se caracterizan por una amplia gama en cuanto a combinaciones de caracteres agronómicos. De esta manera, la mejora genética mediante mutágenos exige el uso de variedades plenamente adaptadas en una región a las que es necesario modificar una o más características.

- Los mutantes seleccionados que no lleguen a constituirse en nuevas variedades por razones diversas, pueden ser involucrados en los programas tradicionales de mejoramiento. Actualmente, parece ser que ésta es una de las tendencias más evidentes en la metodología que nos ocupa.

- La efectividad de la metodología tiende a ser igual, tanto para caracteres cualitativos como cuantitativos, siempre y cuando se usen los métodos de selección pertinentes.

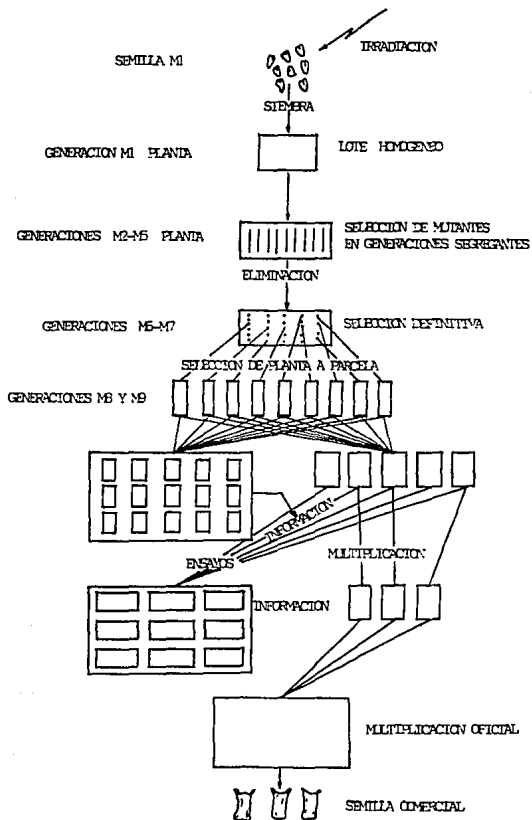
- El beneficio sobre el uso de mutágenos físicos puede ser indirecto, ya que la frecuencia de procesos tales como crossing-over (considerado como fuente de variabilidad genética) puede ser aumentada considerablemente. Por otro lado, fenómenos como la esterilidad por autocompatibilidad pueden ser rotos mediante el uso de mutágenos físicos. Aún más, especies de importancia agronómica, están sujetas a la producción de embriones somáticos (apomícticos), donde la variabilidad genética, al ser nula, estabiliza al cultivo cronológicamente. Existe evidencia que el uso de mutágenos físicos es capaz de modificar esta situación (Scossiroli, 1977). Por último, no se puede dejar de citar la potencialidad que guarda la androesterilidad citoplásmica inducida con irradiación gamma y otros mutágenos, en la producción de híbridos comerciales (Parra 1982 citado por Hernández y Sosa, 1988).

#### 2.4.1. Terminología de Mutagénesis.

La terminología de mutagénesis es descrita por Parra (1922) de la siguiente manera:



**Figura 2. Esquema sobre el mejoramiento genético en plantas autogamas mediante mutagénesis**



Fuente: Hernández y Sosa, 1988.

### Semilla M0.

A las semillas o material biológico por irradiar se le conoce como M0. Las plantas de donde provienen deben ser homocigóticas con al menos dos ciclos anteriores de autofecundación de tal modo que no sean variables o segregen, porque cómo puede atribuirse un cambio al tratamiento mutagénico si la semilla original ya por sí sola trae modificaciones en su contenido genético.

### Semilla M1.

Una vez irradiada la semilla, se le da el nombre de M1 o primera generación semilla. Esta debe sembrarse a la mayor brevedad posible ya que dado que es tratada está sufriendo efectos radiobiológicos, que a mayor paso del tiempo pueden ser perjudiciales.

### Planta M1.

Son las plantas desarrolladas en campo o invernadero producto de la semilla M1. A estas plantas se les conoce como "quiméricas" a causa de que los embriones irradiados por lo general están formados por varias células y sólo algunas o parte de algunas son ionizadas, de esta manera es común que sólo una porción de células diferenciadas de la parte de una planta, por ejemplo una inflorescencia, lleven una mutación y en este caso sólo una pequeña proporción de descendientes en

la siguiente generación tendrán la mutación en su expresión fonotípica. Dicho de otra manera, hablando de la inflorescencia (panoja, espigas, mazorcas, vainas) de las plantas M1, éstas son heterocigóticas para una mutación, esto es, cada una de las flores de una misma planta M1 es en muchos casos genotípicamente independiente de otras; por lo tanto en el caso de una mutación mendeliana recesiva, la "segregación" de mutantes en progene M2, son usualmente menores del 25 porciento esperado.

Uno de los conceptos más arraigados y erróneos en el ámbito del fitomejoramiento es que la radiación ionizante puede "crear nuevas variedades" en la primera generación después del tratamiento mutagénico; actualmente existe suficiente información bibliográfica para clarificar las diferencias entre lo que son efectos radiobiológicos y mutaciones; aceptándose que invariablemente debe pasar de una quimera a ser un caracter mutado y por lo tanto heredable el cambio fenotípico observado.

Además queda claro el efecto detrimental y deletéreo del tratamiento mutagénico, provocando sólo en algunos casos y probablemente como respuesta a la extinción, cambios positivos, los cuales precisamente hacen de gran interés esta técnica. En la M1 planta generalmente no se practica ningún tipo de selección, sino que se hace que participen el mayor número de individuos para la siguiente generación.

### Semilla M2.

Es el producto de las plantas M1 y es la primera generación con variabilidad inducida en donde pueden empezar a aparecer mutantes respecto a características del grano, como color, forma, etc.. Debe quedar claro que la facilidad o dificultad para conservar una mutación dependerá del tipo de carácter en que ocurra, considerando si es cualitativo o cuantitativo y su tipo de herencia.

### Planta M2.

Desde el punto de vista de la generación de variabilidad genética mediante el uso de esta técnica de mutagénesis, la generación de plantas M2 o segunda generación de plantas después del tratamiento mutagénico, es una de las más importantes. La razón es que empieza aquí a aparecer la variabilidad debido a cambios en la expresión fenotípica de las plantas, que pueden ser heredables y que por lo tanto caen en lo que definimos como mutaciones. Generalmente los caracteres en los cuales se expresan mutaciones en esta generación son los de herencia menos compleja, los que no necesitan efectos acumulativos para expresarse fenotípicamente.

2.4.2. Selección de Mutantes inducidos en plantas propagadas por semilla; de acuerdo a Pérez y Barrera, 1992.

## Selección de progenitores y manejo de la generación M1.

### 2.4.2.1. Selección de variedades para mejoramiento por mutaciones.

Para tener éxito en un programa de mejoramiento por medio de mutaciones se deben definir claramente los objetivos que se quieren lograr.

Generalmente son:

a) Mejorar una o unas pocas características específicas de una variedad o una línea (Ejem.: Garbanzo-rabia; Chile-virosis).

b) Inducir un marcador morfológico (Ejem.: color, pubescencia).

c) Inducir esterilidad masculina y/o restauración de la fertilidad.

d) Obtener mutantes de herencia simple dentro de una variedad adaptada (recombinar; para irradiar).

### 2.4.2.2. Criterios de selección.

Al llevar a cabo la selección de la variedad en la cual se inducirán las mutaciones, el mejorador debe considerar:

a) Reducir la probabilidad de introducir variabilidad debida a mezclas y a cruzas externas.

b) Se debe utilizar como variedad progenitora:

b.1. Un cultivar liberado recientemente.

b.2. Una línea avanzada próxima a ser liberada.

b.3. Una variedad recientemente introducida, pero que tiene alguna pequeña limitante (Ejem.: acame, susceptibilidad a alguna enfermedad, plaga, herbicida, presencia de color, de ciclo precoz o tardío, planta alta o baja).

2.4.2.3. Manejo de la generación M1.

a) Pruebas de invernadero y en laboratorio.

Se deben hacer experimentos en invernadero para ver los efectos radiobiológicos, y así seleccionar las mejores dosis para campo.

b) Población testigo:

Se usa para dos propósitos:

b.1. Para comparar los efectos radiobiológicos en la generación M1, con respecto a germinación, vigor, supervivencia, etc.

b.2. Para tener semilla nueva M0 para el siguiente ciclo (M2).

c) Agentes mutagénicos, dosis y repeticiones:

Se recomienda utilizar tres dosis, más un testigo.

Se aconseja probar dos clases de mutágenos.

La dosis de mutágenos que se evalúen deberán ser 20% más altas y 20% más bajas que las encontradas en laboratorio y/o invernadero.

d) Tamaño de la población en la generación M1:

Asumiendo un 90% de probabilidad de éxito en obtener un mutante, que ocurre con una frecuencia de  $1 \times 10^{-3}$  unidades de prueba (Ejem.: espiga, fruto, rama), y que se espera que cada planta que se desarrolla produzca tres unidades, la cantidad a semilla a tratar si la M1 tiene una sobrevivencia del 80% es de alrededor de 600 semillas.

Sin embargo debido a los errores al estimar la frecuencia de la mutación deseada, no hay seguridad para predecir la sobrevivencia de la M1, la severidad del tratamiento, etc., por lo cual se recomienda usar 10 veces más de semilla a tratar, para asegurar que estará disponible una adecuada población para el tamizado (screening).

2.4.2.4. Siembra de las semillas:

a) Condiciones del campo:

Estas deben ser óptimas para no interferir con los

efectos del mutágeno.

b) Epoca de siembra:

Se debe realizar la siembra en la óptima recomendada para la región; sin embargo, se puede modificar para el control de polinización, etc.

c) Condición de la semilla tratada:

c.1. Semillas secas (fácil siembra, se puede almacenar).

c.2. Semillas húmedas o hidratadas (difícil siembra, no se pueden almacenar).

d) Densidad de siembra:

d.1. 3 a 4 macollos en gramíneas.

d.2. Al rameado primario en leguminosas de grano y en dicotiledoneas.

e) Control de maleza:

Se debe usar un terreno no asemillado, usar herbicidas no 2,4D.



#### 2.4.2.5. Aislamiento del material M1.

Evita la mezcla y la cruza con otros materiales.

Con esto se asegura que la variabilidad genética presente sea la inducida con el tratamiento mutagénico.

a) Métodos de aislamiento en la M1.

a.1. Espacio: Cereales (75-100 m), (algunas leguminosas > 100).

a.2. Tiempo. Pueden hacerse siembras más tardías.

a.3. Genéticos: Se pueden poner materiales que al observar la M2 o M3 se pueda verificar si hubo cruzamiento.

a.4. Mecánicos: Se deben tapar con bolsas de papel (Ejem.: sorgo, trigo, etc.) si la polinización es por insectos, la M1 se debe desarrollar en invernadero.

#### 2.4.2.6. Cosecha de la M1.

a) Métodos de macollo, rama o progenie por planta.

En los macollos y ramas primarias es más factible que se presenten los mutantes.

b) Método masivo de semilla simple o múltiple.

Simple: A partir de un fruto, espiga, etc. (se debe usar una semilla de cada fruto o espiga).

Múltiple: A partir de más de un fruto, espigas, etc. (se debe usar el mismo número de semillas de los frutos o espigas).

c) Métodos masivos.

Estos se usan si el costo de la tierra y la mecanización son más baratos que la mano de obra requerida para otras operaciones.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. LOCALIZACION GEOGRAFICA

El trabajo que cubre la etapa experimental de este proyecto, fue realizado dentro de las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (F.E.S.-C.), ubicada en la cuenca del Valle de México, al este de la cabecera del Municipio de Cuautitlán, Edo. de México. El Municipio de Cuautitlán se extiende aproximadamente entre los 99 grados 37' y 99 grados 45' de latitud norte y entre los 99 grados 07' y los 99 grados 14' de longitud oeste. La altitud media que se reporta para el área de estudio es de 2250 metros sobre el nivel del mar.

#### 3.2. CLIMATOLOGIA

De acuerdo al sistema de Köppen modificado por García, el clima en la región de Cuautitlán corresponde al C(Wo) (w) b(1') templado, el más seco de los subhúmedos, con régimen de lluvias de verano y seco invierno (menos de 5% de la precipitación anual) con verano largo y fresco y temperatura extremosa con respecto a su oscilación.

#### 3.3. GENOTIPOS UTILIZADOS

La Línea CP-7 (Amaranthus hypochondriacus) liberada y proporcionada por el Colegio de Postgraduados, Montecillos

México; y semilla criolla proveniente del Edo. de Puebla (Amaranthus cruentus).

El área destinada para la plantación del amaranto constó de 1500 m<sup>2</sup> correspondientes a la parcela número 19; estableciéndose en el ciclo agrícola primavera-verano de 1991 bajo condiciones de temporal con punta de riego (Figura 3).

#### 3.4. METODOLOGIA

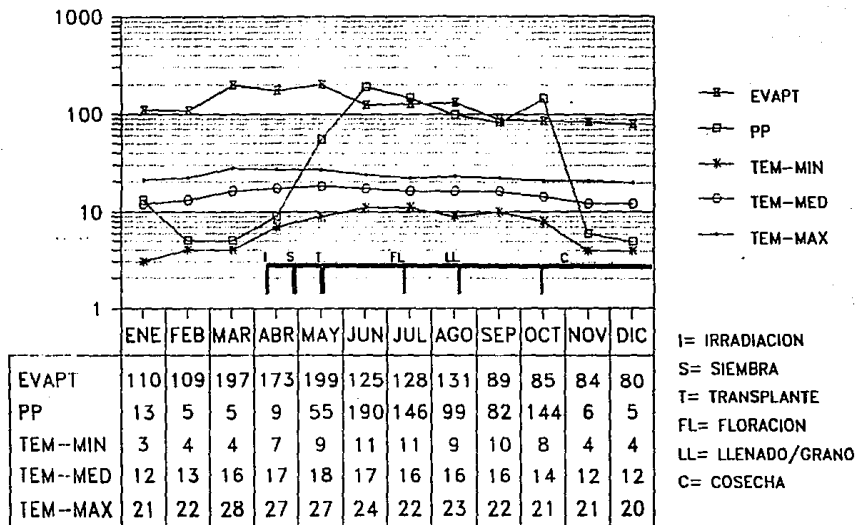
El primer paso fue la irradiación de la semilla de los genotipos de amaranto (5 abril 1991), utilizando como fuente de irradiación el Gammacell 220; servicio proporcionado y asesorado por el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

Se seleccionaron seis dosis de la siguiente manera: dos bajas, 2.5 y 5 Krad; dos medias, 10 y 20 Krad; y dos altas 35 y 50 Krad; establecidas de acuerdo a anteriores trabajos de dosimetría (Cuadro 2), contando ambos tipos de semilla con testigo.

Posteriormente fue necesario realizar una prueba de germinación en laboratorio de ambos materiales y para cada dosis, con el objeto de determinar la viabilidad de los mismos.

La cantidad de semilla disponible, así como las

Figura 3. ESTACION DE CRECIMIENTO DE AMARANTO (SPP) EN EL CICLO PV DE 1991 EN CIJAUTITLAN, MEX.



**Cuadro 2. Genotipos de amaranto utilizados y tiempo de exposición en " Gammacell 220 " para obtener cada tratamiento.**

Genotipos	Tratamientos	Tiempo de exposición en Gammacell 220 (min)
Línea CP-7	Testigo	0
	2.5 Krad	1'20''
	5.0 Krad	2'41''
	10.0 Krad	5'22''
	20.0 Krad	10'44''
	35.0 Krad	18'07''
Criollo	50.0 Krad	26'08''
	Testigo	0
	2.5 Krad	1'20''
	5.0 Krad	2'41''
	10.0 Krad	5'22''
	20.0 Krad	10'44''
	35.0 Krad	18'07''
50.0 Krad	26'08''	

**Servicio proporcionado y asesorado por el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares; Salazar Méx.**

características del modelo experimental determinaron el establecimiento de un almácigo, en el cual las plantas permanecieron hasta su trasplante, después de 30 días. El trasplante se concluyó al cabo de nueve días, proporcionando en éstos los riegos pertinentes, además de las labores culturales necesarias.

### 3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental empleado fue el de parcelas divididas con bloques completamente al azar, ya que permitió evaluar en este caso dos factores: Diferentes dosis de irradiación en dos genotipos. De esta forma se obtuvieron 56 unidades experimentales en total; o sea las seis dosis manejadas en los dos tipos de semilla y testigos, con cuatro repeticiones cada tratamiento y testigos.

### 3.6. VARIABLES EVALUADAS

Las variables consideradas para evaluar fueron:

#### 3.6.1. Tiempo y Porcentaje para Prueba de Germinación.

Una vez puestas las semillas a germinar se realizaron conteos de las germinadas de cada tratamiento y testigos a intervalos de 24 horas hasta que el número de éstas llegó a ser constante y así determinar por ciento de germinación, esta práctica fue tanto en laboratorio como en el almácigo.

### 3.6.2. Componentes Morfológicos de Rendimiento.

Dichos componentes del rendimiento fueron registrados de manera individual para cada tratamiento y testigos.

#### 3.6.2.1. Longitud de planta.

Se midió en cm, considerando toda la parte aérea de la planta. La medición se realizó cada 7 días a partir del trasplante hasta llegar a una altura constante.

#### 3.6.2.2. Diámetro de tallo.

Se midió en cm con bernier, considerando 20 cm a partir del suelo al momento de cosechar las plantas.

#### 3.6.2.3. Longitud de panoja.

Se midió en cm desde la base de la inflorescencia hasta la punta, al momento de la cosecha.

#### 3.6.2.4. Peso fresco de planta.

Se determinó en gr con balanza granataria, pesando toda y cada una de las plantas al momento de ser cosechadas.

#### 3.6.2.5. Peso seco de planta.

Se obtuvo en gr para cada una de las plantas, cuando



éstas estuvieron totalmente deshidratadas y con peso constante.

#### 3.6.2.6. Rendimiento de grano.

Se tomó en gr y se refiere a la cantidad de grano total obtenido por cada unidad experimental.

Otro parámetro importante considerado aparte de los morfológicos es el de sobrevivencia de plantas, que se refiere al porcentaje de plantas vivas hasta quince días antes de su cosecha, entre el total de plantas (25) de cada unidad experimental.

### 3.7. ANALISIS ESTADISTICO

Las pruebas estadísticas empleadas para llegar al análisis de resultados fueron: El análisis de varianza y la prueba de comparación de medias (Tukey al 5%).

#### IV. RESULTADOS

##### 4.1. PRUEBA DE GERMINACION EN LABORATORIO

En el caso de la Línea CP-7 los resultados obtenidos (Figura 4) no muestran diferencias amplias entre sí, logrando todos los tratamientos valores por arriba del 90 por ciento de germinación.

En el material criollo los resultados muestran que entre testigo y las dosis 2.5 y 10 Krad no hay diferencia desfavorable en germinación, desfasándose sólo en forma negativa los tratamientos de 20 y 35 Krad con el 38% de germinación, y en menor proporción el tratamiento de 50 Krad (50%) tal como lo muestra la Figura 4; el tratamiento de 5 Krad es el que presenta resultados de germinación por arriba del 80% superando el 60% correspondiente al testigo.

Estos porcentajes se lograron después de una semana de realizada la siembra bajo condiciones controladas.

##### 4.2. PRUEBA DE GERMINACION EN ALMACIGO

En el caso de los tratamientos 2.5, 5 y 10 Krad en la Línea CP-7, la respuesta de germinación en comparación con el testigo no varía, marcando el 100% en los cuatro casos; siendo que, a partir de los 20 Krad el poder germinativo de las semillas se vió afectado, marcando solamente el 60%

(Figura 5).

El testigo de la semilla criolla alcanzó un 50% de germinación, porcentaje que se registró también en las dosis de 2.5 y 20 Krad (Figura 5). Los tratamientos 5 y 10 Krad fueron los que sobresalieron en comparación con el testigo obteniendo 70 y 60% respectivamente. Las dosis altas afectaron la viabilidad del genotipo criollo en gran medida registrando solamente 30% en el tratamiento de 35 Krad y 18% en el de 50 Krad.

#### 4.3. ANALISIS DE VARIANZA

Para análisis estadísticos precisos fue necesario prescindir de los tratamientos más elevados (35 y 50 Krad) en ambos genotipos, ya que no eran representativos debido a los altos porcentajes de mortandad que se presentaron en su población, quedando demostrado que dichas dosis son letales en esta especie en específico.

En el Cuadro 3 se presentan los cuadrados medios y coeficientes de variación de los genotipos y tratamientos, así como la interacción de los mismos para cada una de las variables estudiadas en el amaranto.

En el experimento se puede observar que en la mayoría de las variables analizadas no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los genotipos, a excepción,

de la variable altura de planta, para la cual se apreció diferencia estadística.

En el caso de los tratamientos se obtuvieron diferencias significativas en tres de las variables estudiadas, siendo éstas: altura de planta, diámetro de tallo y peso seco de planta. En la interacción entre genotipos y tratamientos los resultados no muestran significancia estadística alguna en las variables.

Los coeficientes de variación para los componentes de rendimiento evaluados oscilaron desde el 14.04% en la variable diámetro de tallo hasta, el 45.88% en el peso de grano.

#### 4.4. PRUEBA DE COMPARACION DE MEDIAS

##### 4.4.1. Genotipos.

En el Cuadro 4 se presentan la comparación de medias entre genotipos.

La Prueba de comparación de medias (Tukey 5%) para la altura de planta en el experimento, definió que fue el único componente en que se encontró diferencia estadística entre genotipos; teniendo así en la Línea CP-7, una altura de planta (160.07 cm) mucho mayor que en el genotipo criollo (99.81 cm); sin embargo en el rendimiento total de grano no

Figura 4. PORCENTAJE DE GERMINACION EN LABORATORIO

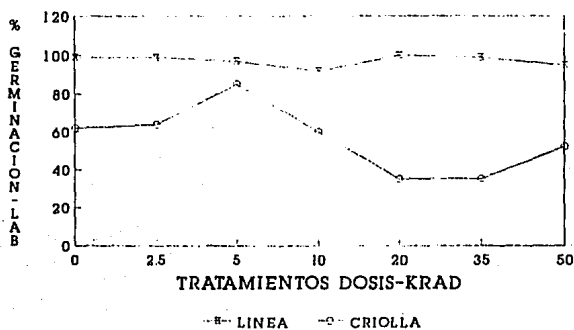
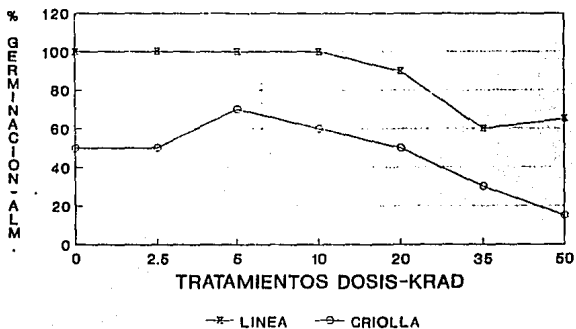


Figura 5. PORCENTAJE DE GERMINACION ALMACIGO



parece ser determinante dicha variable.

Refiriéndonos en cuanto a la comparación de medias del diámetro de tallo, longitud de panoja, pesos fresco y seco de planta y peso de grano, ambos genotipos son determinados como estadísticamente iguales (Cuadro 4).

#### 4.4.2. Tratamientos.

En la comparación de medidas en la variable altura de planta se puede observar (Cuadro 5), que los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos 2.5 Krad con 141.57 cm y 5 Krad con 142.75 cm superando al testigo (128.13 cm ), determinándose así estadísticamente diferentes.

Con respecto a los promedios del diámetro de tallo, los tratamientos que resultaron ser diferentes fueron las dosis de 5 Krad (2.44 cm ) y 10 Krad (2.36 cm ) que rebasaron el 1.89 cm obtenido por el testigo (Cuadro 5).

En las variables largo de panoja, peso fresco de planta y peso de grano todos los tratamientos son estadísticamente iguales (Cuadro 5), no obstante que los promedios alcanzados en estos componentes varían entre sí, incluso superando al testigo.

Sin embargo, la prueba de comparación de medias para el peso seco de planta (Cuadro 5) los tratamientos de 5 y 10

Krad registran la diferencia estadística, obteniendo 465.42 y 391.21 gr respectivamente, superando al testigo (259.13 gr ).

#### 4.4.3. Interacción Genotipos X Tratamientos.

En el Cuadro 6 se presentan los datos de la interacción genotipos X tratamientos.

Refiriéndonos primero a la Línea CP-7, la comparación de medias de esta interacción muestra que el tratamiento de 2.5 Krad fue el mejor en las variables altura de planta (180.50 cm ) y peso de grano (75.92 gr ), las cuales superaron al testigo.

Para las variables diámetro de tallo y largo de panoja en la misma Línea CP-7 la dosis de 10 Krad obtuvo los promedios más altos, 2.36 cm y 80.54 cm respectivamente, el testigo reportó 2.07 cm en el diámetro de tallo y 64.07 cm en la longitud de panoja.

El tratamiento de 5 Krad en la Línea CP-7 sobresalió en las variables de peso fresco y seco de planta, con 1046.890 gr para el primero y 391.23 para el segundo, dejando así también por debajo al testigo (670.50 y 273.10 gr respectivamente).

En el genotipo criollo los mejores resultados fueron

**Cuadro 3. Cuadrados medios, significancia estadística y coeficiente de variación en las variables evaluadas de los dos genotipos, criollo y Línea CP-7.**

VARIABLES	GENOTIPOS	TRATAMIENTOS	INTERACCION GEN.X TRAT.	C.V. (%)
Altura pta.	36308.450 *	1946.36 *	756.88 NS	18.58
Diám. tallo	0.06561 NS	0.56370 *	0.18232 NS	14.04
Long. panoja	429.614 NS	528.229 NS	127.162 NS	24.03
Peso fresco pta.	300668.664 NS	474507.752 NS	77562.292 NS	45.01
Peso seco pta.	13070.032 NS	74138.702 *	11227.324 NS	37.58
Peso de grano	30.1716 NS	1965.959 NS	989.599 NS	45.88

\* SIGNIFICATIVO (0.05)  
NS NO SIGNIFICATIVO

**Cuadro 4. Comparación de medias para diferentes variables evaluadas en dos genotipos de amaranto.**

GENOTIPO	ALTURA DE PLANTA (cm)	DIAMETRO DE TALLO (cm)	LONGITUD DE PANOJA (cm)	PESO FRESCO DE PLANTA (gr)	PESO SECO DE PLANTA (gr)	PESO DE GRANO (gr)
LÍNEA CP-7	160.071 A	2.210 A	70.193 A	881.03 A	327.432 A	61.022 A
CRIOULLO	99.815 B	2.129 A	76.747 A	1054.43 A	363.585 A	59.285 A

PROMEDIOS CON LA MISMA LETRA SON ESTADÍSTICAMENTE IGUALES.  
TUKEY ( $P \leq 0.05$ )



Cuadro 5. Comparación de medias para diferentes variables en cuatro tratamientos.

TRATAMIENTO	ALTURA DE PLANTA (cm)	DIAMETRO DE TALLO (cm)	LONGITUD DE PANOJA (cm)	PESO FRESCO DE PLANTA (gr)	PESO SECO DE PLANTA (gr)	PESO DE GRANO (gr)
TESTIGO	128.135 BA	1.890 B	64.054 A	595.357 A	259.133 B	53.310 A
2.5 Krad	141.575 A	2.266 BA	76.440 A	1009.673 A	376.593 BA	72.305 A
5.0 Krad	142.750 A	2.444 A	79.860 A	1206.268 A	465.423 A	79.437 A
10.0 Krad	133.025 BA	2.365 A	81.430 A	1147.308 A	391.217 A	55.415 A
20.0 Krad	104.231 B	1.885 B	65.562 A	880.071 A	235.175 B	40.300 A

Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales.  
Tukey ( $P \leq 0.05$ )

Cuadro 6. Comparación de medias para la interacción genotipo X tratamientos de diferentes variables.

GENOTIPO	TRATAMIENTO	ALTURA DE PLANTA (cm)	DIAMETRO DE TALLO (cm)	LONGITUD DE PANOJA (cm)	PESO FRESCO DE PLANTA (gr)	PESO SECO DE PLANTA (gr)	PESO DE GRANO (gr)
Línea CP-7	Testigo	157.42	2.070	64.077	670.502	273.107	57.950
	2.5 Krad	180.50	2.167	69.702	868.372	349.020	75.925
	5.0 Krad	161.75	2.350	71.435	1046.890	391.737	64.225
	10.0 Krad	174.00	2.360	80.547	1000.162	370.110	70.247
	20.0 Krad	126.68	2.105	65.202	819.257	253.687	31.762
Criollo	Testigo	98.85	1.710	64.040	520.212	245.160	46.670
	2.5 Krad	102.65	2.365	83.177	1150.975	404.167	68.685
	5.0 Krad	123.75	2.537	88.285	1365.647	539.610	94.650
	10.0 Krad	92.05	2.370	82.312	1294.455	412.325	40.582
	20.0 Krad	81.77	1.660	65.922	940.885	216.662	43.837

obtenidos por el tratamiento de 5 Krad, el cual en todas las variables estudiadas supera a los demás tratamientos incluyendo al testigo.

Comparando los promedios obtenidos de las variables en la interacción genotipos con tratamientos, se puede diferenciar que el tratamiento que tuvo mejor respuesta para el caso de la Línea CP-7 fue el de 2.5 Krad seguido por el de 10 Krad, en lo que a altura de planta, diámetro de tallo y rendimiento de grano se refiere. Mientras que en el genotipo criollo el tratamiento más sobresaliente fue el de 5 Krad, superando aún a la Línea CP-7 en las variables diámetro de tallo, longitud de panoja, pesos fresco y seco de planta y hasta en el peso de grano.

#### 4.5. ALTERACIONES RADIOBIOLÓGICAS OBTENIDAS EN M1

A este punto se le ha considerado como parte de los resultados basándose en la observación en campo de la población originada por los dos genotipos y sus tratamientos; considerando básicamente la conducta del desarrollo morfológico de las plantas y realizando la comparación de los tratamientos con los testigos y entre tratamientos también.

Teniendo así que el efecto radiobiológico más notorio resultó ser la bifurcación de tallos, la cual se presentó exclusivamente en la Línea CP-7. En el tratamiento de 20 Krad este fenómeno se presentó con mayor frecuencia siendo estas

5/25 plantas; seguida de la dosis 2.5 Krad con 2/25 plantas, y en los tratamientos de 10 y 35 Krad con un número de bifurcaciones 3/50 y 2/50 respectivamente.

Dentro del desarrollo de las plantas bifurcadas se observó que dicha particularidad se desarrollaba aproximadamente a un metro sobre el nivel del suelo; siendo el resto de su desarrollo completamente normal.

Cabe mencionar que las plantas de tallo bifurcado obtenidas en el tratamiento de 35 Krad perecieron antes de iniciar la etapa de llenado de grano.

Otro fenómeno obtenido considerado como una "quimera" en el experimento fue con el tratamiento de 50 Krad en el genotipo criollo; presentando el individuo una deformación general con respecto a el resto de las plantas, no logrando sobrevivir hasta la etapa de madurez.

## V. DISCUSION

Siendo el rendimiento económico (peso promedio de grano) el resultado de la interacción de las estructuras morfológicas y de los procesos fisiológicos de una planta, es necesario analizarlo desde la relación que guardan sus diferentes componentes. Para nuestro caso en particular los componentes de rendimiento evaluados y analizados son puramente morfológicos.

A pesar de que los resultados del rendimiento promedio de grano en la Línea CP-7 no presentan una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos probados con respecto al testigo ni entre ellos mismos, si se puede determinar una variación entre los efectos de los tratamientos en las diferentes variables evaluadas; por lo tanto, los tratamientos de 5 y 10 Krad que afectan elevando los resultados promedios de diámetro de tallo, pesos fresco y seco de planta y longitud de panoja son los que no reflejan su efecto en el rendimiento de grano. Sin embargo se puede decir que aunque esos tratamientos afectan la morfología de la planta logrando un incremento en la producción de biomasa sólo una pequeña parte de esta biomasa es dedicada a la producción de grano.

En el caso del genotipo criollo el efecto de los diferentes tratamientos utilizados es más claro y con un resultado más uniforme, es decir, las dosis bajas marcan el

mismo efecto en los diferentes componentes del rendimiento incrementando los resultados e inclusive el peso de grano obtenido; sobre todo el tratamiento de 5 Krad, en tanto que a medida que se elevan los tratamientos el efecto sobre la semilla se pierde llegando a comportarse como el testigo. A pesar del marcado efecto de los tratamientos sobre algunos componentes del rendimiento; el rendimiento de grano no sufrió modificaciones en la medida suficiente como para presentar resultados que marquen alguna diferencia significativa con el comportamiento del testigo.

La información genética de los genotipos utilizados es diferente, dicha diferencia radica en que la Línea CP-7 es el resultado de un proceso de selección y cruce de antecesores lo cual hace que su base genética sea muy estable y de poca variación; mientras que la semilla criolla jamás ha sufrido proceso semejante manteniendo así una mayor capacidad de variación en sus componentes morfológicos.

En la aplicación de las técnicas de mejoramiento genético por mutagénesis, se aplica el término de "quimera" a aquel individuo que por efectos radiobiológicos presenta una variación morfológica que lo hace diferente del resto de los individuos de su mismo género y especie. En nuestro experimento como ya se mencionó antes, existió la presencia de este fenómeno manifestándose en forma de tallos bifurcados, es decir un solo tallo que a cierta distancia (en

este caso aproximadamente 1 m ) del suelo se dividía en dos, desarrollándose cada parte como un solo individuo pero no independientes; esto concuerda con lo citado por Ichikawa (1975), quien menciona que como mutaciones somáticas más frecuentemente observables son sectores o bandas mutantes, así como mutaciones en yemas. Estas pocas bifurcaciones se presentaron con mayor frecuencia en el tratamiento de 20 Krad y exclusivamente en la Línea CP-7.

El efecto radiobiológico más severo fue ocasionado por el tratamiento de 50 Krad en el genotipo criollo dando como resultado una planta completamente distinta a las demás, teniendo un tamaño inferior y de crecimiento lateral además de un marcado raquitismo debido posiblemente a una mutación de tipo génico.

La aplicación de  $Co^{60}$  en amaranto como técnica de mutagénesis, en este experimento, queda justificada en base a que cualquier especie puede ser tratada con este medio no importando que tan amplia o limitada sea su plasticidad genotípica, ya que se incrementa la tasa de mutaciones que en forma natural ocurren en un cultivo, también puede dar origen a factores hereditarios que nunca estuvieron presentes en la población (Hernández y Sosa, 1988).

Además, la obtención de nuevas variedades de diferentes especies con esta técnica ha sido satisfactoria -en muchos

casos- en combinación con la metodología tradicional de fitomejoramiento.

En la técnica de mutagénesis, la obtención de la semilla M2 es sólo uno de los primeros pasos en fitomejoramiento y cualquier efecto o cambio no puede considerarse aún como satisfactorio o no, ya que éstos van a ser estables hasta la siguiente generación que de esta semilla M2 surja. Es de suma importancia que ninguno de los materiales obtenidos sea discriminado en base a su porcentaje de sobrevivencia ni tampoco a su poco rendimiento, ya que todos deben seguir siendo reproducidos y evaluados.

Refiriéndonos a la selección de ideotipos, que generalmente no se realiza en esta etapa de mejoramiento por mutagénesis; en este experimento se llevó a cabo en base a la gran diversidad de tamaños y formas físicas presentadas en la población M1 y como un registro de algunos individuos que presentaron características morfológicas interesantes; tales como en el caso del genotipo criollo, con plantas que a todo lo largo del tallo presentaron ramificaciones logrando así un gran desarrollo de biomasa y que podrían ser empleadas para forraje; en otros casos se observaron plantas que por su parte bajo obtenido hasta su madurez podrían ser mecanizadas en la cosecha; un caso peculiar en la Línea CP-7 fue la presencia de plantas con altura pequeña (menos de 1 m) con tallos delgados y con precocidad en maduración,

características físicas que la Línea CP-7 por ser una variedad mejorada no debieron presentarse, por el contrario en algunas unidades experimentales las plantas de la misma Línea CP-7 desarrollaron tallos altos (en promedio 2 m) y gruesos, sin ramificaciones y con inflorescencia compacta y abundante; estas características fenotípicas en campo favorecen el incremento de la densidad de población obteniendo así mejores rendimientos.

De esta manera se trata de mantener información con respecto a las características fenotípicas de algunas plantas, características que como ya se mencionó anteriormente pueden atribuirse probablemente a efectos radiobiológicos en combinación con el medio; y de esta manera dar seguimiento a los posibles cambios de sus progenitores, pudiendo determinar entonces si se tratan de caracteres mutados.



## VI. CONCLUSIONES

1) De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que las mejores dosis fueron 2.5 Krad para la Línea CP-7 y 5 Krad para la semilla criolla; demostrando estos tratamientos mayor diferencia positiva con respecto a sus testigos en cada uno de los componentes.

2) Cualquier fenómeno o respuesta presentado en las plantas de los dos materiales utilizados, es debido completamente a los efectos radiobiológicos provocados por la irradiación en conjunto con el medio; no pudiendo determinar estos cambios como variación genética o mutaciones ya que éstos se presentarán sólo a partir de la M2 en adelante.

3) En base a los resultados estadísticos y la observación directa el rango de irradiación de 2.5 a 10 Krad fue el que presentó mejor variación en cuanto a efectos radiobiológicos se refieren las plantas de ambas semillas; por otra parte, la dosimetría que sobrepasa los 20 Krad representó también variación la cual no es establecida como favorable ya que registró altos porcentajes de mortandad, no obstante de los pocos sobrevivientes podrían obtenerse posteriormente características agronómicas adecuadas.

4) Las dosis altas de 35 y 50 Krad registraron mayor porcentaje de mortandad.

5) La selección de plantas que se realizó fue en base al material que manifestó interesantes características morfológicas; sin embargo esto no quiere decir que este material sea el único que deba reproducirse o destinarse a trabajos de mejoramiento genético.

6) La técnica de irradiación con  $Co^{60}$  es una buena alternativa para el mejoramiento genético en amaranto, dado que los resultados mostraron respuestas inmediatas en algunos componentes del rendimiento, debidas a efectos radiobiológicos en los mismos.

## BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, J. y F. Alatorre 1978. Monografía de la planta de Alegría. Memoria del Grupo de Estudios Ambientales, A.C.
- Alejandre I. G. 1981. Fertilización y densidad de población en Amaranthus hypochondriacus L. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.
- Arreaza L. O. E. 1976. Efectos de la irradiación gamma Co60 sobre algunas características fenotípicas del mijo perla (Pennisetum glaucum L.) en condiciones de campo. Tesis M. C. Div. Ciencias Agropecuarias y Marítimas. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, N. L. México.
- Brauer H. O. 1969. Fitogenética Aplicada. Ed. Limusa Willey, S.A. México.
- Burke J. D. 1971. Biología celular. Trad. por Robert Folch Fabre. Ed. Interamericana. México.
- Casillas G., Francisco J. 1984. Importancia de la semilla de Alegría. Primer Seminario Nacional del Amarantho, Chapingo, México.

Cervantes S. J. M. 1982. Evaluación nutricional de alegría A. hypochondriacus L.) como alimento para rumiantes. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Cheeke, P. R. and Bronson, J. 1979. Breeding trials with amaranth grain, forage and leaf protein concentrates. Second Amaranth Conference Proc. Rodale. Pennsylvania, USA.

Coon, E. E.; Stumpf, P. K. 1972. Bioquímica Fundamental. Ed. Limusa. México, D.F.

De la Loma J. L. 1963. Genética General y Aplicada. Ed. UTEHA. México, D.F.

\_\_\_\_\_ 1982. Experimentación Agrícola. Ed. UTEHA. México. D.F.

Donini, B. 1992. Mutagenesis applied for the improvement of vegetatively propagated plants. I General Consideration on breeding methods and objectives. Apuntes. Rome, Italy.

\_\_\_\_\_. 1992. Mutagenesis applied for the improvement of vegetatively propagated plants. II Technical aspects of mutagenic treatment. Apuntes. Rome, Italy.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

\_\_\_\_\_. 1992. Mutagenesis applied for the improvement of vegetatively propagated plants. III Induction and Isolation of somatic mutations. Apuntes. Rome, Italy.

\_\_\_\_\_. 1992. Mutagenesis applied for the improvement of vegetatively propagated plants. IV Direct and indirect use of the mutants. Achievement and prospects of mutation breeding. Apuntes, Italy.

\_\_\_\_\_: Kawai, T.; Micke, A. 1984. Spectrum of mutant characters utilized in developing cultivars in: selection in mutation breeding. IAEA.

Early K. D. 1977. Cultivation and use of amaranth in contemporary México. Proc. Firts Amaranth Seminar, Rodale press.

Espitia R. E. 1984. Situación actual de problemática en el cultivo del amaranto en México. Primer Seminario Nacional de Amaranto. Chapingo. México.

\_\_\_\_\_. 1986. Informe final sobre estudios agronómicos de amaranto en México: Período del 3 de enero de 1983 al 21 de enero de 1986. CAECAMEX. INIFAP.

- Feine, L. B.; R. R. Harwood; C. S. Kauffman y J. P. Sentt. 1977. Amaranth Gentle Giant of the Past and the Future. New Agricultural Crops. AAAS Selected Symposium 38. Westview Press. Boulder, Colorado.
- García, E. 1968. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. U.N.A.M., Instituto de Geografía, México. D.F.
- Gardner E. J. 1972. Principios de Genética. 2a. ed. Ed. Limusa Willey. México.
- Gaul, H. 1961. Use of induced mutants in seed - propagated species. Mutation in plant breeding. National Academy of Sciences. National Research Council.
- Grajales M. D.; Martínez H. E. 1982. Apuntes de Fisiología Vegetal. Ingeniería Agrícola. U.N.A.M., F.E.S.-Cuautitlán. México.
- Grubben G. J. H. 1979. Cultivation methods and growth analysis of vegetable amaranth, with special reference to South Renin.
- Gómez L. F. 1984. Cultivo del Amaranto en México. Memoria del Primer Seminario Nacional del Amaranto. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

Hauptli, H. 1977. Agronomic potencial and breeding strategy for grain amaranths. Proc. First amaranth seminar. Rodale press.

\_\_\_\_\_, and Jain. S. K. 1985. Genetic variation in outcrossing rate and correlated floral traits in a population of grain amaranth (*A. cruentus* L.).

Hernández A.M. y Sosa Ch. R. 1988. Material Hereditario y Mutaciones. Apuntes. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Salazar, Edo. de México.

Ichikawa, S. 1975. Apuntes de Mutagénesis. Colegio de Postgraduados. E.N.A., S.A.G. Chapingo, México.

Jain S. K.; Hauptli, H. and K. R. Vaidya. 1982. Outcrossing rate in grain amaranth. J. Heredity.

Kauffman Ch. S. 1979. Grain amaranth research: an approach to the development of a new crop. Proc. Second Amaranth Conference. Rodale press.

\_\_\_\_\_. 1981. Grain amaranth varietal improvement: Breeding Program. Organic gardening and farming research center Rodale press.

- Lugo R. H. R. 1979. Efecto de diferentes dosis de irradiación Gamma ( $Co^{60}$ ) en Higuera (Ficus carica,.) Ga3, Alor y poda como estimulantes en la ramificación. Tesis I.T.E.S.M. México.
- Márquez S. F. 1984. Generalidades sobre el establecimiento de un programa inmediato de mejoramiento genético en amaranto. Memoria del Primer Seminario Nacional del Amaranto. Colegio Postgraduados, UCH. México.
- Martínez V. G. 1989. Una alimentación alegre y rica. Agrotemas. México, D.F.
- Medina D. E. K. 1982. Estudio sobre densidades de siembra y fertilización con nitrógeno y fósforo en el cultivo del amaranto (A. hypochondriacus L.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Miescher, F. 1871. On the chemical composition of pus cells. In Great Experiment in Biology. Gabriel, M. L. and S., Fogel. Eds. 1955, Prentice-Hall, U.S.A.
- Oke D. L. 1979. Amaranth in Nigeria. Second Amaranth Conference, Rodale press.



- Orea L. J. y Trinidad S.A. 1984. Respuesta de dos genotipos de Amaranthus hypochondriacus (verde y roja) a diferentes dosis de N y P en la producción de proteína. Primer Seminario Nacional del Amarantho. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Pal, M. 1972. Evolution and improvement of cultivated amaranths Breeding System and inflorescence structure, Reprinted From the proceedings of the Indian National Science Academy.
- Parra N. L. 1992. Mutaciones y Métodos de Tratamientos Mutagénicos en plantas propagadas por semilla. Apuntes. III Seminario Nacional sobre el uso de la irradiación en fitomejoramiento. Universidad de Guanajuato.
- Pérez M. L.; Barrera G. J. 1992. Selección de mutantes en plantas propagadas por semilla. Apuntes. III Seminario Nacional sobre el uso de la irradiación en fitomejoramiento. Universidad de Guanajuato.
- Poehlman J. M. 1965. Mejoramiento genético de las cosechas. Ed. Limusa Willey. México.
- Reyes C. P. 1984. Diseño de Experimentos Aplicados. Ed. Trillas. México, D.F.

- Reyna T. T. 1984. Requerimientos climáticos para el cultivo del amaranto (Amaranthus spp.) en México. Primer Seminario Nacional del Amaranto. Chapingo. México.
- Robles S. R. 1971. Terminología Fotogenética y Citogenética. Ed. Herrero, S.A. México.
- \_\_\_\_\_. 1973. Efectos de la irradiación gamma ( $Co^{60}$ ) en ajonjolí (Sesamun indicum L.) var. genética, Agrociencia. Chapingo, México.
- Sahagún, Fray B. de. 1970. Historia General de las Cosas de la Nueva España, L. I., C. XIV. Ed. Porrúa, México.
- Sánchez M. A. 1980. Potencialidad agroindustrial del amaranto. Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo. México, D.F.
- Sauer J. D. 1950. The grain amaranths: A survey of the their history and classification. Ann of the Missiouri Botanical Garden.
- \_\_\_\_\_. 1967. The grain amaranths and their relatives: A revised taxonomic and geography survey, Ann of the Missiouri Botanical Garden.

- Schmidt. D. 1977. Grain amaranth: A look at potentials. Proc. First Amaranth Seminar. Rodale press. Pennsylvania. U.S.A.
- Scossiroli R. E. 1977. Mutation in characters with continuous variation. In: Manual on mutation breeding (2nd. ed.) Technical reports series No. 119 FAD/IAEA.
- Singh H. 1961. Grain amaranth. Buckwheat and chenopods. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi.
- Sitch A. L. 1992. Mutation breeding in Self-pollinated crops. Apuntes. III Seminario Nacional sobre el uso de la irradiación en fitomejoramiento. Universidad de Guanajuato.
- \_\_\_\_\_. 1992. The direct and indirect use of mutants in seed propagated crops. Apuntes. III Seminario Nacional sobre el uso de la irradiación en fitomejoramiento. Universidad de Guanajuato.
- Suárez R. G. 1980. Depósito de taninos en la testa de Amaranthus hypochondriacus L. (alegría). Agrociencia No. 42.

Suzuki D. T.; Griffiths A.I.F.; Miller J. H. and Lewontin R.C. 1986. An introduction to genetic analysis (Third Edition), W. H Freeman and Company, U.S.A.

Velasco L. A. y Heyden. D. 1984. El uso y la representación del amaranto en la época prehispánica según las fuentes históricas y pictóricas. Memoria del Primer Seminario Nacional del Amaranto. Colegio Postgraduados. UCH. México.

White H.E., 1965. Física Moderna. UTEHA. México.

Winchester A. M. 1977. Genética. Un estudio de los principios de la herencia. CECSA. México.