

EFFECTOS DE LA RADIACION GAMMA EN LARVAS, PUPAS Y ADULTOS DE

Hypsipyla grandella (ZELLER)

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Alfredo Samaniego Vélez



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA  
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación  
Departamento de Ciencias Forestales Tropicales  
Turrialba, Costa Rica  
Mayo, 1973

EFFECTOS DE LA RADIACION GAMMA EN LARVAS, PUPAS Y  
ADULTOS DE Hypsipyla grandella (ZELLER)

Tesis

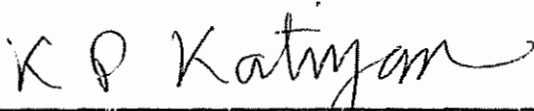

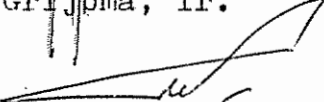
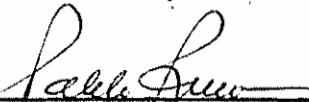
Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados  
como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:

	
_____	Consejero
Kamta P. Katiyar, Ph.D.	
	
_____	Comité
Pieter Grijpma, Ir.	
	
_____	Comité
Gilberto Páez, Ph.D.	
	
_____	Comité
Pablo Rosero, Mag. Agr.	

Mayo 1973

A mi madre

## AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su agradecimiento:

Al Dr. Kamta P. Katiyar, Consejero Principal, por su acertada orientación en el desarrollo del presente trabajo de tesis.

Al Ing. Pieter Grijpma, por las valiosas enseñanzas impartidas durante el tiempo que duraron los estudios de post-grado en esta Institución y por sus oportunas sugerencias como Miembro del Comité Consejero.

Al Dr. Gilberto Páez, al Ing. Pablo Rosero, M.A., Miembros del Comité Consejero por el asesoramiento del presente trabajo.

Al Dr. Waldemar Albertin, Jefe del Departamento de Ciencias Forestales Tropicales, por su colaboración y valiosas sugerencias.

Al Programa de Energía Nuclear y al Grupo Interamericano de Trabajo sobre Hypsipyla, por la colaboración prestada para realizar la presente tesis.

Al Gobierno de Holanda por haberle concedido una beca que hizo posible efectuar los estudios de post-grado.

A sus profesores, y a todas las personas, que de una u otra forma contribuyeron en la realización de la presente tesis.

## BIOGRAFIA

El autor nació en 1940 en la ciudad de Loja, Ecuador.

Sus estudios universitarios los realizó en la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Loja, graduándose de Ingeniero Agrónomo en 1967.

Desde 1965 hasta la presente fecha trabaja en el Centro de Capacitación e Investigación Forestal de Conocoto, perteneciente al Servicio Forestal del Ecuador.

En 1968 realizó estudios de especialización en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes e Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias de Madrid, España.

En 1970 asistió a un curso de Entomología Forestal dictado en el IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica.

En octubre de 1971 ingresó en la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, obteniendo el Grado de Magister Scientiae en mayo de 1973.

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
LISTA DE CUADROS (APENDICE)	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	
2.1 Taxonomía del Insecto	3
2.2 Biología	3
2.3 Distribución e Importancia Económica	4
2.4 Métodos de Control	5
2.4.1 Control silvicultural	5
2.4.2 Control químico	6
2.4.3 Control biológico	6
2.5 Utilización de la Radiación para el Control de Insectos	7
2.6 Técnica de los Machos Estériles	8
2.7 Radiaciones Ionizantes	9
2.8 Efecto de la Radiación Gamma sobre los Insectos	11
2.9 Factores que Influyen en la Inducción de Estérilidad en los Insectos	12
2.10 Requerimientos para la 'Técnica de los Machos Estériles'	12
2.11 Efectos de la Radiación sobre los Lepidopteros	13
2.12 Inducción de Esterilidad en los Diferentes Estados de Desarrollo de los Lepidopteros	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 Localización del Estudio	17
3.2 Técnica de Cría de <u>Hypsinyla grandella</u> (Zeller) en Laboratorio	17
3.3 Obtención de los Insectos en Diferentes Estados de Desarrollo y Técnica para Irradiarlos	18
3.3.1 Larvas del último instar	18
3.3.2 Pupas de temprana edad	19
3.3.3 Pupas de avanzada edad	19
3.3.4 Adultos	19
3.4 Fuente de Radiación	20
3.5 Dosis de Radiación Gamma a Aplicarse a los Cuatro Estados de Desarrollo del Insecto	20
3.6 Copulación y Oviposición	21
3.7 Determinación de los Efectos de la Radiación Gamma en la Mortalidad, Deformaciones Físicas, Fertilidad, Fecundidad y Longevidad	23
3.8 Análisis de la Información	24

4.	RESULTADOS	
4.1	Efectos de la Radiación Gamma en la Mortalidad, Deformación de Adultos, Fertilidad, Fecundidad y Longevidad de Adultos Tratados en Estado de Larva	26
4.2	Efectos de la Radiación Gamma en la Mortalidad, Deformación de Adultos, Fertilidad, Fecundidad y Longevidad de Machos y Hembras Tratados como Pupas de Temprana Edad	31
4.3	Efectos de la Radiación Gamma en la Mortalidad, Deformación de Adultos, Fertilidad, Fecundidad y Longevidad de Machos y Hembras Tratados como Pupas de Avanzada Edad	35
4.4	Efectos de la Radiación Gamma en la Fertilidad, Fecundidad y Longevidad de Machos y Hembras Tratados en Estado Adultos	39
5.	DISCUSION	42
6.	CONCLUSIONES	47
7.	RESUMEN	49
7a.	SUMMARY	52
8.	LITERATURA CITADA	55
	APENDICE	60

## LISTA DE CUADROS (APENDICE)

<u>Cuadro no.</u>		<u>página</u>
1	Dieta artificial utilizada para la cría de larvas de <u>Hypsipyla grandella</u> (Zeller)	61
2	Efecto de la radiación gamma en la mortalidad y deformaciones de adultos de <u>H. grandella</u> , tratados en estado larval	62
3	Efecto de la radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de adultos de <u>H. grandella</u> , tratados en estado larval y cruzados con adultos normales del sexo opuesto	62
4	Efecto de la radiación gamma en la mortalidad y deformaciones de adultos de <u>H. grandella</u> , tratados como pupas de temprana edad	63
5	Efecto de la radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de adultos de <u>H. grandella</u> , tratados como pupas de temprana edad y cruzados con adultos normales del sexo opuesto	63
6	Efecto de la radiación gamma en la mortalidad y deformaciones de adultos de <u>H. grandella</u> , tratados como pupas de avanzada edad.	64
7	Efecto de la radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de adultos de <u>H. grandella</u> , tratados como pupas de avanzada edad y cruzados con adultos normales del sexo opuesto	64
8	Efecto de radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de machos y hembras de <u>H. grandella</u> , tratados como adultos y cruzados con adultos normales del sexo opuesto	65
9	Efecto de la radiación gamma en la mortalidad (DL) y deformación de adultos (DD), al irradiar larvas de <u>H. grandella</u>	66
10	Efecto de la radiación gamma en la mortalidad (DL) y deformación de adultos (DD), al irradiar pupas de temprana edad de <u>H. grandella</u>	67



Cuadro no.Página

- 11 Efecto de la radiación gamma en la mortalidad (DL) y deformación de adultos (DD), al irradiar pupas de avanzada edad de H. grandella

68

## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura no.</u>		<u>Página</u>
1.	a) Jaula de copulación b) Vaso de oviposición	22
2	Adultos deformados por efecto de la radiación gamma	27
3	Efecto de la radiación gamma en la mortalidad larval, pupal y deformación de adultos de <u>H. grandella</u> , tratados como larvas	28
4	Efecto de la radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de adultos de <u>H. grandella</u> , tratados como larvas	30
5	Efecto de la radiación gamma en la mortalidad pupal y deformaciones de adultos de <u>H. grandella</u> , tratados como pupas de temprana edad	32
6	Efecto de la radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de adultos de <u>H. grandella</u> , tratados como pupas de temprana edad	34
7	Efecto de la radiación gamma en la mortalidad pupal y deformación de adultos de <u>H. grandella</u> tratados como pupas de avanzada edad	36
8	Efecto de la radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de adultos de <u>H. grandella</u> , tratados como pupas de avanzada edad	38
9	Efecto de la radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de adultos de <u>H. grandella</u> , tratados como adultos	40

## 1. INTRODUCCION

El barrenador de las Meliaceae, Hypsipyla grandella (Zeller) (Lepidoptera:Pyralidae), constituye un factor limitante para el establecimiento de plantaciones de cedro (Cedrela spp.) y caoba (Swietenia spp.) en los trópicos americanos. Ataca a los brotes tiernos, lo cual reduce el crecimiento, produce una deformación del tallo o puede llegar a matar a la planta. Además daña frutos y semillas, afectando la regeneración natural de estas especies valiosas. Este insecto ha ocasionado grandes pérdidas en Perú, Puerto Rico, Trinidad y Guatemala en rodales de cedro y caoba, maderas de alto valor económico en el mercado mundial (7, 26, 41, 46).

Para el combate de esta plaga, se ha probado el control químico, biológico y silvicultural, pero hasta el momento no se conoce un método adecuado para eliminar los ataques de este barrenador. De ahí la importancia de investigar un método alternativo para combatir este barrenador. Un posible método dentro del control integrado podría ser la 'técnica de los machos estériles'; teniendo en cuenta las tendencias actuales de evitar el uso de insecticidas químicos para el control de las plagas, debido a la resistencia que adquieren los insectos a estos productos o el peligro de la contaminación ambiental.

Esta técnica ha sido estudiada en muchos insectos dañinos a la agricultura y ganadería. Entre los éxitos que se han logrado con este método, podemos citar la eliminación del 'gusano tornillo', Cochliomyia hominivorax (Coq.) de la Isla de Curaçao y de la región suroriental de los Estados Unidos (28).

Esta investigación tuvo como objetivo principal estudiar la posibilidad de aplicar la 'técnica de los machos estériles' en el control del insecto. Los objetivos específicos del presente estudio fueron los siguientes:

- 1) Determinar las dosis de esterilización con radiación gamma, para machos y hembras, tratados como larvas del último instar, pupas de temprana y avanzada edad y adultos.
- 2) Estudiar los efectos de la radiación en la mortalidad, deformaciones físicas, fecundidad y longevidad, en todos los estados de desarrollo anteriormente indicados.
- 3) Determinar el estado de desarrollo más apropiado para la esterilización del insecto.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Taxonomía del Insecto

El barrenador de las meliáceas americanas, pertenece al orden Lepidoptera, familia Pyralidae y subfamilia Phycitidae. Fue descrito en 1848 por Zeller como Nephoteryx grandella, posteriormente Ragonot en 1893, describió el género Hypsipyla e incluyó dentro de este género a grandella (1).

En los trópicos y subtrópicos americanos, existen las siguientes especies de este género: H. grandella (Zeller), H. ferrealis (Hampson), H. dorsimacula (Schaus) e H. fluviatella Schaus. En Africa, Asia y Oceanía, entre otras especies está H. robusta (Moore), de igual importancia que H. grandella en América (21).

### 2.2 Biología

Los huevos son ovalados y ligeramente aplanados, al ser ovipositados son de color blanco y los huevos que están fertilizados se tornan rojos entre 12 a 24 horas después de ser depositados (40). En Barinitas, Venezuela, la eclosión de los huevos en condiciones naturales ocurre entre 96 a 120 horas después de puestos (40). Bajo condiciones de laboratorio en Turrialba, Costa Rica, eclosionan entre 92 y 97 horas después de la oviposición (47). La viabilidad de los huevos, en las condiciones anteriores, es de aproximadamente el 90 por ciento (47).

La larva es eruciforme, con tres segmentos torácicos y diez abdominales. La cabeza es de color marrón y un poco más angosta que el cuerpo, el resto del cuerpo es rojizo violáceo en los

primeros instares y azulado en el último. La larva antes de pupar atraviesa por cinco o seis instares (11).

En condiciones naturales el período larval dura entre 21 a 28 días (40), y en laboratorio criadas en dieta natural y artificial, la máxima pupación de las larvas ocurre entre los 22 y 21 días respectivamente (19) y las criadas con dieta artificial, en frascos de 1 oz (dos larvas por frasco), puparon entre 16 y 32 días; el máximo de pupación fue a los 21 días después de ser colocadas en la dieta artificial (47).

La larva antes de empupar se recubre con un capullo de seda blanca. El tiempo que permanece en estado de pupa hasta la emergencia de los adultos es de aproximadamente 10 días. La emergencia puede comenzar a los 7 días o retardarse hasta los 17 días (18, 40, 43, 47).

Por lo general los adultos emergen al atardecer y en las primeras horas de la noche. Las hembras pueden ser fecundadas en la misma noche de la emergencia y la oviposición la efectúan por la noche (40). La longevidad de los adultos es muy variable, las hembras pueden vivir hasta 14 días y los machos hasta 8 días después de la emergencia (40).

### 2.3 Distribución e Importancia Económica

H. grandella se encuentra distribuido a lo largo de todos los trópicos y subtrópicos americanos. Según Heinrich (21), existe en Estados Unidos (Florida), México, Guatemala, Honduras, Costa Rica, Panamá, Puerto Rico, Cuba, Haití, Jamaica, Venezuela, Guayana Británica, Colombia, Ecuador, Perú, Brasil, Paraguay y Argentina (Tucumán).

Las plantas hospederas de mayor importancia son las especies de los géneros: Cedrela, Swietenia y Carapa (1).

Ataca a varias partes de' árbol, pero principalmente al brote terminal, lo cual hace que la planta produzca brotes secundarios y como consecuencia origina la deformación del tronco. Los continuos ataques no sólo reducen el crecimiento, sino que también pueden llegar a matar la planta (46).

Grandes plantaciones de cedro y caoba han tenido que ser abandonadas por causa de este barrenador; por ejemplo, en Puerto Rico desde 1935 a 1943 resultaron dañados un millón de árboles de cedro y 850.000 de caoba, durante el mismo tiempo en Tingo María (Perú), sufrieron ataques el 60 por ciento de cedros y el 10 por ciento de caobas (7, 46). En el Petén (Guatemala) cerca de 200 ha de plantaciones experimentales de Cedrela spp. y Swietenia spp. están seriamente atacadas (26).

## 2.4 Métodos de Control

### 2.4.1 Control silvicultural

Varios silvicultores indican que para controlar esta plaga, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos: a) efectuar plantaciones de Cedrela y Swietenia en zonas bajo condiciones ecológicas adecuadas para estas especies (24); b) seleccionar los suelos, debiéndose preferir los bien drenados (8, 46); y c) evitar la formación de rodales puros. Holdridge (24) y Carter (8), recomiendan que en plantaciones mixtas se puede intercalar de 60 a 100 árboles de cedro o caoba por hectárea. También se ha recomendado investigar sobre la distancia de plantación y grados de sombra (49). En síntesis no se ha encontrado un método silvícola adecuado.

Hasta el momento, no se ha encontrado una especie o variedad de los géneros Cedrela o Swietenia, que sea resistente al ataque de este barrenador. Grijpma (18), en 1967 introdujo a Turrialba, Costa Rica, el cedro australiano Toona ciliata M. Roem. var. australis (F.vM.) C.DC. (Meliacea), que en su lugar de origen es atacado por H. robusta. Luego de ensayos informa que resultó inmune a los daños que ocasiona H. grandella.

#### 2.4.2 Control químico

Mediante los métodos tradicionales, el combate químico de este barrenador es muy difícil, debido a su corto ciclo biológico y a la limitada permanencia de la larva en el exterior de la planta. En Perú al probar varios insecticidas, se encontró que Parathion al 20 por ciento fue el más eficaz, sin embargo, no llegó a reducir la plaga en un 20 por ciento y a un costo muy elevado (11). En Venezuela (40), se hicieron tres aplicaciones de dosis elevadas de DDT, ~~Teledrin~~, Aldrin, Endrin y Fosfeno durante los días de oviposición, con intervalo de seis días; todos los insecticidas dieron el 100 por ciento de protección, pero a un costo muy elevado.

En Turrialba, Costa Rica, fueron probados 28 insecticidas sistémicos, de ellos se seleccionaron Isolan, Methomyl y Carbofuran. Posteriormente el Carbofuran, en combinación con un polímero (pellets), dió protección total a la planta por 18 meses (2).

#### 2.4.3 Control biológico

Debido a la naturaleza del ataque de este barrenador, y al no existir un método eficiente para su control, se cree que



el control biológico puede desempeñar un papel muy importante para el combate de esta plaga.

Rao y Bennett (41) publicaron una lista con muchas especies de insectos parásitos naturales de H. grandella, y H. robusta. Yaseen y Bennett (51) en Trinidad han realizado algunas investigaciones con parásitos de huevos, larvas y pupas. Grijpma (20) e Hidalgo-Salvatierra y Madrigal (22), en Costa Rica, identificaron y criaron nuevas especies de parásitos de los huevos y larvas.

Berríos e Hidalgo-Salvatierra (3, 4, 5) determinaron que las larvas de H. grandella son susceptibles al ataque de hongos como Metarrhizium anisopliae (Metch.) Sor., Beauveria bassiana (Bal.) y Beauveria tenella (Del.).

Todos estos trabajos se han realizado en condiciones de laboratorio pero todavía no se ha determinado su efectividad en el campo. Hasta el momento no hay información sobre un método de emplear a los mismos insectos para su auto control. Según Knipling (31), se pueden utilizar los insectos como medio de control realizando liberaciones de insectos esterilizados con radiación o por medio de esterilizantes químicos, o también liberaciones de insectos infectados con patógenos o con deficiencias genéticas.

## 2.5 Utilización de la Radiación para el Control de Insectos

Los efectos de la radiación sobre los insectos, han sido bastante conocidos por parte de los biólogos desde hace muchos años. En 1916, Runner (44) demostró que el 'cigarret beetle' Lasioderma sericorne (F), después de ser expuesto a rayos X

producía huevos estériles. Sin embargo, el uso de las radiaciones en el campo de control de insectos no se conoció sino hasta hace relativamente poco tiempo.

En 1937 Knipling sugirió la idea de controlar la mosca del 'gusano tornillo' Cochliomyia hominivorax (Coq.) parásito de los bovinos, por medio de la inducción de esterilidad. En 1950, con la ayuda del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, se iniciaron las primeras investigaciones al respecto en la Estación Experimental de Kerrville, Texas. Después de algunos experimentos preliminares, la mosca del 'gusano tornillo' responsable de la pérdida de varios millones de dólares, fue exitosamente erradicada de Curaçao y la región sudoriental de los Estados Unidos, utilizando el método de liberaciones masivas de insectos esterilizados con rayos gamma (28).

## 2.6 Técnica de Machos Estériles

Esta técnica consiste en la cría y liberación de machos esterilizados con radiación gamma en un número mayor que los existentes en el área de interés. La técnica explota el comportamiento sexual de los insectos, que es uno de sus instintos más fuertes. Los machos estériles copulan con las hembras de la población natural y éstas producen huevos que no eclosionan (27).

La técnica en sí contempla la liberación de machos estériles, pero por razones económicas se puede irradiar tanto machos como hembras para evitar el sexado. Cuando se realizan las liberaciones de machos y hembras estériles, se establece una doble vía de control (25).

## 2.7 Radiaciones Ionizantes

Las radiaciones pueden considerarse como energía que recorre el espacio en forma corpuscular o electromagnética. Existen dos tipos de radiaciones: ionizantes y no ionizantes. Las no ionizantes consisten de un amplio espectro que abarca desde las ondas de radiodifusión ( $0,1 - 3 \times 10^7$  mm), infrarrojas ( $7000 \text{ \AA} - 0,1 \text{ mm}$ ), luz visible ( $4000 - 7000 \text{ \AA}$ ), hasta las ultravioletas ( $1000 - 4000 \text{ \AA}$ ). La característica de estas radiaciones está determinada por la longitud de onda. Las radiaciones ionizantes de importancia biológica incluyen partículas alfa y beta, rayos gamma y X. Las radiaciones ionizantes de acuerdo con sus propiedades físicas pueden clasificarse en dos grupos: radiaciones corpusculares y electromagnéticas. Las corpusculares están formadas por corrientes de partículas atómicas o subatómicas que pueden transferir su energía cinética a cualquier materia que ellas alcancen. Si las partículas tienen carga negativa o electrones, la radiación es beta y si tienen positiva es alfa. Los rayos X y gamma son radiaciones electromagnéticas y al contrario de las radiaciones corpusculares, no existe materia asociada a ellas. No son visibles, sino movimientos ondulatorios que se desplazan a la velocidad de luz. Su energía depende de la longitud de onda (34, 48).

Los rayos X y los rayos gamma son los más utilizados en el campo biológico. Los rayos X tienen una longitud de onda 1 a  $0,1$  Angstroms y la energía con que están impulsados es entre  $10^4$  y  $10^5$  electron-voltios. En cambio los rayos gamma tienen menos

longitud de onda, de 0,01 a 0,0001 Angstroms, pero su energía es entre  $10^6$  y  $10^8$  electron voltios (34).

A los rayos X y gamma se les llama ionizantes porque sus fotones de energía pueden desplazar a un electrón de la órbita de un átomo que hace la absorción. Este efecto ionizante puede causar cambios bioquímicos en las moléculas de los organismos vivos, por ejemplo, si un átomo de carbono de una molécula pierde un electrón, es posible que el enlace químico de la molécula se rompa, produciendo en el organismo un efecto directo. Si ioniza las moléculas de agua en radicales libres ( $H^\circ$  y  $OH^1$ ), estos radicales son agentes fuertemente oxidantes y reductores, que pueden romper con facilidad sus enlaces químicos, produciendo de esta manera un efecto indirecto (34).

Las radiaciones X y gamma pueden ser expresadas por las siguientes medidas: a) roentgen: unidad de medida de rayos gamma o X. Es la cantidad de rayos gamma o X que produce una unidad electrostática de carga eléctrica, negativa o positiva, por  $cm^3$  de aire en condiciones normales de temperatura y presión ( $0^\circ C$  y 760 mm Hg). b) rad, unidad de dosis de radiación absorbida en cualquier medio, un rad equivale a 100 erg/g (48).

Las radiaciones ionizantes en el campo entomológico pueden ser aprovechadas como dosis letales para una población o dosis para inducir esterilidad (35, 36). Teniendo en cuenta estos factores, es más utilizada en el control de plagas la radiación gamma que la radiación X. La radiación gamma tiene las siguientes ventajas: a) una longitud de onda más corta que la radiación X, por lo tanto tiene más penetrabilidad en los tejidos y

b) con la gran cantidad de radioisótopos se produce a menor costo radiación gamma; una fuente puede durar muchos años (35).

## 2.8 Efectos de Radiación Gamma sobre los Insectos

Durante la irradiación todo el cuerpo del insecto es atravesado por los rayos ionizantes; su alcance depende de la dosis aplicada y de la energía desarrollada por la fuente de radiación. Las células varían considerablemente en su sensibilidad a los daños ocasionados por la radiación gamma. Se sabe que en el núcleo de las células pueden ocurrir los siguientes cambios:

- a) desarreglo molecular en los cromosomas, lo cual conduce a mutaciones genéticas dominantes;
- b) fragmentación de los cromosomas, que pueden causar un desarreglo en la posición de los genes;
- c) retraso en la división nuclear y celular, lo que entorpece el desarrollo fisiológico normal; y
- d) los daños a las células traen como consecuencia la supresión de la síntesis de ácidos vitales (ADN) (10).

Según La Chance (32) la radiación gamma puede producir en los insectos los siguientes efectos: aspermia en los machos, infecundidad de las hembras, inactivación del esperma, inhabilidad para copular y mutaciones letales dominantes. La esterilidad en un insecto puede deberse a uno o varios de estos factores.

"Una mutación letal dominante es un cambio en el núcleo que puede causar la muerte del cigoto, aún cuando sea introducida por sola una de las células germinales, que es la unidad de fertilización. Las mutaciones letales dominantes no impiden la

maduración de la célula afectada dentro de un gameto, o la participación del gameto en la formación del cigoto, lo que impide es el desarrollo del cigoto hasta la madurez. Las mutaciones letales, no son letales para las células tratadas, sin embargo, son letales para su descendencia"(31).

## 2.9 Factores que Influyen en la Inducción de Esterilidad en Insectos

Según Lindquist (33), son los siguientes:

- a) Estado de desarrollo; el estado óptimo para la irradiación es cuando hay gran diferencia en sensibilidad entre el tejido somático y gamético, esta diferencia se presenta en el estado pupal o adulto.
- b) Especies; existe una gran variación en la susceptibilidad de acuerdo a las especies, tanto para los efectos letales, como para la esterilización.
- c) Sexo; la susceptibilidad de los sexos varía con la especie, los machos son más resistentes que las hembras como en el caso de Carpocapsa pomonella (L), en cambio en Sitophilus granarius (L), las hembras son más resistentes que los machos.
- d) Además influyen el tipo de radiación, la irradiación fraccionada, el medio de cría y las condiciones ambientales en que son irradiadas.

## 2.10 Requerimientos para la 'Técnica de Machos Estériles'

Los requisitos indispensables para tener un buen resultado con el método de los machos estériles, son resumidos por Lindquist (33), de la manera siguiente: a) se debe disponer de un

método económico de cría, b) que los adultos puedan dispersarse fácilmente, c) que la esterilidad no produzca efectos adversos en el comportamiento de copulación o daños físicos apreciables en los machos, d) que la población a controlarse sea baja en un período del año o que se la pueda reducir por otro método, y e) que antes de hacer liberaciones es necesario conocer a fondo la biología y ecología del insecto a controlarse.

### 2.11 Efectos de la Radiación sobre los Lepidópteros

Según Proshold, citado por Reyes (42), las Lepidópteros son de tres a diez veces más resistentes a la radiación gamma que la mayoría de los otros órdenes de insectos. La resistencia a la radiación aumenta a medida que avanza el estado de desarrollo del insecto. Por lo general, las hembras son más susceptibles que los machos.

Cuando se irradian insectos en temprano estado de desarrollo, la radiación puede causar los siguientes efectos: esterilidad, infecundidad, alta mortalidad, deformaciones físicas, reducción en la copulación y longevidad de los adultos (32).

Proverbs y Newton (39) informan que al irradiar huevos, larvas y pupas de temprana edad de Carpocapsa pomonella (L) se obtiene la esterilidad total, pero con una alta mortalidad, deformación en los adultos y reducción en la copulación; en cambio, al irradiar pupas de avanzada edad se obtiene la esterilidad total, sin ningún efecto adverso.

Husseiny y Madsen (25) determinaron después de irradiar a todos los estados de desarrollo de Paramyelois transitella

(Walker), que en los huevos o larvas no se pueden obtener una completa esterilidad, sin causar efectos dañinos o una alta mortalidad; pero al irradiar pupas de avanzada edad, se obtienen la esterilidad total, sin ningún efecto dañino.

## 2.12 Inducción de Esterilidad en los Diferentes Estados de Desarrollo de los Lepidópteros

En larvas del último instar

Godwin, Rule y Waters (17), esterilizaron las larvas del quinto instar de Poethetria dispar (L), aplicándoles una dosis de 5 kr. Husseiny y Madsen (25), al irradiar larvas de Paramye-lois transitella (Walker) encontraron que aplicándoles una dosis de 6 kr a las larvas, los adultos quedan totalmente estériles. Proverbs y Newton (39) informan que con 9,3 kr se obtiene la esterilidad total de las hembras y 2 por ciento de fertilidad en los machos de C. pomonella irradiados en estado de larva.

En pupas de temprana edad

El Sayed y Graves (13) indican que 3,7 kr no son suficientes para esterilizar a las pupas de tres días de edad de Heliothis virescens (F). Zafar et al. (52) al exponer a la radiación pupas de Sitotroga cerealella (Oliver) de un día de edad a diferentes dosis de radiación, encontraron que con una dosis de 15 kr se induce la esterilidad total en ambos sexos. Godwin, Rule y Waters (17), informan que al irradiar pupas de 1 a 3 días de edad de P. dispar, con una dosis de 10 kr la fertilidad de los machos es de 23,2 por ciento, en cambio las hembras quedan estériles. A las pupas de Diatraea saccharalis (F) de menos de



tres días de edad se les esteriliza totalmente al irradiarlos con 15 kr (33).

En pupas de avanzada edad

Proverbs y Newton (39), al irradiar pupas de C. pomonella, con 40 kr, encontraron el 96 por ciento de esterilidad en los machos y el 98,2 por ciento en las hembras. Godwin, Rule y Waters (17), aplicando una dosis de 20 kr a machos de P. dispar, en estado pupal, obtuvieron la esterilidad total. Hussein y Madsen (25), esterilizaron ambos sexos de P. transitella, irradiándolos dos días antes de la emergencia con 50 kr. Ouye, García y Martín (37), informan que se pueden esterilizar las pupas de Pectinofora gossypiella (Saunders), aplicándose 55 kr a los machos y 40 kr a las hembras. Elbardy (12), indica que 24 kr son necesarios para producir el 100 por ciento de esterilidad en ambos sexos de Gnorismoschema operculella (Zeller), irradiándolos como pupas de ocho días de edad. El Sayed y Graves (13), reportan que las dosis de esterilización para machos y hembras de H. virescens, irradiados como pupas, son de 40 y 30 kr, respectivamente.

En adultos

Proverbs y Newton (39) al irradiar adultos de ambos sexos de C. pomonella con varias dosis de radiación, encontraron que con 40 kr, se obtiene el 97 por ciento de esterilidad en los machos y el 100 por ciento en las hembras. Elbardy (12), indica que 24 kr son suficientes para producir el 100 por ciento de esterilidad en ambos sexos de G. operculella, irradiados en

estado adulto. Flint y Kressin (16), determinaron que los adultos H. virescens quedaron totalmente esterilizados aplicándoles una dosis de 45 kr. El Sayed y Graves (14) trataron adultos de H. virescens con diferentes dosis de radiación, y encontraron que con 50 kr se obtiene el 100 por ciento de infertilidad en los machos y con 40 kr el 99,8 por ciento en las hembras. Coghburn, Tilton y Burkholder (9), observaron que con 100 kr, se puede inducir el 75 por ciento de esterilidad en los machos y 100 por ciento en las hembras de Plodia interpunctella, (Hübner), y el 88,9% en los machos y el 90,0 por ciento en las hembras de S. cerealella, irradiándolos en estado adulto. Walker y Quintana (50), encontraron que con 30 kr se puede esterilizar a los machos de D. saccharalis, tratándolos como adultos. Hussein y Madson (25), cuando aplicaron 40 kr a los adultos de P. transitella, obtuvieron el 96 por ciento de esterilidad. Katiyar y Ferrer (27), trataron a ambos sexos de Leucoptera coffeella (Guerin-Meneville), en estado adulto, con diferentes dosis de radiación y encontraron que con 90 kr los machos tenían el 0,02 por ciento de fertilidad, mientras que con 70 kr las hembras resultaron totalmente estériles.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Localización del Estudio

El presente estudio se efectuó en el laboratorio de Entomología del Programa de Energía Nuclear, perteneciente al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica, que está ubicado a 630 msnm, con una precipitación promedio anual de 2682 mm y temperaturas medias mensuales, máximas y mínimas de 27,1 y 16,9°C, respectivamente. El ambiente de laboratorio tuvo una temperatura promedio de 25 $\pm$ 3°C y el 73 $\pm$ 6 por ciento de humedad relativa, durante el tiempo que se efectuó el estudio.

#### 3.2 Técnica de Cría de *Hypsinyla grandella* (Zeller) en Laboratorio

Las larvas, pupas y adultos de *H. grandella* necesarias para este estudio, fueron criadas artificialmente bajo condiciones de laboratorio. Se empleó la técnica utilizada por Grijpma (19) y modificada por Katiyar (29), la cual de manera general se puede describir en la forma siguiente: las larvas del primer instar son colocadas por medio de un pincel, en frascos de vidrio de una onza de capacidad y con tapa, que contienen aproximadamente 10g de dieta artificial. En estos frascos se mantienen las larvas hasta que pupen. Cuando las pupas tienen tres o cuatro días de edad, son sacadas de los frascos y lavadas con una solución de hipoclorito de sodio al 2,5 por ciento, por el lapso de un minuto, para separarlas del capullo. Luego de sexadas (23), son colocadas en bandejas de plástico por separado, para tener la certeza de que los adultos que emergen son vírgenes.

Para este estudio se hicieron dos modificaciones en la técnica de cría: a) a la dieta, se le disminuyó las cantidades de

azúcar y agar para reducir la contaminación por hongos y bacterias (Cuadro 1 del Apéndice), b) en cada frasco se colocaron dos larvas del primer instar, en vez de una que se empleaba anteriormente.

Los ingredientes necesarios para preparar la dieta artificial y las larvas del primer instar, fueron proporcionadas por el Laboratorio de Cría, que mantiene el Grupo Interamericano de Trabajo sobre Hypsipyla.

### 3.3 Obtención de los Insectos en Diferentes Estados de Desarrollo y Técnicas para Irradiarlos

#### 3.3.1 Larvas del último instar

Se las obtuvo entre 22 a 30 días después que las larvas del primer instar fueron colocadas en los frascos de cría. Para este estudio se seleccionó solo las larvas que presentaban mayor desarrollo y una coloración azul claro. No se tomó en cuenta las larvas de frascos contaminados por hongos o bacterias.

Las larvas fueron expuestas a la radiación individualmente en cajas de plástico de 1 x 1 x 1 cm; para evitar el canibalismo. Después de la irradiación, las larvas fueron transferidas a frascos iguales o los utilizados en la cría, que contenían aproximadamente de 3 a 5 g de dieta, para que continúen su desarrollo. Después de 4 o 5 días que puparon fueron sacadas de los frascos y sexadas. Las pupas machos y hembras fueron colocadas por separado en bandejas de plástico de 10 x 18 x 8 cm hasta la emergencia.

### 3.3.2 Pupas de temprana edad

Para obtener pupas de 1 a 3 días de edad se separaron de los frascos de cría aquellos que contenían insectos en estado prepupal. Después de tres días se sacaron de los frascos todas las pupas formadas en este lapso de tiempo. ~~Todas~~ las pupas fueron sexadas y colocadas por sexos en cilindros de cartón de 10 cm de largo por 2 cm de diámetro para exponerlas a la radiación. La irradiación se efectuó al mismo tiempo para ambos sexos en todos los tratamientos. Posteriormente fueron colocadas en bandejas plásticas (del mismo tipo de las utilizadas en la sección 3.3.1) hasta la emergencia.

### 3.3.3 Pupas de avanzada edad

Para obtener pupas entre 7 y 9 días de edad se procedió a recolectarlas como en el caso de pupas de temprana edad. Luego de sexadas se las mantuvo por separado en bandejas iguales de las usadas anteriormente hasta que cumplan la edad requerida. Para irradiarlas se aplicó la misma técnica empleada en las pupas de temprana edad.

### 3.3.4 Adultos

Para lograr adultos vírgenes, se colocaron machos y hembras en estado pupal avanzado en jaulas individuales de cedazo metálico de 40 x 40 x 40 cm. Se utilizaron los adultos que emergieron entre las 16:00 y 08:00 horas. Para irradiarlos se los colocó en cilindros de cedazo metálico de 15 cm de largo por 2 cm de diámetro para permitir el intercambio de gases. La irradiación se efectuó simultáneamente para ambos sexos. Las pupas de avanzada

edad utilizadas para este ensayo fueron proporcionadas por el Laboratorio de Cría del Grupo Interamericano de Trabajo sobre Hypsipyla.

### 3.4 Fuente de Radiación

Como fuente de radiación gamma se empleó una pila de  $^{60}\text{Co}$ , que emite aproximadamente 1 kr/54 seg, perteneciente al Laboratorio del Programa de Energía Nuclear.

### 3.5 Dosis de Radiación Gamma Aplicadas a los Cuatro Estados de Desarrollo del Insecto

Las dosis de radiación a aplicarse en cada uno de los estados de desarrollo del insecto se las determinó en base a ensayos preliminares.

A las larvas se les aplicó las siguientes dosis de radiación: 0,0, 4,0, 5,0, 5,5, 6,0, y 8,0 kr. En cada tratamiento se irradió 25 larvas, con cuatro repeticiones.

A los machos y hembras en estado de pupa de temprana edad, se les expuso a las siguientes dosis de radiación: 0, 6, 9, 12, 15 y 18 kr. Cada tratamiento estuvo constituido entre 17 y 25 pupas por cada sexo, con cuatro repeticiones.

A ambos sexos de pupas de avanzada edad, se les sometió a las siguientes dosis de radiación: 0, 10, 15, 20, 25, y 30 kr. En cada tratamiento se utilizó de 18 a 20 pupas por sexo, con cuatro repeticiones.

A los adultos (machos y hembras) se les irradió con las siguientes dosis: 0, 5, 10, 15, 20, 30 y 35 kr. En cada tratamiento se empleó cinco adultos por sexo, con cuatro repeticiones.

### 3.6 Copulación y Oviposición

Luego de la emergencia, los machos y las hembras fueron colocados en jaulas de cedazo plástico de 31 x 23 x 18 cm (Figura 1), para que copulen; en cada jaula se colocó de 4 a 10 parejas. Las jaulas de copulación fueron mantenidas por tres noches consecutivas en un invernadero, tiempo en el cual se obtiene el 86 por ciento de copulación (45). Luego las jaulas de copulación fueron trasladadas al laboratorio, de dichas jaulas se sacaron las hembras para que ovipositen y se dejó a los machos para los ensayos de longevidad.

Para que las hembras ovipositen se las colocó individualmente en vasos de cartón de 4 oz, recubiertos internamente con papel toalla rugoso y tapados con el mismo material (Figura 1). Después de permanecer las hembras tres días en dichos vasos, se las trasladó a un nuevo vaso, de las mismas características que el anterior, en donde se las mantuvo hasta la muerte. Con los huevos depositados en los papeles del primer vaso se efectuaron los ensayos de fertilidad y con los huevos depositados en los papeles de ambos vasos se realizaron los estudios de fecundidad.

A los vasos con los huevos depositados en los papeles hasta los tres días se les dejó destapados para que las larvas eclosionadas de los huevos puedan escapar libremente y de esta forma evitar el canibalismo.

Todas las hembras muertas fueron disectadas para determinar si habían sido copuladas, esto se comprobó por la presencia o ausencia de espermátóforos en la bursa copulatrix.

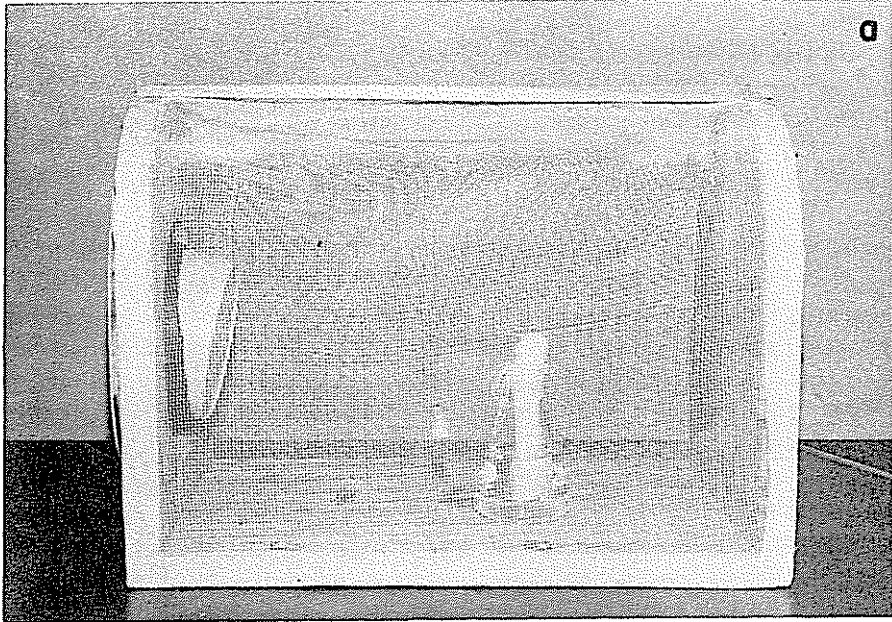


Fig. 1 a) jaulas de copulación b) vasos de oviposición



A los adultos en todo el período de vida se los alimentó con una solución de agua azucarada al 10 por ciento. En las jaulas de copulación se les suministró este alimento en Erlenmeyers de 125 cc con una mecha de papel. En los vasos de oviposición fue suministrado en pequeños recipientes plásticos de 3 cc con algodón.

### 3.7 Determinación de los Efectos de la Radiación Gamma en la Mortalidad, Deformaciones Físicas, Fertilidad, Fecundidad y Longevidad

La mortalidad en estado larval, se la determinó por el número de larvas que murieron antes de pupar. La mortalidad en estado pupal fue determinada por la diferencia entre el número de pupas tratadas y el número de adultos que emergieron. En ambos casos se utilizó mortalidad corregida.

Las deformaciones físicas que produce la radiación, solo fueron determinadas en los adultos. Se tomó en cuenta la configuración de las alas y deformaciones visibles en el cuerpo o apéndices.

La fertilidad fue determinada por el número de huevos depositados por las hembras copuladas durante los tres días de oviposición. Se consideraron como huevos viables aquellos que eclosionaron hasta los ocho días después de la oviposición.

La fecundidad se calculó en base al número total de huevos depositados por las hembras, en los vasos de oviposición hasta la muerte. Solo se tomó en cuenta las hembras que habían sido copuladas.

La longevidad de machos y hembras fue calculada con los adultos utilizados para los ensayos de fertilidad y fecundidad. Diariamente se retiró de las jaulas y de los vasos de oviposición los machos y hembras muertos, esta labor se la efectuó hasta la muerte de todos los insectos.

### 3.8 Análisis de la Información

A los datos obtenidos en la investigación se los analizó de acuerdo con el modelo de relación causa-efecto. Mediante análisis de Probit (38) se determinó la dosis capaz de producir la muerte del 50 por ciento de los insectos ( $DL_{50}$ ) y la dosis en que el 50 por ciento de adultos que emergen presentan deformaciones físicas ( $DD_{50}$ ). Tanto la mortalidad como el número de adultos con deformaciones se corrigió con la fórmula de Abbott (38).

$$\text{Mortalidad corregida} = \frac{X - Y_i}{X}$$

donde:

$X$  = porcentaje de vivos en testigo

$Y_i$  = porcentaje de vivos en tratados

Se probaron varios modelos matemáticos para tratar de relacionar el efecto de la dosis en la fertilidad, fecundidad y longevidad y se escogió aquel que presentaba no sólo el coeficiente de determinación más alto sino que también se tomó en cuenta el que mejor explicara el fenómeno. En los tres casos se ajustaron a un modelo logístico invertido como indica la siguiente fórmula:

$$Y_i = \frac{b_0}{1 + b_1 e^{b_2 X_i}}$$

donde:

$Y_i$  = porcentaje de fertilidad, fecundidad y longevidad

$X$  = dosis de radiación gamma

$b_0$  = punto máximo de curva

$b_1$  = parámetro que expresa la tasa de incremento

$b_2$  = parámetro que indica la tasa exponencial de cambio de la tendencia

$e$  = base de los logaritmos Neperianos.

Los datos de este estudio fueron procesados en una computadora IBM 1130, perteneciente a la Unidad de Estadística y Computación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA.

#### 4. RESULTADOS

Los resultados y el análisis de las informaciones obtenidos de la irradiación se dan a conocer por separado para larvas del último instar, pupas de temprana edad, pupas de avanzada edad y adultos de P. grandella.

##### 4.1 Efectos de la Radiación Gamma en la Mortalidad, Deformación de Adultos, Fertilidad, Fecundidad y Longevidad de Adultos Tratados en Estado de Larva

En el Cuadro 2 del Apéndice y la Figura 3, se presentan los porcentajes de mortalidad larval y pupal y deformación de adultos. Los resultados indican que la mortalidad larval es muy reducida hasta 6 kr (4 por ciento) y se incrementa a más de tres veces con 8 kr (13 por ciento). La mortalidad en el estado pupal es más elevada que en el estado anterior y la sensibilidad a la radiación varía con el sexo. Así con una dosis de 8 kr, la mortalidad es de 32,8 por ciento en los machos y 46,5 por ciento en las hembras. De igual forma que en la mortalidad, el porcentaje de adultos que emergen deformados varía con la cantidad de radiación recibida y con el sexo, así: con 8 kr, se obtiene 84,5 por ciento de machos y 100 por ciento de hembras con deformación. En los adultos que emergieron deformados se pudo observar que la radiación produce deformaciones: en las alas (Figura 2), antenas, apéndices bucales y torácicos, y en la conformación externa del abdomen. Estos mismos tipos de deformaciones se presentaron al irradiar pupas de temprana y avanzada edad.

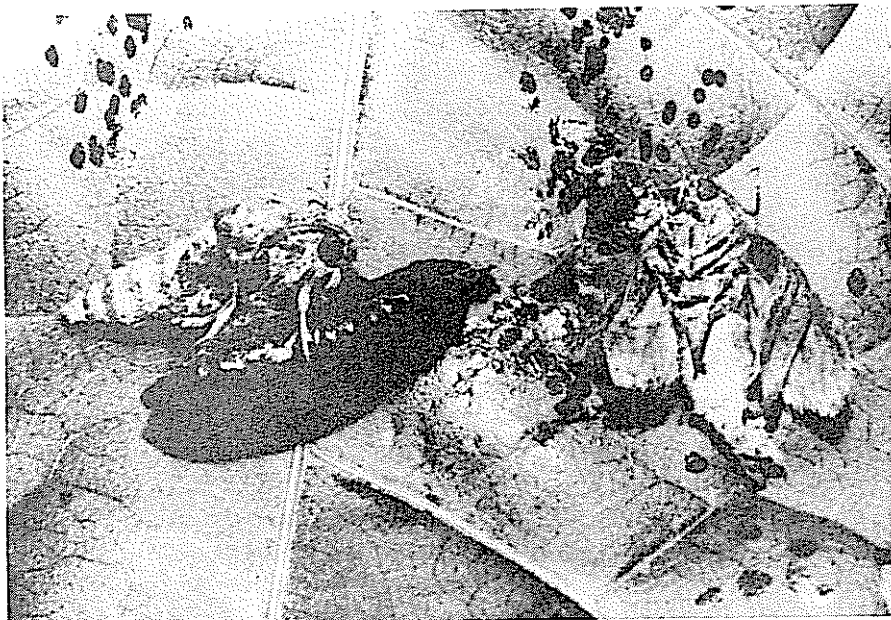
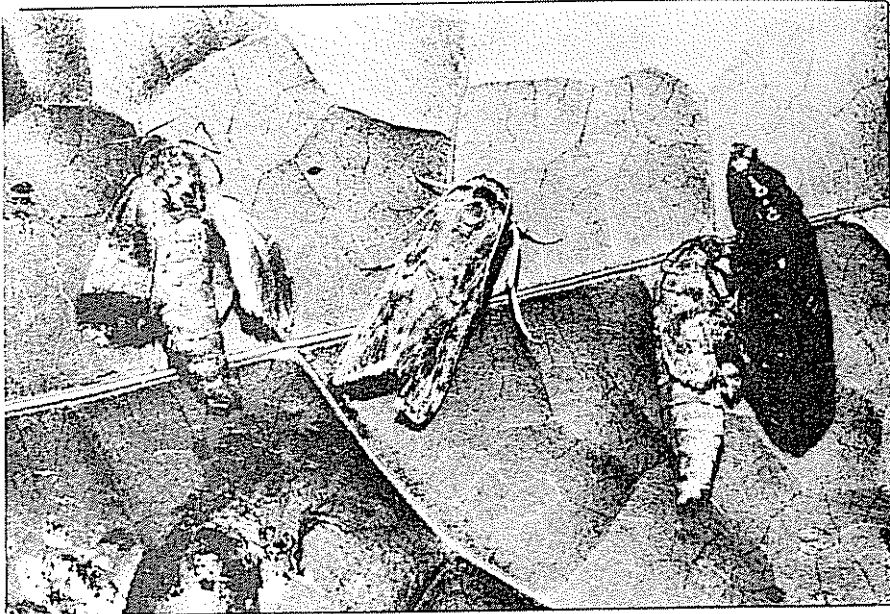


Fig 2 Adultos deformados por efecto de la radiación gamma

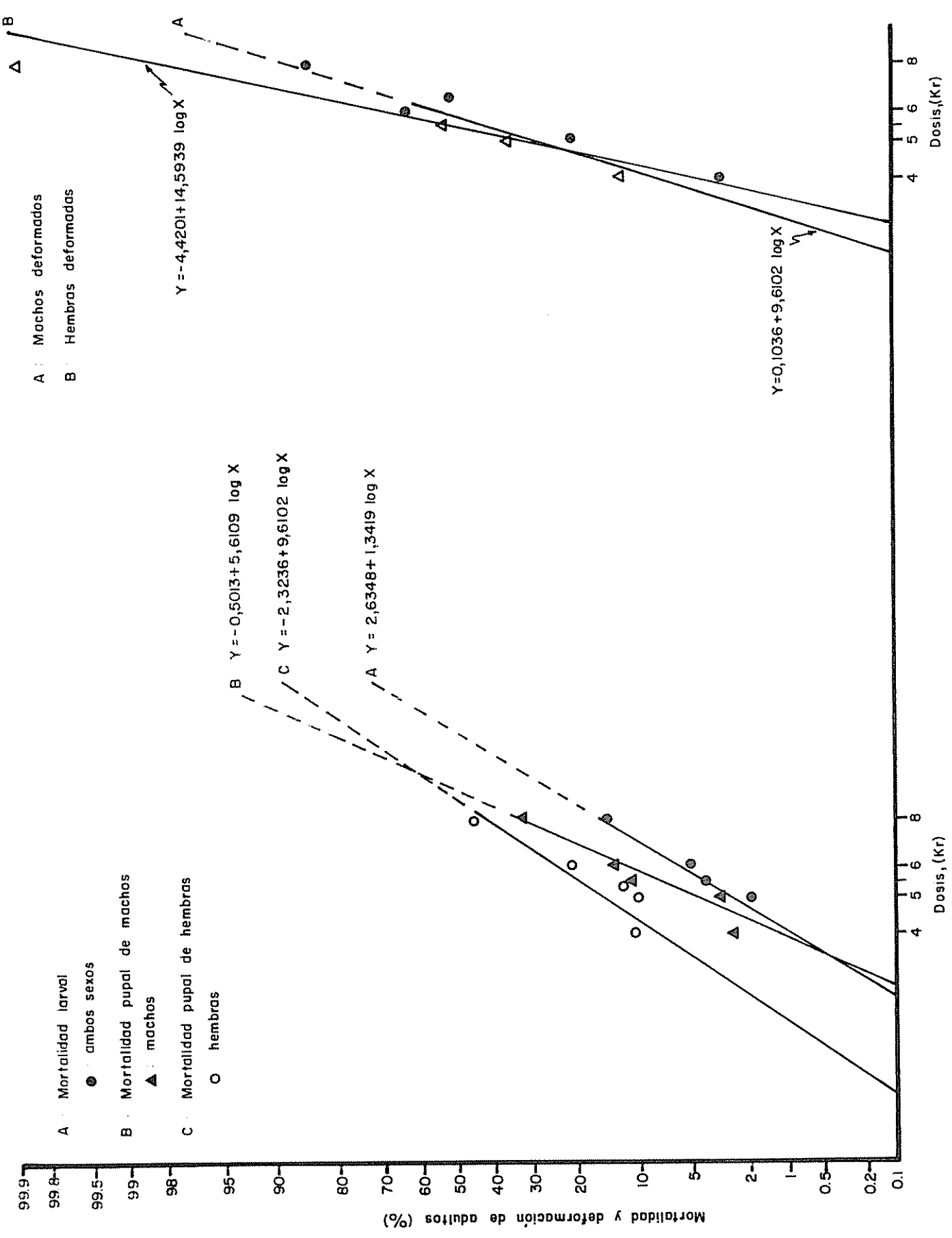


Fig. 3 Efecto de la radiación gamma en la mortalidad larval, pupal y deformación de adultos de H. grandella, tratados como larvas

En el Cuadro 3 del Apéndice, se consignan los datos de fertilidad de machos y hembras irradiados con diferentes dosis de radiación. En la Figura 4A se observa las respuestas dosis-fertilidad para ambos sexos, las cuales se ajustan a una curva tipo logística. Así con 4 kr la fertilidad en los machos es del 62,6 por ciento y a partir de este punto la fertilidad decrece bruscamente hasta 0,4 por ciento con una dosis de 6 kr. Comparando ambas curvas se nota que las hembras son más sensibles que los machos, la fertilidad en estas es de 47,3 por ciento con 4 kr y a partir de esta dosis el descenso es casi vertical para llegar a la esterilidad total con 5,5 kr.

La fecundidad tanto de las hembras normales que copularon con machos irradiados, como de las hembras irradiadas que se aparearon con machos normales (Figura 4B y Cuadro 3 del Apéndice), tiene la misma tendencia logística. En la curva para las hembras normales se puede notar que con una dosis de 4 kr hay una reducción en el porcentaje de fecundidad del 3,8 por ciento, en comparación con el testigo. Desde esta dosis la fecundidad disminuye rápidamente hasta 32,8 por ciento con la dosis de 6 kr. En las hembras irradiadas se nota un marcado efecto de la radiación, así, con 4 kr la fecundidad disminuye en un 62,6 por ciento, en comparación con el testigo y con una dosis de 6 kr la fecundidad llega a decrecer hasta 0,1 por ciento.

El promedio de longevidad de los adultos (ambos sexos) irradiados como larvas del último instar, se presenta en el Cuadro 3 del Apéndice. En ambos sexos la pérdida de longevidad sigue la tendencia de una curva logística. En la Figura 4C se presenta

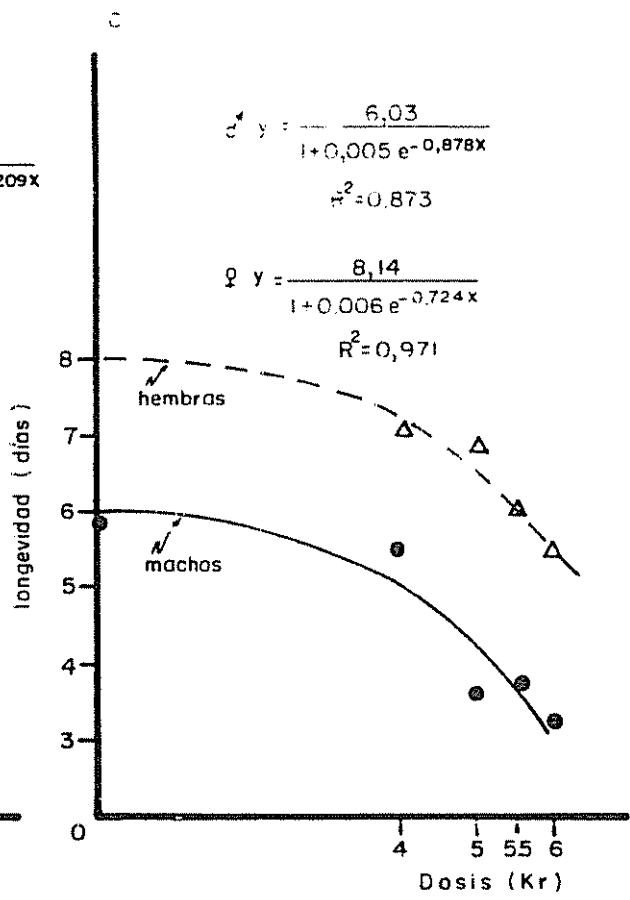
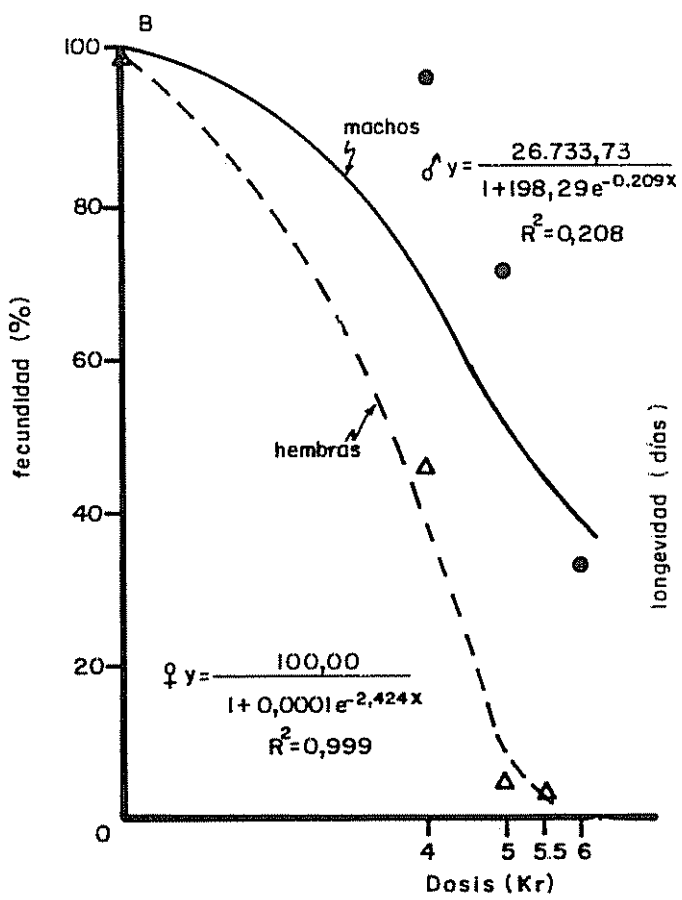
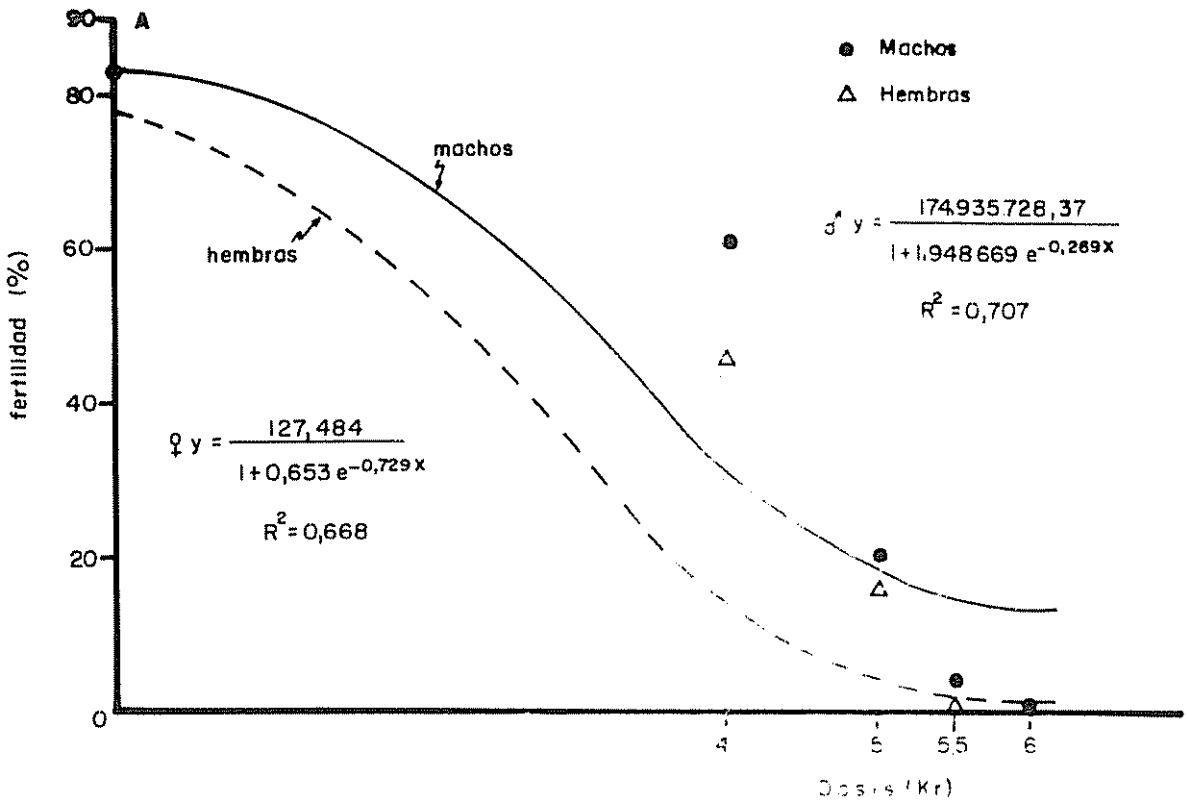


Fig. 4 Efecto de la radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de adultos de *H. grandella*, tratados como larvas



la curva de ajuste para machos notándose que la longevidad disminuye de 5,9 días (testigo) a 3,3 días cuando son irradiados con 6 kr. De igual forma en las hembras, la longevidad se reduce de 8,1 días (testigo) a 5,5 días cuando se les aplica una dosis de 6 kr.

#### 4.2 Efectos de la Radiación Gamma en la Mortalidad, Deformación de Adultos, Fertilidad, Fecundidad y Longevidad, de Machos y Hembras Tratados como Pupas de Temprana Edad

La mortalidad de pupas de H. grandella irradiadas en temprana edad se muestra en el Cuadro 4 del Apéndice. Los datos indican que las hembras son ligeramente más sensibles que los machos. En ambos sexos (Figura 5), el efecto en la mortalidad se manifiesta desde los 6 kr, en donde la mortalidad es de 11,5 por ciento para las hembras y el 9,5 por ciento para los machos. Con el incremento de la radiación la mortalidad aumenta, así, con 18 kr la mortalidad pupal es de 51,3 por ciento para los machos y 55,4 por ciento para las hembras.

El porcentaje de adultos que emergieron deformados de pupas irradiadas en temprana edad, se encuentra en el Cuadro 4 del Apéndice. En la Figura 5 se nota que al aplicar 6 kr los adultos que emergen presentaron deformaciones físicas; un 7,8 por ciento en los machos y 15,3 por ciento en las hembras. Luego se incrementó con la cantidad de radiación aplicada, así con 18 kr el 78,4 por ciento de los machos y el 93,9 por ciento de las hembras presentan deformaciones físicas. De lo anterior se deduce que las hembras son más susceptibles que los machos.

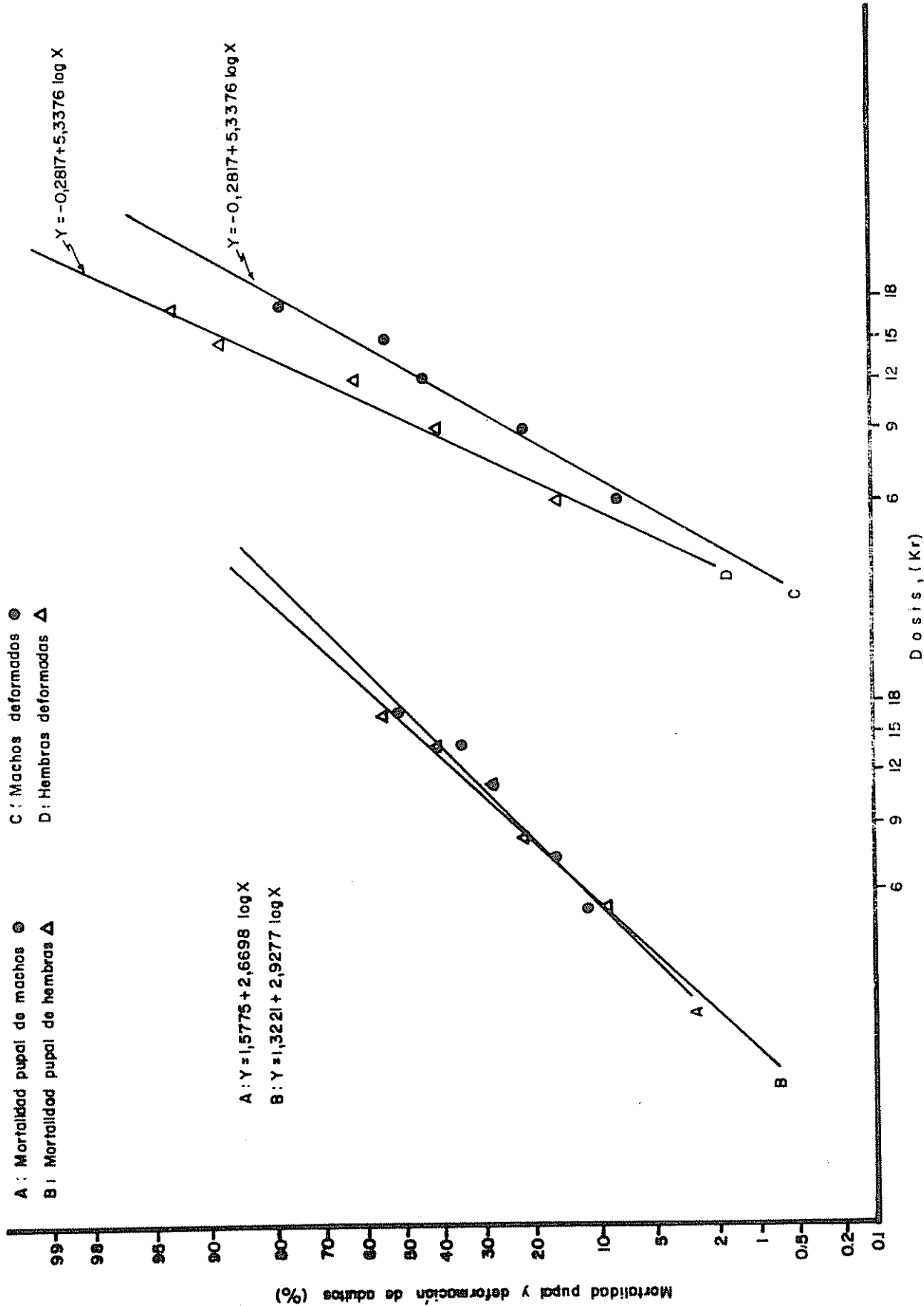


Fig.5 Efecto de la radiación gamma en la mortalidad pupal y deformaciones de adultos de *H. grandella*, tratados como pupas de temprana edad

Los resultados del efecto de la radiación en la fertilidad de los machos y hembras se anotan en el Cuadro 5 del Apéndice. Las curvas de respuesta (Figura 6A) en ambos casos siguen la tendencia logística. En los machos y hembras hay una fuerte reducción de la fertilidad cuando se les aplica 6 kr, en esta dosis el porcentaje de fertilidad es de 28,6 por ciento para los machos y el 15,7 por ciento para las hembras. A partir de esta dosis, en ambas curvas, la pendiente se suaviza hasta llegar a las dosis de esterilidad total, que son de 12 kr para las hembras y 15 kr para los machos.

El efecto de la radiación en la fecundidad de las hembras normales que copularon con machos irradiados y, de las hembras irradiadas que se aparearon con machos normales, está consignado en el Cuadro 5 del Apéndice. Las curvas de respuesta (Figura 6B) para la fecundidad presentan en ambos casos la misma tendencia que en la fertilidad. Se puede notar que en las hembras normales la fecundidad es poco afectada hasta los 6 kr (88,0 por ciento), pero con el incremento de la dosis de radiación (18 kr) la fecundidad se reduce hasta llegar a 20,5 por ciento. En cambio para las hembras irradiadas la fecundidad es fuertemente afectada desde 6 kr (38,1 por ciento) y desde esta dosis la reducción es paulatina hasta llegar a 5,6 por ciento de fecundidad con la dosis de 15 kr.

El promedio de longevidad de los adultos irradiados como pupas de temprana edad (Cuadro 5 del Apéndice) varía como en todos los casos anteriores con el sexo y la dosis aplicada. En las curvas de respuesta (Figura 6C) se puede observar que la

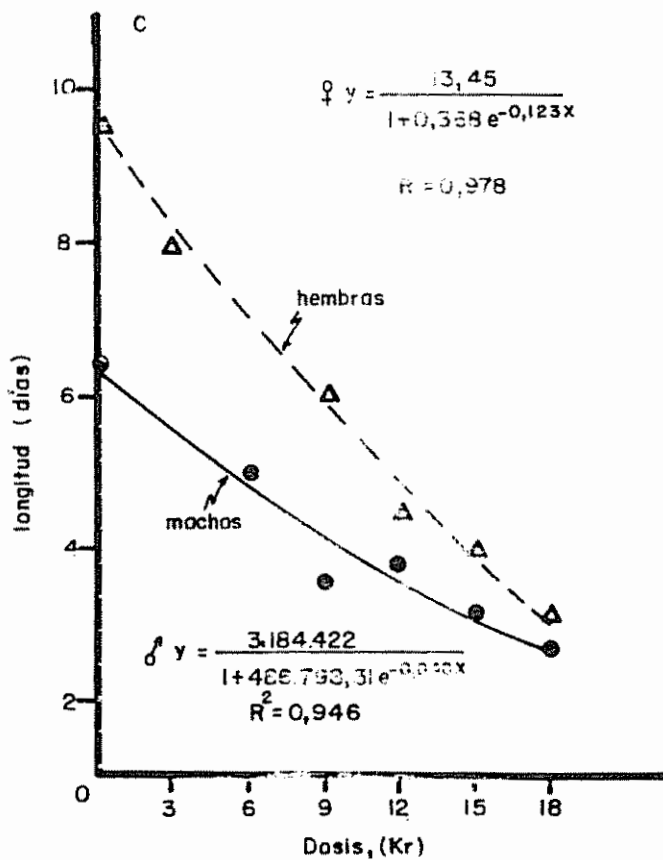
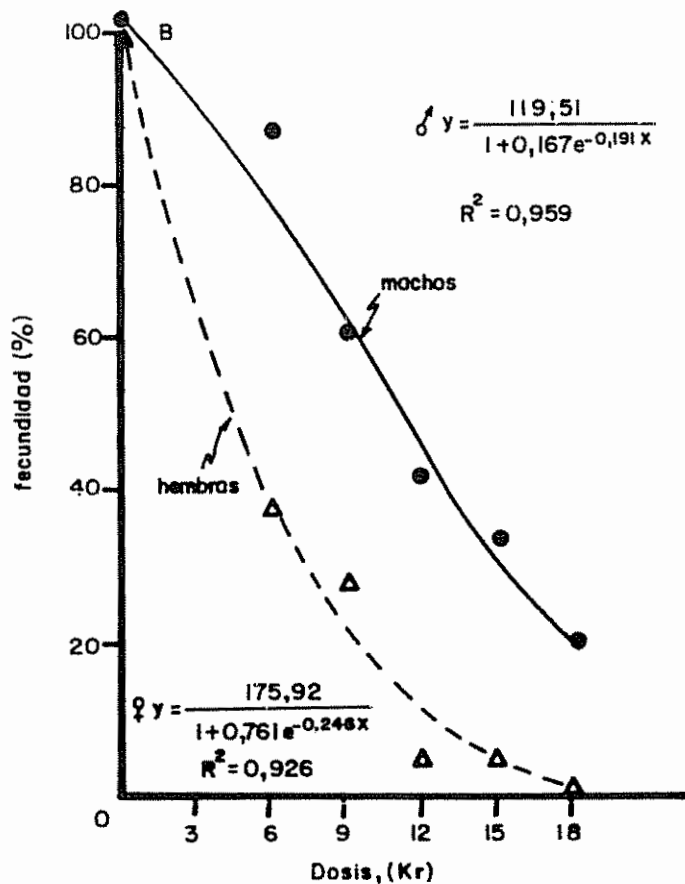
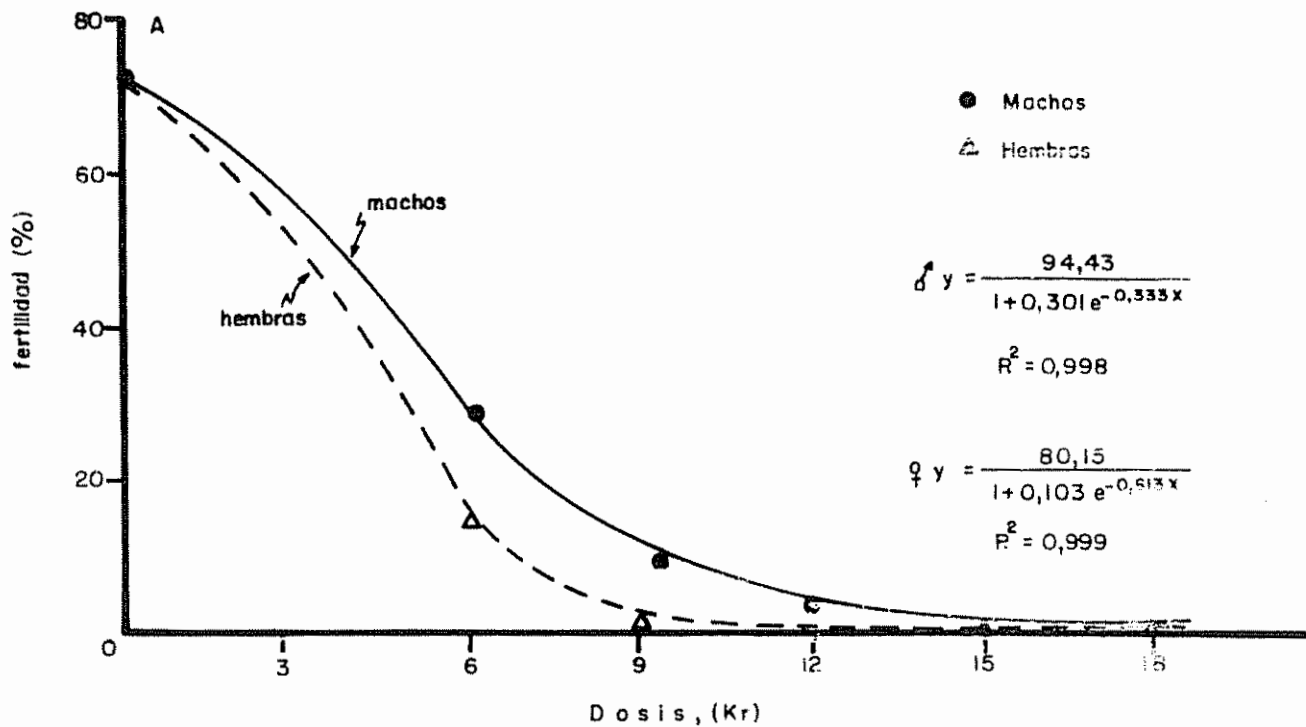


Fig. 6 Efecto de la radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de adultos de H. grandella, tratados como pupas de temprana edad

longevidad se reduce gradualmente con la dosis aplicada, así en los machos de 6,5 días (testigo) se reduce a 2,8 días, cuando se les aplica una dosis de 18 kr. De igual manera en las hembras de 9,6 días de vida (testigo) se reduce a 3,2 días con una dosis de 18 kr.

#### 4.3 Efectos de la Radiación Gamma en la Mortalidad, Deformación de Adultos, Fertilidad, Fecundidad y Longevidad de Machos y Hembras Tratados como Pupas de Avanzada Edad

En el Cuadro 6 del Apéndice, se anota el efecto de la radiación en la mortalidad de pupas irradiadas en avanzada edad. En la Figura 7 se puede ver que las hembras son más sensibles que los machos, el efecto de la radiación se manifiesta desde los 10 kr, en la cual hay una mortalidad pupal de 7,8 por ciento en los machos y 18,3 por ciento en las hembras. Este porcentaje aumenta a medida que se incrementa la dosis de radiación, así con 30 kr la mortalidad es de 21,9 por ciento en machos y 35,0 por ciento en hembras.

El porcentaje de adultos que emergieron deformados de pupas irradiadas en edad avanzada (Cuadro 6 del Apéndice y Figura 7), es menor que en los ensayos anteriores y también las hembras resultaron más sensibles a la radiación que los machos. La susceptibilidad es igual en ambos sexos (10 por ciento) cuando se les aplica una dosis de 10 kr, la diferencia en sensibilidad se nota cuando se aplica 30 Kr, en la cual el 30,9 por ciento de machos y el 39,0 por ciento de hembras emergieron deformados.

El efecto de la radiación en la fertilidad de machos y hembras irradiados como pupas de avanzada edad, se consigna en el

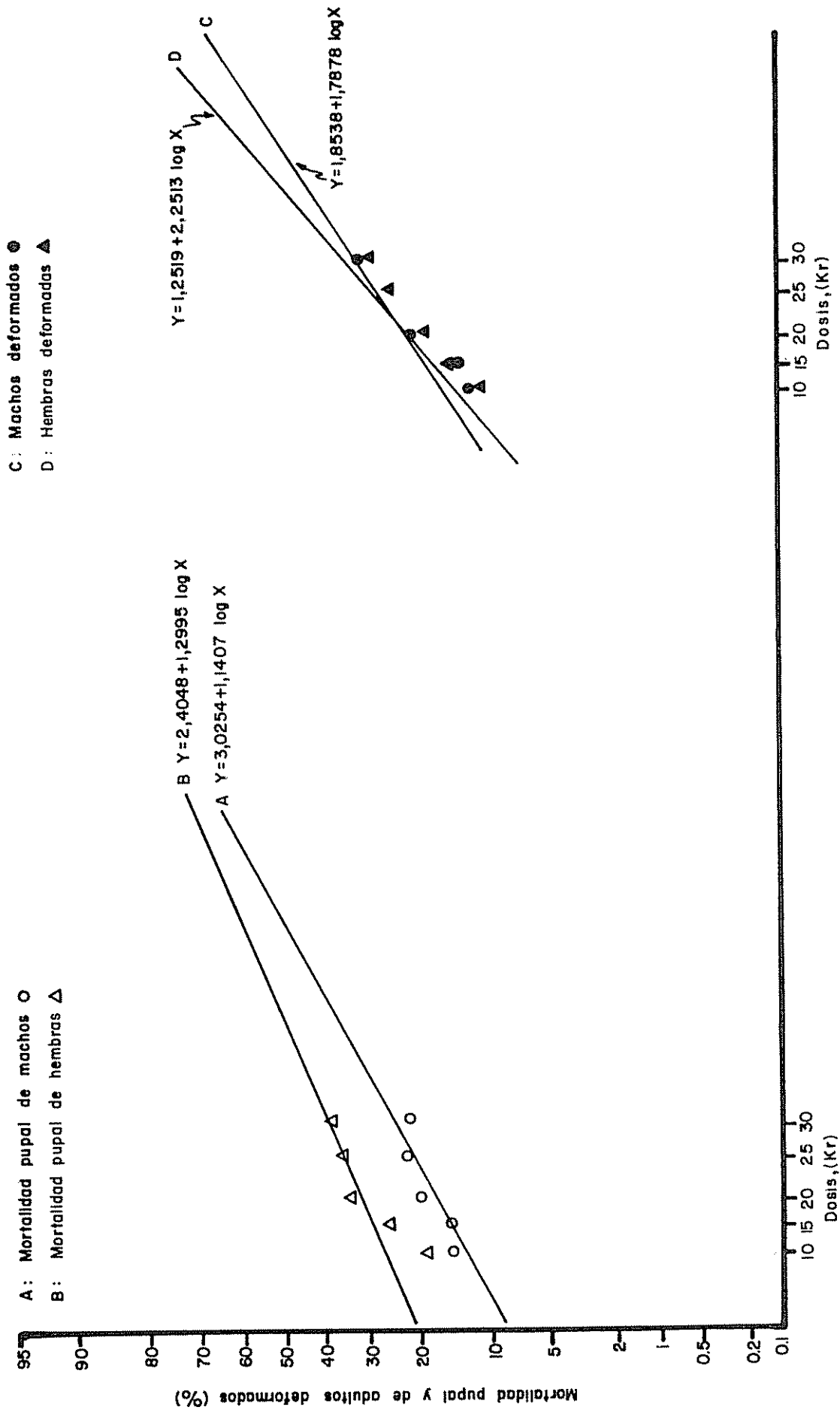


Fig. 7 Efecto de la radiación gamma en la mortalidad pupal y deformación de adultos de *H. grandella* tratados como pupas de avanzada edad

Cuadro 7 del Apéndice. Las curvas de respuesta (Figura 8A) se ajustan al modelo logístico utilizado en los ensayos anteriores. La fertilidad en los machos irradiados es de 63,1 por ciento con una dosis de 10 kr; con el aumento de la radiación la fertilidad disminuye bruscamente hasta 15,3 por ciento con 20 kr, luego se suaviza hasta 2,7 por ciento con 30 kr. En las hembras irradiadas la reducción de la fertilidad es mayor que en los machos, así con 10 kr la fertilidad es de 48 por ciento y desde este punto decrece rápidamente hasta los 20 kr, para luego suavizarse hasta la dosis esterilizante de 30 kr.

La fecundidad de las hembras normales que copularon con machos irradiados y la fecundidad de las hembras irradiadas que copularon con machos normales (Cuadro 7 del Apéndice y Figura 8B) disminuye a medida que aumenta la dosis de radiación. En las hembras normales la fecundidad decrece gradualmente desde el 100 por ciento (testigo) hasta 43,4 por ciento cuando copularon con machos irradiados con 30 kr. Las hembras irradiadas son más sensibles, así con 10 kr la fertilidad es de 57,9 por ciento y se reduce hasta 33,0 por ciento con 30 kr.

El promedio de longevidad de machos y hembras irradiados en estado de pupa de avanzada edad (Cuadro 7 del Apéndice y Figura 8C) se reduce paulatinamente desde el testigo hasta la dosis de 30 kr. Así, en los machos el promedio de longevidad disminuye de 6,7 días del testigo a 4,7 días cuando se les aplica una dosis de 30 kr. En las hembras el promedio de longevidad decrece desde 10,5 días del testigo a 7,1 días cuando se les irradia con 30 kr.

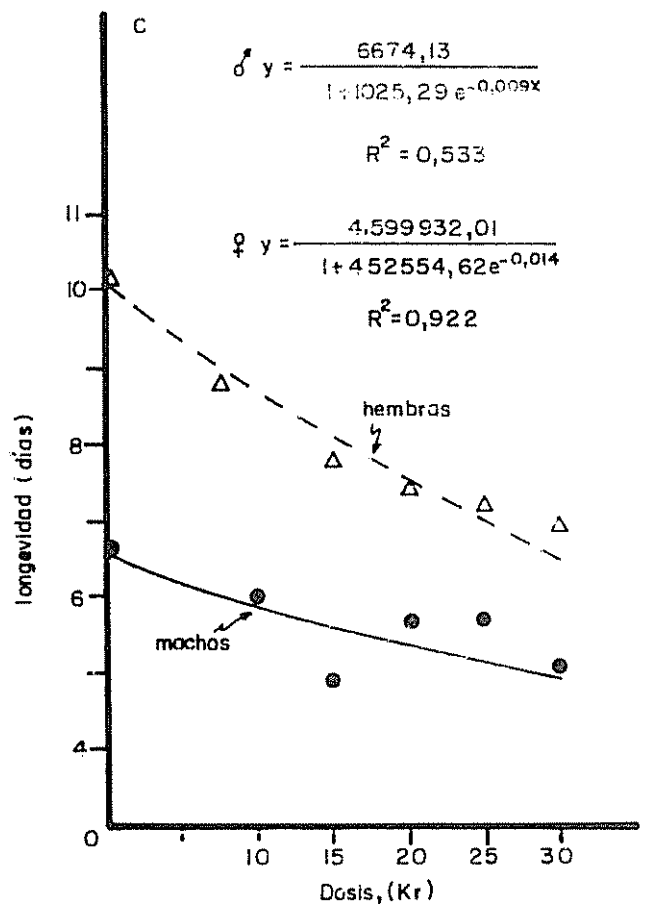
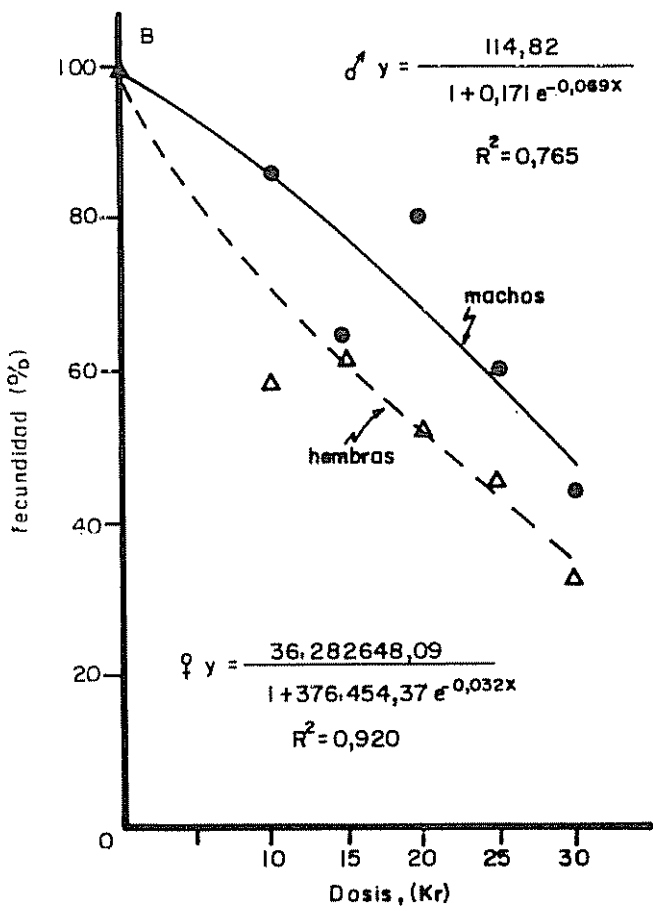
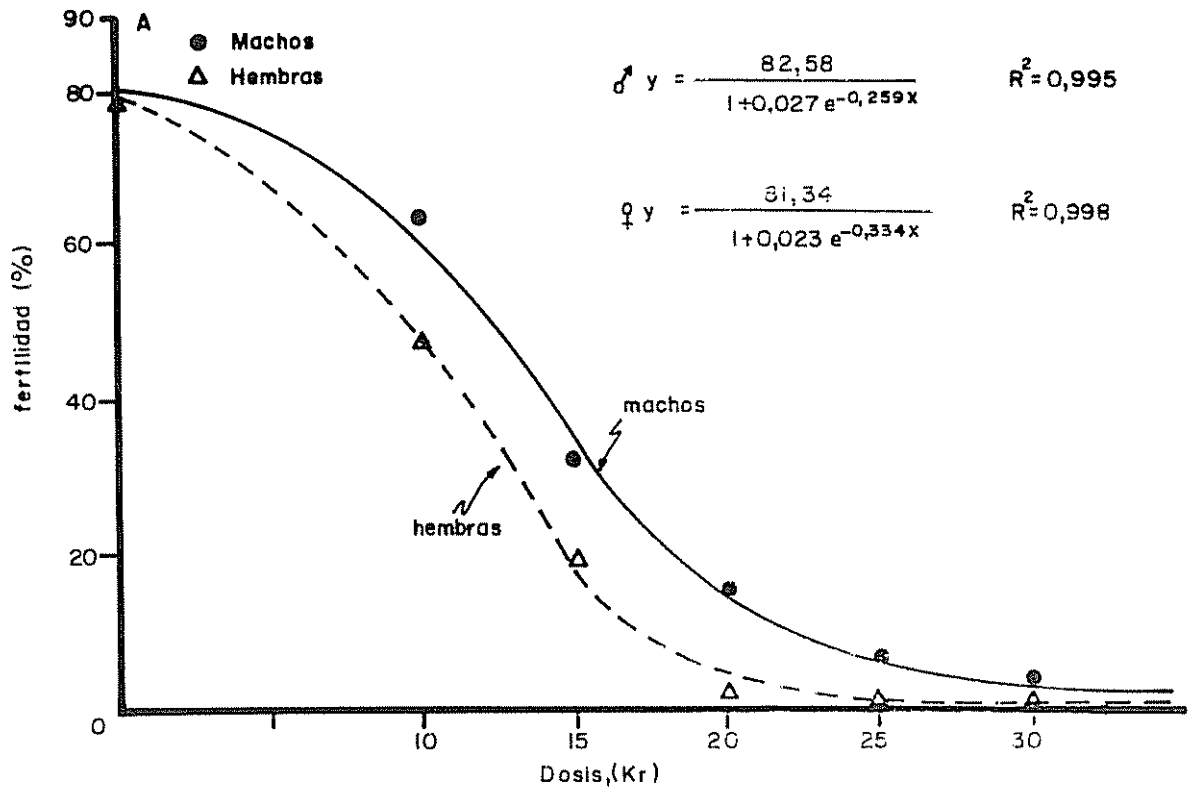


Fig.8 Efecto de la radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de adultos de H. grandella tratados como pupas de avanzada edad



#### 4.4 Efectos de la Radiación Gamma en la Fertilidad, Fecundidad y Longevidad de Machos y Hembras Tratados en Estado Adulto

En el Cuadro 8 del Apéndice, se presentan los resultados del efecto de las diferentes dosis de radiación en la fertilidad de los adultos. En la Figura 9A se puede apreciar que la pérdida de fertilidad, tanto en los machos como en las hembras, sigue la tendencia de una curva logística. Los machos parecen que son poco sensibles a la radiación, cuando se les aplica una dosis de 5 kr en comparación con el testigo, a partir de esta dosis, la fertilidad decrece bruscamente hasta los 20 kr (14,1 por ciento) y luego se estabiliza hasta la dosis esterilizante (35 kr). En cambio en las hembras, la fertilidad disminuye casi en forma lineal hasta 20 kr, para luego estabilizarse en las dosis que producen esterilidad total (30 kr).

La fecundidad de las hembras normales cruzadas con machos irradiados y de las hembras irradiadas cruzadas con machos normales, se consignan en el Cuadro 8 del Apéndice. En ambos casos la fecundidad disminuye de acuerdo al incremento de la radiación. En las curvas de respuesta (Figura 9B) se aprecia que la fecundidad es fuertemente reducida en las hembras irradiadas. Así cuando se aplica una dosis de 5 kr la fecundidad de las hembras normales que copularon con machos irradiados es de 95,9 por ciento y, con la misma dosis (5 kr) en las hembras irradiadas que se aparearon con machos normales el promedio de fecundidad es de 74,2 por ciento. Desde esta dosis en ambos casos la fecundidad disminuye hasta llegar a 47,9 por ciento en los machos y 28,4 por ciento en las hembras al aplicarles 35 kr.

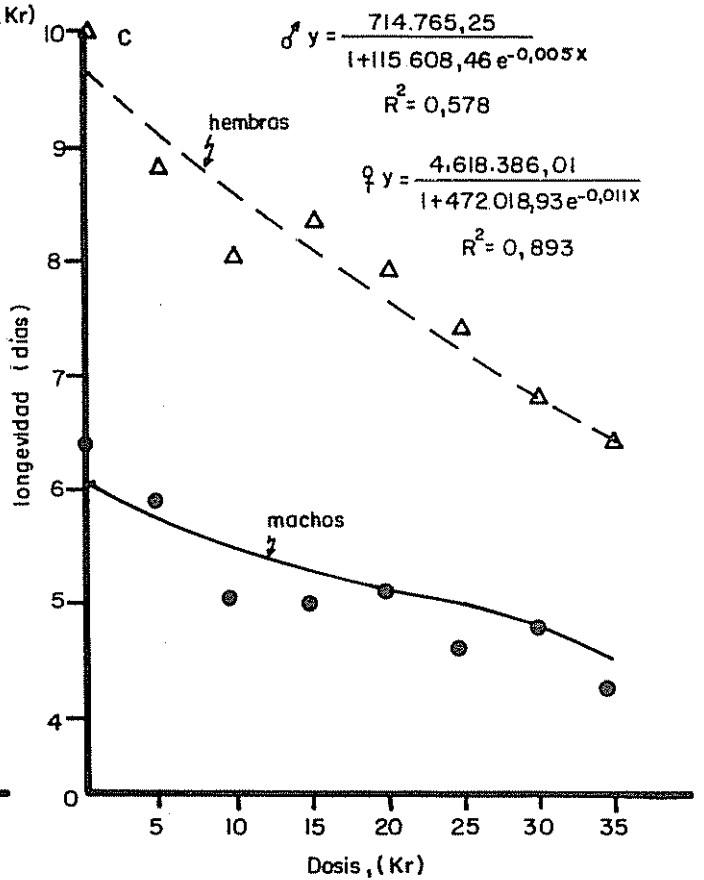
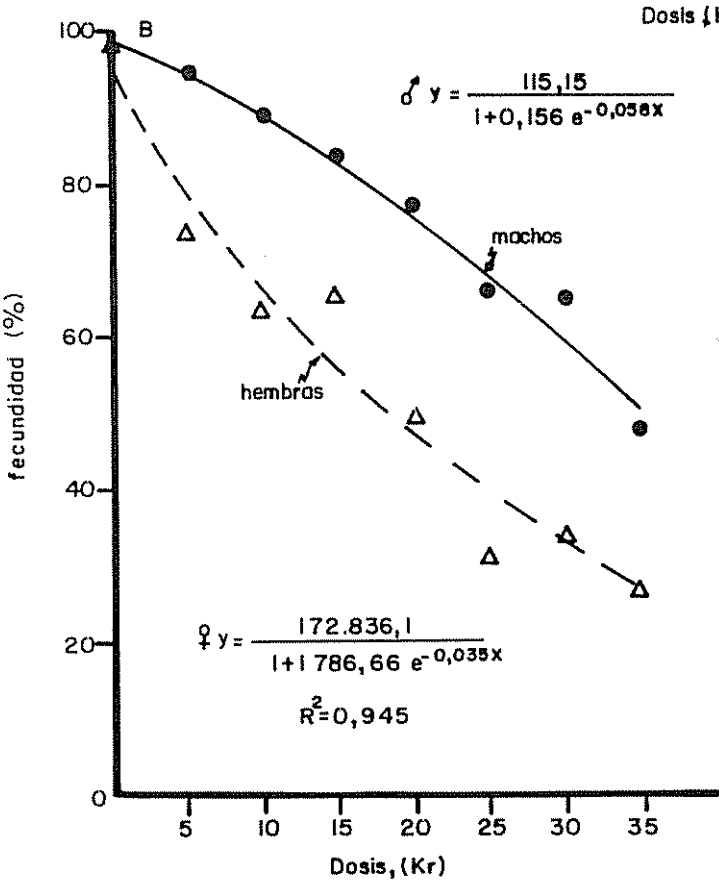
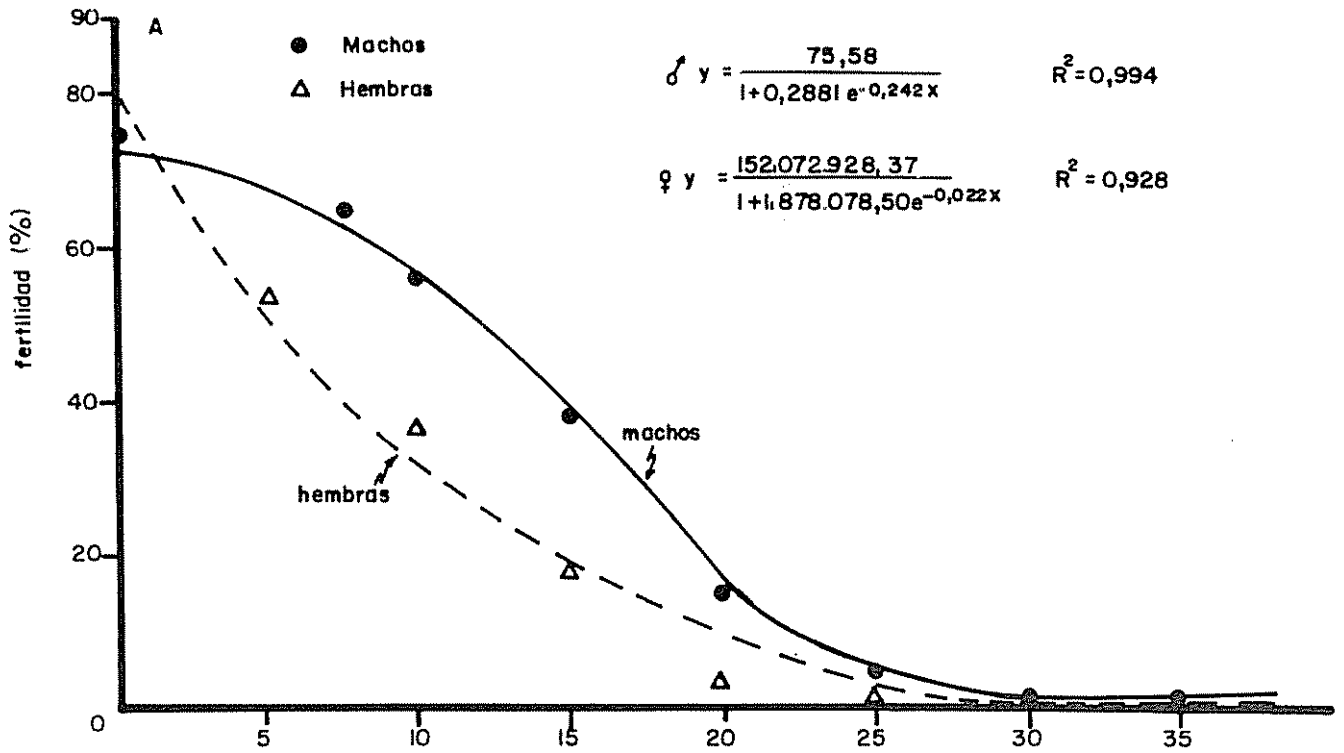


Fig 9 Efecto de la radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de adultos de H. grandella, tratados como adultos

La longevidad de los machos y hembras irradiadas como adultos, aparece en el Cuadro 8 del Apéndice y Figura 9C. El promedio de días que vivieron después de irradiados varía con la dosis administrada. Aunque las hembras tienen mayor longevidad que los machos, éstas son más susceptibles a la radiación. Así con una dosis de 35 kr, se redujo el promedio de longevidad en 3,8 días para las hembras y en 2,2 días para los machos.

## 5. DISCUSION

Según los datos del capítulo anterior, la fertilidad de H. grandella disminuyó en todos los estados de desarrollo estudiados a medida que se incrementó la cantidad de radiación gamma. Las dosis esterilizantes para los adultos variaron con el estado de desarrollo del insecto. Por ejemplo, al aplicar 6 kr a los machos irradiados en estado larval, la fertilidad fue de 0,40 por ciento, mientras que con la misma dosis, los machos irradiados como pupas de temprana edad, conservan 28,6 por ciento de fertilidad, siendo necesario aplicar 15 kr para reducir la fertilidad a 0,9 por ciento. En cambio la susceptibilidad de los machos a ser esterilizados como pupas de avanzada edad o adultos es casi similar; por ejemplo, al aplicarles 30 kr la fertilidad se reduce alrededor de 97 por ciento en ambos casos.

En todos los estados de desarrollo (larval, pupal y adulto) las hembras son más sensibles a ser esterilizadas que los machos; así al irradiar larvas del último instar con 5,5 kr, las hembras quedan totalmente estériles, mientras que los machos mantienen aún el 3,6 por ciento de fertilidad; de igual forma, al aplicarles 30 kr a las pupas de avanzada edad, la fertilidad de las hembras es de 0,1 por ciento, mientras que en los machos la fertilidad es de 2,7 por ciento.

Las dosis esterilizantes encontradas en este estudio para el estado adulto (35 kr para los machos y 30 kr para las hembras), concuerdan con resultados obtenidos por Katiyar (29) para esta especie.

La diferencia en susceptibilidad de los adultos a ser esterilizados en los distintos estados de desarrollo, probablemente se deba al diferente desarrollo de la oogénesis y espermatogénesis en las células germinales al momento de ser irradiados (6).

La mortalidad pupal aumenta en todos los estados de desarrollo (larvas y pupas de temprana y avanzada edad), a medida que se prolonga el tiempo de exposición a la radiación; además se puede notar que los estados menos desarrollados son más susceptibles, por ejemplo, al aplicar 15 kr a los machos en estado de pupa de temprana edad la mortalidad fue de 35,9 por ciento, sin embargo, con esta misma dosis en estado de pupa de avanzada edad la mortalidad pupal disminuyó a 15,6 por ciento. En las hembras el efecto es similar; y al comparar las  $DL_{30}$  para ambos sexos, aparentemente las hembras son más susceptibles que los machos en todos los estados de desarrollo. Por ejemplo, la  $DL_{30}$  para machos irradiados en estado de pupa de temprana edad es de 12,17 kr y 11,57 kr para las hembras en este mismo estado, en cambio al irradiar machos en estado de pupa de avanzada edad la  $DL_{30}$  es de 39,21 kr y 18,67 kr para las hembras.

El número de adultos que emergen deformados es mayor a medida que se incrementan las dosis de radiación en larvas y pupas de temprana y avanzada edad. Al igual que en la mortalidad, los estados menos desarrollados son los más afectados. Así, al irradiar los machos en estado de pupa de temprana edad con 15 kr, el 52,8 por ciento emergieron deformados y con la misma dosis al ser tratados los machos en estado de pupa de temprana edad, el 11,6 por ciento presentaron deformaciones. A juzgar por las

DD<sub>30</sub> para machos y hembras en todos los estados de desarrollo, resulta que las hembras son más susceptibles que los machos. Por ejemplo, la DD<sub>30</sub> para machos irradiados en estado pupal de temprana edad es de 10,12 kr y 7,78 kr para las hembras tratadas en este mismo estado; en cambio la DD<sub>30</sub> para machos en estado pupal de avanzada edad es de 29,26 kr y 27,03 kr para las hembras en este estado.

Al irradiar larvas del último instar se puede observar que el efecto de la radiación no es inmediato, éste se manifiesta en mayor grado conforme aumenta el desarrollo del insecto. Por ejemplo, al aplicar 8 kr, la mortalidad larval es de 13 por ciento, la mortalidad de las hembras en estado pupal es de 46,5 por ciento y el 100 por ciento emergen deformados, efecto similar ocurre en los machos.

El alto porcentaje de mortalidad pupal y de deformación de adultos en los estados menos desarrollados, probablemente se deba a que en estas fases es más activo el proceso de la diferenciación y multiplicación celular (38).

La longevidad de los machos irradiados en todas las fases estudiadas del insecto se redujo a medida que se aumentó las dosis de radiación, resultando más afectadas las fases poco desarrolladas. Así al aplicarles 15 kr a los machos en estado de pupa de temprana edad, pupa de avanzada edad y adultos, la longevidad de los machos decreció el 55, 28 y 24 por ciento respectivamente, en comparación con los machos no irradiados.

La longevidad de las hembras al igual que los machos decreció por efecto de la radiación y es más marcado en los estados

de temprano desarrollo, por ejemplo, en las hembras irradiadas con 15 kr como pupas de temprana edad, pupas de avanzada edad y adultos, la longevidad se reduce el 57, 27 y 19 por ciento, respectivamente, en comparación con las hembras no irradiadas; igual reducción de longevidad en las hembras irradiadas de H. virescens también fue encontrada por Flint y Kressin (16), mientras que Reyes (41) al irradiar L. coffeella notó que la radiación estimula la longevidad de las hembras.

Según lo anterior parece que el mejor estado de desarrollo de H. grandella para ser utilizado en la 'técnica de machos estériles', es el estado adulto, a pesar, de que al aplicarles las dosis esterilizantes a ambos sexos el promedio de longevidad es menor que el que se obtiene al irradiar con las dosis esterilizantes a las pupas de avanzada edad; pero al irradiar adultos no se observa mortalidad ni deformaciones físicas.

La fecundidad de las hembras normales que copularon con machos irradiados disminuyó de acuerdo al aumento de la radiación en los estados de desarrollo estudiados. Parece que el esperma o líquido seminal (o ambos) de los machos irradiados, inhibe en alguna forma la normal oviposición de las hembras. En otros Lepidópteros también se encontró que la fecundidad se reduce cuando hembras normales copulan con machos irradiados (8, 13, 16). En cambio Husseiny y Madsen (25) y Reyes (42) indican que la fecundidad de las hembras de P. transitella y L. coffeella no se afecta cuando copulan con machos irradiados.

La fecundidad de las hembras irradiadas y apareadas con machos normales, disminuyó fuertemente por el efecto de radiación

y la susceptibilidad decrece según el estado de desarrollo en que son irradiadas. La mayor o menor sensibilidad de las hembras, en cada una de las fases estudiadas puede deberse a las diferentes etapas de desarrollo de la ovogénesis en las células germinales (6).

Aunque no se efectuaron ensayos sobre el vigor sexual de los machos y hembras irradiadas, se pudo notar que el porcentaje de copulación disminuye de acuerdo al incremento de la radiación gamma, en todos los estados del insecto estudiados. Solo en tres hembras se encontró la presencia de dos espermátóforos en la bursa copulatrix.



6. CONCLUSIONES

1. Se puede inducir esterilidad en ambos sexos de H. grandella, al irradiarlos como larvas, del último instar, pupas de temprana edad, pupas de avanzada edad o adultos recién emergidos.
2. La susceptibilidad de H. grandella a la radiación gamma, en relación a la mortalidad y deformación de adultos, decrece a medida que aumenta el estado de desarrollo del insecto.
3. La longevidad de los adultos de ambos sexos, decreció con el aumento de la radiación en todos los estados del insecto estudiados.
4. La fecundidad de las hembras normales que copularon con machos irradiados y la de las hembras irradiadas que se aparearon con machos normales, disminuyó con el incremento de la radiación, en todas las fases del insecto que se estudió.
5. Las hembras en estado de larva, pupa o adulto, son más susceptibles a la radiación que los machos, en lo referente a mortalidad, deformación de adultos, inducción de esterilidad y reducción de longevidad.
6. Parece que el estado de desarrollo más apropiado para la 'técnica de machos estériles' es el adulto, ya que al irradiar

con las dosis esterilizantes de 35 kr para los machos y 30 kr para las hembras, se reduce menos la longevidad y el porcentaje de copulación, en comparación con los otros estados de desarrollo estudiados. Además, en el estado adulto no hay efecto de la radiación en la mortalidad y deformaciones físicas.

7. RESUMEN

El barrenador de las Meliáceas, Hypsipyla grandella (Zeller), constituye un factor limitante para el establecimiento de plantaciones de cedro (Cedrela spp.) y caoba (Swietenia spp.) en los trópicos americanos. Para el combate de esta plaga, se ha probado el control químico, biológico y silvicultural, pero hasta el momento no hay un método adecuado para su control.

Esta investigación tuvo como finalidad estudiar la posibilidad de aplicar la 'técnica de machos estériles' en la lucha contra esta plaga.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- 1- Determinar las dosis de esterilización con radiación gamma, para machos y hembras tratados como larvas del último instar, pupas de temprana y avanzada edad y adultos.
- 2- Estudiar los efectos de la radiación en la mortalidad, deformación de adultos, fecundidad y longevidad en todos los estados de desarrollo anteriormente indicados.
- 3- Determinar el estado de desarrollo más apropiado para su esterilización.

Los insectos necesarios para este estudio fueron criados en dieta artificial, bajo condiciones de laboratorio, con una temperatura de  $25 \pm 3^\circ\text{C}$  y humedad relativa de  $73 \pm 6$  por ciento.

La irradiación se efectuó en una pila de  $^{60}\text{Co}$ , que emite aproximadamente 1 kr/54 seg. Las larvas del último instar (22 a 20 días) se las expuso a 4,0, 5,0, 5,5, 6,0 y 8 kr; a las pupas de temprana edad (1 a 3 días) se las irradió con 6, 9, 12,

15 y 18 kr; a las pupas de avanzada edad (7 a 9 días), se les aplicó 10, 15, 20, 25 y 30 kr; y a los adultos (15 a 20 horas después de la emergencia) se los trató con 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 kr. La irradiación fue simultánea para ambos sexos, en todos los tratamientos se utilizó un testigo.

Los adultos (machos y hembras) irradiados como tales o los que emergieron de larvas o pupas tratadas, fueron cruzados con adultos normales. Se los mantuvo por tres días en jaulas de copulación y posteriormente las hembras se trasladaron a vasos de oviposición.

Al aplicar 6 kr a los machos en estado larval, la fertilidad se redujo a 0,4 por ciento, la mortalidad pupal fue de 12,9 por ciento. El 63,3 por ciento de los adultos emergieron deformados y la longevidad se redujo en un 44 por ciento. Al irradiar hembras con 5,5 kr en este estado de desarrollo, la fertilidad se redujo a 0 por ciento y la mortalidad pupal fue de 21,7 por ciento. El 66,7 por ciento de los adultos emergieron deformados y la longevidad disminuyó el 26 por ciento en comparación con el testigo.

Los machos irradiados con 15 kr como pupas de temprana edad conservan el 0,9 por ciento de fertilidad, la mortalidad pupal es de 35,9 por ciento, el 52,8 por ciento emergen deformados y la longevidad decrece el 48 por ciento. Con una dosis de 12 kr las hembras quedan totalmente estériles, la mortalidad pupal es de 28,4 por ciento, el 61,7 por ciento emergen deformados y la longevidad se reduce en un 52 por ciento en comparación con el testigo.

Cuando se aplicaron 30 kr a machos y hembras en estado de pupa de avanzada edad, la fertilidad disminuyó a 2,7 y 0,1 por ciento, la mortalidad fue de 21,9 y 35,0 por ciento, el 30,9 y 39,0 por ciento de adultos emergieron deformados y la longevidad se redujo el 30 a 32 por ciento, respectivamente.

Con una dosis de 35 kr, los machos irradiados en estado adulto tuvieron 1,5 por ciento de fertilidad, la longevidad decreció el 33 por ciento; mientras que las hembras irradiadas con 30 kr en este estado quedaron totalmente estériles y la longevidad se disminuyó el 37 por ciento.

Según los resultados anteriores parece que el mejor estado de desarrollo para ser utilizado en la técnica de machos estériles es el estado adulto, debido a que en este estado no hay reducción de insectos por efecto de la radiación en la mortalidad y deformaciones físicas, además la longevidad no es muy afectada en comparación con los otros estados de desarrollo estudiados.

La fecundidad de las hembras normales que copularon con machos irradiados, como la de las hembras irradiadas que se aparearon con machos normales, disminuyó a medida que se incrementó las dosis de radiación en todos los estados de desarrollo del insecto estudiados.

7a. SUMMARY

The Meliaceous shoot borer, Hypsipyla grandella (Zeller) is an important limiting factor in the establishment of cedar (Cedrela spp.) and mahogany (Swietenia spp.) plantations in the American tropics. A number of control methods, such as chemical, biological and silvicultural have been applied in the past, but to this date, none has proven effective.

The objective of this study was to determine the possibility of applying the sterile male technique as a means of control of this insect pest.

The specific objectives were the following:

- 1- To determine the sterilizing doses of gamma radiation for males and females of the last larval instar, pupae of early and advanced age, and adults.
- 2- To study the effects on mortality, deformation of adults, fecundity, and longevity in all stages of development.
- 3- To determine the most appropriate stage of development suitable for sterilization.

The insects needed for this study were reared on artificial diet under laboratory conditions, at a temperature of  $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$  and a relative humidity of  $73 \pm 6$  percent.

Radiation was applied with a Cobalt-60 source which emits approximately 1 kr/54 sec. Larvae of the last instar (22 to 30 days) were exposed to 4,0, 5,0, 5,5, 6,0 and 8,0 kr. Pupae of early age (1 to 3 days) were irradiated with 6, 9, 12, 15 and 18 kr. Pupae of advanced age (7 to 9 days) received a dose

of 10, 15, 20, 25 and 30 kr and adults (15 to 20 hours after emergence) were treated with 5, 10, 15, 20, 25, 30 and 35 kr. Radiation was applied simultaneously to both sexes. In all treatments a control was used.

Irradiated adults (males and females), including those which emerged as treated larvae or pupae, were bred with normal adults. They were kept for three days in copulation cages and later the females were transferred to oviposition flasks.

Males which were treated in the larval stage with 6 kr showed reduction in fertility to 0.4%. Pupal mortality was 12.9% and 63.3% emerged deformed. Longevity was reduced by 44%. Females which were irradiated with 5.5 kr in this stage of development lost 100% of their fertility and pupal mortality was 21.7%. Among the emerging adults were 66.7% deformed. Longevity was reduced by 26% as compared to the controls.

Males which were treated with 15 kr in the pupal stage of early age maintained 0.9% of their fertility. Pupal mortality was 35.9% and deformation amounted to 52.8% among the emerging. Longevity decreased by 48%. Females exposed to 12 kr were completely sterilized. Pupal mortality was 28.4 and 61.7% emerged deformed. Longevity was reduced by 52% in comparison with control.

When 30 kr were applied to male and female pupae of advanced age, fertility was reduced to 2.7 and 0.1%, mortality was 21.9 and 35%, deformation of emerging adults was 30.9 and 39.0% and longevity was reduced by 30 and 32% respectively.

With a dose of 35 kr the irradiated males in the adult stage possessed 1.5% fertility and the longevity decreased by

33%, while females irradiated with 30 kr in the adult stage were completely sterile and longevity was reduced by 37%.

According to the preceeding results, it appears that the best stage of development suitable for the application of the sterile male technique is the adult. At this stage, there is no reduction of numbers due to the radiation effects, through mortality, or through physical deformation. In addition, longevity is not greatly affected in comparison with the other developmental stages studied.

Fecundity of normal females which copulated with irradiated males, like that of irradiated females which paired with normal males, was reduced according to the increase in dosage of radiation in all stages of development of the insect studied.



8. LITERATURA CITADA

1. ALBERTIN, W. A review of the silvicultural and entomological significance of the mahogany and cedar shoot-borer Hypsipyla grandella (Zeller) in the American tropics. Ann Arbor, Michigan, School of Natural Resources, 1964. 55 p. (Mimeografiado)
2. ALLAN, G. C., GARA, R. I. y WILKINS, P. M. Studies on the shoot-borer Hypsipyla grandella Zeller. III. The evaluation of some systemic insecticides for the control of larvae in Cedrela odorata L. Turrialba (Costa Rica) 20(4):478-487. 1970.
3. BERRIOS, F. e HIDALGO-SALVATIERRA, O. Estudios sobre el barrenador Hypsipyla grandella Zeller. VI. Susceptibilidad de la larva al hongo Metarrhizium anisopliae (Metch.). Turrialba (Costa Rica) 21(2):214-219. 1971.
4. \_\_\_\_\_ e HIDALGO-SALVATIERRA, O. Estudios sobre el barrenador Hypsipyla grandella Zeller. VIII. Susceptibilidad de la larva a los hongos Beauveria bassiana (Bal.) y Beauveria tenella (Del.). Turrialba (Costa Rica) 21(4):451-454. 1971.
5. \_\_\_\_\_. Estudio de la susceptibilidad del barrenador de las Meliáceas Hypsipyla grandella Zeller al hongo Metarrhizium anisopliae (Metch.) Sorokin. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 76 p.
6. BORSTEL, R. C. Von. Effects of radiation on germ cells of insects: dominant lethals, gamete inactivation and gonial-cell killing. In Symposium on the use and application of radioisotopes and radiation in control of plant and animal insect pests, Athens, 1963. Proceedings. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1963. pp. 367-368.
7. BURGOS, J. A. Un estudio de la silvicultura de algunas especies forestales en Tingo María, Perú. Caribbean Forester 15(1-2):14-53. 1954.
8. CATER, J. C. The silviculture of Cedrela mexicana. Caribbean Forester 6(3):89-113. 1945.
9. COGBURN, R. R., TILTON, E. W. y BURKHOLDER, W. E. Gross effects of gamma radiation on the Indian-meal moth and the Angoumois grain moth. Journal of Economic Entomology 59(3):682-685. 1966.
10. CORNWELL, B. y BULL, J. O. Insect control by gamma irradiation: an appraisal of the potentialities and problems involved. Journal of the Science of Food and Agriculture 11(12):754-758. 1960.

11. DOUROJEANNI, R. M. El barrenado de los brotes (Hypsipyla grandella) en cedro y caoba. *Agronomía (Perú)* 30(1):35-43. 1963.
12. ELBADRY, E. Some effects of gamma radiation on the potato tuberworm, Gnorimoschena operculella (Lepidoptera:Gelechiidae). *Annals of the Entomological Society of America* 58(2):206-209. 1965.
13. EL SAYED, E. I. y GRAVES, J. B. Effects of gamma radiation on the tobacco budworm. I. Irradiation of pupae. *Journal of Economic Entomology* 62(2):289-293. 1969.
14. \_\_\_\_\_ y GRAVES, J. B. Effects of gamma radiation on the tobacco budworm. II. Irradiation of moths. *Journal of Economic Entomology* 62(2):293-296. 1969.
15. \_\_\_\_\_ y GRAVES, J. B. Effects of gamma radiation on the tobacco budworm. III. Irradiation of eggs and larvae. *Journal of Economic Entomology* 62(2):296-298. 1969.
16. FLINT, H. y KRESSIN, E. L. Gamma irradiation of pupae of the tobacco budworm. III. Irradiation of eggs and larvae. *Journal of Economic Entomology* 60(6):1655-1659. 1967.
17. GODWIN, P. A., RULE, H. D. y WATERS, W. E. Some effects of gamma irradiation on the gypsy moth, Porthetria dispar. *Journal of Economic Entomology* 57(6):986-990. 1964.
18. GRIJPMAN, P. Immunity of Toona ciliata M. Roem var. australis (Costa Rica) (F.v.M.) CDC and Khaya ivorensis A. Chev. to attacks of Hypsipyla grandella Zeller, in Turrialba. Costa Rica. *Turrialba (Costa Rica)* 20(1):85-93. 1970.
19. \_\_\_\_\_. Studies on the shoot-borer, Hypsipyla grandella Zeller. V. Observations on a rearing technique and on host selection behavior of adults in captivity. *Turrialba (Costa Rica)* 21(2):202-213. 1971.
20. \_\_\_\_\_. Studies on the shoot-borer Hypsipyla grandella (Zeller) (Lepidoptera:Pyralidae). XII. Observation on the egg parasite Trichogramma semifumatum (Perkins) (Hymenoptera:Trichogrammatidae). *Turrialba (Costa Rica)* 22(4):398-402. 1972.
21. HEINRICH, C. American moths of the subfamily Phycitinae. U. S. National Museum. Bulletin no. 207. 1956. 581 p.
22. HIDALGO-SALVATIERRA, O. y MADRIGAL SANCHEZ, L. R. Estudios sobre Hypsipyla grandella Zeller. IV. Trichogramma sp., parásito de los huevos. *Turrialba (Costa Rica)* 20(4):513. 1970.

23. HIDALGO-SALVATIERRA, O. Estudios sobre el barrenador Hypsipyla grandella Zeller. VII. Determinación del sexo en pupas. Turrialba (Costa Rica) 21(2):221. 1971.
24. HOLDRIDGE, L. R. Comments on the silviculture of Cedrela. Caribbean Forester 4(2):77-80. 1954.
25. HUSSEINY, M. M. y MADSEN, H. F. Sterilization of the navel orange-worm, Paramyctois transitella (Walker), by gamma radiation (Lepidoptera:Phycitidae). Hilgardia 36(3): 113-137. 1964.
26. INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA. Informe de viaje de estudios e investigación a los países centroamericanos 1971-1972 de los estudiantes del Departamento de Ciencias Forestales Tropicales. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 31 p. (Mimeografiado)
27. KATIYAR, K. P. y FERRER, F. Rearing technique, biology and sterilization of the coffee leaf miner, Leucoptera coffeella Guer. (Lepidoptera:Lyonetiidae). In Symposium on the Use of Isotopes and Radiation in Entomology, Vienna, 1967. Proceedings. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1968. pp. 165-175.
28. \_\_\_\_\_. La irradiación en el control de plagas. In Seminario Latinoamericano de Profesores de Fitopatología y Entomología de Instituciones de Educación Agrícola Superior, Lima, Perú, 1968. Documentos. Lima, Perú, IICA, Zona Andina, 1968. Documento DDF-10, 9 p.
29. \_\_\_\_\_. Biology and sterilization of the shootborer, Hypsipyla grandella (Zeller) (Lepidoptera:Phycitinae). In The Application of Nuclear Energy to Agriculture: annual report, 1972. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. pp. 42-43.
30. \_\_\_\_\_. Gamma irradiation of newly emerged adults: Effects on fertility and longevity of treated moths. In The Application of Nuclear Energy to Agriculture: annual report, 1973. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. pp. 32-34.
31. KNIPLING, E. F. Use of insects for their own destruction. Journal of Economic Entomology 53(3):415-420. 1960.
32. LACHANCE, L. E. The induction of dominant lethal mutations in insect by ionizing radiation and chemicals - as related to the sterile-male technique of insect control. In Wright, J. W. y Pal, R., eds. Genetics of insect vectors of disease. New York, Elsevier, 1967. pp. 617-650.

33. LINDQUIST, A. W. Insect population control by the sterile-male technique. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1963. 59 p.
34. MOH, C. C. Los efectos de las radiaciones ionizantes en las plantas superiores. IICA. Boletín Técnico no. 3. 1958. 22 p.
35. NELSON, O. N. Electromagnetic energy. In Kilgore, W. W. y Douth, R. L., eds. Pest control. New York, Academic Press, 1967. pp. 89-193.
36. O'BRIEN, R. D. y WOLFE, L. S. Radiation, radioactivity, and insects. New York, Academic Press, 1964. pp. 71-79.
37. OUYE, M. T., GARCIA, R. S. y MARTIN, D. F. Determination of the optimum sterilizing dosage for pink bollworm treated as pupa with gamma radiation. Journal of Economic Entomology 57(3):387-390. 1964.
38. PROCEDURE FOR computation of the dosage-mortality curve (Finney's method). Cambridge University, s.f. 4 p. (Mimeografiado)
39. PROVERBS, M. D. y NEWTON, J. R. Influence of gamma radiation on the development and fertility of the codling moth, Carpocapsa pomonella (L.) (Lepidoptera:Olethreutidae). Canadian Journal of Zoology 40(3):401-420. 1962.
40. RAMIREZ, J. Investigación preliminar sobre biología, ecología y control de Hypsipyla grandella Zeller. Boletín del Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación (Venezuela) 16:5-77. 1964.
41. RAO, V. P. y BENNET, F. D. Possibilities of biological control of the Meliaceae shootborers Hypsipyla spp. (Lepidoptera:Phycitinae). Commonwealth Institute of Biological Control. Technical Bulletin no. 12. 1969. pp. 61-81.
42. REYES Q., J. A. Efecto de la radiación gamma en la fertilidad, fecundidad, longevidad y vigor sexual del Leucop-  
tera coffeella Guerin. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970. 74 p.
43. ROOVERS, M. Observaciones sobre el ciclo de vida de Hypsi-  
pyla grandella Zeller en Barrenitas, Venezuela. Boletín del Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación (Venezuela) 38:3-46. 1971.
44. RUNNER, G. A. Effect of Röntgen rays on the tobacco, or cigarette, beetle and the results of experiments with a new form of Röntgen tube. Journal of Agricultural Research 6(11):383-399. 1916.

45. SAMANIEGO, A. y STERRINGA, J. T. Estudios del barrenador Hypsipyla grandella (Zeller); un nuevo método para obtener oviposición en cautividad. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. (En prensa).
46. SHOOTBORERS OF the Meliaceae. Unasylyva 12(1):30-31. 1958.
47. STERRINGA, J. P. Studies on the shootborer Hypsipyla grandella (Zeller) (Lep., Pyralidae). XVII. An improved method for artificial rearing. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1963. 35 p. (Mimeografiado)
48. STRETTAN, J. S. Radiaciones ionizantes. Traducción por R. Pérez. Madrid, Alhambra, 1967. pp. 102-127.
49. VEGA, L. Influencia de la silvicultura en el comportamiento de Cedrela en Surinam. Paramaribo, Surinam, Servicio Forestal, 1973. 35 p. (Mimeografiado)
50. WALKER, D. W. y QUINTANA, V. Inherited partial sterility among survivors from irradiation-eradication experiment. Journal of Economic Entomology 61(1):318-319. 1968.
51. YASEEN, M. y BENNETT, F. D. Investigations into the biological control of Hypsipyla grandella (Zeller) in Trinidad, W.I. s.n.t. 4 p. (Mimeografiado) 1970.
52. ZAFAR, A. et al. Sub-lethal gamma radiation effects on pre-pupae, pupae, and adults of angoumais grain moth. Journal of Economic Entomology 61(2):1699-1705. 1968.

A P E N D I C E

Cuadro 1. Dieta artificial utilizada para la cría de larvas de Hypsipyla grandella (Zeller)

Ingrediente	Cantidad
Soya	70 g
Acemite	150 g
Polvo de zanahoria	100 g
Alfacel	30 g
Azúcar	30 g
Sales de W	10 g
p-hidroxibenzoato de metilo	2 g
Acido sórbico	2 g
Acido ascórbico	1 g
Benzoato de sodio	2 g
Mezcla de vitaminas	20 g
Acido acético at 25%	20 ml
KOH, 4M	10 ml
Formaldehido al 10%	10 ml
Aureomicina (1000 g/120 H <sub>2</sub> O)	10 ml
Agar	12 g
Agua destilada	1400 ml

Cuadro 2. Efecto de la radiación gamma en la mortalidad y deformaciones de adultos de *H. grandella*, tratados en estado larval<sup>a/</sup>

Dosis (kr)	Mortalidad en estado larval (%)	Mortalidad en estado pupal (%)		Adultos deformados (%)	
		Machos	Hembras	Machos	Hembras
4,0	0	2,7	10,5	3,1	11,8
5,0	2	3,8	10,3	20,9	34,3
5,5	4	12,1	12,0	51,9	52,3
6,0	4	12,9	21,7	63,3	66,7
8,0	13	32,8	46,5	84,5	100,0

<sup>a/</sup> Larvas de 22 a 30 días, cuatro repeticiones, 25 larvas cada repetición.

Cuadro 3. Efecto de la radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de adultos de *H. grandella*, tratados en estado larval y cruzados con adultos normales del sexo opuesto

Dosis (kr)	No. parejas		Huevos examinados <sup>a/</sup>	Fertilidad (%)	Fecundidad <sup>b/</sup> (%)	Longevidad en días ( $\bar{X}$ )
	estu- dia- das	copu- ladas				
M a c h o s      i r r a d i a d o s						
0,0	22	14	3.001	84,9	100,0	5,9
4,0	21	10	2.659	62,6	97,2	5,7
5,0	23	8	1.477	20,5	73,6	3,7
5,5	19	4	52	3,6	23,8	3,7
6,0	18	6	710	0,4	32,8	3,3
H e m b r a s      i r r a d i a d a s						
0,0	22	14	3.001	84,8	100,0	8,1
4,0	25	12	778	47,8	37,9	7,2
5,0	21	6	81	19,5	5,9	6,9
5,5	19	5	20	0,0	0,2	6,0
6,0	17	1	4	0,0	0,1	5,5

<sup>a/</sup> Oviposición de tres días

<sup>b/</sup> Oviposición total



Cuadro 4. Efecto de la radiación gamma en la mortalidad y deformaciones de adultos de H. grandella, tratados como pupas de temprana edad<sup>a/</sup>

Dosis (kr)	Mortalidad en estado pupal (%)		Adultos deformados (%)	
	Machos	Hembras	Machos	Hembras
6	11,5	9,5	7,8	15,3
9	16,7	21,6	21,0	40,6
12	28,2	28,4	43,2	61,7
15	35,9	39,1	52,8	88,7
18	51,3	55,4	78,4	93,9

<sup>a/</sup> Pupas de 1 a 3 días de edad, cuatro repeticiones y cada repetición con 17 a 25 pupas por sexo.

Cuadro 5. Efecto de radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de adultos de H. grandella, tratados como pupas de temprana edad y cruzados con adultos normales del sexo opuesto

Dosis (kr)	Número parejas estudias	copu- ladas	Huevos exami- nadas <sup>a/</sup>	Fertilidad (%)	Fecundidad <sup>b/</sup> (%)	Longevidad días (X)
M a c h o s    i r r a d i a d o s						
0	24	16	5.136	72,6	100,0	6,5
6	33	14	3.641	28,6	88,0	5,1
9	29	8	1.326	14,9	53,1	3,6
12	25	3	410	4,7	42,3	3,8
15	25	6	680	0,9	34,1	3,4
18	20	2	144	0,0	20,5	2,8
H e m b r a s    i r r a d i a d a s						
0	24	16	5.136	72,6	100,0	9,6
6	22	9	1.069	15,7	38,1	8,0
9	22	4	388	3,2	28,6	6,1
12	21	3	53	0,0	5,8	4,6
15	20	3	64	0,0	5,6	4,2
18	17	-	-	-	-	3,2

<sup>a/</sup> Oviposición de 3 días

<sup>b/</sup> Oviposición total

Cuadro 6. Efecto de la radiación gamma en la mortalidad y deformaciones de adultos de H. grandella, tratados como pupas de avanzada edad<sup>a/</sup>

Dosis (kr)	Mortalidad en estado pupal (%)		Adultos deformados (%)	
	Machos	Hembras	Machos	Hembras
10	7,8	18,3	10,5	10,1
15	15,6	15,0	11,6	10,8
20	20,3	30,0	20,3	18,7
25	23,4	31,7	27,4	24,3
30	21,9	35,0	30,9	39,0

a/ Pupas de 7 a 9 días, cuatro repeticiones y cada repetición con 18 a 20 pupas por sexo.

Cuadro 7. Efecto de radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de adultos de H. grandella, tratados como pupas de avanzada edad y cruzados con adultos normales de sexo opuesto.

Dosis (kr)	Número parejas estudiadas	copuladas	Huevos examinados <sup>a/</sup>	Fertilidad (%)	Fecundidad <sup>b/</sup> (%)	Longevidad días (X)
Machos irradiados						
0	28	18	5.559	79,6	100,0	6,7
10	26	13	3.577	63,1	86,2	6,0
15	25	14	3.009	32,8	62,2	4,8
20	26	16	3.341	15,3	83,8	5,9
25	25	16	2.945	6,3	60,4	5,7
30	23	12	1.435	2,7	43,4	4,7
Hembras irradiadas						
0	28	18	5.559	79,6	100,0	10,5
10	24	8	1.588	48,0	57,9	8,8
15	23	14	3.081	18,5	62,7	7,7
20	25	8	2.051	1,9	53,5	7,4
25	24	14	2.512	0,8	47,0	7,3
30	24	8	568	0,1	33,0	7,1

a/ Oviposición de tres días

b/ Oviposición total

Cuadro 8. Efecto de radiación gamma en la fertilidad, fecundidad y longevidad de machos y hembras de H. grandella, tratados como adultos<sup>a/</sup> y cruzados con adultos normales del sexo opuesto

Dosis (kr)	Número parejas estudiadas	copuladas	Huevos examinados <sup>b/</sup>	Fertilidad (%)	Fecundidad <sup>c/</sup> (%)	Longevidad días (X)
M a c h o s   i r r a d i a d o s						
0	20	14	4.611	75,7	100,0	6,6
5	20	12	3.819	65,0	95,9	6,1
10	20	10	3.183	59,0	90,4	5,1
15	20	7	1.436	37,0	79,0	5,0
20	20	7	1.913	14,1	78,7	5,3
25	20	6	1.406	6,9	66,9	4,7
30	20	4	785	3,0	66,7	5,5
35	20	6	1.146	1,5	47,9	4,4
H e m b r a s   i r r a d i a d a s						
0	20	14	4.611	75,7	100,0	10,3
5	20	10	2.339	54,9	74,2	8,9
10	20	10	2.367	47,7	64,8	8,1
15	20	9	2.043	18,4	66,6	8,6
20	20	9	1.822	3,4	50,0	8,2
25	20	6	597	1,6	31,6	7,4
30	20	8	1.031	0,0	34,4	6,9
35	20	7	755	0,0	28,4	6,5

a/ Adultos irradiados entre 15 a 20 horas después de la emergencia, cuatro repeticiones, cinco parejas por repetición.

b/ Oviposición de tres días

c/ Oviposición total

Cuadro 9. Efectos de la radiación gamma en la mortalidad (DL) y deformación de adultos (DD) al irradiar larvas<sup>a/</sup> de H. grandella

	Límite superior (kr)	Dosis media (kr)	Límite inferior (kr)
Mortalidad larval			
DL <sub>30</sub>	23,67	10,72	8,75
DL <sub>50</sub>	46,95	13,94	10,37
DL <sub>70</sub>	93,53	18,13	12,25
Mortalidad pupal (machos)			
DL <sub>30</sub>	10,18	7,70	6,86
DL <sub>50</sub>	16,10	9,56	8,07
DL <sub>70</sub>	25,85	11,91	9,36
Mortalidad pupal (hembras)			
DL <sub>30</sub>	8,18	6,79	6,11
DL <sub>50</sub>	13,29	8,99	7,65
DL <sub>70</sub>	22,07	11,91	9,36
Deformación de adultos (machos)			
DD <sub>30</sub>	5,37	5,09	4,74
DD <sub>50</sub>	6,14	5,78	5,49
DD <sub>70</sub>	7,24	6,55	6,16
Deformación de adultos (hembras)			
DD <sub>30</sub>	5,01	4,77	4,48
DD <sub>50</sub>	5,64	5,37	5,12
DD <sub>70</sub>	6,50	6,04	5,73

<sup>a/</sup> Larvas de 22 a 30 días de edad.

Cuadro 10. Efecto de la radiación gamma en la mortalidad (DL) y deformación de adultos (DD), al irradiar pupas de temprana edad<sup>a/</sup> de H. grandella

	Límite superior (kr)	Dosis media (kr)	Límite inferior (kr)
Mortalidad pupal (machos)			
DL <sub>30</sub>	13,86	12,17	10,60
DL <sub>50</sub>	25,61	19,13	16,33
DL <sub>70</sub>	51,26	30,08	23,21
Mortalidad pupal (hembras)			
DL <sub>30</sub>	13,02	11,57	10,03
DL <sub>50</sub>	21,97	17,47	15,26
DL <sub>70</sub>	40,62	26,40	21,22
Deformación de adultos (machos)			
DD <sub>30</sub>	11,10	10,12	8,99
DD <sub>50</sub>	14,89	13,31	12,15
DD <sub>70</sub>	21,10	17,51	15,53
Deformación de adultos (hembras)			
DD <sub>30</sub>	8,50	7,78	6,92
DD <sub>50</sub>	10,55	9,76	8,98
DD <sub>70</sub>	13,51	12,23	11,29

a/ Pupas de 1 a 3 días de edad

Cuadro 11. Efecto de la radiación gamma en la mortalidad (DL) y deformación de adultos (DD) al irradiar pupas de avanzada edad<sup>a/</sup> de H. grandella

	Límite superior (kr)	Dosis media (kr)	Límite inferior (kr)
Mortalidad pupal (machos)			
DL <sub>30</sub>	63,78	39,21	26,45
DL <sub>50</sub> *	---	---	---
DL <sub>70</sub>	---	---	---
Mortalidad pupal (hembras)			
DL <sub>30</sub>	29,12	18,67	10,63
DL <sub>50</sub>	---	---	---
DL <sub>70</sub>	---	---	---
Deformación de adultos (machos)			
DD <sub>30</sub>	65,81	29,26	22,74
DD <sub>50</sub>	---	---	---
DD <sub>70</sub>	---	---	---
Deformación de adultos (hembras)			
DD <sub>30</sub>	49,33	27,03	21,67
DD <sub>50</sub>	---	---	---
DD <sub>70</sub>	---	---	---

a/ Pupas de 7 a 9 días de edad.

\* Las DL<sub>50</sub>, DL<sub>70</sub>, DD<sub>50</sub> y DD<sub>70</sub> no fueron posibles calcularlas para evitar extrapolaciones en dosis no observadas.