

EFFECTO DE LA RADIACION GAMMA EN LA FERTILIDAD,
FECUNDIDAD, LONGEVIDAD Y VIGOR SEXUAL DEL
Leucoptera coffeella Guerin

Tesis de Grado de *Magister Scientiae*

Jesús A. Reyes



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Departamento de Fitotecnia y Suelos
Turrialba, Costa Rica
Setiembre, 1970

EFFECTO DE LA RADIACION GAMMA EN LA FERTILIDAD,
FECUNDIDAD, LONGEVIDAD Y VIGOR SEXUAL DEL
Leucoptera coffeella Guerin

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: K P Katiyar Consejero
Kamta P. Katiyar, Ph.D.

Gilberto Páez Comité
Gilberto Páez, Ph.D

Edilberto Camacho Comité
Edilberto Camacho, Mag. Agr.

F. Maldonado Comité
Fausto Maldonado, Ing. Agr.

Septiembre, 1970

A la memoria de mis Padres

A mi querida esposa

A mis hermanos

AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su agradecimiento:

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

Al Dr. Gilberto Páez, al Ing. Fausto Maldonado y al Ing. Edilberto Camacho, M. A., miembros del Comité Consejero, por el asesoramiento del presente trabajo.

Al Ing. Eddie Ramírez Serfati, por su oportuna colaboración y valiosas sugerencias.

Al Programa de Energía Nuclear (NEP) por las atenciones dispensadas durante el tiempo que duraron los estudios de post-grado en esta Institución.

A sus profesores, personal auxiliar y de laboratorio que de una u otra forma contribuyeron a la realización de la presente tesis.

BIOGRAFIA

El autor nació en 1936 en la ciudad de Tuluá, Colombia.

Cursó sus estudios en el Colegio Cárdenas de Palmira.

Sus estudios universitarios los realizó en la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía de Palmira, graduándose de Ingeniero Agrónomo en 1964.

Durante el año de 1965 trabajó en la Hacienda Milán en asistencia técnica de cultivos.

Desde 1966 hasta la fecha trabaja en la Facultad de Agronomía de Palmira ocupando el cargo de Profesor de Entomología.

En Septiembre de 1968 ingresó a la Escuela de Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, becado por el Programa de Energía Nuclear (NEP) para realizar estudios de post-grado en la especialidad de Entomología, egresando en Septiembre de 1970.

CONTENIDO

	página
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Uso de Insectos para su Auto Control	3
2.2 Técnica de Machos Esterilizados con Radiación Gamma.	3
2.3 Requisitos Básicos	4
2.4 Efectos de la Radiación Sobre los Insectos	5
2.4.1 Efectos adversos	6
2.4.2 Efectos deseados	7
2.5 Mutaciones Letales Dominantes.	8
2.6 Esterilidad en Lepidópteros Inducida por Radia- ción Gamma	8
2.6.1 Efectos de la radiación gamma en algunos Lepidópteros	9
2.7 Algunos Aspectos en la Reproducción de los Lepi- dópteros	14
2.8 Biología y Comportamiento del <u>Leucoptera coffeella</u> Guerin	15
3. MATERIALES Y METODOS	17
3.1 Técnica de Crianza de <u>Leucoptera coffeella</u> Guerin en Laboratorio	17
3.1.1 Recolección de materiales para establecer la colonia	17
3.1.2 Obtención de huevos.	18
3.1.3 Obtención de pupas	18
3.1.4 Obtención de adultos	19
3.2 Aspectos Generales de los Experimentos Realizados con Radiación Gamma.	19
3.2.1 Determinación de la dosis de esterilización para hembras y machos irradiados en estado pupal y en estado adulto	20
3.2.2 Efectos de la radiación en la fertilidad, fecundidad y longevidad de machos y hembras tratados	21
3.2.3 Efectos de la dosis esterilizante sobre el vigor sexual de los machos tratados.	22
3.3 Análisis de la Información	23
4. RESULTADOS	26
4.1 Efecto de Diferentes Dosis de Radiación Gamma en la Fertilidad de Machos y Hembras Tratados en Estado Pupal o en Estado Adulto.	26

4.1.1	Respuesta dosis-fertilidad según el sexo . . .	26
4.1.2	Respuesta dosis-fertilidad según el estado de desarrollo	32
4.2	Efectos de la Radiación en la Fecundidad y Longevidad de Machos y Hembras Irrradiados en Estado Pupal o Adulto	33
4.2.1	Respuesta dosis-longevidad según los sexos y estado de desarrollo	37
4.3	Efecto de la Dosis Esterilizante Sobre el Vigor Sexual de los Machos Tratados.	43
5.	DISCUSION.	45
6.	CONCLUSIONES	52
7.	RESUMEN.	53
8.	SUMMARY.	56
9.	LITERATURA CITADA.	58
	APENDICE	62

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro no.</u>		<u>página</u>
1	Fertilidad, fecundidad y longevidad de machos de <u>Leucoptera coffeella</u> Guerin tratados en estado pupal con diferentes dosis de radiación gamma y cruzados con hembras normales (promedio de cinco repeticiones; 10 parejas por caja)	27
2	Fertilidad, fecundidad y longevidad de hembras de <u>Leucoptera coffeella</u> Guerin tratadas en estado pupal con diferentes dosis de radiación gamma y cruzadas con machos normales (promedio de cinco repeticiones; 10 parejas por caja)	29
3	Fertilidad, fecundidad y longevidad de machos de <u>Leucoptera coffeella</u> Guerin tratados en estado adulto con diferentes dosis de radiación gamma y cruzados con hembras normales (promedio de cinco repeticiones; 10 parejas por caja)	31
4	Fertilidad, fecundidad y longevidad de hembras de <u>Leucoptera coffeella</u> Guerin tratadas en estado adulto con diferentes dosis de radiación gamma y cruzadas con machos normales (promedio de cinco repeticiones; 10 parejas por caja)	32
5	Inseminación consecutiva de hembras normales de <u>Leucoptera coffeella</u> Guerin enjauladas por 24 horas con machos normales o machos irradiados (90 kr) en proporción 5:1 (hembras:machos)	44

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura no.</u>		<u>página</u>
1	Fertilidad resultante del apareamiento de machos irradiados (en estado pupal o adulto) con hembras normales	28
2	Fertilidad resultante del apareamiento de hembras irradiadas (en estado pupal o adulto) con machos normales	30
3	Fecundidad de hembras normales apareadas con machos irradiados en estado pupal o adulto	34
4	Fecundidad de hembras irradiadas (en estado pupal o adulto) y apareadas con machos normales	36
5	Promedios de mortalidad acumulada en función del tiempo después de irradiación de machos en estado pupal	38
6	Promedios de mortalidad acumulada en función del tiempo después de irradiación de machos en estado adulto	39
7	Promedios de mortalidad acumulada en función del tiempo después de irradiación de hembras en estado pupal	41
8	Promedios de mortalidad acumulada en función del tiempo después de irradiación de hembras en estado adulto	42

1. INTRODUCCION

El cultivo del café ocupa lugar de privilegio en muchos países por representar la mayor fuente de divisas como producto de exportación. El minador de la hoja Leucoptera coffeella Guerin (Lepidoptera : Lyonetidae) es una de sus principales plagas encontrándose distribuida en las Indias Occidentales, Centro y Sur América, Africa Central, Madagascar y Ceilán (33).

El minador del café ha ocasionado graves daños en las plantaciones de café de Centro América especialmente en Guatemala y Costa Rica. En Guatemala en los últimos 10 años la población del minador ha alcanzado niveles tan altos que ha obligado a aplicar medidas severas de control químico. La Asociación Nacional de Café (ANC) estimó la pérdida causada en Guatemala por este insecto durante las cosechas de 1963 a 1964 en 35 millones de libras de café (5).

El Leucoptera coffeella Guerin es la principal plaga del cultivo del café en el Brasil y en el Perú en donde ha ocasionado considerables mermas en las cosechas (19).

El daño es ocasionado por la larva la cual se alimenta en el interior de la hoja quedando en esta forma protegida de sus enemigos naturales, de las condiciones climáticas adversas y de los insecticidas de contacto. En ataques severos del insecto puede ocurrir una defoliación completa de la planta afectada con lo que queda impedida la fructificación (19).

El uso de insecticidas es el más corriente y casi el único método de control del minador de la hoja del café; sin embargo el uso

continuo de esas sustancias puede originar graves problemas como son: El peligro de residuos en las cosechas, su efecto nocivo a la vida silvestre y el desarrollo de resistencia o tolerancia a los productos químicos.

La técnica de esterilización para controlar insectos y otras plagas ha merecido la atención de un gran número de científicos quienes creen que este nuevo método ofrece las más deseables soluciones en la lucha contra los insectos dañinos. Con el uso de este medio de control es posible reducir la población de un insecto perjudicial a niveles muy bajos que no causen daños de importancia económica (30).

El presente estudio se llevó a cabo en el Centro de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, en Turrialba, Costa Rica, de junio de 1969 a junio de 1970. La investigación tuvo como fin principal estudiar la aplicación de la técnica de machos estériles en el control del minador de la hoja del café. Los objetivos del estudio fueron los siguientes:

1. Determinar la dosis de esterilización con radiación gamma para hembras y machos.
2. Determinar el estado más apropiado del insecto para esterilizarlo.
3. Estudiar los efectos de la radiación en la fecundidad de las hembras y en la longevidad de los adultos (ambos sexos).
4. Estudiar el efecto de la dosis esterilizante sobre el vigor sexual de los machos tratados.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Uso de Insectos para su Auto Control

El problema de la lucha contra los insectos dañinos es de gran importancia para la economía mundial lo cual ha obligado a los investigadores a buscar soluciones adecuadas. Uno de los métodos de lucha más promisorio parece ser el uso de los insectos para su auto control. Según Knipling (24) las distintas formas de utilizar los insectos para su propia destrucción se pueden resumir en la forma siguiente:

- a. Liberación de machos esterilizados con radiación gamma.
- b. Uso de esterilizantes químicos que produzcan esterilidad en la población de insectos.
- c. Liberación de insectos infectados con patógenos que destruyan la progenie larval por transmisión de enfermedades a otros adultos y contaminando el ambiente donde el insecto se desarrolla y reproduce.
- d. Desarrollo y liberación de razas de insectos portadores de deficiencias genéticas. En este caso se presentarían mutaciones letales dominantes en la progenie inmadura o en los adultos.

2.2 Técnica de Machos Esterilizados con Radiación Gamma

La técnica de machos estériles consiste esencialmente en la cría y liberación de machos esterilizados con radiación gamma en número mayor que el de machos normales presentes en el área de interés. La técnica explota el comportamiento sexual de los insectos, que es uno de los instintos más fuertes en los animales. Los machos estériles

inseminan a las hembras de la población y éstas producen huevos que no eclosionarán (21).

La liberación de insectos estériles para competir con la población nativa no proporciona un posible método de control para todos los insectos dañinos. Sin embargo, cuando se usa adecuadamente, la técnica puede ofrecer un mecanismo de represión de las poblaciones de insectos perjudiciales (25).

Aunque la técnica consiste estrictamente en la liberación de machos estériles, debido a la dificultad y al costo que implica la diferenciación de sexos, las hembras se esterilizan y liberan conjuntamente con los machos. La liberación de las hembras parece reducir la competencia de machos estériles con los machos normales, pero análisis estadísticos muestran que las hembras y machos estériles tienen valores independientes de competencia y por lo tanto la liberación de ambos sexos proporciona dos vías de competencia con las cópulas normales aumentando la posibilidad de cópulas estériles (18).

2.3 Requisitos Básicos

Quizás el requisito más importante para aplicar con éxito la técnica de machos estériles es conocer la biología del insecto particular en estudio. Igualmente se debe tener información sobre la densidad de población, su distribución, alcance de vuelo, lugar de apareamiento, comportamiento sexual y preferencia de hospedero (31).

Según Lindquist (29), los requisitos básicos para el buen éxito en la aplicación de la técnica de machos estériles se puede resumir en la forma siguiente:

- a. Debe ser posible la cría masiva en el laboratorio mediante métodos económicos.
- b. Los insectos liberados deben dispersarse fácilmente en la naturaleza.
- c. La radiación no debe causar efectos colaterales adversos en el comportamiento normal de los machos, tales como su longevidad, frecuencia de cópula, etc.
- d. Los machos irradiados deben competir con los machos nativos en lo que se refiere a búsqueda de hembras y copulación.
- e. La población natural de insectos debe ser baja por lo menos durante alguna época del año, de manera que sea posible sobresaturarla con cantidades reducidas de machos estériles.
- f. La liberación de insectos irradiados no debe constituir un problema para el hombre o sus propiedades.
- g. Es esencial conocer bien los hábitos y ecología del insecto.

2.4 Efectos de la Radiación sobre los Insectos

Según Cornwell y Bull (8) las células varían considerablemente en su sensibilidad a los daños ocasionados por la radiación, debido a razones que no están completamente esclarecidas, aunque se sabe que en el núcleo de las células puede causar los siguientes cambios:

- a. Desarreglo molecular en un punto del cromosoma, el cual conduce a mutaciones genéticas dominantes.
- b. Fragmentación de cromosomas que puedan causar un desarreglo en la posición de los genes o pérdida de fragmentos.
- c. Puede ocurrir un retardo en la división nuclear y celular lo que entorpece el desarrollo fisiológico. Los daños a las

células traen como consecuencia la supresión de la síntesis de los ácidos vitales (ADN).

2.4.1 Efectos adversos

El daño por excesiva radiación puede reducir la habilidad de los machos para competir con los insectos nativos lo que podría ser el mayor obstáculo en la aplicación práctica de la técnica de machos estériles (24).

Según Lindquist (29), los efectos adversos de la radiación están influenciados por numerosos factores, tales como:

- a. Estado de desarrollo: el óptimo estado para irradiación es cuando existe la mayor diferencia en sensibilidad entre los tejidos somáticos y genéticos, lo cual generalmente ocurre en el estado pupal y en el estado adulto.
- b. Especie: hay una amplia variación de susceptibilidad de especies tanto a los efectos letales como a los de esterilización producidos por irradiación.
- c. Sexos: la susceptibilidad de los sexos varía de especie a especie. Así en Laspeyresia pomonella (L) los machos son más resistentes que las hembras, mientras que en Sitophilus granarius (L) las hembras son más resistentes.
- d. Temperatura: ésta influye notablemente en la supervivencia de adultos, antes, durante y después de irradiación. Experimentos con Sitophilus granarius (L) mostraron que los insectos mantenidos a 30°C antes de la

irradiación fueron más sensitivos que los mantenidos a 15°C.

- e. Otros factores importantes son: proporción y fraccionamiento de la dosis, ambiente en que se críen y se irradian los insectos.

2.4.2 Efectos deseados

Borstel (4) opina que para la confiabilidad de la técnica de machos estériles se deben considerar los principales efectos deseados conforme se resumen seguidamente:

- a. Como la radiación induce mutaciones letales dominantes en los espermatozoides, se debe usar una dosis tal de radiación que produzca mutaciones letales dominantes en más del 50% del esperma, preferiblemente en más del 99%.
- b. Como la radiación destruye las células espermatogoniales, se debe usar una dosis tal que elimine todas las células espermatogoniales para evitar la recuperación de los testículos con células normales.
- c. Como el espermatozoide es inactivado por la radiación, se deben usar dosis que no inactiven cantidades apreciables de espermatozoides de especies polígamas. En especies monógamas puede ser inactivado.
- d. Por cuanto la radiación debilita el macho, deben usarse dosis que no mermen la efectividad del macho irradiado cuando compite con machos nativos en relación a su apareamiento con hembras normales.

2.5 Mutaciones Letales Dominantes

De las varias formas de inducir esterilidad en los insectos la más ampliamente usada y la de mayor éxito hasta la fecha ha sido la producción de mutaciones letales dominantes. Este tipo de esterilización es la base de la técnica de machos estériles (30).

La relación entre esterilidad de un insecto y mutaciones letales dominantes no es tan clara. La esterilidad es realmente una condición, un punto final, la que se puede llegar por varios caminos, como son:

Aspermia en machos, infecundidad en hembras, inactivación de espermias en machos, inhabilidad para copular o mutaciones letales dominantes en las células reproductivas del macho o de la hembra. En un mismo insecto la esterilidad puede deberse a la combinación de dos o más de los factores anteriormente mencionados (27).

Una mutación letal dominante es un cambio nuclear que puede causar la muerte del cigote aún cuando ese cambio sea introducido por una sola de las células germinales que se une en la fertilización. Básicamente una mutación letal dominante no impide la maduración de la célula afectada en un gameto o la participación de este gameto en la formación del cigote, pero sí impide que el cigote se desarrolle hasta la maduración. Esta clase de mutaciones no son letales a la célula tratada, pero sí a sus descendientes (28).

2.6 Esterilidad en Lepidopteros Inducida por Radiación Gamma

Cuando se toma la esterilidad como base para medir sensibilidad, los Lepidopteros son de tres a diez veces más resistentes a la radiación que la mayoría de los otros órdenes de insectos, (como Díptera

y Coleoptera). La diferencia en radiosensibilidad entre Dípteros y Lepidópteros se atribuye a los diferentes tipos de cromosomas. Los Dípteros y la mayoría de los órdenes de insectos tienen cromosomas monocinéticos o cromosomas con un solo centrómero, mientras que los Lepidópteros tienen cromosomas holocinéticos o cromosomas con centrómeros difusos o policéntricos. En los Lepidópteros la mayoría de los fragmentos de cromosomas inducidos por irradiación no se pierde en la división celular puesto que los fragmentos tienen su propio sitio para adherirse al huso. En los dípteros los fragmentos sin centrómero se pierden y de allí resulta la letalidad. La resistencia a la irradiación en Lepidópteros aumenta por lo general a medida que avanza el estado de desarrollo. Tanto hembras como machos se pueden esterilizar sin que haya mortalidad excesiva en estado pupal o en estado adulto, siendo las hembras generalmente esterilizadas con dosis más bajas que los machos (36).

2.6.1 Efecto de la radiación gamma en algunos Lepidópteros

La mayoría de los Lepidópteros son dañinos a la agricultura y a los productos almacenados, lo que ha hecho intensificar las investigaciones con radiaciones gamma en busca de un método adecuado para su control. A continuación se hace mención de algunos de los experimentos realizados hasta la fecha.

Proverbs y Newton (37) en 1962 irradiaron pupas y adultos de Laspeyresia pomonella (L). Cuando aplicaron a ambos sexos 40.000 r, ya fuera en estado pupal 12 horas antes de emergencia o en estado adulto 4 a 24 horas después de emergencia, obtuvieron más del 96% de esterilidad sin afectar la longevidad. En los machos irradiados en estado

adulto se redujo la capacidad de cópula y la fecundidad. Las hembras irradiadas en estado adulto fueron completamente esterilizadas con 40.000 rads, mientras que las tratadas en estado pupal con la misma dosis presentaron 1,8% de fertilidad.

En 1964 Ouye, García y Martín (35) trataron pupas de siete días de edad, de Pectinofora gossypiella (Saunders), con diferentes dosis de radiación. Encontraron que 55 kr eran suficientes para esterilizar completamente los machos mientras que con 35 kr había 1,7% de fertilidad. Las hembras fueron esterilizadas con 40 kr. La longevidad de los machos tratados con 55 kr fue significativamente más corta que la del testigo.

Godwin, Rule y Waters (17) en 1964 irradiaron machos de Porthetria dispar (L) en estado pupal, de nueve días de edad, determinando que 20.000 r producían esterilidad sin que se presentara efectos colaterales adversos de gran importancia.

En 1964 Husseiny y Madsen (18) esterilizaron completamente ejemplares de ambos sexos de Paramyelois transitella (Walker), exponiendo pupas en su último estado de desarrollo a 50.000 rads. Este tratamiento aparentemente no afectó los hábitos de cópula, la fecundidad y longevidad de los adultos.

Elbadry (10) en 1965, publicó que 24 kr eran suficientes para producir 100% de esterilidad en ambos sexos de Gnorimoschema operculella (Zeller), irradiados tanto en estado pupal de ocho días de edad como en estado adulto poco después de la emergencia, sin afectar su longevidad.

Jacklin, Smith y Boswell (20) en 1965 irradiaron hembras y machos de Platynota stultana y obtuvieron resultados que indicaban que con 32 kr para machos y 16 kr para hembras se producía más de 99% de esterilidad.

Machos y hembras de Plodia interpunctella (Hübner) fueron sometidos a diferentes tratamientos de radiación gamma por Cogburn, Tilton y Burkholder (7) en 1966, quienes señalaron que 100 kr eran suficientes para esterilizar las hembras en estado pupal, pero que tratadas en estado adulto con la misma dosis presentaban 1,4% de fertilidad. Los machos irradiados con la misma dosis fueron más radiorresistentes en el estado pupal que en el estado adulto siendo su fertilidad de 25% y 5,3%, respectivamente. Los mismos autores llevaron a cabo estudios con Sitotroga cerealella (Oliver), y observaron que las hembras tratadas con 100 kr en estado pupal tenían 9,1% de fertilidad y los machos con igual dosis 11,1% de fertilidad. La fertilidad de los machos irradiados en estado adulto con 100 kr fue de 2,7% mientras que las hembras presentaron 100% de esterilidad.

En 1967 George (15), publicó que las hembras de Grapholita molesta Busck resultaron esterilizadas con 10 kr en estado pupal, doce horas antes de emergencia, mientras que la fertilidad de los machos tratados en el mismo estado con 40 kr resultó de 6%. Machos irradiados en estado adulto con 40 kr mostraron 96,5% de esterilidad. La dosis esterilizante no afectó la longevidad de los machos irradiados en estado de pupa o de adulto pero sí redujo un poco la frecuencia de cópula.

Flint y Kressin (13) en 1967 irradiaron pupas de Heliothis virescens (F), dos días antes de emergencia, encontrando que 35 kr eran suficientes para producir casi 100% de esterilidad en hembras y machos.

En 1968 los mismos Flint y Kressin (14), observaron que hembras y machos de Heliothis virescens (F) irradiadas en estado adulto fueron completamente esterilizadas con 45 kr, pero conservaron 0,4% de fertilidad al ser tratadas con 35 kr. Estos autores consideraron que la dosis esterilizante tiene poco efecto en la habilidad de cópula de machos y hembras, aunque reduce la longevidad en menos de un 10%.

En 1968 Anwar (1) trabajando con Spodoptera exigua (Hübner), indicó que machos irradiados en estado pupal, de ocho días de edad, con 50 kr presentaron 99,5% de esterilidad; pero al ser irradiados como adultos, un día después de la emergencia, la esterilidad resultó de 100%. Las hembras tratadas como pupas, de siete días de edad, con 30 kr mostraron una fertilidad del cero por ciento. Se necesitaron 40 kr para esterilizar completamente a las hembras irradiadas un día después de emergencia.

Walker y Quintana (38) en 1968 encontraron que la dosis de esterilización para machos de Diatraea saccharalis (F), tratados en estado adulto, resultó ser de 30 kr.

En 1968 Anwar (2), publicó que las dosis de esterilización para pupas de doce días de edad de Ostrinia nubilalis (Hübner) fueron de 20 kr para hembras y de 40 kr para machos. La fecundidad de las hembras esterilizadas disminuyó en más del 50%, mientras que el vigor sexual de los machos irradiados con 40 kr no pareció disminuir.

North y Holt (32) en 1968, señalaron que al irradiar machos adultos de Trichoplusia ni (Hübner), tres días después de emergencia, con 30 kr se observó una fertilidad de $3,5\% \pm 2,1$; se necesitó una dosis de 40 kr para producir 100% de esterilidad. Con la dosis esterilizante la longevidad se redujo y la fecundidad de las hembras normales apareadas con machos irradiados con 30 kr disminuyó en más del 50%. Con dosis superiores a 25 kr se redujo la transferencia de espermias de los machos.

En 1968 Katiyar y Ferrer (22), en estudios de esterilización de Leucoptera coffeella Guerin experimentaron con dosis de 60 a 90 kr aplicadas a adultos dentro de 24 horas después de la emergencia y cruzados con adultos normales del sexo opuesto. Las hembras que recibieron 70 kr resultaron totalmente estériles, mientras que los machos tratados con 90 kr mostraron 0,02% de fertilidad. Una dosis de radiación de 60 kr aplicada a pupas próximas a la emergencia produjo 88,1% de mortalidad en los machos, durante las primeras 48 horas después de emergencia, pero los sobrevivientes no fueron completamente estériles. La mortalidad de las hembras resultó ser de 23,6%.

En 1969 Chen (6) trató machos de Eucosma schistaceana en estado pupal, de ocho a cuarenta y ocho horas antes de emergencia, con 35 kr obteniendo 96,4% de esterilidad y una marcada reducción en la frecuencia de cópula.

Elsayed y Graves (11), en 1969 encontraron que la dosis de esterilización para hembras y machos de Heliothis virescens (F) tratados en estado pupal, de 8 a 10 días de edad, era de 30 y 40 kr respectivamente. Los machos tratados no fueron sexualmente competitivos con los machos normales. Señalan además que las dosis

esterilizantes parecen reducir la longevidad de los machos, así como también la longevidad y fecundidad de las hembras tratadas.

En el mismo año Elsayed y Graves (12) irradiaron machos y hembras de Heliothis virescens (F) en estado adulto, encontrando que los machos tratados con 40 kr presentaban 1% de fertilidad y los irradiados con 50 kr presentaban 100% de esterilidad. La fertilidad de las hembras tratadas con 35 kr fue de 0,2 %, mientras que la de las irradiadas con 40 kr resultó ser de 0,1%.

2.7 Algunos Aspectos en la Reproducción de los Lepidópteros

La reproducción de los Lepidópteros, especialmente en lo que se refiere a copulación y transferencia de espermatozoides tiene gran importancia en estudios de competencia de machos estériles con machos normales.

Es muy conocido que en la mayoría de los Lepidópteros la transferencia de esperma de macho a hembra ocurre por medio de espermatoforo, estructura ésta que encierra el espermatozoide, y posiblemente sea el único método en Lepidópteros que tienen una separada abertura copulatoria directa a la bursa copulatrix. No se ha reportado formación de espermatoforo en Lepidópteros que tienen una abertura genital que sirve tanto para copular como para la oviposición, como en las familias Hepialidae, Micropterygidae y Adelidae (23).

Según Davey (9) la rotura del espermatoforo para dar salida al espermatozoide se logra por medio de espinas del revestimiento cuticular de la bursa. Muchos Lepidópteros segregan enzimas proteolíticas dentro de la bursa después de la cópula, las cuales digieren al espermatoforo y en muchos casos éste es expulsado de la bursa después de

un período variable dentro de la hembra.

George y Howard (16) informaron que en Grapholita molesta Busck los espermatoforos eran grandes durante las primeras cópulas, mientras que en las cópulas subsiguientes los espermatoforos eran más pequeños o estaban ausentes pero las hembras producían huevos fértiles. Anotan los mismos autores que de acuerdo con los resultados anteriores, en experimentos de esterilización los espermatoforos producidos por machos estériles pueden no dar una completa estimación de su capacidad de cópula, ya que al copular los machos pueden transferir esperma sin depositar espermatoforo.

Walker y Quintana (39), trabajando con Leucoptera coffeella Guerin trataron de encontrar espermatoforos pero no lo lograron, opinan que debe existir esta estructura debido a la larga duración de la cópula.

2.8 Biología y Comportamiento del Leucoptera coffeella Guerin

En estudios sobre la biología del Leucoptera coffeella Guerin, Katiyar y Ferrer (22) señalaron que el ciclo de vida varía con la temperatura y que a 25°C la duración de huevo a adulto es de 22 a 24 días. El período pupal de la hembra resultó un poco más corto que el del macho, así a 25°C y 50 a 60% de humedad relativa el período pupal promedio para la hembra fue de 6,7 días y para el macho de 7,1 días.

Los mismos autores encontraron que el 88% de los huevos eran puestos en los primeros ocho días después de la emergencia, lo que está bastante de acuerdo con Notley (33) quién para el mismo tiempo señaló 78%. Este último autor observó que el macho corteja la hembra como una preparación a la cópula la que tienen lugar durante las tardes,

siendo suficiente una sola cópula para la fertilización de los huevos que la hembra oviposita durante los siguientes 12 días.

Según Ingunza (19), durante el día la hembra permanece estacionaria en el envés de las hojas debido a la particularidad de tener fuerte reacción contra los rayos solares; y el vuelo lo hace al caer el sol o en tiempo nublado. La hembra puede comenzar a ovipositar el mismo día de su emergencia colocando los huevos en forma aislada sobre el haz de las hojas.

Según Notley (34), las larvas penetran en la hoja por la parte basal del huevo y, una vez dentro, se alimentan del tejido empalizada hasta alcanzar su desarrollo completo. El período larval siempre lo completan en una sola hoja. Cuando las larvas están totalmente desarrolladas dejan la hoja a través de una abertura semicircular efectuada en la epidermis superior. Posteriormente se dejan caer por medio de un hilo de seda y van explorando las hojas por donde pasan en busca de un sitio adecuado para empupar, generalmente ubicado en lugares sombreados. Seleccionado el lugar hilan un capullo sedoso de color blanco en forma de X debajo del cual empupan.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Técnica de Crianza de Leucoptera coffeella Guerin en el laboratorio

Para la crianza del minador de la hoja del café se siguió el método desarrollado por Katiyar y Ferrer (22) el cual de manera general se puede describir en la forma siguiente:

3.1.1. Recolección de materiales para establecer la colonia

Durante el mes de junio de 1968 se recolectaron en las plantaciones de café del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de Turrialba atacadas por Leucoptera coffeella Guerin, pupas de dicha especie. Los adultos recién emergidos fueron colocados en cajas de oviposición de 61 centímetros de largo, 56 de ancho y 46 de alto, que contenían plantas de café.

Los cuatro lados y la parte superior de cada caja se forraron con tela negra muy fina y poco tupida a fin de permitir una aireación normal y penetración de luz. El fondo se construyó de madera dividida en cuatro secciones cuadradas de 23 centímetros de lado y desplazables para facilitar la colocación y retiro de las plantas.

En el centro de cada uno de las cuatro partes en que se dividió el fondo se hizo un hueco circular de cuatro centímetros de diámetro, que permitiera el paso del tallo de la planta y en forma tal que la cerrar las cuatro naves del fondo solo el follaje quedara dentro de la caja de oviposición. La bolsa en que estaba sembrada la planta quedaba por fuera.

La caja descansaba en cuatro patas de madera ajustables hasta un máximo de 76 centímetros, dependiendo de la altura de las plantas utilizadas.

El alimento para los adultos se suministró usando mecha retorcida de papel de celulosa remojada en una solución azucarada.

3.1.2 Obtención de huevos

Cuatro plantas de café de aproximadamente un año de edad se colocaban en cada caja de oviposición que contenía de 1.000 a 2.000 adultos. Cuando era necesario obtener huevos de edad uniforme las plantas eran cambiadas cada 24 horas, en caso contrario el cambio se efectuaba cada 48 horas.

Las plantas con los huevos fueron colocadas sobre bancas de madera, en condiciones ambientales, durante 15 a 20 días tiempo en el cual las larvas alcanzan su completo desarrollo y comienzan a empupar. Durante el experimento se utilizaron cuatro cajas de oviposición lo que permitió recolectar de 1.500 a 2.000 pupas por día.

3.1.3 Obtención de pupas

Poco antes de que las larvas comenzaran a empupar se colocaban ramas de café con hojas verdes debajo de las plantas atacadas y éstas se separaban lo suficiente como para permitir la caída de un número muy alto de larvas en los sitios de pupación. Para facilitar la recolección las ramas de café con hojas verdes eran puestas sobre un soporte de madera con malla metálica.

3.1.4 Obtención de adultos

Las pupas en estado avanzado de desarrollo se depositaban, conjuntamente con las hojas que sirvieron para empupar, en cajas de madera de 31 centímetros de largo, 18 de ancho y 23 de alto. La parte superior de la jaula es semicircular y cubierta con tela negra suficientemente gruesa para que no pase la luz. Uno de los extremos de la caja tiene una abertura circular en la cual se coloca un beaker de 400 mililitros. Los adultos emergidos van al beaker atraídos por la luz y de ahí se transfieren a la caja de oviposición.

3.2 Aspectos Generales de los Experimentos Realizados con Radiación Gamma

La irradiación de los insectos se realizó en los laboratorios del Programa de Energía Nuclear de Turrialba en una fuente de ^{60}Co , con una exposición de 1,7 kr por minuto.

Los insectos en estado pupal se irradiaron en recipientes contruidos de malla metálica mientras que los adultos se irradiaron en recipientes de vidrio con tapas provistas de malla para facilitar el intercambio gaseoso. Todos los experimentos se realizaron en condiciones de laboratorio a temperatura de $25 \pm 3^\circ\text{C}$ y humedad relativa de $73 \pm 6\%$.

Las pupas utilizadas en los ensayos fueron recolectadas desde las siete u ocho de la mañana hasta las cinco de la tarde, por lo que las pupas variaban de 0 a 10 horas de edad.

Para copulación y oviposición se usaron cajas de madera de 19 centímetros de largo, 12 de ancho y 14 de alto. La forma era igual a la usada para la obtención de adultos para la crianza masiva pero forrados

con tela fina poco tupida para permitir suficiente luz en su interior.

En la apertura circular que tienen en la parte anterior se colocó un vaso de cartón para facilitar la manipulación propia de cada ensayo.

Las hembras y machos fueron separados en estado adulto en base a las características externas de sus órganos de reproducción, apareándose posteriormente los insectos tratados con los normales del sexo opuesto.

Para la recolección de huevos se utilizaron hojas de café colocadas individualmente en frascos con agua, colocándose un tapón de algodón en la boca de cada frasco para evitar que los insectos penetraran y murieran ahogados. Las hojas, después de ser revisadas para eliminar cualquier posible huevo ajeno al tratamiento, se colocaron en las jaulas de copulación y oviposición a partir del primer día de apareamiento. Las hojas con huevos se recolectaron cada 24 horas durante un período de ocho días.

Los huevos obtenidos se contaron bajo el microscopio estereoscópico y posteriormente se colocaron en jaulas protectoras para evitar oviposición proveniente de otros tratamientos.

El alimento para los adultos consistió en una solución de azúcar al 10% colocada en frascos de 50 mililitros con mecha retorcida de papel celulosa. El alimento no se cambió entre la duración de cada experimento.

3.2.1 Determinación de la dosis de esterilización para hembras y machos irradiados en estado pupal y en estado adulto

Los machos en estado pupal fueron irradiados 14 a 23 horas antes de emergencia con varias dosis entre 10 kr y 60 kr. No se

utilizaron dosis superiores a 60 kr debido a la alta mortalidad reportada por Katiyar y Ferrer (22) lo que fue comprobado en la presente investigación mediante varios ensayos preliminares.

Las hembras en estado pupal se irradiaron 14 a 21 horas antes de emergencia con dosis entre 2 kr y 40 kr.

En todos los casos anteriores las pupas después de irradiadas fueron colocadas individualmente en frascos de cinco mililitros, tapados con algodón, hasta su emergencia, para asegurar la obtención de adultos vírgenes.

Los machos en estado adulto se irradiaron con diferentes dosis entre 1 kr y 90 kr, 4 a 21 horas después de emergidos. Las hembras adultas se irradiaron 15 a 23 horas después de la emergencia con dosis entre 1 kr y 40 kr. Con base en los resultados obtenidos se determinó el estado de desarrollo más apropiado para esterilizar.

En todos los casos de insectos irradiados en estado pupal o en estado adulto se efectuaron cinco repeticiones de cada tratamiento, con 10 parejas de insectos en cada repetición. Se utilizó un testigo en iguales condiciones para cada tratamiento en todas las repeticiones.

3.2.2 Efectos de la radiación en la fertilidad, fecundidad y longevidad de machos y hembras tratados

Con el fin de observar los efectos de la radiación en la fertilidad y fecundidad de las hembras normales cruzadas con machos irradiados, se anotó el número total de huevos colocados por cada hembra y el número de los que eclosionaron entre cinco y nueve días después de recolectados. Se consideraron como huevos eclosionados

aquellos en que la larva fue capaz de iniciar la formación de una mina en la hoja.

Para los ensayos de longevidad cada 24 horas y hasta la muerte de todos los individuos se retiraron los insectos muertos separando hembras y machos con el fin de observar la diferente sensibilidad de los sexos a la radiación gamma.

3.2.3 Efecto de la dosis esterilizante sobre el vigor sexual de los machos tratados

Para determinar el efecto de la radiación sobre el vigor sexual se realizaron dos tratamientos. En el primero se confinó en una caja de copulación y oviposición un macho estéril de 24 horas de edad al cual cada día, y hasta su muerte, se le ofrecieron durante 24 horas cinco hembras vírgenes normales y de un día de edad.

El segundo tratamiento consistió en repetir exactamente todo lo anterior pero usando machos normales. Se efectuaron 10 repeticiones de cada tratamiento.

Diariamente las hembras que habían permanecido durante 24 horas con un macho normal o irradiado fueron disectadas bajo el microscopio estereoscópico para separar los órganos genitales. Para observar la presencia o ausencia de espermatozoides, bajo el microscopio compuesto, se utilizó la solución de Belar cuyos componentes son: NaCl 6 gramos, KCl 0,2 gramos, CaCl_2 0,2 gramos, NaCO_3 0,2 gramos, agua hasta completar 1.000 mililitros.

Pocas horas después de muertos los machos normales o irradiados fueron disectados para observar presencia o ausencia de espermatozoides.

3.3 Análisis de la Información

Los datos básicos obtenidos en la investigación fueron sometidos a análisis estadísticos. El tipo de análisis utilizado está relacionado con la naturaleza de la respuesta y con el factor estímulo considerado.

Para la interpretación de la información obtenida sobre curva-tiempo dosis (mortalidad) se ajustó la función logística que conforma la siguiente expresión

$$Y = \frac{B_0}{1 + B_1 e^{-B_2 X}}$$

donde:

Y = porcentaje de mortalidad acumulada

X = tiempo transcurrido después de la irradiación

B₀ = el punto máximo teórico de la curva o asíntota

B₁ = parámetro que expresa la tasa de cambio de la curva

B₂ = parámetro que expresa la tasa exponencial de cambio de la tendencia

e = base de los logaritmos Neperianos

La curva deja entrever claramente tres zonas de respuesta (mortalidad) en el transcurso del tiempo. La primera función o zona de la curva corresponde a valores pequeños de X, donde la respuesta es prácticamente lineal y con pendiente cercana a cero. La segunda porción concierne al aumento casi exponencial de la curva, el valor intermedio de X, y finalmente la función asíntótica o máximo teórico de la curva que ocurre cuando X se acerca a sus valores extremos. En síntesis puede decirse de la curva típicamente logística de la respuesta (mortalidad) en el tiempo (días transcurridos) que tiene la forma

de la letra mayúscula "S" que puede tomar diferentes posiciones, desde una "S" prácticamente horizontal hasta el extremo más vertical, dependiendo de la sensibilidad de la respuesta. Obviamente la sensibilidad de la respuesta depende de los tratamientos aplicados y su efecto en el tiempo.

En este estudio se ajustaron curvas independientes para cada dosis y se compararon los parámetros de las diferentes curvas para discriminar respuesta diferencial a tratamientos.

El segundo tipo de análisis utilizado se refiere al ajuste de la curva que relaciona la dosis con la fecundidad o con la fertilidad. El modelo matemático utilizado para este fin es similar al anterior, aunque la interpretación de los parámetros es un tanto diferente ya que este modelo se refiere a una función decreciente de tendencia contraria a la logística, es decir se aproxima a una "S" invertida y lógicamente el parámetro B_2 toma valor positivo tal como se ilustra a continuación:

$$Y = \frac{B_0}{1 + B_1 e^{B_2 X}}$$

donde:

- Y = porcentaje de fertilidad o fecundidad
- X = dosis de irradiación
- B_0 = punto máximo teórico de la curva asíntota
- B_1 = parámetro que expresa la tasa de cambio de la curva
- B_2 = parámetro que expresa la tasa exponencial de cambio de la tendencia
- e = base de los logaritmos Neperianos

Es de indicar que una curva de fecundidad fue prácticamente lineal por lo que se ajustó por medio de una ecuación lineal en lugar de la "S" invertida, es decir se empleó la fórmula de regresión lineal:

$$Y = B_0 + B_1X$$

donde:

Y = fecundidad

B₀ = valor de Y al punto de origen

B₁ = tasa de cambio de Y por unidad de incremento de X

X = dosis de irradiación

Para la estimación de los parámetros se usó la técnica de mínimos cuadrados no lineales. Este método recibe el nombre de linealización de Gauss, y consiste esencialmente en una expansión de la serie de Taylor, que por sucesivas interacciones va mejorando la estimación de los parámetros hasta encontrar convergencia.

Para determinar si existía o no diferencia significativa entre la fecundidad y longevidad del testigo y la fecundidad y longevidad de los diferentes tratamientos se aplicó la prueba de t.

4. RESULTADOS

En el presente capítulo se registran y analizan los resultados obtenidos en este estudio. Los datos obtenidos como respuesta a las diferentes dosis de radiación gamma aplicada y medida en términos de fertilidad, fecundidad, longevidad y capacidad de inseminación del Leucoptera coffeella Guerin se consignan en Cuadros y Figuras. Igualmente se anota la mayor o menor susceptibilidad a la radiación según el sexo y el estado de desarrollo.

4.1 Efecto de Diferentes Dosis de Radiación Gamma en la Fertilidad de Machos y Hembras Tratados en Estado Pupal o en Estado Adulto

4.1.1 Respuesta dosis-fertilidad según el sexo

En el Cuadro 1 y la Figura 1 se consignan los datos de fertilidad de machos irradiados en estado pupal. Se aprecia que la velocidad de pérdida de la fertilidad sigue la misma forma de la curva tipo logístico que se indicó en el capítulo de materiales y métodos. La función de respuesta fertilidad es casi insensible a los estímulos de la radiación con las dosis de 0 a 10 kr. A partir de este punto la fertilidad declina proporcionalmente hasta la dosis de aproximadamente 60 kr y en la parte inferior de la curva la fertilidad se mantiene estática cerca a las dosis esterilizantes.

Los datos de fertilidad correspondientes a hembras irradiadas en estado pupal se presentan en el Cuadro 2 y la Figura 2. La curva de respuesta, dosis-fertilidad, presenta la misma tendencia general de la curva tipo logístico. La porción donde la respuesta es

Cuadro 1. Fertilidad, fecundidad y longevidad de machos de *Leucoptera coffeella* Guerin tratados en estado pupal^{a/} con diferentes dosis de radiación gamma y cruzados con hembras normales (promedio de cinco repeticiones; 10 parejas por caja).

Dosis (kr)	Total huevos examinados	% Fertilidad $\pm \Delta$	No. huevos por hembra ^{b/} $\pm \Delta$	T ₅₀ (Días) $\pm \Delta$
0	3114	95,0 \pm 0,81	63 \pm 5,29	14,3 \pm 0,26
10	3083	88,8 \pm 1,42	63 \pm 12,19	13,6 \pm 0,44
20	2787	80,5 \pm 1,27	58 \pm 7,76	12,4 \pm 0,39
30	3075	62,4 \pm 2,64	63 \pm 5,26	11,6 \pm 0,49
40	2991	42,3 \pm 2,01	62 \pm 10,05	9,4 \pm 0,43
50	3062	24,2 \pm 2,48	62 \pm 8,32	7,3 \pm 0,49
60	2818	19,3 \pm 2,69	57 \pm 10,60	4,2 \pm 0,46

a/ Irradiados 14 a 23 horas antes emergencia

b/ Promedio de huevos recolectados durante ocho días seguidos después apareamiento.

prácticamente lineal corresponde a las dosis de 0 a 2 kr. La función de respuesta proporcional termina en la dosis de 10 kr. De ahí en adelante hasta la dosis que produce esterilidad completa la curva presenta su zona estacionaria.

En el Cuadro 3 y la Figura 1 se consignan los resultados de fertilidad observados en las hembras cruzadas con machos irradiados en estado adulto. La curva de respuesta a los tratamientos deja entrever las mismas zonas indicadas al irradiar machos en estado pupal. La primera porción (lineal) está limitada entre las dosis de 0 y 20 kr, la segunda (zona de respuesta proporcional) se extiende desde 20 kr hasta la dosis de 60 kr. De ahí en adelante hasta la dosis cercana

— irradiados (pupas) x ♀ normales
- - - irradiados (adultos) x ♀ normales

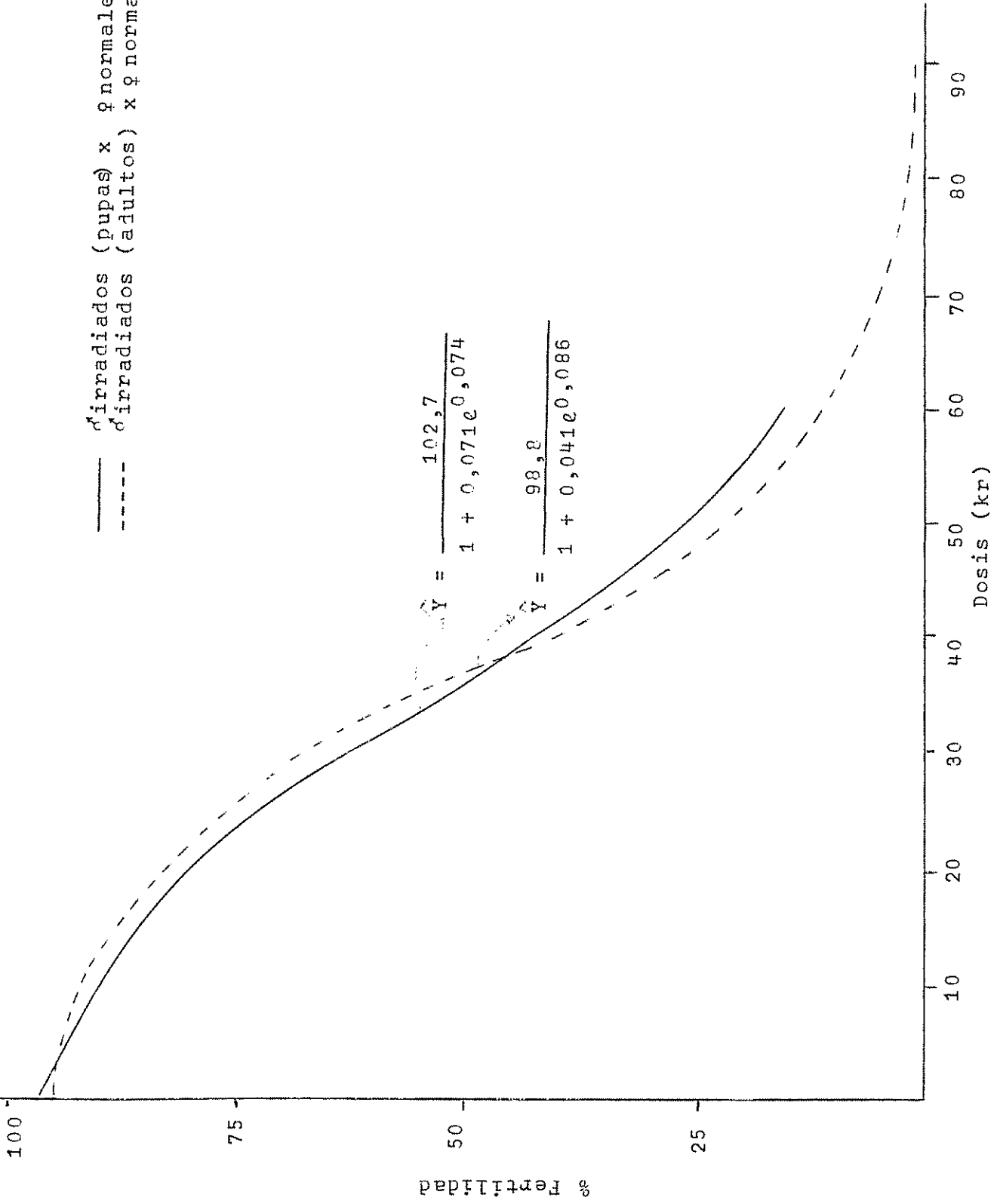


Figura 1. Fertilidad resultante del apareamiento de machos irradiados (en estado pupal o adulto) con hembras normales.

Cuadro 2. Fertilidad, fecundidad y longevidad de hembras de Leucoptera coffeella Guerin tratadas en estado pupal^{a/} con diferentes dosis de radiación gamma y cruzadas con machos normales (promedio de cinco repeticiones; 10 parejas por caja).

Dosis (kr)	Total huevos examinados	% Fertilidad ±s	No. huevos por hembra ^{b/} ±s	T ₅₀ (Días) ±s
0	8414	96,9±0,92	69±12,36	11,0±0,49
2	3294	79,5±3,61	67±10,71	10,6±0,35
4	2813	57,3±4,14	58±14,35	10,6±0,40
6	2548	36,0±6,54	52±18,77	12,3±0,50
10	2363	13,5±3,72	48±12,66	11,6±0,60
20	1238	1,3±0,73	25± 3,27	12,2±0,70
30	1146	0,54±0,33	23± 4,60	11,7±0,39
40	744	0,0±0,00	15± 3,11	9,5±0,28

a/ Irradiados 14 a 21 horas antes de emergencia

b/ Promedio de huevos recolectados durante ocho días seguidos después apareamiento.

a la esterilidad aparece la zona estacionaria.

Los resultados de fertilidad obtenidos al irradiar hembras en estado adulto, se anotan en el Cuadro 4 y la Figura 2. La curva de respuesta es similar a la discutida cuando se irradiaron hembras en estado pupal correspondiendo la primera función de respuesta a las dosis de 0 a 1 kr. La zona o porción proporcional termina aproximadamente en la dosis de 15 kr. La porción inferior de la curva va desde la dosis de 10 kr hasta la que produce 100% de esterilidad (40 kr).

— ♀ irradiadas (pupas) x ♂ normales
- - - ♀ irradiadas (adultas) x ♂ normales

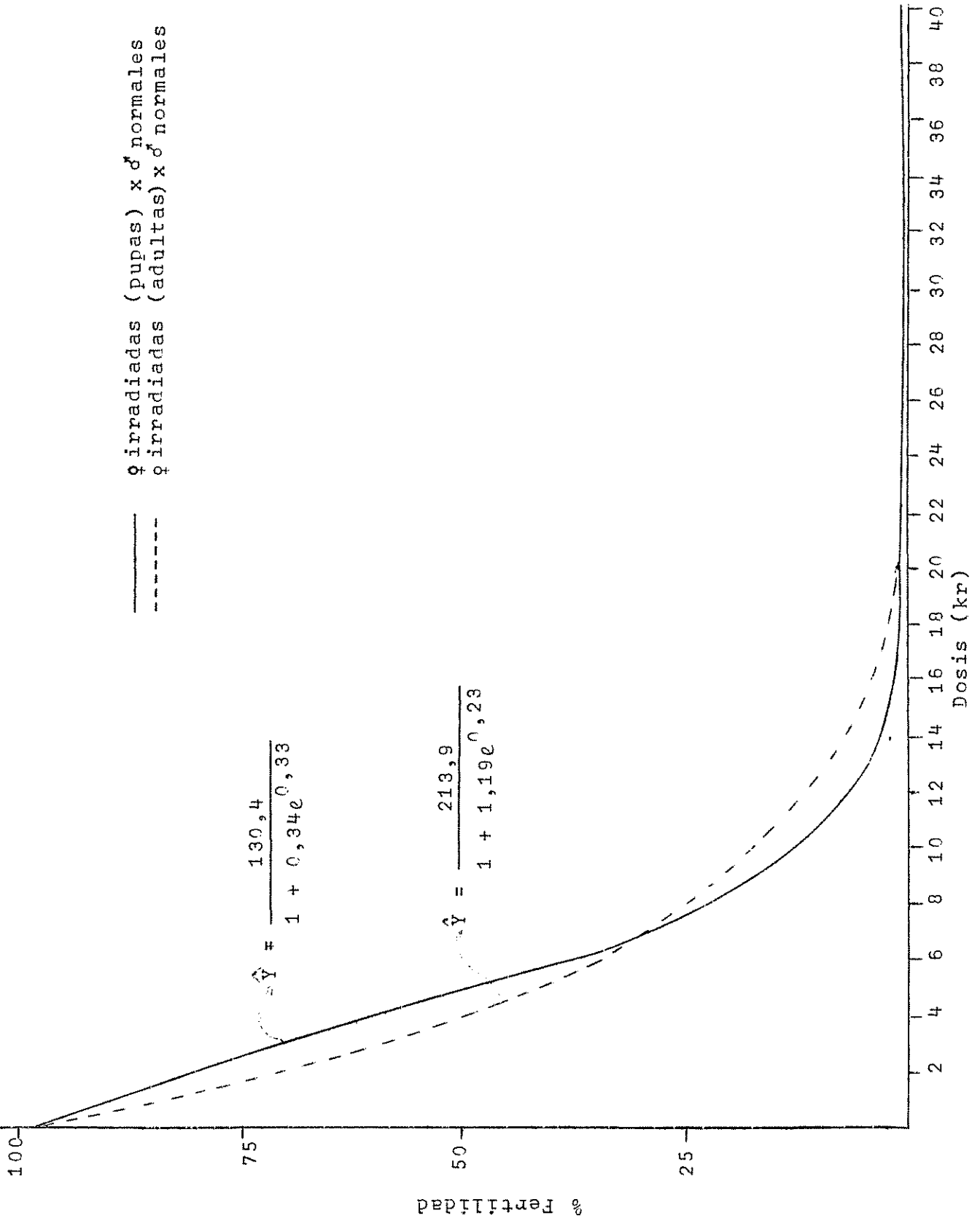


Figura 2. Fertilidad resultante del apareamiento de hembras irradiadas (en estado pupal o adulto) con machos normales

Cuadro 3. Fertilidad, fecundidad y longevidad de machos de Leucoptera coffeella Guerin tratadas en estado adulto^{a/} con diferentes dosis de radiación gamma y cruzados en hembras normales (promedio de cinco repeticiones; 10 parejas por caja).

Dosis (kr)	Total huevos examinados	% Fertilidad ±s	No. huevos por hembra ^{b/} ±s	T ₅₀ (Días) ±s
0	3132	95,4 ±1,3	63± 7,27	16,2±0,73
10	3408	90,0 ±0,82	69±14,57	15,0±0,69
20	2865	80,1 ±5,02	59±12,70	16,0±0,61
30	2732	60,8 ±7,31	56±19,73	11,4±0,55
40	2805	46,4 ±8,59	57±13,79	11,4±0,50
45	2554	30,4 ±3,94	52±15,63	12,3±0,61
50	2770	23,1 ±3,54	56±15,00	12,2±0,63
55	2886	16,7 ±2,18	59±12,79	10,0±0,53
60	2547	10,9 ±2,51	52±10,21	9,5±0,46
70	2437	4,5 ±2,63	50±18,23	10,3±0,35
80	2676	1,2 ±0,72	54± 7,29	8,4±0,43
90	2716	0,19±0,22	56±20,25	7,7±0,25

a/ Irradiados 4 a 21 horas después emergencia

b/ Promedio de huevos recolectados durante ocho días seguidos después apareamiento.

Es importante observar que para las hembras, irradiadas en estado pupal o en estado adulto la región proporcional de la curva está entre la dosis de 1 y 10 kr mientras que la misma zona para los machos está comprendida entre las dosis de 10 y 60 kr. Este hecho indica la mayor susceptibilidad de las hembras a la radiación en lo que se refiere a fertilidad.

Cuadro 4. Fertilidad, fecundidad y longevidad de hembras de Leucoptera coffeella Guerin tratadas en estado adulto^{a/} con diferentes dosis de radiación gamma y cruzadas con machos normales (promedio de cinco repeticiones; 10 parejas por caja).

Dosis (kr)	Total huevos examinados	% Fertilidad ±Δ	No. huevos por hembra ^{b/} ±Δ	T ₅₀ (Días) ±Δ
0	3328	96,9 ±0,77	68±12,38	11,5±0,41
1	1942 ^{c/}	84,5 ±0,60	67± 2,83	12,0±0,46
2	3222	76,0 ±1,92	65± 8,15	11,5±0,26
4	3163	53,8 ±5,86	65± 5,40	12,4±0,44
6	3361	34,9 ±4,25	68± 5,43	11,3±0,58
8	2763	22,7 ±3,40	56± 4,64	13,0±0,57
10	3069	18,7 ±3,10	62± 2,07	12,6±0,60
15	2084 ^{d/}	7,5 ±7,60	52± 8,83	14,3±0,56
20	2277	1,4 ±0,90	46± 4,72	14,2±0,65
30	1683	0,16±0,37	34± 4,21	14,2±0,66
40	1741	0,17±0,13	35± 5,26	12,5±0,44

a/ Irradiadas 15 a 23 horas después emergencia

b/ Promedio de huevos recolectados durante ocho días seguidos después apareamiento

c/ Datos de tres repeticiones

d/ Datos de cuatro repeticiones

4.1.2 Respuesta dosis-fertilidad según estado de desarrollo

En la Figura 1 se comparan las curvas de fertilidad de machos irradiados en estado pupal y en estado adulto. Se observa que no existe diferencia apreciable entre ellas en lo que concierne a la tendencia general de la respuesta ni entre la dosis que determinan las tres zonas de respuesta. Al comparar por la prueba de t los parámetros

de cambio de la tendencia B_2 (pupa=0,074; adulto=0,084) y los parámetros de cambio B_1 (pupa=0,07; adulto=1,19) de las dos curvas no se detectó diferencia significativa ($P>0,05$) entre las curvas de fertilidad de los dos estados de desarrollo.

En la Figura 2 se compara la curva de fertilidad de hembras irradiadas en estado pupal con la de las hembras irradiadas en estado adulto. Igual que cuando se irradiaron machos en estado pupal o adulto no se observa marcada diferencia entre las dosis que delimitan las tres porciones de respuesta. Sin embargo se detectó diferencia significativa entre los parámetros (B_1 y B_2) que definen las curvas en los dos estados de desarrollo.

En los Cuadros 1 a 4 del apéndice se consignan los datos de fertilidad observados durante las cinco repeticiones realizadas al exponer hembras y machos, en estado pupal y en estado adulto, a diferentes tratamientos de radiación.

4.2 Efectos de la Radiación en la Fecundidad y Longevidad de Machos y Hembras Irradiados en Estado Pupal o Adulto

En los Cuadros 1 y 2 y la Figura 3 se registra la fecundidad de hembras normales apareadas con machos irradiados en estado pupal y en estado adulto. Se observa que la curva de respuesta dosis-fecundidad es prácticamente lineal. A juzgar por la tendencia de la fecundidad a medida que aumenta la dosis de radiación se estimó que la fecundidad en el estado pupal disminuye en la tasa de 0,057 huevos por cada incremento de 1 kr en tanto que la fecundidad en el estado adulto declinó en la razón de 0,130 huevos por cada kr. La tendencia de la respuesta presenta en este caso una característica muy peculiar ya

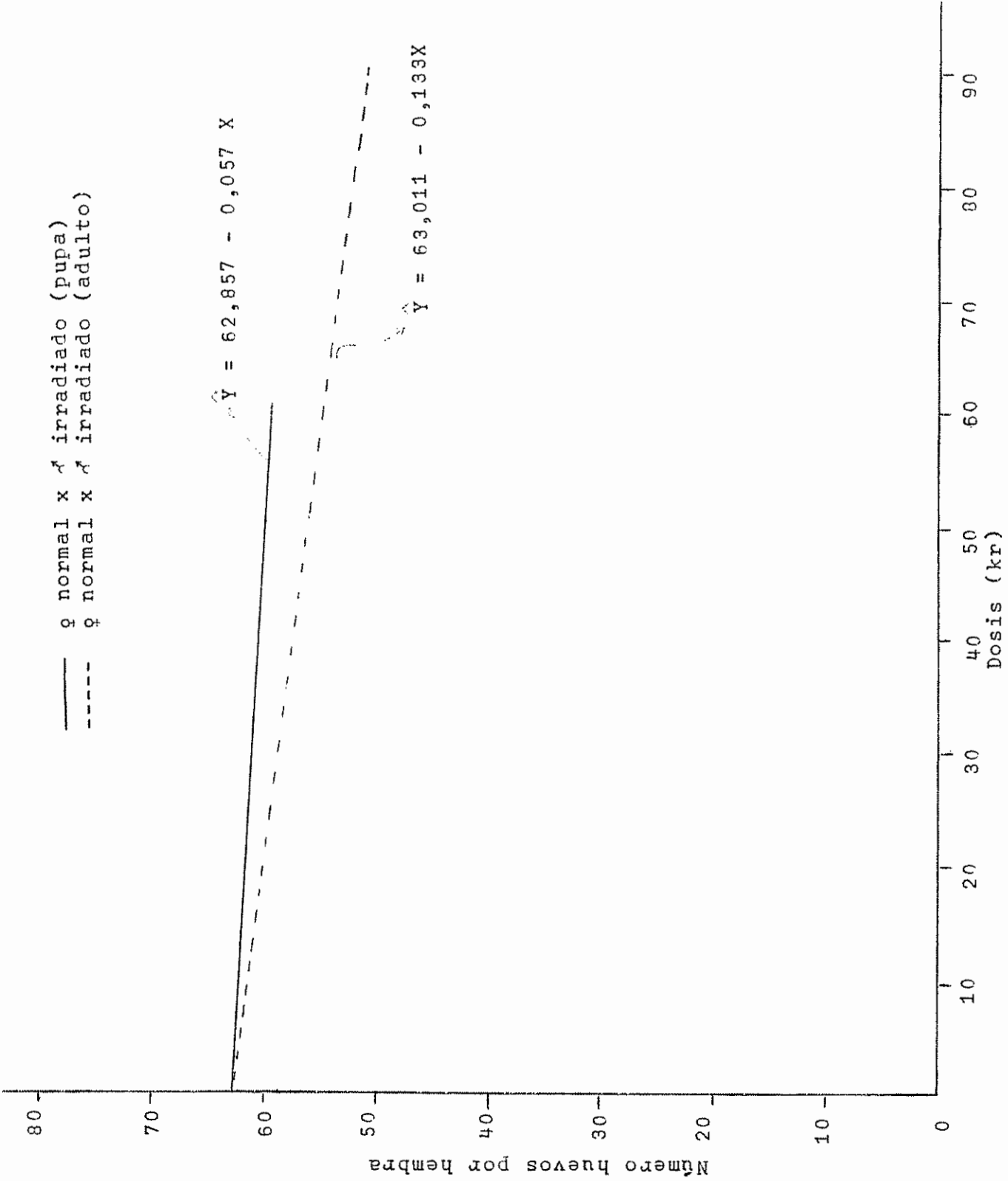


Figura 3. Fecundidad de hembras normales apareadas con machos irradiados en estado pupal o adultos.

que declina proporcionalmente a la dosis de radiación.

La disminución en la fecundidad de hembras irradiadas en estado pupal y en estado adulto (Cuadro 2, 4 y Figura 4) sigue la misma tendencia de la curva tipo logístico, con la diferencia de que las tres zonas o porciones de respuesta no son tan notorias debido a que la forma "S" invertida, forma típica de la curva, ha tomado posición casi horizontal. Se observa que para el estado pupal la primera función de respuesta está entre la dosis de 0 a 2 kr, la región de respuesta proporcional se extiende hasta la dosis de 20 kr, de 20 kr hasta la dosis esterilizante se encuentra la zona estacionaria. Las tres zonas de respuesta para las hembras irradiadas en estado adulto están limitadas, con muy poca diferencia, por las mismas dosis del estado pupal.

Observando las curvas de fecundidad de hembras irradiadas en estado pupal y en estado adulto (Figura 4) se ve claramente que el estado pupal es el más afectado. Se encontró diferencia significativa debido a estado de desarrollo entre los parámetros de cambio de tendencia B_2 (pupa=0,041; adulto=0,019) de las dos curvas ($P > 0,05$); no detectándose diferencia significativa entre los parámetros de cambio B_1 (pupa=198.454; adulto=8.692).

En la Figura 3, como complemento a los Cuadros 1 y 3 se compara la fecundidad de las hembras cruzadas con machos irradiados en estado pupal y como adultos. Se aprecia que hasta la dosis que les es común (60 kr) la fecundidad fue un poco mayor en las pupas. Al comparar los parámetros B_1 de las curvas no se encontró diferencia significativa entre estados de desarrollo a nivel del 1% B_1 (pupa=0,057; adulto=0,133).

— ♀ irradiadas (pupa) x ♂ normales
 - - - - ♀ irradiadas (adulto) x ♂ normales

$$\hat{Y} = \frac{604.636,5}{1 + 8692,720,019}$$

$$\hat{Y} = \frac{13'806.975}{1 + 198.454,120,04}$$

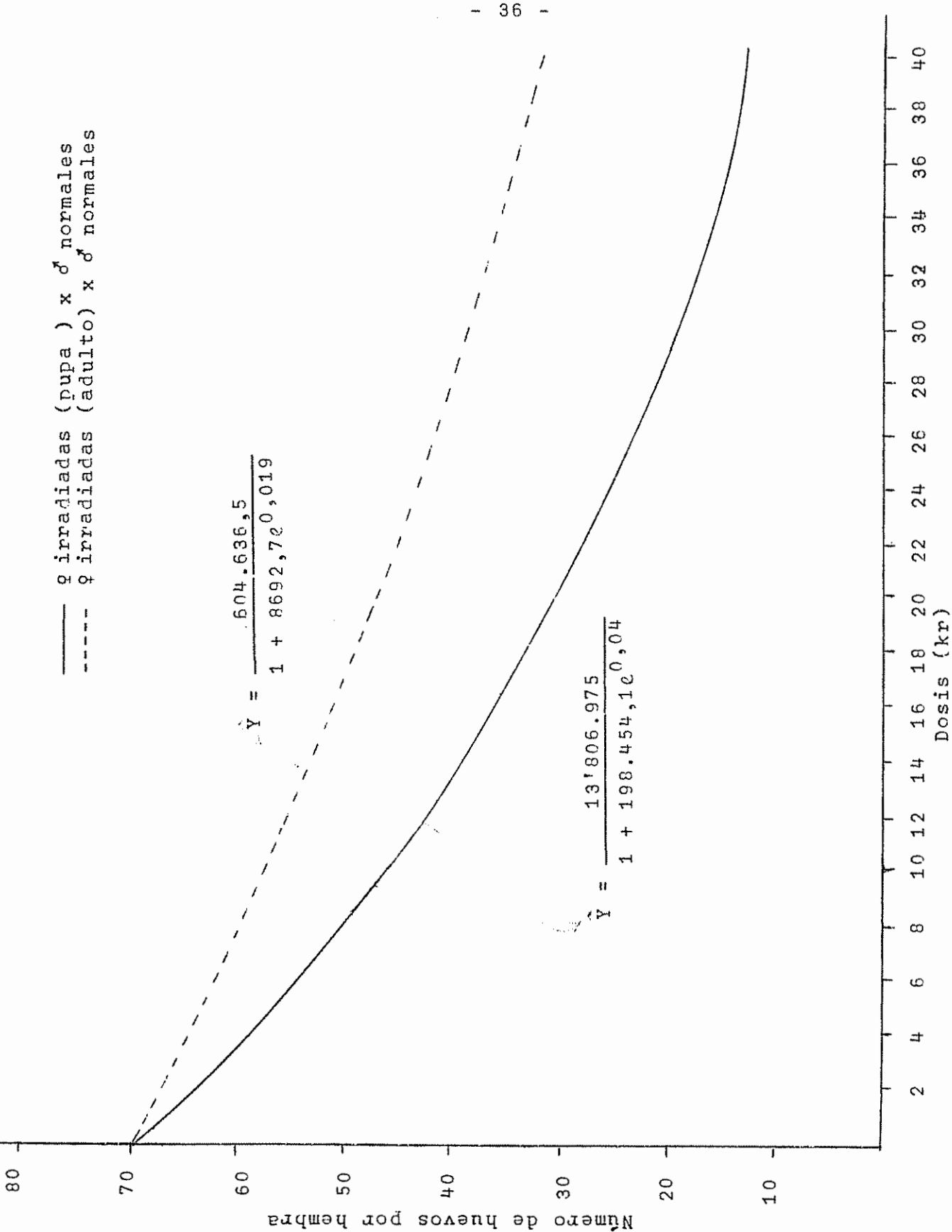


Figura 4. Fecundidad de hembras irradiadas (en estado pupal o adulto) y apareadas con machos normales.

4.2.1 Respuesta dosis-longevidad según los sexos y estado de desarrollo

En la Figura 5 se registran los promedios de mortalidad acumulada para machos irradiados en estado pupal. Las curvas de respuesta tiempo-dosis (mortalidad) obtenidas para cada uno de los tratamientos presenta las tres porciones de respuesta características en la curva "S" que se anotó en el capítulo anterior. Comparando los parámetros B_2 no se detectó diferencia debido a tratamientos entre el testigo y cada uno de los parámetros de las dosis 10 kr, 30 kr, 50 kr y 60 kr pero sí se encontró diferencia significativa para las dosis de 20 kr y 40 kr. Los parámetros B_1 que definen las curvas correspondientes a las dosis de 50 kr y 60 kr mostraron diferencia significativa a nivel del 5% con relación al testigo siendo B_1 de 10 kr, 20 kr, 30 kr y 40 kr no significativas. Los puntos T_{50} que se indican en la Figura 5 permiten comparar el tiempo promedio de mortalidad para cada dosis (T_{50} = tiempo promedio en el cual murió el 50% de los insectos en los diferentes tratamientos). Al comparar los valores T_{50} (estado pupal) por la prueba de t se encontró que todas las dosis disminuyeron la longevidad de los adultos (nivel del 5%).

Las curvas de respuesta, dosis-mortalidad observadas al irradiar machos en el estado adulto (Figura 6) son muy similares a las analizadas en el estado pupal. Al compararlas se notó que solamente los parámetros de cambio de tendencia (B_2) de las dosis 10 kr, 20 kr, 40 kr y 50 kr no mostraron diferencia significativa a tratamientos ($P > 0,05$) con relación al parámetro B_2 del testigo. Los parámetros B_2 de las dosis restantes sí mostraron diferencia significativa con

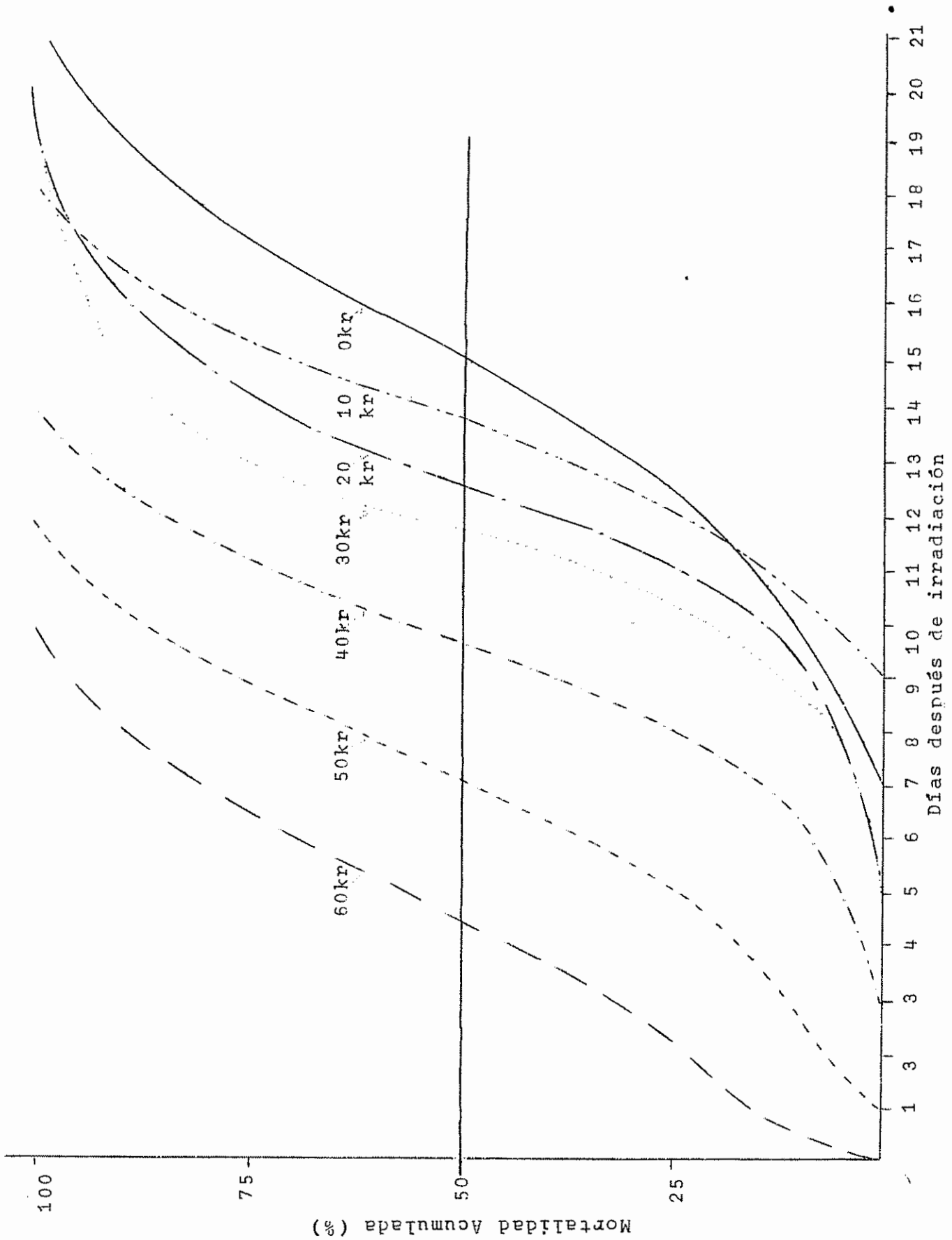


Figura 5. Promedios de mortalidad acumulada en función del tiempo después de irradiación de machos en estado pupal

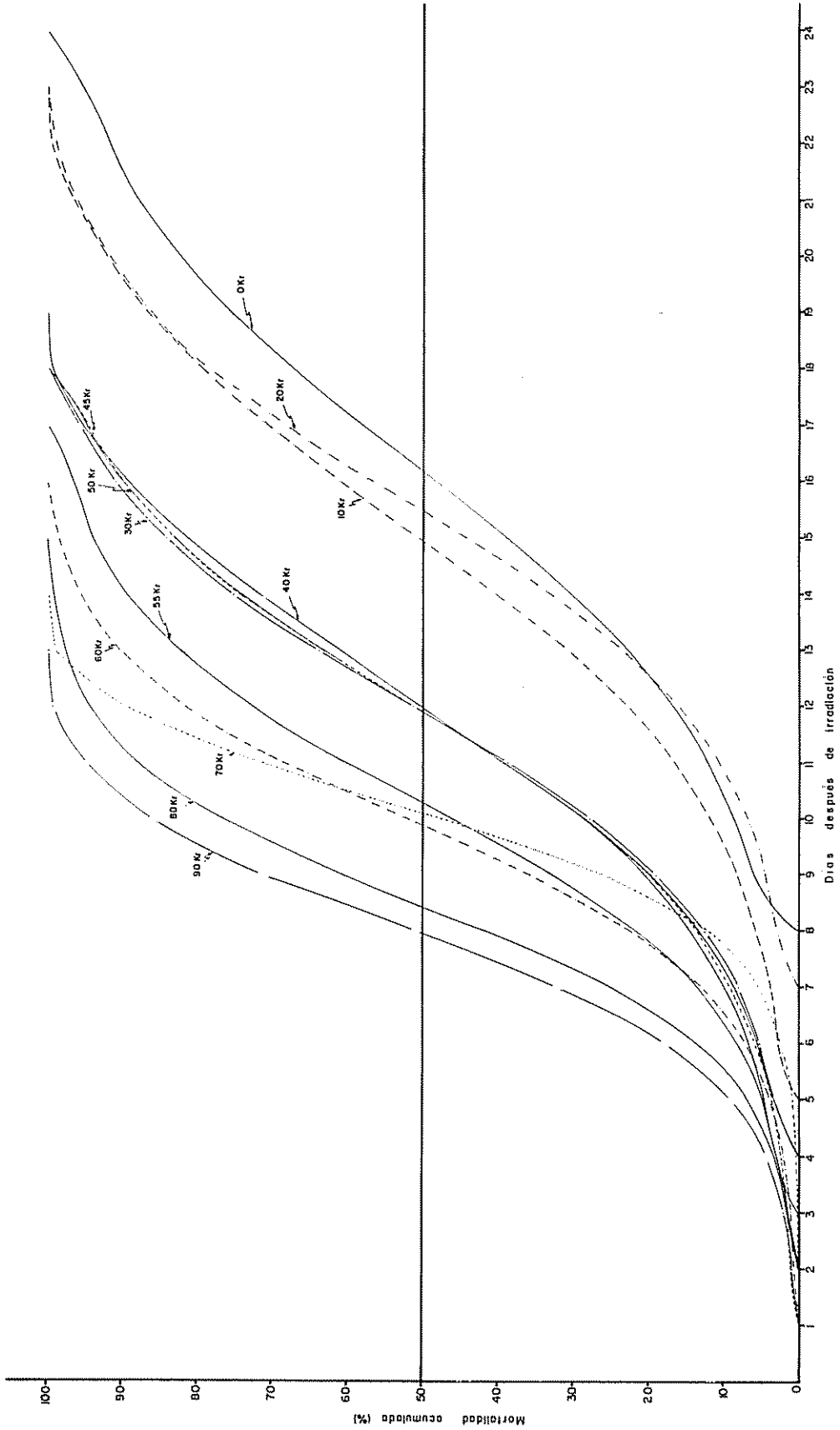


Fig. 6 Promedia de mortalidad acumulada en función del tiempo después de irradiación de machos en estado adulto

relación al testigo. Tampoco se detectó diferencia significativa entre los parámetros B_1 de todas las curvas de mortalidad acumulada.

Los valores T_{50} para los diferentes tratamientos, en los dos estados, permiten apreciar que la longevidad de los machos irradiados en estado adulto disminuyó significativamente con dosis de 30 kr y mayores ($P > 0,05$).

Los efectos de la radiación sobre la longevidad de las hembras se nota en las Figuras 7 (pupas) y 8 (adultos). La longevidad de las hembras se aumentó cuando se irradiaron en estado pupal o adulto, lo que se puede comprobar por la posición de las diferentes curvas (Figuras 7 y 8) con relación a la curva del testigo y por el valor T_{50} de las diferentes dosis.

Para el estado pupal se detectó diferencia significativa a tratamientos, a nivel del 1%, únicamente entre el parámetro B_2 del testigo y los correspondientes parámetros (B_2) de las dosis de 2 kr, 4 kr y 40 kr. Por comparación de los parámetros B_1 solo se encontró diferencia significativa entre el testigo y la dosis de 6 kr. La longevidad de las hembras irradiadas en estado pupal disminuyó significativamente (prueba de t) con las dosis de 2 kr, 4 kr y 40 kr pero aumentó significativamente con las dosis restantes (nivel del 5%).

Para el estado adulto se detectó diferencia significativa a tratamiento entre el parámetro B_2 del testigo y los parámetros de las dosis de 8 kr, 10 kr, 20 kr y 30 kr. Sin embargo, no se encontró diferencia significativa entre los parámetros de cambio (B_1). En las hembras irradiadas en estado adulto la longevidad no fue afectada con las dosis de 2 kr y 6 kr, pero las dosis de 4 kr, 8 kr, 10 kr, 15 kr, 20 kr,

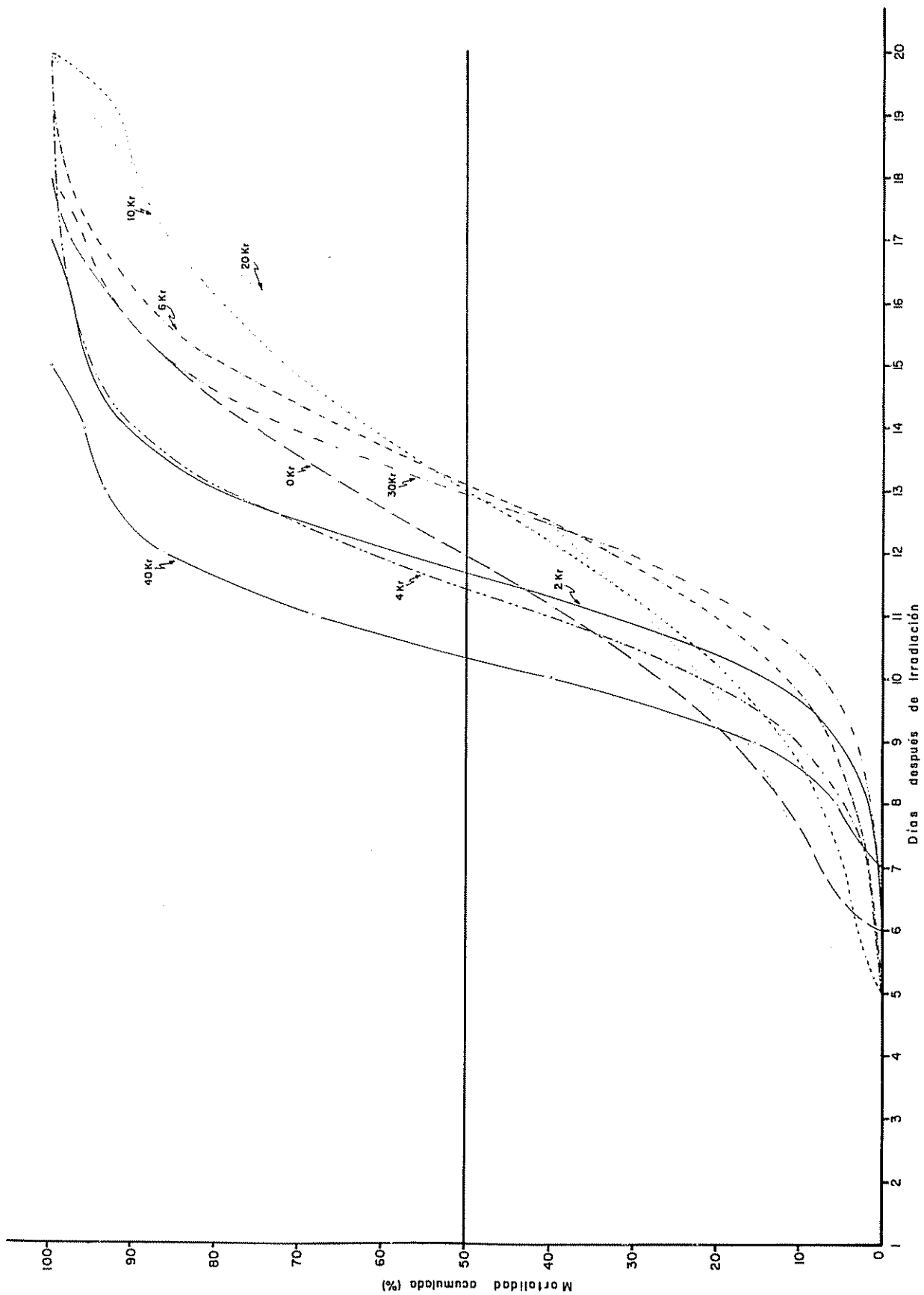


Fig. 7 Promedios de mortalidad acumulada en función del tiempo después de irradiación de hembras en estado pupal

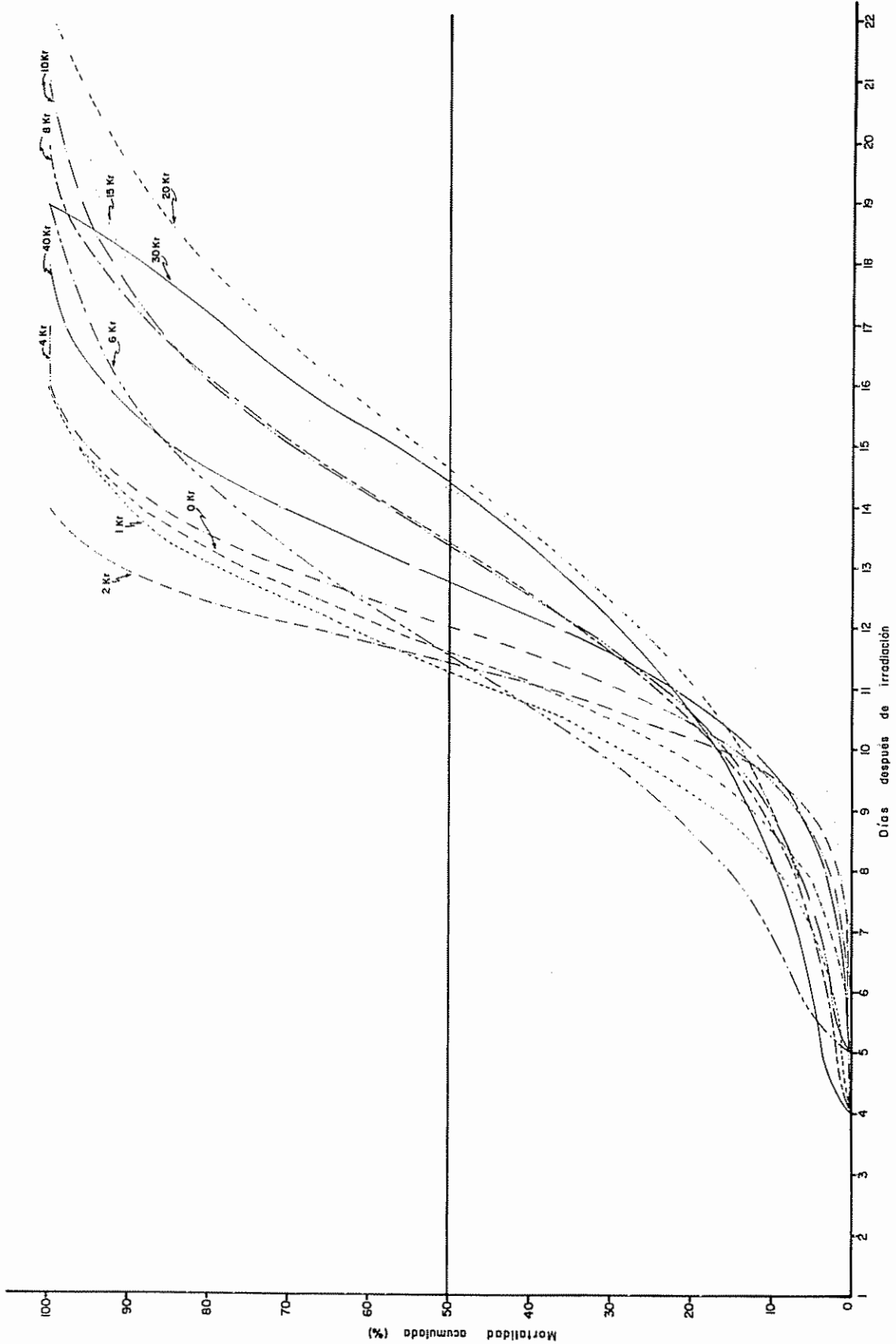


Fig. 8 Promedios de mortalidad acumulada en función del tiempo después de irradiación de hembras en estado adulto

30 kr y 40 kr aumentaron significativamente la longevidad (nivel del 5%).

4.3 Efecto de la Dosis Esterilizante Sobre el Vigor Sexual de los Machos Tratados

En el Cuadro 5 se consignan los resultados obtenidos referentes a la capacidad de inseminación de machos normales y machos irradiados con 90 kr. Según se puede ver en los machos normales se obtuvo un promedio de 35,1 inseminaciones por macho, un máximo de 40 y un mínimo de 30. En los machos irradiados se registró un promedio de cinco inseminaciones por macho, un máximo de seis y un mínimo de tres.

Los machos normales inseminaron hembras hasta su muerte la que ocurrió entre los 12 y 15 días. En cambio los machos irradiados, durante los dos a cuatro últimos días no inseminaron ninguna hembra, y murieron entre los seis y ocho días después de iniciado el experimento.

Poco después de la muerte de los machos normales o irradiados éstos se disectaron encontrándose en todos los casos apreciable cantidad de espermatozoides.

Cuadro 5. Inseminación consecutiva de hembras normales de Leucopptera coffeella Guerin enjauladas por 24 horas con machos normales o machos irradiados^{a/7} (90kr) en proporción 5h/:1 (hembras: machos)

Edad Machos (días)	Número de hembras inseminadas por cada macho de diferentes tratamientos										Total Promedio													
	Machos normal no.											Total Promedio												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10														
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30	3,0	2	2	3	2	3	2	3	23	2,3			
2	3	3	1	3	2	3	3	3	3	3	27	2,7	2	3	1	1	2	1	2	2	1	16	1,6	
3	4	3	2	3	4	3	3	4	4	3	33	3,3	1	1	2	1	1	0	1	1	1	10	1,0	
4	2	4	4	3	4	4	2	3	3	3	33	3,3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,1	
5	3	2	2	3	3	2	2	4	3	3	27	2,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	
6	4	3	2	3	4	4	3	2	3	3	31	3,1	0	c	0	c	0	c	0	c	0	0	0,0	
7	2	3	2	3	4	4	3	2	2	3	28	2,8	c	-	c	-	c	0	-	c	0	0	0,0	
8	3	3	2	3	3	4	3	2	4	2	29	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	26	2,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	3	4	3	3	3	3	3	2	2	2	28	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	22	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12	3	2	2	3	c	2	2	3	3	c	20	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13	3	1	2	2	-	1	c	1	2	-	12	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	2	1	1	c	-	c	-	c	1	-	5	0,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15	c	c	c	-	-	-	-	-	-	c	-	---	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Totales	39	36	30	37	35	40	34	31	39	30	351	35,1	5	6	6	3	6	5	3	6	5	5	50	5,0

- a/ Irradiados 24 horas después emergencia
- b/ En los cuatro primeros machos de cada tratamiento la proporción de hembra:macho era 4:1
- c/ Macho muerto

5. DISCUSION

Según los datos del capítulo anterior la fertilidad del Leucoptera coffeella Guerin disminuyó en los dos estados estudiados a medida que se incrementó la dosis de radiación. La dosis esterilizante (98,8% de esterilidad) para machos irradiados en estado adulto resultó ser de 90 kr, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Katiyar y Ferrer (22) para el mismo insecto. Sin embargo se observó que no hay diferencia en susceptibilidad entre machos irradiados en estado pupal o en estado adulto hasta la dosis que les es común (60 kr). En el estado pupal los machos no se pudieron tratar con dosis mayores a 60 kr debido al alto porcentaje de mortalidad (100% dentro de las 24 horas después de irradiación) presentado. La curva dosis-respuesta (fertilidad) obtenida para los machos irradiados en estado adulto resultó similar a la encontrada por North y Holt (32) para Trichoplusia ni y por Flint y Kressin (13) para Heliothis virescens (F).

Las hembras tratadas en estado pupal o adulto resultaron más susceptibles a la radiación, en lo que se refiere a fertilidad, que los machos irradiados en el mismo estado (Cuadro 1 y 2). Así con 40 kr las hembras irradiadas en estado pupal quedaron competamente esterilizadas mientras que los machos con igual dosis conservaron una fertilidad del 42,3%. Los resultados anteriores concuerdan con los reportados por Anwar (1,2), Cogburn (7) y George (15), quienes al irradiar hembras y machos de Lepidopteros en estado pupal observaron que las hembras requieren dosis más bajas para su esterilización.

Las hembras irradiadas en estado adulto fueron casi completamente esterilizadas (0,16% de fertilidad) con 30 kr, mientras que los machos

con la misma dosis, y en el mismo estado conservaron una fertilidad de 60,8% necesitando 90 kr para inducir 98,8% de esterilidad, es decir los machos requirieron una dosis casi tres veces mayor que la de las hembras para reducir la fertilidad a casi un cero por ciento. Este resultado concuerda con el de Jacklin y Boswell (20) quienes trabajando con Platynota stultana (Walsingham) reportaron que los machos irradiados en estado adulto necesitan el doble de la dosis requerida por las hembras, en el mismo estado, para producir 99% de esterilidad.

Anwar (1,2) trabajando con Spodoptera exigua y con Ostrinia nubilalis observó que al irradiar insectos en estado adulto los machos necesitaron dosis más altas que las hembras para su completa esterilización. Proshold (36) confirma lo anterior al comentar que las hembras de casi todos los Lepidópteros son generalmente esterilizadas a dosis más bajas que los machos. La mayor sensibilidad de las hembras en lo que se refiere a fertilidad se puede explicar por la afirmación de Proverbs y Newton (37) quienes trabajando con Laspeyresia pomonella (L) indicaron que las células germinales de las hembras son más radiosensitivas que las células germinales de los machos.

Para las hembras el efecto de la radiación es similar en ambos estados en lo que se refiere a reducción de la fertilidad. Así 30 kr fueron suficientes para inducir casi un 100% de esterilidad (99,46% como pupas y 99,84% como adultos) en los dos estados (Cuadros 2 y 4). Flint y Kressin (13) encontraron resultados similares en Heliothis virescens (F) indicando que dosis de 35 kr esterilizan casi por completo hembras irradiadas en estado pupal y en estado adulto.

La fecundidad de las hembras irradiadas y apareadas con machos normales se vió fuertemente disminuida por la radiación siendo más afectada en el estado pupal. Así con 40 kr la fecundidad (durante ocho días) en el estado pupal resultó ser de 15 huevos por hembra (testigo 63 huevos por hembra) y en el estado adulto con la misma dosis la fecundidad fue de 35 huevos por hembra (testigo 68 huevos por hembra). Resultados similares fueron encontrados por Elsayed y Graves (11, 12) al irradiar hembras de Heliothis virescens (F) en estado pupal y en estado adulto. La mayor sensibilidad de las hembras en el estado pupal puede deberse al menor estado de desarrollo del huevo con relación a los adultos. Borstel (3) confirma lo anterior al indicar que la radiosensibilidad varía según las diferentes etapas de la oogenesis y de la espermatogenesis siendo por lo general más radiosensitivas las células en menor estado de desarrollo.

La longevidad de los machos irradiados en estado pupal o en estado adulto se redujo a medida que aumentó la dosis de irradiación siendo mucho más afectada en el estado pupal (Cuadros 1 y 3). Según los datos de los cuadros anteriores la longevidad de los machos irradiados en estado pupal disminuyó significativamente (nivel del 5%) con todas las dosis a que fueron expuestos; así con la dosis de 60 kr la longevidad disminuyó en 70,5% ($T_{50} = 4,2$ días) con relación al testigo cuyo valor T_{50} fue de 14,3 días. En los machos irradiados en estado adulto dosis de 30 kr y mayores disminuyeron significativamente la longevidad y así con la dosis esterilizante (90 kr) la longevidad disminuyó en 52,5% ($T_{50} = 7,7$ días) con relación a los machos no tratados cuyo valor T_{50} fue de 16,2 días.

En las hembras la radiación (en la mayoría de las dosis) aumentó significativamente (nivel del 5%) su longevidad tanto en estado pupal como en estado adulto. Así el valor T_{50} de hembras irradiadas en estado adulto con 20 kr resultó ser de 14,2 días siendo el valor T_{50} del testigo de 11,5 días. Varios investigadores han observado resultados semejantes; en los datos presentados por Elsayed y Graves (12) se ve que la longevidad de las hembras de Heliothis virescens (F) tratadas en estado pupal con 30 kr fue de 22,5 días y con 20 kr de 12,5 días siendo la longevidad de las hembras no tratadas 22,2 días. Igualmente Proverbs y Newton (37) consignarion en sus datos que la longevidad de las hembras de Laspeyresia pomonella (L) se vió aumentada por varias de las dosis de radiación aplicadas tanto en estado pupal como en el estado adulto.

A juzgar por los datos consignados en los Cuadros 2 y 4, en las hembras el aumento de la longevidad está acompañada por una clara disminución en la fecundidad lo cual podría deberse a que las hembras irradiadas gastan menos energía al producir menor número de huevos que el testigo. También es posible que la radiación las debilite obligándolas a permanecer más inactivas, a consumir menos energía lo que se traduce en una mayor longevidad.

La longevidad de los machos irradiados en el estado pupal se reduce en más del 70% (con relación al testigo) con la dosis máxima (60 kr) y la fertilidad es aún de 19,3%, lo que es limitante para aplicar con éxito en este estado la técnica de machos estériles. El estado adulto parece ser el más apropiado para irradiar machos ya que es posible inducir casi 100% de esterilidad afectando menos

la longevidad que cuando se irradian en estado pupal. Igualmente el estado adulto parece ser el más indicado para aplicar dosis subesterilizantes de radiación que no afecten considerablemente la longevidad. Así con dosis de 45 kr y 50 kr la fertilidad fue de 30,4 y 23,1% respectivamente y la longevidad disminuyó en 24,7% con relación a los normales (T_{50} normales = 16,2 días); por el contrario en el estado pupal la dosis (40 kr) que reduce la longevidad en 24,7% permite una fertilidad mayor del 42%. Según Knippling (26) las nuevas investigaciones se enfocan hacia el empleo de dosis de radiación que aunque no produzca completa esterilidad tampoco afecten su comportamiento sexual; se espera, expresa el mismo autor, que la progenie F_1 de los machos tratados con dosis subesterilizantes presente un nivel alto de esterilidad. Este tipo de investigación se debe realizar con el minador de la hoja del café.

La fecundidad de hembras normales no se vió muy afectada cuando se aparearon con machos irradiados en estado pupal o en estado adulto (Cuadros 1 y 3). Así la fecundidad de hembras normales apareadas con machos irradiados en estado pupal con 50 kr o 60 kr (máxima dosis utilizada) resultó ser de 62 y 57 huevos por hembra respectivamente, siendo la fecundidad del testigo de 63 huevos por hembra. La fecundidad de las hembras normales apareadas con machos irradiados en estado adulto con dosis de 90 kr (dosis esterilizante) fue de 56 huevos por hembra siendo la fecundidad del testigo de 63 huevos por hembra. Resultados similares publicaron Husseiny y Madsen (18) al observar que al esterilizar ambos sexos de Paramyelois transitella (Walker), en estado pupal, no pareció

afectarse la fecundidad. Sin embargo Flint y Kressin (13) trabajando con Heliothis virescens (F) y Cogburn (7) trabajando con Plodia interpunctella y Sitotroga cerealella observaron fuerte disminución en la fecundidad de hembras normales apareadas con machos irradiados en estado pupal o adulto.

La dosis de 10 kr pareció estimular la oviposición de las hembras normales apareadas con machos irradiados en estado adulto. En el Cuadro 3 se vé que con 10 kr la fecundidad es de 69 huevos por hembra mientras que el testigo tiene una fecundidad de 63 huevos por hembra. Este hecho requiere más estudio para determinar la veracidad del resultado obtenido, sin embargo Elsayed y Graves (12) trabajando con Heliothis virescens (F) observaron que la fecundidad se aumentó al aparear hembras normales con machos irradiados en estado adulto con 10 kr.

Los machos irradiados con 90 kr no compitieron por igual con los machos normales en lo que se refiere a su capacidad de inseminación. Así la capacidad de inseminación de los machos irradiados es solamente 14,2% de la capacidad presentada por los machos normales (machos normales inseminaron 35 hembras por macho, en cambio los machos irradiados inseminaron cinco hembras por macho). Chen (6) en Eucosma achistoceana, Elsayed y Graves (11) en Heliothis virescens, George (15) en Grapholita molesta y North y Holt (32) en Trichoplusia ni observaron una disminución en la frecuencia de cópula en los machos esterilizados con radiación gamma. Borstel (4) indicó que en la mayoría de los insectos la radiación debilita el macho mermando su efectividad cuando compete con machos nativos en relación a su apareamiento con hembras normales. La

menor capacidad de inseminación de los machos estériles no sería limitante en la aplicación de la técnica de machos estériles para el control del Leucoptera coffeella Guerin si consideramos que los machos estériles inseminaron las hembras durante los tres primeros días de iniciado el ensayo, lo cual les daría cierto valor competitivo con los machos normales si se tiene en cuenta que Katiyar y Ferrer (22) observaron que la mayor oviposición de las hembras ocurre entre el tercero y cuarto día y Notley (33) informó que hasta que la hembra copule una vez para fertilizar los huevos colocados durante los siguientes 12 días. En este caso sería necesario liberar machos estériles con más frecuencia.

La utilidad definitiva de los machos estériles de Leucoptera coffeella Guerin se podrá saber después de realizar ensayos de campo ya que es posible que en el campo los machos irradiados sean aún menos competitivos con los machos normales que lo observado en el laboratorio. En este último caso los machos confinados en cajas pequeñas no tienen que gastar demasiada energía para encontrar a las hembras y aún caminando en las jaulas las pueden encontrar y copular lo que sería casi imposible en condiciones de campo.

En las pocas observaciones realizadas no se encontró espermatoforo en el minador del café, siendo necesario realizar más observaciones para determinar si existe o no espermatoforo. Sin embargo, se notó que existe una separada abertura copulatoria directa a la bursa copulatrix, lo que indica según las consideraciones de Khalifa (23) de que debe existir esta estructura.

6. CONCLUSIONES

1. La dosis esterilizante para hembras en estado pupal o adulto fue de 30 kr, siendo necesarios 90 kr para inducir esterilidad en los machos irradiados en estado adulto.
2. La fecundidad de las hembras normales cruzadas con machos irradiados en cualquiera de los dos estados no fue afectada. Sin embargo, la fecundidad de las hembras disminuyó con la irradiación siendo más afectado el estado pupal.
3. La longevidad de los machos irradiados en estado pupal o adulto disminuyó significativamente con casi todas las dosis siendo más afectado el estado pupal. La irradiación aumentó significativamente la longevidad de las hembras con casi todas las dosis a que fueron expuestas tanto en el estado pupal como en el estado adulto.
4. El estado de desarrollo más apropiado para la esterilización parece ser el estado adulto, puesto que en el estado pupal el alto porcentaje de mortalidad es factor limitante.
5. La dosis esterilizante (90 kr) reduce la capacidad de cópula de los machos.

7. RESUMEN

El minador de la hoja del café Leucoptera coffeella Guerin se ha reportado como una de las principales plagas de casi todas las zonas cafetaleras del mundo, a pesar de lo cual no existen métodos adecuados para su control.

La presente investigación tuvo como objetivo:

- 1- La determinación de la dosis esterilizante para hembras y machos expuestos a diferentes tratamiento de radiación gamma en estado pupal y en estado adulto.
- 2- La determinación del estado de desarrollo más apropiado para su esterilización.
- 3- Estudiar los efectos de la radiación en la fecundidad y longevidad de adultos.
4. Estudiar el efecto de la dosis esterilizante sobre el vigor sexual de los machos tratados.

La irradiación se efectuó en una bomba de ^{60}Co , siendo la exposición de 1,7 kr por minuto. Los ensayos se realizaron a temperatura de $25 \pm 3^\circ\text{C}$ y humedad relativa de $73 \pm 6\%$.

En el estado pupal los insectos se irradiaron 14 a 23 horas antes de emergencia con dosis entre 1 y 90 kr. Los insectos irradiados (machos y hembras) fueron confinados en cajas con insectos no tratados del sexo opuesto. Se colocaron 10 parejas por caja y se recolectaron huevos durante un período de ocho días. Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente utilizando en ciertos casos la función logística (parámetros calculados por el método de linearización de Gauss)

y en otros se usó la fórmula de regresión lineal. Las determinaciones de significancia se realizaron mediante la prueba de t.

Dosis de 30 kr causaron más de 99,4% de esterilidad en hembras irradiadas en estado pupal y en estado adulto. Con la máxima dosis (60 kr) usada en el estado pupal los machos conservan 19,3% de fertilidad, mientras que en el estado adulto fueron necesarios 90 kr para inducir 99,8% de esterilidad.

La fecundidad de las hembras en el estado pupal con la dosis esterilizante disminuyó en 78,3% con relación al testigo (fecundidad 69 huevos) y en el estado adulto la misma dosis causó una disminución del 50% (fecundidad testigo 68 huevos).

La fecundidad de las hembras cruzadas con machos irradiados en estado pupal o en estado adulto no se vió afectada en forma considerable.

Casi todas las dosis de radiación aumentaron significativamente (nivel del 5%) la longevidad de las hembras tanto en el estado pupal como en el estado adulto. En el estado pupal con dosis entre 6 y 30 kr la longevidad de las hembras aumentó más de 10% en relación al testigo el que presentó un valor T_{50} promedio de 11 días. Con dosis de 15 kr, 20 kr y 30 kr la longevidad de las hembras irradiadas en estado adulto aumentó en 23,5% con respecto a las no tratadas cuyo valor T_{50} promedio fue de 11,5 días.

La longevidad de los machos irradiados en el estado pupal o adulto disminuyó significativamente (nivel del 5%) con casi todas las dosis siendo más afectado el estado pupal. En el estado pupal la longevidad de los machos irradiados con 60 kr disminuyó en 70,5%

($T_{50} = 4,2$ días) con relación a los no tratados cuyo T_{50} fue de 14,3 días. Los valores T_{50} de los machos no tratados y de los irradiados en estado adulto con 90 kr fueron de 16,2 y 7,7 días respectivamente.

Los machos irradiados en estado adulto con 90 kr no compiten igualmente con los machos normales en lo que se refiere a la capacidad de inseminación. En los machos normales se observó un promedio de 35 inseminaciones por macho mientras que en los irradiados el promedio fue de cinco inseminaciones por macho.

3. SUMMARY

The coffee leaf miner, Leucoptera coffeella Guerin is one of the most serious pests of coffee plantations in most coffee-growing countries of the Western Hemisphere. The present work was carried out with the following objectives:

- 1- To determine the sterilization dose for moths of both sexes by irradiating at the pupal or adult stage.
- 2- To determine the most appropriate stage of development for successful sterilization.
- 3- To study the effect of irradiation on the fertility, fecundity and longevity of the treated moths.
- 4- To study the effect of sterilization on the sexual vigor of the treated males.

Irradiation was carried out with a Co^{60} irradiator at the dose rate of ca. 1.7 kr/m. The experiments were carried out in the laboratory at $25 \pm 3^\circ\text{C}$ and $73 \pm 6\%$ relative humidity.

The moths in the pupal stage were irradiated 14-23 hours before emergence with several doses between 1-90 kr. Irradiated insects were caged with untreated moths of the opposite sex. Each cage had 10 pairs of moths. The eggs were collected daily for 8 days from each treatment. The data obtained were analysed using logistic functions or linear regression.

A dose of 30 kr applied either at the pupal or adult stage induces more than 99.0% sterility in female moths. However, a dose of 90 kr is needed to induce 99.8% sterility in males treated at the adult stage. The male coffee leaf miner can not be sterilized at the pupal stage

because a dose of 60 kr drastically reduces the longevity of adults, which still show 19.3% fertility.

The sterilization dose reduced the fecundity of irradiated females pupae and adults by 78.3% and 50%, respectively. Fecundity of untreated females mated to males irradiated either at the pupal or adult stage was not adversely affected.

In general, irradiation applied at the adult or pupal stage significantly increased (at the 5% level) the longevity of treated females. Irradiation of females at the pupal stage with doses ranging from 6 to 30 kr increased the longevity of the treated moths by 10% in comparison to untreated females ($T_{50} = 11$ days). Similarly, irradiation doses of 15 kr, 20 kr and 30 kr given to females at the adult stage, increased the longevity of the treated moths by 23.5% compared to untreated females ($T_{50} = 11.5$ days).

Irradiation significantly decreased (at the 5% level) the longevity of the males treated at the pupal or adult stage. Irradiation with 60 kr applied at the pupal stage reduced the longevity of males by 70.5% ($T_{50} = 4.2$ days) compared to longevity of untreated males ($T_{50} = 14.3$ days).

Sterilization of males with 90 kr reduces the insemination capacity of treated moths. Males irradiated with 90 kr inseminated an average of five females per male, as compared to 35 females per untreated male.

9. LITERATURA CITADA

1. ANWAR, M. Quelques effets de l'irradiation aux rayons gamma sur Spodoptera (Laphygma) exigua Hb. (Lepidoptera:Noctuidae). In Symposium on the Use of Isotopes and Radiation in Entomology, Vienna, 1967. Proceedings. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1968. pp. 109-121.
2. _____. Sterilisation de la pyrale du maïs (Ostrinia nubilalis Hb.) par l'irradiation aux rayons gamma. In Symposium on the Use of Isotopes and Radiation in Entomology, Vienna, 1967. Proceedings. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1968. pp. 139-148.
3. 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 the Control of Plant and Animal Insects Pest, Athenas, 1963. Proceedings. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1963. pp. 367-368.
4. _____. Control of adult pests by the irradiation of male method. In Symposium on the Use of Isotopes and Radiation in Entomology, Vienna, International Atomic Energy Agency, 1968. pp. 331-337.
5. CAMPBELL, J. M., RODRIGUEZ, J. G. y EVELEENS, J. G. Field studies of insecticides for control of the coffee leaf miner, Leucop-
tera coffeella (Lepidoptera:Lyonetiidae). Turrialba 17(2):
165-166. 1967.
6. CHEN, W. Components of the sterility induced in the late-stage male pupae of the sugar cane gray borer, Eucosma schistaceana (Lepidoptera:Olethreutidae), with gamma irradiation. Annals of the Entomological Society of America 62(5):1106-1113. 1969.
7. COGBURN, R. R., TILTON, E. W. y BURKHOLDER, W. E. Gross effects of gamma radiation on the Indian-meal moth and the Angoumais grain moth. Journal of Economic Entomology 59(3):682-685. 1966.
8. CORNWELL, B. y BULL, J. O. Insect control by gamma irradiation: an appraisal of the potentialities and problemas involved. Journal of the Science of Food and Agriculture 11(12):754-758. 1960.
9. DAVEY, K. G. La reproducción en los insectos. Trad. del inglés por S. V. Peris. Madrid, Alhambra, 1968. 106 p.

10. ELBADRY, E. Some effects of gamma radiation on the potato tuber-worm, Gnorimoschema operculella (Lepidoptera:Gelechiidae). Annals of the Entomological Society of America 58(2):206-209. 1965.
11. ELSAYED, 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.
12. _____ 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.
13. FLINT, H. y KRESSIN, E. L. Gamma irradiation of pupa of the tobacco budworm. Journal of Economic Entomology 60(6):1655-1659. 1967.
14. _____ y KRESSIN, E. L. Gamma irradiation of the tobacco budworm: sterilization, competitiveness, and observation on reproductive biology. Journal of Economic Entomology 61(2):477-483. 1968.
15. GEORGE, J. A. Effects of gamma radiation on fertility, mating, and longevity of males of the Oriental fruit moth, Grapholita molesta (Lepidoptera:Tortricidae). Canadian Entomologist 99(8):850-857. 1967.
16. _____ y HOWARD, M. G. Insemination without spermatophores in the Oriental fruit moth, Grapholita molesta (Lepidoptera:Tortricidae). Canadian Entomologist 100(2):190-192. 1968.
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. HUSSEINY, M. M. y MADSEN, H. F. Sterilization of the navel orange worm, Paramylois transitella (Walker), by gamma radiation (Lepidoptera:Phycitidae). Hilgardia 36(3):113-137. 1964.
19. INGUNZAS, M. A. El minador de la hoja del cafeto (Leucoptera coffeella Guer. Lepidoptera:Lyonetiidae). Café Peruano 10:13-16. 1963.
20. JACKLIN, S. W., SMITH, F. F. y BOSWELL, A. L. Egg mortality after gamma irradiation of adults of the Omnivorous leaf roller. Journal of Economic Entomology 58(6):1168-9. 1965.
21. KATIYAR, K. P. Aplicación de la energía nuclear en el control de insectos. s.n.t. 7 p.

22. 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.
23. KHALIFA, A. Spermatophore production in Galeria mellonella L. (Lepidoptera). Proceedings of the Royal Entomological Society of London (A) 25:33-41. 1950.
24. KNIPLING; E. F. Use of insects for their own destruction. Journal of Economic Entomology 53(3):415-420. 1960.
25. _____. Concept and value of eradication or continuous suppression of insect populations. In Panel on Application of the Sterile-Male Technique for the Eradication or Control of Harmful Species of Insects, Vienna, 1968. Proceedings. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1969. pp. 19-32.
26. _____. Suppression of pest lepidoptera by releasing partially sterile males, a theoretical appraisal. BioScience 20(8): 465-470. 1970.
27. 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.
28. _____, SCHMIDT, C. H. y BUSHLAND, R. C. Radiation-induced sterilization. In Kilgore, W. W. y Doult, R. L., eds. Pest Control. Biological, physical, and selected chemical methods. London, Academic Press, 1967. pp. 147-196.
29. LINDQUIST, A. W. Insect population control by the sterile-male technique. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1963. 59 p.
30. _____. Introduction. In Labrecque, G. C. y Smith, C. N., eds. Principles of insect chemosterilization. New York, Appleton-Century, Crofts, 1968. pp. 1-5.
31. _____. Biological information needed in the sterile-male method of insect control. In Panel on Application of the Sterile-Male Technique for the Eradication or Control of Harmful Species of Insects, Vienna, 1968. Proceedings. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1969. pp. 33-37.

32. NORTH, D. T. y HOLT, G. G. Genetic and cytogenetic basis of radiation-induced sterility in the adult male cabbage looper Trichoplusia ni. In Symposium on the Use of Isotopes and Radiation in Entomology, Vienna, 1967. Proceedings. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1968. pp. 391-403.
33. NOTLEY, F. B. The leucoptera leaf miners of coffee on Kilimanjaro. I. Leucoptera coffeella Guer. Bulletin of Entomological Research 39:399-416. 1949.
34. _____. The leucoptera leaf miners of coffee on Kilimanjaro. II. Leucoptera coffeina WSHBN. Bulletin of Entomological Research 46:899-912. 1956.
35. 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.
36. PROSHOLD, F. I. Summary of lectures on radiation sterility and inherited sterility of Lepidoptera. s.n.t. 5 p.
37. 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.
38. WALKER, D. W. y QUINTANA, V. Inherited partial sterility among survivors from irradiation - eradication experiment. Journal of Economic Entomology 61(1):318-319. 1968.
39. _____ y QUINTANA, V. Mating and oviposition behavior of the coffee leaf miner, Leucoptera coffeella (Lepidoptera:Lyone-tiidae). Proceedings of the Entomological Society of Washington 71(1):88-90. 1969.

APENDICE

Cuadro 1. Fertilidad de machos de Leucoptera coffeella Guer. tratados en estado pupal^{a/} con diferentes dosis de radiación gamma y cruzados con hembras normales (10 parejas por caja)

Dosis (kr)	% Fertilidad ^{b/}					Promedio cinco Rep.
	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Rep. IV	Rep. V	
0	96,0	95,0	95,4	93,9	94,5	95,0
10	88,0	89,5	86,8	90,5	89,1	88,8
20	81,0	80,5	79,7	82,4	79,1	80,5
30	61,8	67,0	60,3	61,7	61,2	62,4
40	41,7	43,8	45,0	40,1	41,1	42,3
50	27,1	21,2	22,1	24,6	25,8	24,2
60	15,5	19,3	18,4	20,3	22,8	19,3

a/ Irradiados 14 a 23 horas antes emergencia

b/ Promedio de huevos recolectados durante 8 días seguidos al apareamiento.

Cuadro 2. Fertilidad de machos de Leucoptera coffeella Guer. tratados en estado adulto^{a/} con diferentes dosis de irradiación gamma y cruzados con hembras normales (10 parejas por caja).

Dosis (kr)	% Fertilidad ^{b/}					Promedio cinco rep.
	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Rep. IV	Rep. V	
0	93,3	95,6	95,3	96,0	96,8	95,4
10	89,9	90,0	89,7	89,2	91,4	90,0
20	82,1	84,9	83,8	73,6	75,9	80,1
30	72,3	62,0	60,2	54,0	55,0	60,8
40	51,5	59,1	41,0	39,0	41,5	46,4
45	29,2	36,6	29,3	30,3	25,8	30,4
50	17,9	25,8	22,0	26,9	22,9	23,1
55	16,0	14,1	15,6	17,7	19,8	16,7
60	11,1	6,6	11,7	13,1	12,0	10,9
70	2,2	4,6	2,3	8,7	4,5	4,5
80	0,2	1,6	0,9	1,2	2,1	1,2
90	0,0	0,0	0,28	0,53	0,16	0,19

a/ Irradiados 4 a 21 horas después de emergencia

b/ Promedio de huevos recolectados durante 8 días seguidos al apareamiento.

Cuadro 3. Fertilidad de hembras de Leucoptera coffeella Guer. tratadas en estado pupal^{a/} con diferentes dosis de radiación gamma y cruzadas con machos normales (10 parejas por caja)

Dosis (kr)	% Fertilidad ^{b/}					Promedio cinco rep.
	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Rep. IV	Rep. V	
0	97,0	95,8	96,2	97,6	98,0	96,9
2	79,7	83,0	73,8	82,1	78,8	79,5
4	60,9	50,7	56,2	60,5	58,1	57,3
6	26,7	42,5	35,4	33,3	41,9	36,0
10	19,5	14,2	9,7	11,5	12,8	13,5
20	1,4	0,77	0,45	2,3	1,6	1,3
30	0,84	0,0	0,78	0,64	0,45	0,54
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

a/ Irradiadas 14 a 21 horas antes emergencia

b/ Promedio de huevos recolectados durante 8 días seguidos al apareamiento.

Cuadro 4. Fertilidad de hembras de Leucoptera coffeella Guer. tratadas en estado adulto^{a/} con diferentes dosis de radiación gamma y cruzadas con machos normales (10 parejas por caja)

Dosis (kr)	% Fertilidad ^{b/}					Promedio cinco rep
	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Rep. IV	Rep. V	
0	97,5	97,7	97,1	95,8	96,6	96,9
1	81,7	85,8	85,9	-	-	84,5 ^{c/}
2	74,5	79,3	74,8	75,7	75,7	76,0
4	44,4	56,5	59,7	56,0	52,4	53,8
6	41,1	37,4	31,2	33,4	31,5	34,9
8	17,3	26,3	23,0	22,0	24,6	22,7
10	22,5	21,7	15,9	17,0	16,6	18,7
15	6,9	13,9	5,1	4,1	-	7,5 ^{d/}
20	1,8	1,0	2,2	0,0	2,0	1,4
30	0,0	0,0	0,0	0,82	0,0	0,16
40	0,0	0,0	0,24	0,29	0,17	0,17

a/ Irradiadas 15 a 23 horas después emergencia

b/ Promedio de huevos recolectados durante 8 días seguidos al apareamiento

c/ Promedio de tres repeticiones

d/ Promedio de cuatro repeticiones

Cuadro 5. Fecundidad de hembras normales de Leucoptera coffeella Guer. cruzadas con machos irradiados en estado pupal^{a/} con diferentes dosis de radiación gamma (10 parejas por caja).

Dosis (kr)	No. huevos por hembra ^{b/}					Promedio cinco rep.
	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Rep. IV	Rep. V	
0	68	62	58	58	69	63
10	62	83	50	59	60	63
20	54	66	45	56	60	58
30	56	63	60	65	70	63
40	49	77	59	63	61	62
50	66	60	48	68	67	62
60	58	73	45	57	50	57

a/ Irradiados 14 a 23 horas antes emergencia

b/ Promedio de huevos recolectados durante 8 días seguidos al apareamiento.

Cuadro 6. Fecundidad de hembras normales de Leucoptera coffeella Guer. cruzadas con machos irradiados en estado adulto^{a/} con diferentes dosis de radiación gamma (10 parejas por caja).

Dosis (kr)	No. huevos por hembra ^{b/}					Promedio cinco rep.
	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Rep. IV	Rep. V	
0	54	59	68	72	60	63
10	45	76	67	80	79	69
20	40	55	61	71	70	59
30	23	53	62	66	74	56
40	41	49	54	74	69	57
45	33	37	58	68	62	52
50	36	78	57	59	62	56
55	39	66	69	54	68	59
60	34	53	61	54	55	52
70	20	63	60	46	62	50
80	49	50	57	67	53	54
90	21	69	70	57	63	56

a/ Irradiados 4 a 21 horas después emergencia

b/ Promedio de huevos recolectados durante 8 días seguidos al apareamiento.

Cuadro 7. Fecundidad de hembras de Leucoptera coffeella Guer. tratadas en estado pupal ^{a/} con diferentes dosis de radiación gamma y cruzadas con machos normales (10 parejas por caja)

Dosis (kr)	No. huevos por hembra ^{b/}					Promedio cinco rep.
	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Rep. IV	Rep. V	
0	74	48	72	80	73	69
2	72	66	79	50	66	67
4	78	62	62	44	44	58
6	56	64	67	20	53	52
10	52	52	59	26	50	48
20	29	26	22	21	26	25
30	24	28	26	16	22	23
40	13	14	12	15	20	15

a/ Irradiadas 14 a 21 horas antes emergencia

b/ Promedio de huevos recolectados durante 8 días seguidos al apareamiento.

Cuadro 8. Fecundidad de hembras de Leucoptera coffeella Guer. tratadas en estado adulto ^{a/} con diferentes dosis de radiación gamma y cruzadas con machos normales (10 parejas por caja)

Dosis (kr)	No. huevos por hembra ^{b/}					Promedio cinco rep.
	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Rep. IV	Rep. V	
0	51	74	83	69	60	68
1	72	68	60	-	-	67 ^{c/}
2	71	68	70	51	65	65
4	69	65	58	61	71	65
6	79	66	68	71	76	68
8	53	62	50	58	57	56
10	65	60	62	64	61	62
15	57	50	57	44	-	52 ^{d/}
20	41	50	49	48	40	46
30	33	31	40	37	30	34
40	29	32	36	43	34	35

a/ Irradiadas 15 a 23 horas después de emergencia

b/ Promedio de huevos recolectados durante 8 días seguidos al apareamiento

c/ Promedio de tres repeticiones

d/ Promedio de cuatro repeticiones

Cuadro 9. Mortalidad de machos de *Leucoptera coffeella* Guer. tratados en estado pupal^{a/} con diferentes dosis de radiación gamma y cruzados con hembras normales (promedio de cinco repeticiones; 10 parejas por caja)

Dosis (kr)	% Mortalidad acumulada ^{b/} hasta 21 días después de irradiación																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	8	14	18	34	42	52	58	76	80	88	95	100
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	10	20	44	52	66	78	90	100	-	-	-
20	0	0	0	0	0	2	2	6	12	16	24	34	58	70	88	88	96	98	98	100	-
30	0	0	0	0	4	4	4	4	10	18	34	54	78	82	90	92	96	98	98	100	-
40	0	0	2	2	2	4	12	24	46	60	66	82	92	100	-	-	-	-	-	-	-
50	0	14	16	18	24	30	42	60	78	96	98	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	8	28	36	40	58	64	76	96	98	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

a/ Irradiados 14 a 23 horas antes de emergencia

b/ Basada en un total de 50 adultos en cada tratamiento

Cuadro 10. Mortalidad de machos de Leucoptera coffeella Guer. tratados en estado adulto/ con diferentes dosis de radiación gamma y cruzados con hembras normales (promedio de cinco repeticiones; 10 parejas por caja)

Dosis (kr)	% Mortalidad acumulada ^b / hasta 24 días después irradiación																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	16	20	34	40	48	56	74	74	78	86	92	96	100
10	0	0	0	0	0	2	4	6	10	14	18	22	30	40	50	58	68	82	92	94	96	98	100	-
20	0	0	0	0	0	0	0	2	6	6	10	18	24	36	42	50	70	82	88	94	94	98	100	-
30	0	0	0	0	2	2	4	14	20	28	40	54	62	72	86	90	96	100	-	-	-	-	-	-
40	0	0	0	0	2	6	8	12	18	28	40	56	62	74	80	86	98	100	-	-	-	-	-	-
45	0	2	2	2	2	6	10	16	24	26	36	38	56	80	86	90	96	100	-	-	-	-	-	-
50	0	0	0	2	6	10	12	16	20	26	38	48	60	70	84	94	96	98	100	-	-	-	-	-
55	0	0	2	2	4	6	12	20	34	50	62	68	83	90	92	98	100	-	-	-	-	-	-	-
60	0	2	2	4	4	4	14	24	34	54	66	82	94	94	98	100	-	-	-	-	-	-	-	-
70	0	0	2	4	4	4	6	18	26	40	74	96	98	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	0	2	2	4	4	10	28	44	58	76	86	98	98	98	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	0	0	8	10	10	14	22	52	70	88	98	98	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

a/ Irradiados 4 a 21 horas después de emergencia
b/ Basada en un total de 50 adultos en cada tratamiento

Cuadro 11. Mortalidad de hembras de Leucoptera coffeella Guer. tratadas en estado pupal/ con diferentes dosis de radiación gamma y cruzadas con machos normales (promedio de cinco repeticiones; 10 parejas por caja)

Dosis	% Mortalidad acumulada/ hasta 19 días después de irradiación																		
(kr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	0	0	0	0	0	2	6	16	32	48	50	54	76	86	94	98	100	-	-
2	0	0	0	0	2	2	2	8	12	30	62	78	90	94	98	100	-	-	-
4	0	0	0	0	2	2	8	12	18	42	61	80	92	93	98	98	100	-	-
6	0	0	2	2	2	4	4	8	14	22	32	44	62	84	92	96	96	98	100
10	0	0	0	0	2	2	4	6	16	30	42	56	60	70	76	80	88	94	100
20	0	0	0	2	6	8	14	16	18	32	40	44	52	64	72	82	90	96	100
30	0	0	0	0	0	2	2	2	4	14	34	52	72	82	92	94	98	100	-
40	0	0	0	0	0	0	2	16	42	68	86	90	96	100	-	-	-	-	-

a/ Irradiadas 14 a 21 horas antes emergencia

b/ Basada en un total de 50 adultos en cada tratamiento

Cuadro 12. Mortalidad de hembras de *Leucoptera coffeella* Guer. tratadas en estado adulto/ con diferentes dosis de radiación gamma y cruzadas con machos normales (promedio de cinco repeticiones; 10 parejas por caja)

Dosis	% Mortalidad acumulada ^{b/} hasta 22 días después irradiación																					
(kr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	0	0	2	2	2	2	2	2	12	24	40	52	80	88	96	100	-	-	-	-	-	-
1	0	0	0	0	5	5	5	15	20	25	35	70	80	90	95	100%	-	-	-	-	-	-
2	0	0	0	0	0	0	2	8	8	16	34	68	94	100	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0	0	0	2	4	4	6	6	10	18	24	46	74	90	94	98	100	-	-	-	-	-
6	0	0	0	0	0	8	8	12	26	32	42	58	66	78	82	92	94	98	100	-	-	-
8	0	0	0	0	2	2	4	4	8	16	26	38	48	56	62	80	88	96	98	100	-	-
10	0	0	0	0	0	2	8	8	8	10	18	36	52	60	68	74	82	94	98	98	100	-
15	0	0	0	0	0	0	0	3	3	5	8	15	30	48	68	70	84	85	93	98	100%	-
20	0	0	0	0	0	0	0	4	6	6	20	32	38	46	56	58	72	78	88	94	96	100
30	0	0	0	0	2	4	4	10	14	16	22	30	38	46	58	66	78	86	100	-	-	-
40	0	0	0	0	0	2	2	4	12	14	20	32	56	72	86	92	98	100	-	-	-	-

- a/ Irradiadas 15 a 23 horas después emergencia
- b/ Basada en un total de 50 adultos en cada tratamiento
- c/ Basada en un total de 30 adultos
- d/ Basada en un total de 40 adultos

Cuadro 13. Parámetros estimados de la curva logística: $Y = \frac{B_0}{1 + B_1e^{-B_2X}}$,
 usada en el ajuste de los datos de mortalidad de machos irradiados
 en
 en estado pupal

Dosis (kr)	B ₀	B ₁	B ₂	Var B ₀	Var B ₁	Var B ₂
0	106,44	786,24	0,44	14,29	90.586,95	0,00089
10	105,75	6052,62	0,62	52,65	38'117.874,34	0,0068
20	100,78	4523,29	0,66	2,92	4'787.254,66	0,0016
30	97,63	15017,25	0,82	1,52	68'961.880,00	0,0024
40	101,94	665,25	0,67	24,14	165.326,57	0,0053
50	120,89	41,40	0,47	146,52	223,68	0,0049
60	113,87	9,96	0,45	102,93	5,20	0,0054

Cuadro 14. Parámetros estimados de la curva logística: $Y = \frac{B_0}{1 + B_1 e^{-B_2 X}}$, usada en el ajuste de los datos de mortalidad de machos irradiados en estado adulto

Dosis (kr)	B ₀	B ₁	B ₂	Var B ₀	Var B ₁	Var B ₂
0	102,60	506,30	0,38	10,31	35.840,12	0,00071
10	106,70	422,13	0,40	4,44	9.605,52	0,00031
20	103,65	1638,52	0,47	5,21	401.583,06	0,00075
30	104,25	374,22	0,49	6,74	10.711,52	0,00072
40	104,31	294,52	0,47	9,69	7.726,98	0,00087
45	104,43	290,85	0,47	7,67	5.678,64	0,00066
50	108,92	198,67	0,43	7,46	2.044,56	0,00049
55	100,51	338,8	0,57	3,39	8.576,02	0,00087
60	101,97	730,88	0,67	2,58	45.750,33	0,0010
70	106,69	12614,02	0,92	23,87	199'294.407	0,014
80	100,90	603,51	0,76	2,38	40.812,06	0,0018
90	103,84	551,13	0,79	10,00	85.228,73	0,0053

Cuadro 15. Parámetros estimados de la curva logística: $Y = \frac{B_0}{1 + B_1 e^{-B_2 X}}$, usada en el ajuste de los datos de mortalidad de hembras irradiadas en estado pupal

Dosis (kr)	B ₀	B ₁	B ₂	Var B ₀	Var B ₁	Var B ₂
0	106,23	225,49	0,50	46,04	29.774,55	0,0051
2	98,30	103759,80	1,08	2,13	5347'670.607,52	0,0046
4	99,15	10262,36	0,89	1,05	19'684.279,00	0,0018
6	102,12	2858,59	0,66	3,51	170.065,79	0,0016
10	96,09	403,92	0,51	12,76	49.098,01	0,0027
20	115,40	88,48	0,34	19,21	218,80	0,00028
30	98,22	32215,45	0,87	1,74	288'370.946,32	0,0021
40	96,90	89979,62	1,23	3,63	7260'086.006,66	0,011

Cuadro 16. Parámetros estimados de la curva logística: $Y = \frac{B_0}{1 + B_1 e^{-B_2 X}}$, usada en el ajuste de los datos de mortalidad de hembras irradiadas en estado adulto

Dosis (kr)	B ₀	B ₁	B ₂	Var B ₀	Var B ₁	Var B ₂
0	108,90	8110,24	0,77	8,96	24'081.738,75	0,0032
1	105,45	2342,49	0,68	35,32	4'659.725,84	0,0078
2	108,84	514777,60	1,14	36,80	63650'952.468,00	0,021
4	102,55	35095,97	0,87	8,99	1062'354.023,40	0,0068
6	102,22	255,48	0,23	34,78	3.731,80	0,00054
8	106,53	520,66	0,46	10,52	33.314,97	0,00090
10	101,68	770,54	0,49	9,55	159.547,31	0,0019
15	97,00	14796,98	0,68	5,34	122'500.121,44	0,0031
20	105,10	314,50	0,39	21,44	19.593,64	0,0013
30	134,51	182,12	0,33	59,52	685,23	0,00025
40	103,51	7931,66	0,70	6,06	18'117.004,65	0,0020