

EFFECTO DE LA RADIACION GAMMA SOBRE LA BIOLOGIA DE
LA PRIMERA GENERACION DE LA MOSCA DEL
MEDITERRANEO *Ceratitis capitata* Wied.

Por Mario Calderón Corral*

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Enero, 1968.

—I.— INTRODUCCION

Después de varios años de estudio y de investigación se ha logrado aceptar la posibilidad de utilizar la radiación como método efectivo para el control de insectos, por medio de la esterilización de los machos.

Una de las investigaciones que ha ayudado a confirmarlo, es la que informó Lindquist (17) en 1955 acerca de la completa erradicación del *Callitroga hominivorax* Cqrl. en la isla de Curazao, por el uso de los rayos gamma. Este trabajo creó gran interés y se ha realizado estudios similares con Coleópteros, Himenópteros, Lepidópteros, Dípteros y Ortopteros.

La técnica que hace uso de los machos estériles, consiste en criar los insectos en grandes cantidades, bajo condiciones de laboratorios, para que sean esterilizados, al ser sometidos a la radiación gamma y luego liberarlos en un número superior al que existe normalmente en el campo. Este método no afecta el instinto de los machos de buscar la hembra nativa para aparearse. Las hembras fertilizadas por un macho estéril pueden producir masas de huevos, pero de éstos no podrán salir larvas. Es sabido que cuando los rayos gamma penetran en la materia viva disipan su energía por excitación de los electrones de los átomos a través de los cuales pasan.

Se cree que los efectos de la radiación ionizante en el protoplasma inducen cambios físicos y químicos en las moléculas. Estos cambios pueden alterar los complejos orgánicos moleculares de genes y cro-

* Ingeniero Agrónomo. Profesor de Entomología. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira. Tesis presentada como requisito para optar el título de M. Sc.

mosomas y causar aberraciones en su estructura, con lo cual se afecta su función. Si los cambios producidos son muy fuertes, las células degeneran. Un cambio en la constitución genética de un espermatozoide posiblemente no evite la fertilización del huevo, pero el cigote puede ser incapaz de desarrollarse y morir en el transcurso de su desarrollo.

Este efecto letal en este estado de desarrollo representa genéticamente una reducción en la fertilidad del insecto procedente de pupas que han sido irradiadas. Se puede asumir que la esterilidad que se ha obtenido en la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* Wied., es una expresión de este efecto letal.

La mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied. es una plaga que ha causado pérdidas por varios millones de dólares en Curazao, en el Sud-este de los Estados Unidos y gran parte del mundo. En el Estado de Florida, por ejemplo, se organizó una campaña para el control de la mosca del mediterráneo, utilizando insecticidas, pero no se ha logrado un efecto permanente y el costo ha sido demasiado alto. Teniendo en cuenta estos puntos de vista se justifica utilizar la radiación gamma como otro método de control de esta plaga, que además de los cítricos, ataca unas doscientas especies de frutales.

Debido a estas circunstancias es importante organizar un programa de control para evitar que se extienda al daño causado por este insecto, en países donde está presente y se disemine por los países vecinos.

En América Central este insecto está establecido, según informaciones, desde el año de 1955, época en que fue reportado en Costa Rica.

La OIRSA (Organización Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria), en cooperación con CIEA (Organización Internacional de Energía Atómica), con el objeto de trabajar en la campaña del control de la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied., eligió como sede principal San José de Costa Rica, donde dispone de una fuente de radiación a base de cobalto y de un laboratorio para la cría en masa de la mosca. La OIRSA, por otra parte, trabaja en colaboración estrecha con el ICA (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas), y muy generosamente aceptó suministrar insectos y demás materiales para realizar la investigación que a continuación se describe.

La iniciativa de ésta nació del hecho de que siempre se había trabajado para obtener una dosis de radiación que ocasionara una cierta esterilidad en los insectos cuyas pupas fueran sometidas a la radiación, sin que llegara a ser letal para ellos. De estas investigaciones se observó que si bien, se obtenía un porcentaje alto de esterilidad en los insectos procedentes de pupas tratadas, siempre había un porcentaje de éstos, que aunque pequeño, conservaba una fertilidad, es decir, que de los huevos puestos por hembras normales cruzadas con machos procedentes de pupas irradiadas, aún se obtenían algunas larvas. La presente investigación, por consiguiente, se llevó

a cabo para determinar cómo se comportan los huevos fértiles que provienen de hembras normales cruzadas con machos procedentes de pupas irradiadas y estudiar los individuos que nacen de estos huevos.

El trabajo se dividió en la siguiente forma:

1. Estudio preliminar para la comprobación del por ciento de esterilidad inducida por la radiación gamma en la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied.
2. Estudio del ciclo biológico y supervivencia de los insectos de la primera generación a partir de pupas irradiadas.
 - a. Duración promedia de la incubación de los huevos puestos por hembras normales cruzadas con machos procedentes de pupas irradiadas.
 - b. Duración promedia del estado larval.
 - c. Duración promedia del estado de pupa.
 - d. Proporción de sexos.
3. Estudio de la fertilidad de los adultos de la primera generación a partir de pupas irradiadas.
 - a. Cruzamiento de hembras procedentes de pupas irradiadas con machos normales.
 - b. Cruzamiento de hembras normales con machos procedentes de pupas irradiadas.
 - c. Cruzamiento de hembras normales con machos normales.
4. Estudio de la longevidad de los individuos de ambos sexos de la primera generación.

II.— REVISION DE LITERATURA

Según Bushland y Hopkins (3) en 1951, las primeras investigaciones sobre la posibilidad de esterilizar insectos utilizando la radiación fueron llevadas a cabo por Runner, en el año de 1916, cuando encontró que si se irradiaba el escarabajo *Lasioderma sericorne* los adultos ponían huevos infértiles.

Posteriormente Muller (18) en 1927, realizó trabajos utilizando los rayos X y encontró que éstos podrían inducir mutaciones en *Drosophila*. El mismo Muller informó que al aparearse hembras de *Drosophila* no tratada con machos esterilizados, las hembras ponían huevos pero estos no eclosionaban, él interpretó que la mortalidad de los huevos fertilizados por espermatozoides irradiados era el resultado de cambios cromosómicos, a los que describe como un efecto letal.

Lindquist (16) en 1936 informa que la idea de introducir machos estériles en una población nativa de moscas de la miasis *Callitroga hominivorax* Cqrl. con el fin de controlar este agente causal de la miasis, en hombres y animales fue propuesta por Knippling, quien

estudio la biología, dinámica de población, vuelo y costumbres de apareamiento de este insecto.

Según Lindquist en 1960, el primer trabajo de carácter experimental sobre este tema, fue dirigido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (21), cuando Bushland observó las costumbres de apareamiento de la mosca de la miasis y comenzó la investigación con el fin de determinar: a) la cantidad de radiación necesaria para causar esterilidad; b) la época del ciclo de vida del insecto más indicada para aplicarle la radiación.

En vista de que para poder utilizar la técnica de la liberación de machos estériles se hacía necesario criarlos artificialmente, se inició una investigación sobre los requerimientos necesarios para la nutrición y crianza en el laboratorio de la mosca de la miasis *C. hominivorax* Coquillett. Melvin y Bushland realizaron un estudio para el desarrollo de un medio artificial para la producción en masa de este insecto.

Bushland y Hopkins (3) en 1951 realizaron un experimento de esterilización con *Callitroga americana*, en este experimento se estudió el efecto de la radiación sobre la emergencia de pupas jóvenes, pupas viejas y se determinó la longevidad de los adultos irradiados. Hembras normales apareadas con machos esterilizados con 5.000r, producían número normal de huevos, pero la mayoría o casi todos no eclosionaban, eran infértiles. La longevidad de los adultos tanto irradiados como normales fue igual.

Para las 500 pupas de 16 a 48 horas de edad, que fueron irradiadas a 500 r y 1.500r, los adultos emergieron; a 2.500r solamente 47 machos y 125 hembras emergieron y se esperaban 250 de cada sexo; a 5.000r solamente 3 hembras emergieron y murieron poco tiempo después.

Con pupas viejas, la radiación con 500r no tuvo efectos sobre la fertilidad en ningún sexo; las hembras que recibieron 1.500r pusieron número normal de huevos y huevos normales cuando copularon con machos normales, cuando hembras normales copularon con machos esterilizados a 1.500r, las hembras pusieron huevos pero sólo el 10% eclosionó; una dosis de más de 2.500r ocasionó la esterilidad de los machos; 2.500r afectó las hembras y pusieron la tercera parte del número normal de huevos, sin embargo, los huevos procedentes de hembras irradiadas por machos normales eclosionaron. Una dosis de más de 5.000r afectó la fecundidad de la hembra.

Los informes de longevidad fueron tomados diariamente y en general el porcentaje de mortalidad en todas las jaulas fue uniforme, sólo que ocurrió entre los 14 y 18 días de edad de los adultos. Una dosis de 5.000r aplicada a pupas de 6 días de edad parece reducir la longevidad de las moscas.

Bushland y Hopkins (4) efectuaron un estudio de esterilización de moscas utilizando rayos gamma y rayos X, en esa investigación

quisieron: a) comparar el efecto de los rayos gamma con los efectos de los rayos X y determinar su relativa eficiencia en la esterilización de moscas; b) encontrar a qué edad son más fácilmente esterilizadas; c) encontrar a qué edad del estado pupal los insectos son más tolerantes a los efectos adversos de la esterilización por radiación.

Los rayos X para ensayos de laboratorio son hasta cierto punto buenos, pero para ensayos de campo o liberaciones resultan muy caros ya que requieren gran cantidad de liberaciones. Para grandes cantidades de liberaciones de machos esterilizados es más barato el uso de los rayos gamma (4).

Demerec y Kaufman (7) en 1941 trataron machos de **Drosophila melanogaster** con 3.000r de rayos X y observaron la fertilidad de los huevos puestos por hembras normales copuladas con machos estériles, a varios intervalos después de su radiación; los huevos obtenidos de la copulas a intervalos de 1, 6, 7 y 12 días de la radiación fueron similares en cuanto a la viabilidad, pero el porcentaje de letales dominantes cayó después de los 19 días. Se concluyó que los espermatozoides inmaduros son más resistentes que los espermatozoides maduros.

Koller y Amhed (14) en 1942 hicieron estudios citológicos en los cromosomas de las glándulas salivares de larvas obtenidas de la copulación de **Drosophila pseudobscura** Frolowa, tratadas con 4.500r de rayos X y hembras no tratadas, notaron cambios estructurales en el 40% de los cromosomas, sus resultados también sugirieron que el espermatozoide de **D. pseudobscura** y **D. melanogaster** son igualmente afectados por una dosis similar de rayos X.

Crouse (6) utilizó **Bradysia coprophila** Lint. e informó que cuando el adulto de la mosca fue expuesto a rayos X a su más susceptible edad (46 a 72 horas), cerca del mismo número de cromosomas rotos fue inducido por 2.000r en oocytos y por 4.000r en espermatozoides.

Baumhover (2) en un informe que presentó a la sociedad Entomológica de América, habla de un progreso muy marcado en el experimento cooperativo de la erradicación del **Callitroga hominivorax** Cqrl. en 170 millas cuadradas, en la isla de Curazao en las Antillas.

Lindquist (17) en 1955 anunció en el Departamento de investigaciones de Entomología en el Ministerio de Agricultura una completa eliminación del insecto en Curazao.

Bushland y Hopkins (3, 4) en los años de 1951 y 1953 publicaron investigaciones en el laboratorio las cuales indican la posibilidad de hacer estudios similares a los que se hicieron en Curazao.

Howard (8) realizó estudios sobre el efecto de la radiación sobre **Habrocon**, medidos en base de: a) diferentes radiosensibilidad de los huevos; b) efectos en el desarrollo después de la radiación de los huevos; c) desempeño del adulto, medido por su fecundidad y

fertilidad después de irradiar a determinado estado de desarrollo; d) incremento de la longevidad después de la radiación de adultos; e) tipos de letales dominantes. Los resultados de estos experimentos no indican que el decrecimiento de la longevidad es una manifestación del daño de la radiación, cuando se irradia en un estado del ciclo de vida. El presente informe dá una evidencia sobre la longevidad del adulto de *Habrobracon*, de que tienen un criterio de sensibilidad a la radiación comparados con otros parámetros, cuando las avispas son irradiadas con rayos X a 24 horas de edad el embrión.

Steiner y Christens (20) en 1956 informan que en experimentos con la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied., cuando se irradiaron pupas completamente desarrolladas, se requirió una dosis de 150.000r, pero la dosis de 10.000r indujo esterilidad en la emergencia de adultos y previene la reproducción.

Knipling (15) indica que la técnica de la liberación de machos estériles podría no ser práctica para controlar o eliminar poblaciones establecidas de la mayor parte de nuestras especies de insectos destructivos. Este método podría no ser fácil de utilizar con insectos de amplio rango de hospederos, de aparición esporádica o aquellos que no causan altas pérdidas económicas.

Según Cornwell (5) las células varían considerablemente en su sensibilidad al daño ocasionado por la radiación, esto es debido talvez en parte a que el número de cromosomas no es igual y a la diferencia en sus características bioquímicas. La sensibilidad de la célula en el núcleo excede a la del citoplasma y a la de la pared celular en una proporción 20 a 1.

Rhode y López (19) en 1961 realizaron un trabajo sobre el efecto de la radiación gamma sobre la potencialidad reproductiva de la mosca mejicana de la fruta *Anastrepha ludens* Loew.

En Australia también se está trabajando utilizando la técnica de liberación de machos estériles contra *Dacus tryoni* Froggatt y *Dacus oleae* Gmelin; por otra parte la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied, ha sido estudiada en Hawaii y en Costa Rica, donde se continúa llevando a cabo trabajos con relación a esta plaga. También se está trabajando en Francia, Egipto, Tunisia y probablemente en España (9).

En Costa Rica se ha realizado estudios sobre la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied. y su control utilizando la técnica de la liberación de machos estériles en los laboratorios del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, donde se ha investigado sobre la dispersión y longevidad de la mosca del mediterráneo marcada con P^{32} , los efectos causados por la introducción de machos esterilizados por radiación gamma en una población normal de moscas del mediterráneo *C. capitata* Wied. (12).

Los mismos autores realizaron estudios sobre la capacidad de apareamiento de la mosca del mediterráneo.

Katiyar y Valerio (13) en 1964 estudiaron el efecto de la radiación de pupas sobre el vigor sexual del macho de la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied. y encontraron que la radiación disminuye el vigor sexual de los machos, en la cuarta semana de vida, el macho normal copula 14,6 veces mientras que los machos procedentes de pupas irradiadas a 0,24, 48 y 72 horas antes de la emergencia copularon 9,75; 7,58; 4,02 y 1,50 veces respectivamente, los machos normales son dos veces más agresivos que los machos irradiados, también observaron que entre más cerca a la emergencia se haga la radiación mayor eficiencia se obtiene en el apareamiento de los machos tratados. Los machos irradiados al nacer inseminan más frecuentemente y por un período más largo que aquellos irradiados a las 48 o 72 horas antes, por lo tanto, para la liberación de machos estériles de mosca del mediterráneo, es importante irradiar las pupas dentro de las 24 horas previas a la emergencia del adulto.

Los mismos autores realizaron investigaciones sobre el comportamiento sexual de la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied., el efecto de uno y varios apareamientos sobre la viabilidad de los huevos de la mosca del mediterráneo y el efecto del tamaño de las jaulas sobre la fertilidad de la mosca del mediterráneo, *C. capitata* Wied.

Katiyar y Ferrer (11) en 1965 al hacer un estudio sobre los apareamientos alternados en la fertilidad de la hembra de la mosca del mediterráneo, encontraron que en las hembras que copulan dos veces, la influencia de la segunda cópula es siempre mayor que la de la primera, sobre la fertilidad de los huevos. Así, hembras ovipositaron ciento por ciento de huevos fértiles después del primer apareamiento con machos normales, rebajaron su promedio a 43,6% de huevos fértiles después que copularon con machos estériles; por el contrario hembras normales que copularon con machos estériles dieron 1,8% de fertilidad, en la segunda cópula con macho normal, se incrementó en 88,5% de fertilidad.

Katiyar (10) en 1967 realizó un estudio sobre la densidad óptima de las larvas, en la crianza de la mosca del mediterráneo en dietas de zanahoria y bagazo. En este experimento se estudió la capacidad de ambas dietas en el crecimiento de las larvas con diferentes concentraciones de larvas por mililitro de dieta (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 larvas por mililitro de dieta). Los resultados del experimento indicaron que tanto la dieta de zanahoria como la de bagazo son apropiadas para la cría de la mosca del mediterráneo en estado larval.

Las concentraciones de 8 y 10 larvas por mililitro de dieta son las óptimas en ambas dietas. Las larvas criadas en dietas de zanahoria en concentraciones de 8 y 10 larvas por mililitro de dieta dieron un porciento más alto en la recuperación de pupas, pero estas fueron un poco más livianas que las larvas criadas en dieta de bagazo. Cantidades de larvas superiores a 10 en la dieta de zanahoria dieron pupas de bajo peso. Cantidades de larvas de 12 y 14 en dieta de bagazo no tuvieron ningún adverso sobre el peso de las pupas pero el porciento de recuperación fue bajo.

II.— MATERIALES Y METODOS

Para la realización de este trabajo se utilizaron dos tratamientos, uno correspondió al material irradiado y el otro al material normal o no irradiado. Se hizo un total de cuatro repeticiones, cada una de las cuales se llevó a cabo en iguales condiciones, o sea, en condiciones de laboratorio, con una temperatura regulada a 26°C (80°F).

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño factorial en los datos de emergencia de adultos, longevidad y proporción de sexos; para el estudio de pupa se utilizó el método para datos pareados, utilizando la desviación standard y la prueba de "t". Además se determinó el porciento de pupación, el porciento de emergencia de adultos para hembras y para machos.

En cada repetición se irradiaron 21.000 pupas y se utilizaron 10.000 machos procedentes de las pupas irradiadas para cruzarlos con igual número de hembras procedentes de pupas normales. La razón por la cual se utilizó una cantidad de 10.000 machos procedentes de pupas irradiadas, en cada repetición, fue la de obtener diariamente un número de 100 larvas, alcanzando de este modo, después de 5 días un número de 500 larvas en cada repetición.

Cada repetición estuvo formada por 4 jaulas, más la jaula correspondiente al testigo. En cada jaula se introdujeron 2.500 hembras normales y 2.500 machos procedentes de pupas irradiadas. Las jaulas utilizadas miden 40 centímetros de alto, 1,10 metros de largo y 35 centímetros ancho. Las jaulas son largas y angostas, con la base, los bordes y el techo semicircular cubiertos con un cedazo plástico de 14 mallas por pulgada lineal. Los extremos son de tabla de madera, uno de éstos el de la parte anterior tiene una abertura circular, para manipulaciones diversas. El orificio se cierra con un vaso de cartón.

Las pupas que se utilizaron fueron traídas de los laboratorios de OIRSA en San José, con el fin de irradiarlas en la fuente de radiación gamma del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, en Turrialba.

Las pupas fueron expuestas a la radiación un tiempo de 11 minutos y 43 segundos, con el fin de obtener una dosis de radiación igual a 10.000r.

La irradiación de las pupas se efectuó un día antes de la emergencia de los adultos, es decir de unos 8 días de edad, que según Katiyar y Valerio (13), es la edad más apropiada para irradiar pupas.

Una vez que se inició la emergencia de los adultos, se procedió inmediatamente a la separación de machos y hembras. Los sexos fueron determinados de acuerdo a las características morfológicas externas de los órganos de reproducción (Figura N° 1). Para facilitar la manipulación de los insectos, se les suministró antes de examinarlos dióxido de carbono.

Los machos fueron colocados en jaulas distintas y los sexos fueron mantenidos separados antes de iniciar cada experimento. Siempre se efectuó una nueva sexada para comprobar que no había machos en las jaulas de las hembras.

Los adultos fueron separados de acuerdo a su sexo dentro de las primeras 24 horas después de la emergencia. El lapso que generalmente precede a la postura (preoviposición), es de 5 días y por esta razón se iniciaron las recolecciones diarias de huevos al cabo de este tiempo.

Para la recolección de los huevos se utilizó un jarro cilíndrico de polietileno, de un cuarto de galón, como sitio para la oviposición. En cada jaula se colocaron 3 jarros a fin de que las moscas tuvieran área suficiente para ovipositar.

Diariamente y a la misma hora se extraían las masas de huevos del interior de los jarros, echándoles agua y agitándolos suavemente, a fin de obtener todos los huevos en suspensión. Inmediatamente los huevos eran separados con un cedazo fino y luego colocados sobre un papel filtro humedecido con agua en una caja Petri, donde permanecían hasta la aparición de las larvas. Las cajas Petri con las masas de huevos, fueron observadas al cabo de las 48 a 50 horas, tiempo después del cual según Balock (1) deben eclosionar los huevos de *C. capitata* Wied., en condiciones de laboratorio a 26°C (80°F).

Para la crianza de las larvas obtenidas se usó la dieta artificial que se utiliza en los laboratorios de OIRSA en San José. Esta mezcla semi-sólida se dispuso en tubos de plástico de 25 cc. y luego se introdujeron en estos, las larvas a desarrollar.

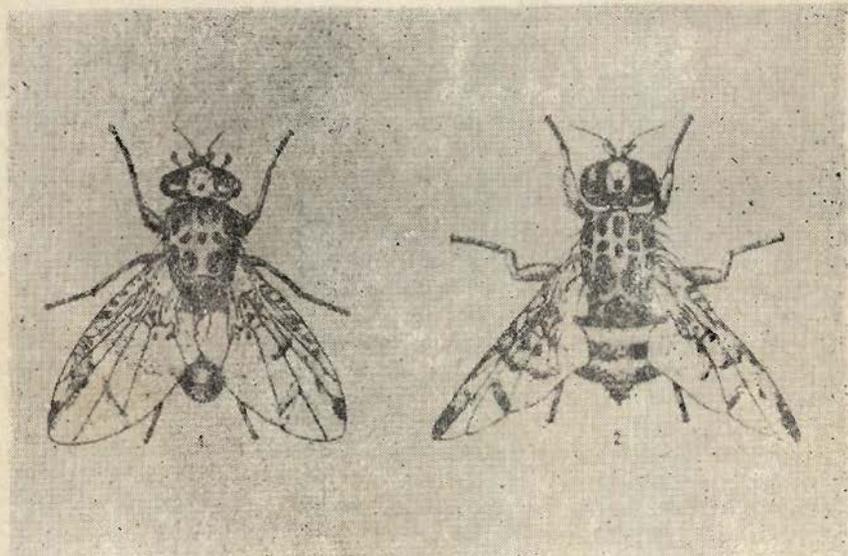


FIGURA 1.— Adultos de la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* Wied.
1) Macho, 2) Hembra.

En cada tubo se colocaron 20 centímetros cúbicos de dieta y 25 larvas; teniendo en cuenta el experimento sobre densidad de larvas en dietas artificiales que realizó Katiyar (10) en 1967.

La dieta para la crianza de las larvas se preparó de acuerdo a la siguiente fórmula:

| | |
|--------------------------------|-----------|
| Agua corriente | 687,6 ml |
| Nipagin (Metil-parabeno) | 1,5 gr |
| Benzoato de sodio | 1,5 gr |
| HCl 0,1N | 6,87 ml |
| Azúcar | 147,75 gr |
| Levadura | 98,75 gr |
| Germen de trigo | 77,50 gr |
| Bagazo de caña | 112,50 gr |

Al completar su desarrollo, las larvas instintivamente, quieren dejar su medio alimenticio para dejarse caer al suelo; en este tiempo, exhiben unos saltos característicos. A fin de colectar las pupas, los tubos se acostaron dentro de una caja de plástico que contenía arena.

A partir del séptimo día de edad de las larvas, todos los días y siempre a la misma hora, se inspeccionaba la arena, con el fin de observar si alguna larva había empupado. Esta observación se inició a partir de los 7 días para prevenir cualquier variación en la época de pupación de las larvas procedentes de las pupas irradiadas. La duración normal del estado de larva es generalmente de 9 días. Esta observación se prosiguió hasta que todas las larvas se habían convertido en pupas. Las pupas que se obtenían se colocaban en recipientes de plástico con un poco de arena en el fondo, dentro de una jaula pequeña a fin de esperar la emergencia de los adultos.

Cuando las pupas que se habían obtenido se aproximaban al noveno día que según Balock (1) es la edad de emergencia de los adultos, se iniciaba la inspección diaria, siempre a la misma hora con el fin de determinar el día de nacimiento de los adultos. Estos se separaban de acuerdo al sexo y dentro de un período de 24 horas, para asegurar que no habían copulado. Los adultos así separados por sexos, se utilizaron en los cruzamientos para la determinación de la longevidad y fertilidad. Se utilizaron 50 hembras y 50 machos para cada tipo de cruzamiento en cada repetición.

Para determinar la fertilidad de los adultos de la primera generación se recolectaron las masas de huevos, en la misma forma anteriormente descrita y se tomó una muestra entre 500 y 1.000 huevos durante 7 días consecutivos, con el fin de observar el porcentaje de fertilidad en los diferentes cruzamientos. Este porcentaje se calculó, considerando ciento por ciento el número total de huevos de la muestra llevando a porcentaje el número de larvas eclosionadas, mediante una regla de tres simple.

Para determinar la longevidad de los adultos de la primera generación, se contaron diariamente el número de adultos muertos en todas las jaulas, hasta que murió el último individuo.

IV — RESULTADOS Y DISCUSION

1. Estudio preliminar para la comprobación del porcentaje de esterilidad por la radiación gamma en la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied.

La irradiación de la mosca del mediterráneo *Ceratitís capitata* Wied., causó esterilidad del 99,82%, según los experimentos que se realizaron utilizando la fuente de radiación del IICA (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica) (Cuadro 1).

Los resultados obtenidos en este experimento de la comprobación del porcentaje de esterilidad, que causa la radiación cuando son irradiadas las pupas de la mosca del mediterráneo, se tomaron como base para la realización de este trabajo.

Por lo tanto, todas las informaciones que aquí se presentan, son basadas en el porcentaje de insectos que nacieron, después que sus pupas fueron irradiadas con una dosis de 10.000r siendo este porcentaje de 0.18%.

— CUADRO 1 —

Datos sobre la fertilidad de la mosca del mediterráneo *Ceratitís capitata* Wied., cuando se irradiaron sus pupas en la fuente de radiación gamma del IICA (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas), en Turrialba.

| Tratamientos | Número total de huevos | Número de huevos nacidos | Porcentaje de fertilidad |
|---|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Adultos procedentes de pupas irradiadas | 71.668 | 135 | 0,18% |
| Adultos procedentes de pupas normales | 11.340 | 10.059 | 88,70% |

Los datos son un promedio de las lecturas hechas sobre las muestras durante seis (6) días consecutivos.

2. Ciclo biológico y supervivencia de los insectos de la primera generación, pero procedentes de pupas irradiadas y no irradiadas.

En el estudio del ciclo biológico de la primera generación de insectos, provenientes de padres cuyas pupas habían sido irradiadas con una dosis de 10.000r, la incubación de los huevos puestos por hembras normales, que copularon con machos provenientes de pupas irradiadas y determinada por la aparición de larvas, tuvo una duración promedio de 47 horas. Para huevos puestos por hembras normales que copularon con machos normales, la duración fue de 46 horas en promedio (Cuadro 2).

— CUADRO 2 —

Datos de incubación en la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* Wied. para huevos procedentes de hembras normales, que copularon con machos cuyas pupas habían sido irradiadas y no irradiadas*

| Tratamientos | Período de incubación (Horas). | | | | | |
|---|--------------------------------|-------|-------|-----|----|----|
| | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 |
| Huevos procedentes de insectos irradiados | 0 | 15 | 36 | 9 | 3 | 0 |
| Huevos procedentes de insectos normales | 16 | 4.012 | 6.758 | 203 | 53 | 7 |

* Basado en una muestra de 60.000 huevos para irradiados y 12.000 huevos para no irradiados.

El estado larval de los individuos procedentes de pupas irradiadas duró en promedio, 10 días. El estado larval de los individuos procedentes de padres normales fue en promedio de 9 días.

Después del décimo día la aparición de pupas disminuyó para ambos casos. Para las irradiadas se encontraron pupas hasta el décimo sexto día de edad de las larvas, mientras que en las normales solamente hasta el décimo quinto día.

Los días de aparición de pupas fueron los mismos, para los procedentes de padres normales, sin embargo el porcentaje de pupación en cada día fue bastante diferente en los dos tratamientos (Figura 2).

Al noveno día se manifestó, en ambos casos, el pico de la pupación, siendo 55% el porcentaje mayor en los individuos procedentes de padres normales y 37% en los individuos procedentes de padres irradiados. Al décimo día hubo más pupación (17%) en los individuos procedentes de padres irradiados que en los individuos procedentes de padres normales (14%).

En la Figura 2 se puede observar la variación en el porcentaje de pupación en los diferentes días, así como la diferencia entre los dos tratamientos.

En cuanto al número de larvas que lograron transformarse en pupas, se encontró que de 2.000 larvas procedentes de pupas irradiadas que se utilizaron en el estudio, empuparon 1.470 o sea el 73,5% mientras que para las normales de 2.000 larvas utilizadas empuparon 1.798 o sea el 89,9% (Cuadro 3).

— CUADRO 3 —

Porcentaje de pupación de las larvas de la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied. provenientes de parientes irradiados y no irradiados.

| Tratamientos | Número de larvas | Número de pupas | Porcentaje de pupación |
|----------------------|------------------|-----------------|------------------------|
| Padres irradiados | 2.000 | 1.470 | 73.5% |
| Padres no irradiados | 2.000 | 1.798 | 89.9% |

Según el análisis estadístico, hubo una diferencia altamente significativa en cuanto a la supervivencia de larvas procedentes de adultos cuyas pupas fueron irradiadas, comparada con las de larvas procedentes de adultos no irradiados.

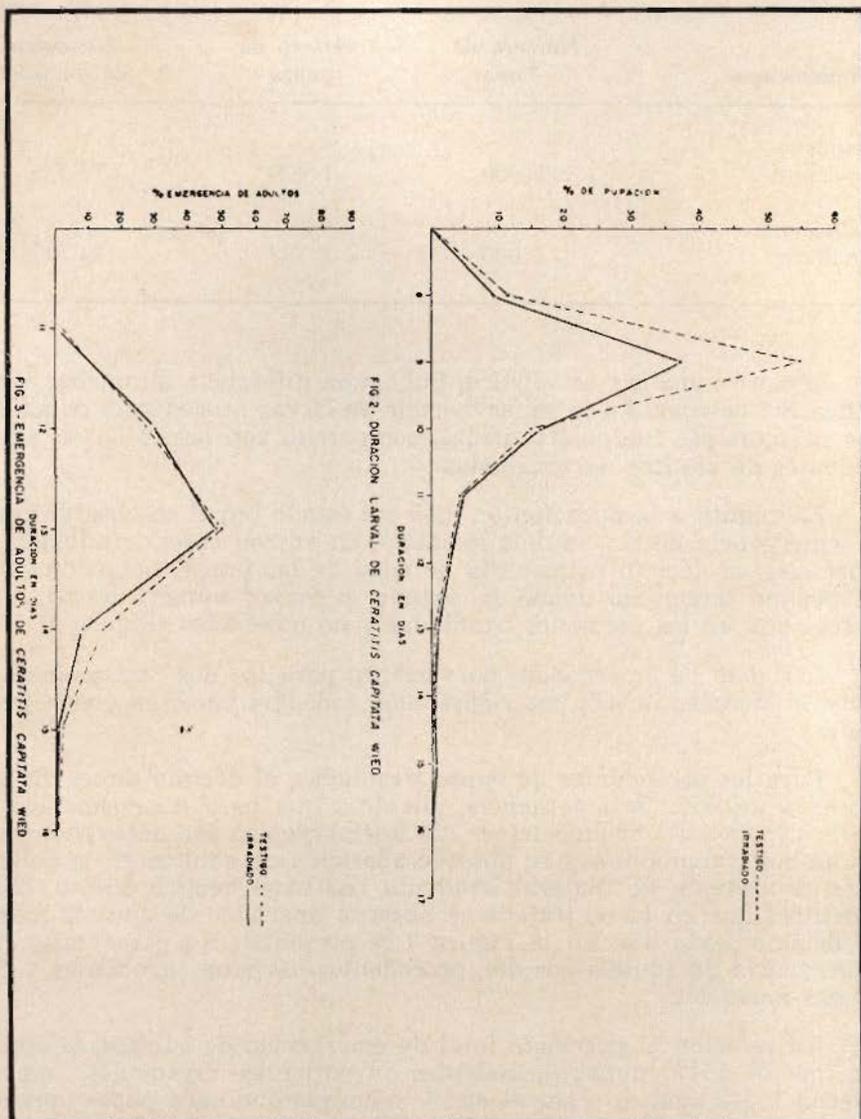
En cuanto a la duración en días del estado pupal se observó que la emergencia de los adultos se inició, en ambos casos irradiados y normales, al décimo primer día de edad de las pupas, habiendo sido el décimo tercer día donde se obtuvo el mayor número de adultos emergidos, en las porciones irradiadas y no irradiadas (Figura 3).

Los días de emergencia no variaron para los dos tratamientos, pero el número de adultos registrados cada día varió en cierta medida.

Para los procedentes de pupas irradiadas, al décimo tercer día se observó un 45% de emergencia, mientras que para las normales un 48%; después del décimo tercer día la emergencia fue decayendo para ambos tratamientos y se observó aparición de adultos en la población procedente de material irradiado hasta el décimo quinto día, mientras que en la no tratada se observó aparición de adultos hasta el décimo sexto día. En la Figura 3 se presentan los porcentajes de emergencia de adultos por día, procedentes de pupas irradiadas y de pupas normales.

En relación al por ciento total de emergencia de adultos, se obtuvo que de 1.470 pupas procedentes de parientes irradiados, emergieron 1.272 adultos o sea el 86,5% mientras que para pupas procedentes de parientes normales de 1.798 emergieron 1.708 adultos, o sea el 94,9% (Cuadro 4).

Los análisis estadísticos indican que hubo diferencia altamente significativa en cuanto a la emergencia de adultos procedentes de pupas irradiadas, comparada con la emergencia de adultos procedentes de pupas normales (Apéndice I).



— CUADRO 4 —

Porcentaje de emergencia de adultos de la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied., en poblaciones de padres irradiados y no irradiados por rayos gamma

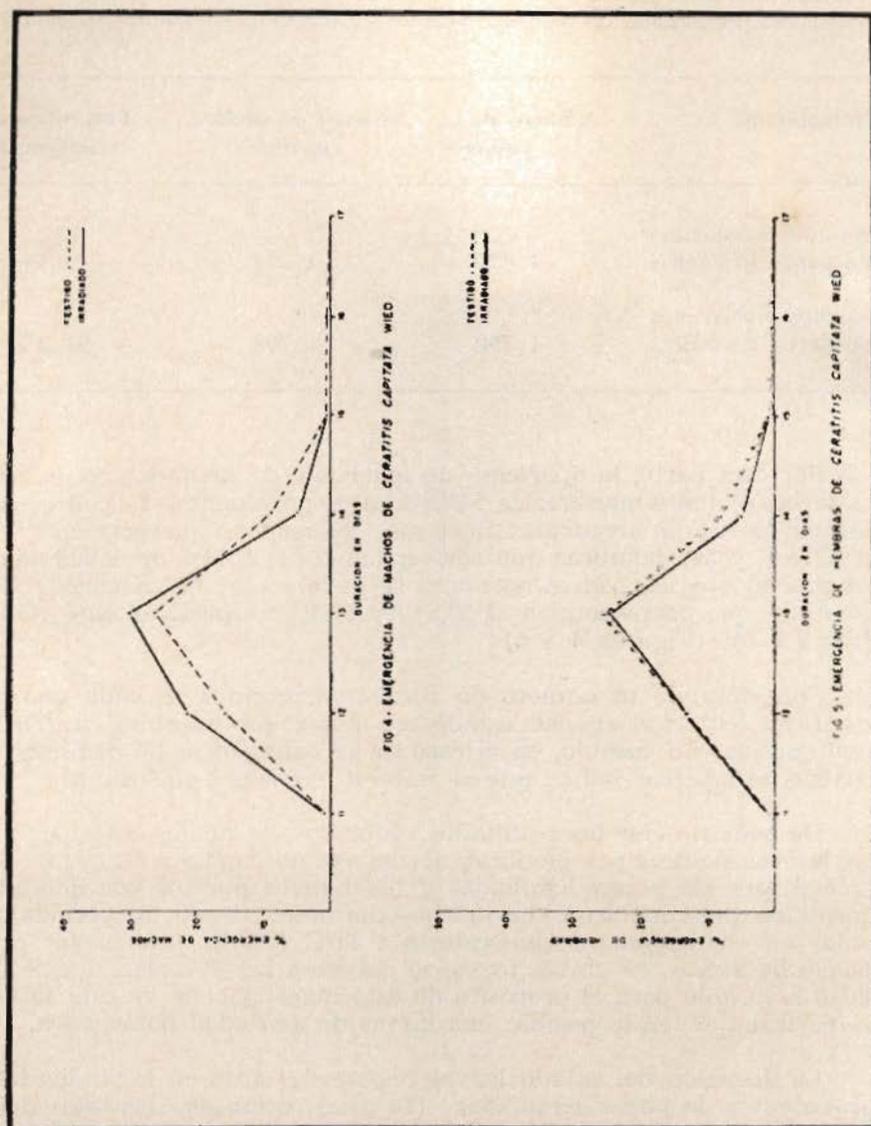
| Tratamientos | Número de pupas | Número de adultos emergidos | Porcentaje de emergencia |
|---|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| Adultos procedentes de pupas irradiadas | 1.470 | 1.272 | 86,5% |
| Adultos procedentes de pupas normales | 1.798 | 1.708 | 94,9% |

Por otra parte, la aparición de machos y de hembras, se presentó de la siguiente manera: de 1.272 adultos procedentes de padres cuyas pupas fueron irradiadas nacieron 729 machos que corresponden al 57,3% y 543 hembras que corresponden al 42,68% de 1.703 adultos procedentes de padres normales se pudo contar 898 machos y 810 hembras, que corresponden al 52,5% y 47,4% respectivamente (Cuadros 5 y 6), (Figuras 4 y 5).

Considerando el número de machos emergidos en cada uno de los tratamientos, el análisis estadístico indica que no hubo diferencia significativa. En cambio, en el caso de la emergencia de hembras el análisis estadístico indica que sí hubo diferencia significativa.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar que los huevos puestos por hembras normales que copularon con machos procedentes de pupas irradiadas y los huevos puestos por hembras normales que copularon con machos normales, tienen un período similar en condiciones de laboratorio a 26°C (80°F). La mayor presencia de larvas, en ambos casos, se obtuvo a las 48 horas, lo que resultó favorable para el propósito de esta investigación, ya que se deseaba trabajar, en lo posible, con larvas de una edad homogénea.

La duración del estado larval registrada tanto en los individuos procedentes de pupas irradiadas (10 días), como en los individuos procedentes de pupas normales (9 días), resultó ser un poco alta en comparación con la duración del estado larval que reportó Balock (1) en 1963, en las mismas condiciones, la cual fue de 8 días; a pesar de este aumento en la duración del estado larval obtenida para ambos casos (individuos procedentes de pupas irradiadas y procedentes de pupas normales) se registró una diferencia de un día en la duración del estado larval de individuos procedentes de pupas irradiadas con relación a los individuos procedentes de pupas normales.



— CUADRO 5 —

Porcentaje de emergencia de machos de la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied., en poblaciones procedentes de padres irradiados y no irradiados por rayos gamma.

| Tratamientos | Total de adultos | Número de machos | Porcentaje de emergencia |
|---|------------------|------------------|--------------------------|
| Adultos procedentes de pupas irradiadas | 1.272 | 729 | 75.3% |
| Adultos procedentes de pupas normales | 1.708 | 898 | 52.5% |

— CUADRO 6 —

Porcentaje de emergencia de hembras de la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied. en poblaciones procedentes de padres irradiados y no irradiados por rayos gamma.

| Tratamientos | Total de adultos | Número de hembras | Porcentaje de emergencia |
|---|------------------|-------------------|--------------------------|
| Adultos procedentes de pupas irradiadas | 1.272 | 543 | 42.5% |
| Adultos procedentes de pupas normales | 1.708 | 810 | 47.4% |

Cabe anotar que en este estado de la mosca del mediterráneo, se observó que el efecto de la radiación continúa actuando, pues de las larvas procedentes de parientes irradiados que lograron nacer y sobre las cuales se basa este estudio, el 73,5% llegaron a ser pupas, mientras que las procedentes de parientes normales, alcanzaron un porcentaje de pupación de 89,9% lo que indica que hay una pérdida de insectos procedentes de pupas irradiadas, en el estado larval de un 16,4% con respecto a los insectos normales.

El período pupal de las larvas procedentes de parientes irradiados fue de 11 a 15 días, con un promedio de 12,3 días, mientras que

para las pupas de larvas procedentes de parientes normales, fue de 11 a 16 días con un promedio de 12,7 días. La duración del período pupal de individuos procedentes de parientes irradiados (12,3) y de los que procedieron de parientes normales (12,7) resultó más alta comparada con la duración del estado pupal que reporta Balock (1) en 1963 en las mismas condiciones la cual fue de 10 días. Esta diferencia parece ser debida, a las fluctuaciones en la temperatura ocurrida en nuestro laboratorio.

En cuanto a la emergencia de machos y hembras se puede anotar que en los adultos procedentes de pupas irradiadas se obtuvo más machos emergidos que en los adultos procedentes de pupas normales; mientras que en la emergencia de hembras ocurrió lo contrario, pues se presentaron menos hembras procedentes de pupas irradiadas emergidas que normales.

Los análisis estadísticos indicaron que hay una diferencia altamente significativa en cuanto a la emergencia de machos y hembras; esta parece indicar que la radiación puede afectar más los machos que las hembras en cuanto a su emergencia.

3. Estudio de la fertilidad de los adultos de la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied. proveniente de pupas irradiadas y no irradiadas.

En el estudio de la influencia de la radiación gamma sobre la fertilidad de los individuos de la primera generación, los resultados indican que en el cruzamiento de hembra procedente de pupas irradiadas con machos normales hubo un 16.5% de fertilidad, mientras que en el cruzamiento de machos procedentes de pupas normales hubo un 55.6% de fertilidad; la fertilidad para el testigo oscila de 90% a 93.7%, habiéndose obtenido un promedio de 92% (Figura 6).

Por los resultados obtenidos en esta investigación se pudo observar que las hembras procedentes de pupas irradiadas son más afectadas en su fertilidad que los machos de la misma procedencia. La radiación gamma parece actuar entonces sobre la emergencia y sobre la fertilidad de las hembras.

4. Estudio de la longevidad de los adultos de la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied., procedentes de pupas irradiadas y no irradiadas.

En el estudio del efecto de la radiación gamma sobre la longevidad de los insectos de la primera generación, o sea provenientes directamente de aquellos adultos cuyas pupas fueron irradiadas, los machos mostraron la mortalidad más alta durante la segunda semana de su vida con un porcentaje de 33% de muertos. Para los machos de padres normales también se registró la mortalidad más alta durante la segunda semana, con 39.5% de muertos. En ambos casos la vida de estos machos se extendió hasta la sexta semana (Figura 7).

Para las hembras procedentes de pupas irradiadas se encontró que la mayor mortalidad se registró en la sexta semana de edad (19%), mientras que para las hembras procedentes de pupas normales el mayor porcentaje de mortalidad se obtuvo en la quinta semana (21,5%). Se encontró que la mortalidad de éstas ocurre en una forma progresiva, sin marcadas diferencias como en el caso de los machos.

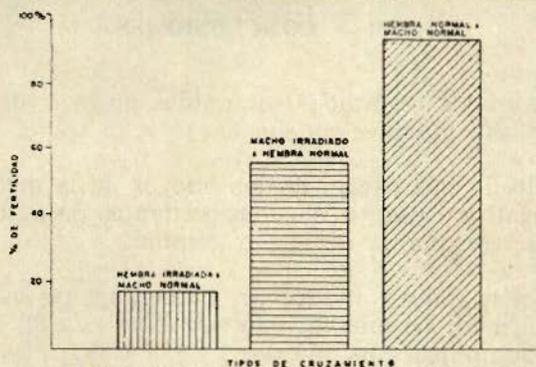


FIG 6. PORCENTAJE DE FERTILIDAD DE VARIOS CRUZAMIENTOS DE MOSCA DEL MEDITERRANEO, *CERATITIS CAPITATA* WIED

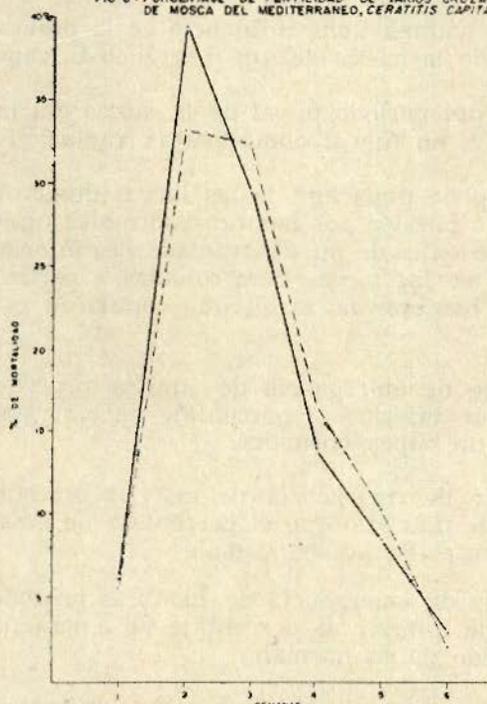


FIG 7. PORCENTAJE DE MORTALIDAD EN CADA SEMANA DE VIDA DE MACHOS DE LA MOSCA DEL MEDITERRANEO, *CERATITIS CAPITATA* WIED

Los análisis estadísticos indicaron que existe una diferencia altamente significativa en cuanto a la longevidad de los machos y las hembras, sin embargo, en los resultados obtenidos en los análisis para la interacción de sexos por irradiación, no hubo diferencia significativa. se podría decir entonces que la radiación actúa en igual forma sobre machos y hembras en cuanto a la longevidad, y que la longevidad que presentaron las hembras procedentes de pupas irradiadas, no fue debida a la radiación sino a la condición normal de la mosca, en la cual las hembras en general viven más que los machos.

VI.— CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación, se pueden hacer las siguientes conclusiones:

1. El período de incubación de los huevos de la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* Wied. procedentes de adultos irradiados, no es afectado por la radiación gamma.
2. La radiación gamma induce un porcentaje de esterilidad en la mosca del mediterráneo, *C. capitata* Wied. de 99.82%, cuando se irradian sus pupas con una dosis de 10.000r.
3. La radiación gamma tiene influencia en la prolongación del período larval de la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied.
4. La duración del período pupal de la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied. no fue afectada por la radiación gamma.
5. El porcentaje de pupación de las larvas desarrolladas a partir de los huevos puestos por hembras normales que copularon con machos procedentes de pupas irradiadas, es inferior al porcentaje de pupación de las larvas desarrolladas a partir de los huevos puestos por hembras normales que copularon con machos normales.
6. El porcentaje de emergencia de adultos procedentes de pupas irradiadas, fue inferior al porcentaje de emergencia de adultos procedentes de pupas normales.
7. El porcentaje de emergencia de machos procedentes de pupas irradiadas fue más alto que el porcentaje de emergencia de machos procedentes de pupas normales.
8. El porcentaje de emergencia de hembras procedentes de pupas irradiadas fue inferior al porcentaje de emergencia de hembras procedentes de pupas normales.
9. La radiación gamma tiene una marcada influencia en la reducción de la fertilidad de la hembra de la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wed., ya que la reduce en un 75.5% con respecto a la fertilidad de la hembra normal.

10. La radiación gamma reduce la fertilidad de los machos de la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied., ya que la reduce en un 36,4% con respecto a la fertilidad de los machos normales.
11. La longevidad es significativamente inferior en los machos con respecto a las hembras, tanto en los adultos procedentes de pupas irradiadas como en adultos procedentes de pupas normales.

VII.— RESUMEN

En la presente investigación se trabajó con la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* Wied., a fin de estudiar la posible acción que la radiación gamma pudiera tener sobre los diferentes estados que comprende el ciclo biológico de la mosca del mediterráneo, cuando éstas proviene de pupas irradiadas.

Partiendo de pupas irradiadas con una dosis de 10.000r se efectuaron los cruzamientos de 2.500 machos provenientes de pupas irradiadas, con 2.500 hembras normales a fin de obtener grandes cantidades de huevos, de los cuales se utilizaron las larvas que lograron eclosionar para iniciar el estudio. El porcentaje de fertilidad que se obtuvo y con el cual se trabajó durante toda la investigación fue de 0,18% de fertilidad.

Partiendo de un número de 2.000 larvas (procedentes de padre irradiado y madre normal) se estudió la duración del estado larval, el porcentaje de pupación, la duración del estado pupal, el porcentaje de emergencia de adultos, la fertilidad de los adultos y su longevidad.

Se encontró que la radiación gamma no tiene influencia sobre el período de incubación del huevo de la mosca del mediterráneo. La supervivencia, medida en la cantidad de larvas que lograron nacer de huevos puestos por hembras normales que copularon con machos procedentes de pupas irradiadas, fue de 0.18%. El período larval se ve afectado por la radiación mientras que el período pupal no es afectado por ésta. El porcentaje de pupación de larvas desarrolladas de huevos puestos por hembras normales que copularon con machos procedentes de pupas irradiadas fue inferior al porcentaje de pupación de las larvas desarrolladas de huevos puestos por hembras normales que copularon con machos normales.

La emergencia de los adultos procedentes de pupas irradiadas fue inferior al porcentaje de emergencia de adultos procedentes de pupas normales. La emergencia de hembras procedentes de pupas irradiadas fue inferior a la emergencia de hembras procedentes de pupas normales mientras que la emergencia de machos procedentes de pupas irradiadas fue mayor que la de los machos procedentes de pupas normales.

La radiación gamma tiene influencia sobre la fertilidad de la hembra y del macho de la mosca del mediterráneo ya que la reduce

en 75.5% y 36.4% con respecto a los adultos normales. La longevidad de los machos tanto irradiados como normales es inferior a la longevidad de las hembras de las mismas procedencias.

SUMMARY

This study was carried out with Mediterranean Fruit Fly (*Ceratitis capitata* W.) so as to investigate the possible action that the application of gamma rays could have to insects in their pupal stage, on the biology of their progeny.

The pupae were irradiated with 10,000r and 2,500 males coming from these irradiated pupae were crossed with 2,500 normal females to obtain a large amount of eggs. The fertility of the eggs recorded in this test was 0.18%. Using 2,000 larvae derived from these eggs, a study was initiated: of the duration of the larval stage; the percentage of pupation; the duration of the pupal stage the percent of hatching of adults; the fertility and longevity of the adults.

It was found that the gamma radiation did not influence the incubation period of the eggs. The retention of fertility, measured in terms of number of larvae born from normal females and irradiated males, was 0.18%. The larval period was affected by radiation, but the pupal period was not. The pupation percentage of larvae coming from normal females and males from irradiated pupae was lower than the pupation percentage of the larvae from normal females and normal males. The percentage of hatching adults coming from irradiated pupae was lower than the percentage of adults emerging from normal pupae. The number of females from irradiated pupae was lower than the number of females coming from normal pupae, while the number of males emerging from irradiated pupae was higher than the number of the males from normal pupae.

Gamma radiation has some influence on the fertility of the male and the female. It reduces female fertility by 75.5% and male fertility by 36.4%, as compared to the fertility of normal adults. The longevity of irradiated and normal males is lower than the longevity of females of the same origin.

LITERATURA CITADA

1. BALOCK, R. C. y BRUDITT, Jr. y CHRISTENSON, L. D.— Effects of gamma radiation in various stages of three fruit fly species. *Journal of Economic Entomology* 56 (1): 42-46. 1963.
2. BAUMHOVER, A. H. et al.— Screw worm control through release of sterile flies. *Journal of Economic Entomology* 48 (4): 462-466. 1955.
3. BUSHLAND, R. C. y HOPKINS, D. E.— Experiments with screw-worm flies sterilized by X rays. *Journal of Economic Entomology* 44 (5): 725-731. 1951.

4. ————. — Sterilization of screw-worm flies with X rays and gamma rays. *Journal of Economic Entomology* 46 (4): 648-656. 1953.
5. CORNWELL, P. B. y BULL, J. O.— Insect control by gamma irradiation: an appraisal of the potentialities and problems involved. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 11: 154-768. 1960.
6. CROUSE, H. V.— The differential response of male and female germ cells of *Sciara coprophila* (Diptera) to irradiation. *American Naturalist* 84: 195-202. 1950.
7. DEMEREC, M. y KAUFMAN, B. P.— Time required for *Drosophila* males to exhaust the supply of mature sperm. *American Naturalist* 75: 366-379. 1941.
8. HOWARD, E. E.— Adult longevity as a sensitive criterion of radiation-induced damage when 24 hour *Habrobracon* (Hymenoptera) Embryos are X rayed. *Journal of Economic Entomology* 53 (5): 971-972. 1960.
9. KATIYAR, K. P.— Control de insectos por medio de la técnica de machos esterilizados por radiaciones gamma. *Bol. de la Junta de Control de Energía Atómica, Lima, Perú* 9: 25-28. 1964.
10. ————. — Studies on the optimum larval density for rearing the Medfly larvae on carrot and bagasse diets. In Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Aplicación de la Energía Nuclear a la Agricultura. Informe anual a la Comisión de Energía Atómica de los EE. UU. bajo contrato AT (30-1)-2043. Turrialba, Costa Rica, 1967. pp. 99-108.
11. ———— y FERRER, F. Efecto de apareamientos alternados en la fertilidad de la hembra de la mosca del mediterráneo. *Ceratitis capitata* Wied. In Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Aplicación de la Energía Nuclear a la Agricultura. Informe anual a la Comisión de Energía Atómica de los EE. UU. bajo contrato AT (30-1)-2043. Turrialba, Costa Rica, 1965. pp. 74-79.
12. KATIYAR, K. P. y VALERIO, J.— Estudios sobre la dispersión y longevidad de la mosca del mediterráneo *C. capitata* Wied. marcada con P-32. *Turrialba (Costa Rica)* 13 (3): 181-184. 1963.
13. ————. — Efecto de la irradiación de pupas, sobre el vigor sexual de los machos de la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* Wied. In Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Aplicación de la Energía Nuclear a la Agricultura. Informe anual a la Comisión de Energía Atómica de los EE. UU. bajo contrato AT (30-1)-2043. Turrialba, Costa Rica, 1964. pp. 54-59.
14. KOLLER, P. C. y AMHED, I.— X ray induced structural changes in chromosomes of *Drosophila pseudo-obscura*. *Journal Genetics* 44: 53-71. 1942.
15. KNIPLING, E. F.— The potential role of the sterility method for insect population control with special reference to combining this

- method with conventional methods. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service, ARS 33-98. 54 p. 1964.
16. LINDQUIST, A. W.— Myiasis in wild animals in southwestern Texas. *Journal of Economic Entomology* 29 (6): 1154- 1158. 1936.
 17. —————.— The use of gamma radiation for control or eradication of the screw-worm. *Journal of Entomology* 48 (4): 467-469. 1955.
 18. MULLER, H. J.— Artificial transmutation of the gene. *Science* 66 (1699): 84-87. 1927.
 19. RHODE, R. H. et al.— Effect of gamma radiation on the reproductive potential of the Mexican fruit fly. *Journal of Economic Entomology* 54 (1): 202-203. 1961.
 20. STEINER, L. F. y CHRISTENSON, L. D.— Potential usefulness of the sterile fly eradication programs. *Proceeding Hawaiian of Academy Science*. 17 p. 1956.
 20. U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, OFFICE OF INFORMATION.— Atoms vs. The Screw-worm. *Picture stories* 108 (1958), 116 (1959). (Citado por Lindquist A. W.). Investigación sobre el uso de los machos estériles para la erradicación de la mosca de la miasis. In *Simposio Interamericano sobre la aplicación de la Energía Nuclear para fines pacíficos*. 2º Buenos Aires, 1959. *Los Radioisotopos y la radiación en las ciencias Biológicas*. Washington, D. C. Unión Panamericana. 1960 p. 213).