

## IRRADIACIÓN DE NARANJAS INFESTADAS POR *ANASTREPHA LUDENS* (LOEW) (DIPTERA: TEPHRITIDAE) COMO TRATAMIENTO CUARENTENARIO

JORGE TOLEDO\*, M. EMILIA BUSTOS\*\* Y PABLO LIEDO\*

\*Departamento de Entomología Tropical. El Colegio de la Frontera Sur. Apdo. Postal 36. C.P. 30700 Tapachula, Chiapas, México.

\*\* Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Apdo. Postal 18-1027. C.P. 11801, México, D.F.

**RESUMEN.** Naranjas infestadas con larvas de tercer estadio de *Anastrepha ludens* fueron irradiadas con rayos gamma de Cobalto 60 en un intervalo de dosis de 2 a 150 Gy en un irradiador industrial modelo JS 7400 para determinar la dosis efectiva para inhibir la emergencia de los adultos. La dosis absorbida por cada muestra se verificó utilizando un dosímetro de solución de Fricke. La disección de los frutos irradiados se realizó 24 h después del tratamiento y se cuantificaron las larvas vivas de tercer estadio, luego se colocaron en contenedores con vermiculita húmeda a  $26 \pm 1^\circ\text{C}$  y  $70 \pm 5\%$  de H. R. para su pupación. Después de 18 d se cuantificó el número de larvas muertas, pupas (deformes y normales) y los adultos emergidos, a los cuáles se les midió su fecundidad y fertilidad. En la fase de laboratorio se determinó que con 85 Gy se inhibió la emergencia de los adultos. La segunda fase conocida como confirmatoria se llevó a cabo con 100 Gy, con esta dosis se irradió fruta hasta tratar 20,359 larvas y no se registró emergencia de adultos: en cambio en el testigo, de 8,476 larvas hubo una emergencia de 84.7%, con lo que se concluyó que una dosis de 100Gy puede ser usada como tratamiento cuarentenario sin inducir cambios adversos en la calidad de la fruta.

**PALABRAS CLAVE:** Irradiación, tratamiento cuarentenario, moscas de la fruta, *Anastrepha ludens*.

**ABSTRACT.** Oranges infested with *Anastrepha ludens* third instar larvae were irradiated with Cobalt 60 gamma rays to determine the dose that inhibit the emergence of adults, as a quarantine treatment. Doses ranged from 2 to 150 Gy, and were confirmed using the Fricke dosimeter method. Exposed fruits were dissected 24 h after treated and the number of third instar larvae was recorded. These larvae were placed in containers with humid vermiculite at  $26 \pm 1^\circ\text{C}$  and  $70 \pm 5\%$  R. H. for pupation. Eighteen days later the number of dead larvae, pupae (normal and deformed) and adults was recorded. The fecundity and fertility of the emerged adults were also determined. A dose of 85 Gy was determined to be enough to inhibit adult emergence. A confirmatory phase was carried out exposing infested fruits at 100 Gy. A total of 20,359 larvae were exposed and none adults emerged, whereas in the control, of 8,476 larvae observed, 84.7% emerged as adults. With the dose of 100 Gy, no significant deleterious effects were detected in the quality of the fruits. It is concluded that gamma irradiation at 100 Gy is a feasible quarantine treatment for *A. ludens* in oranges.

**KEY WORDS:** Irradiation, quarantine treatment, fruit fly, *Anastrepha ludens*.

---

México se caracteriza por ser un país productor de cítricos y ocupa un lugar importante a nivel mundial (INEGI, 1999). Estos frutos se exportan principalmente a Estados Unidos, Alemania, Canadá, Países Bajos y Argentina (Reyes, 1995). La naranja y otros frutales son susceptibles de ser infestados por *Anastrepha ludens* y otras especies de moscas de la fruta de importancia agrícola (Norrbom y Kim, 1988; Hernández-Ortiz y Aluja, 1993), por tal motivo los países compradores de frutas exigen que sean sometidas a un tratamiento cuarentenario antes de ser exportadas. Hasta 1987 esto se realizó mediante fumigación con Dibromuro de Etileno (EDB), sin embargo, en ese año se suspendió su uso por ser nocivo para la salud del ser humano. A partir de esta fecha se han desarrollado y evaluado varios métodos alternativos, como son el uso de aire caliente, Bromuro de Metilo, uso de microondas y la radiación ionizante. Pero a la fecha el mango es el único frutal que posee tratamiento de postcosecha (tratamiento hidrotérmico) ampliamente aceptado por los países importadores (Sharp *et al.*, 1989; Reyes, 1995).

El uso de la radiación ionizante como tratamiento de frutas frescas se autorizó a partir de 1984 por la Agencia de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (FDA, 1984) y desde entonces ha sido objeto de varios estudios para conocer su efectividad como tratamiento cuarentenario y su efecto sobre la calidad de las frutas. Por tal motivo, en Brasil, Chile y México se han hecho estudios de irradiación de varias especies de frutas como es el caso del mango, papaya, chicozapote, naranja y carambola infestadas por alguna especie de moscas de la fruta del género *Anastrepha* y/o la mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata* (Wied.) (Bustos, 1987; Faría, 1989; Toledo, 1989; Costa, 1990 y Raga, 1990).

En México, Bustos (1987) realizó un estudio para irradiar mangos y naranjas infestados con huevos de *A. ludens*, pero el huevo es más susceptible que el estado de larva. En estado de larva, las de tercer estadio son las más radioresistentes (Benschoter y Telich, 1964). Actualmente la radiación ionizante se usa como tratamiento cuarentenario para varias frutas hospederos de moscas de la fruta que son enviadas de Hawaii a la parte continental de los Estados Unidos de América y para guayaba, *Psidium guajava* L. y mangos, *Mangifera indica* L. enviados de Florida a California (Hallman, 1999).

La aplicación como tratamiento cuarentenario se basa en dos criterios; el primero busca la inhabilidad del insecto de sobrevivir y/o reproducirse cuando son irradiados en estado de huevo y/o larvas (APHIS, 1996), y el segundo criterio es para inducir la muerte inmediata del estado biológico tratado. En ambos casos se requiere un umbral de mortalidad o inhabilidad Probita 9 (Finney, 1971).

Generalmente las dosis para inducir la muerte inmediata en larvas son muy altas ( $\geq 1,000$  Gy) y causan efectos adversos sobre la calidad de la fruta, por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar la dosis mínima efectiva de radiación para

inhibir la emergencia de adultos en naranjas Var. "Valencia" infestadas con larvas de tercer estadio de *A. ludens*, sin afectar la calidad de la fruta.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Condiciones ambientales y establecimiento de colonias.** Las condiciones ambientales de los laboratorios donde estuvieron las colonias para la infestación de los frutos, el lugar donde permanecieron los frutos durante el desarrollo larvario y en donde se hizo la evaluación de la fecundidad y fertilidad de los adultos provenientes de larvas tratadas fueron de  $26 \pm 1^\circ\text{C}$  y  $70 \pm 5\%$  de humedad relativa y un fotoperiodo de 12: 12 h L: O.

Las colonias para la infestación de los frutos se establecieron con moscas silvestres obtenidas en estado de larvas de naranjas, *Citrus cinensis* L. infestadas que fueron colectadas en lugares aledaños a Tapachula, Chiapas. Los frutos colectados se llevaron al laboratorio, en donde se acomodaron en charolas y éstas permanecieron a una temperatura de  $27 \pm 1^\circ\text{C}$ . Después de 3 a 5 días de la colecta, se procedió a la extracción de las larvas de tercer estadio que estaban en condiciones adecuadas para pupar. Estas se colocaron en recipientes con vermiculita húmeda para promover la pupación.

A los 14 días de iniciada la pupación (un día antes de la emergencia), se separaron las pupas de la vermiculita con un tamiz. Las pupas se colocaron en jaulas de madera de 70 X 70 X 70 cm forrados con tela de tul tipo mosquitero y acondicionadas con cierres por la parte de enfrente, para poder introducir el alimento, agua y manejar los frutos para la infestación. En estas jaulas se colocaron 1,500 parejas de moscas, las cuales fueron alimentadas con una mezcla de levadura hidrolizada enzimáticamente (ICN, Biomedical, Inc.) + sacarosa (1:3) en estado sólido. El alimento se colocó sobre tapas de cajas de Petri, el agua se les suministró en frascos de vidrio de 100 ml de capacidad con tapas de plástico perforadas en donde se les adaptó torundas de algodón. A cada jaula se le instaló en su interior dos parrillas de alambón a una separación de 30 y 50 cm respectivamente a partir de la base de la jaula, espacio que se utilizó para colocar la fruta durante la etapa de infestación.

**Infestación y manejo de los frutos.** Una vez que los adultos de *A. ludens* alcanzaron la madurez sexual (9 d después de emergidas) se introdujeron los frutos de madurez comercial para que fueran infestados. El tiempo de infestación varió de 12 a 24 h, es decir, al inicio del periodo de oviposición y con baja mortalidad fue de 12 h, pero a medida que las moscas envejecieron y se incrementó la mortalidad en la colonia el tiempo fue de 24 h, con el objeto de obtener un índice de infestación de 10 a 12 larvas por fruto y evitar la competencia por alimento.

Después que los frutos fueron infestados, se retiraron de las jaulas y se colocaron en charolas de plástico (identificadas con la fecha, hora de entrada y de salida a las

jaulas de infestación), éstas se acomodaron en anaqueles de metal y permanecieron por 16 d a las condiciones ambientales antes indicadas, hasta que las larvas alcanzaron el tercer estadio de desarrollo. Después se procedió a separar en forma aleatoria los frutos infestados, para cada una de las dosis a evaluar, con sus respectivos testigos.

**Irradiación de la fruta infestada.** La irradiación de la fruta se llevó a cabo en una atmósfera de aire con dosis homogéneas, en un irradiador panorámico tipo industrial Modelo JS 7400 con fuente de rayos gama de Cobalto 60, cuya actividad al 1° de junio de 1994 fue de 18,500 curies. Por cada dosis se trató una muestra de 9 frutos infestados con larvas de tercer estadio, por considerarse el estado de desarrollo del insecto de mayor radioresistencia (Benschoter y Telich, 1964).

La fruta se colocó en el irradiador en rejillas rectangulares de madera de 30 cm de ancho y 30 cm de alto y 10 cm de fondo y separadas en tres niveles, colocando tres frutos por nivel. Las rejillas con la fruta infestada se colocaron frente a la fuente de Cobalto 60, a 40 cm de distancia, entre el transportador superior e inferior, el centro del bastidor siempre coincidió con el de la fuente. El tratamiento para cada dosis se realizó en dos tiempos, al concluir la primera mitad a cada reja con frutas se le dio un giro de 180° para que fueran irradiadas de manera homogénea. En cada tratamiento se registró la dosis de radiación en dosímetros con solución Fricke (Zavala *et al.*, 1985) (uno por cada costado del fruto), y después fueron leídas con un espectrofotómetro marca Perking Elmer modelo 550 a una longitud de onda de 305 nm.

El estudio se realizó apeándose a las normas establecidas por el Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (ARS/USDA) para este propósito, por tal motivo se llevó a cabo en dos fases: la primera conocida como fase de laboratorio y la segunda como fase confirmatoria (Baker, 1939).

**Fase de laboratorio.** En esta fase se llevó a cabo una serie de bioensayos que consistió en aplicar dosis crecientes de irradiación de 2, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60, 90, 120 y 150 Greys (Gy), manejando para cada muestra un testigo. Los frutos fueron disectados 24 h después de irradiados y se extrajeron únicamente las larvas vivas. Las larvas se colocaron por separado en recipientes de plástico con vermiculita húmeda para promover la pupación a  $26 \pm 1^\circ\text{C}$ . Después de 8 d se separaron las pupas de la vermiculita con un tamiz y se cuantificó el número de pupas (deformes y normales) y de larvas muertas. Las pupas normales continuaron en los recipientes y después de 18 d se cuantificó el número de adultos emergidos.

Por cada dosis se irradió fruta infestada hasta obtener una cantidad  $\geq 1,500$  larvas tratadas. Los parámetros evaluados fueron: efecto de la irradiación sobre la pupación, la emergencia de adultos, y la fecundidad, fertilidad y apariencia de los adultos emergidos.

**Fecundidad y fertilidad de adultos provenientes de larvas irradiadas.** En los tratamientos de la fase de laboratorio que presentaron emergencia, los adultos fueron separados por sexo 24 h después de emergidos. Cuando alcanzaron la madurez sexual (10 d después de emergidos) por cada tratamiento se colocaron 15 hembras y 15 machos en jaulas de vidrio de 27 dm<sup>3</sup> con la finalidad de permitir su apareamiento y determinar el número de huevos ovipositados (fecundidad) y la viabilidad de los mismos (fertilidad). Los adultos fueron alimentados con la dieta mencionada y el agua se les proporcionó en tubos de ensaye cubiertos con torundas de algodón. Después que los adultos se aparearon, en la parte superior de las jaulas como dispositivos de oviposición, se colgaron 3 esferas de agar (3 l de agua: 80 g de agar) de 2 cm de diámetro, teñidas de color verde y envueltas en parafilm (Boller, 1968; Freeman y Carey, 1990). Las esferas fueron reemplazadas cada 24 h durante 12 días. Las que se retiraban de las jaulas fueron disectadas para extraer y cuantificar el número de huevos por día. De los huevos extraídos por día se seleccionó una muestra de 100 huevos y se colocaron en hilera sobre papel filtro negro humedecido dentro de una caja de Petri. Las muestras se incubaron a las condiciones ambientales anteriormente indicadas y después de 5 d se cuantificó el número de larvas eclosionadas. Para conservar la humedad del papel filtro se colocó abajo de éste una esponja con agua a punto de saturación.

**Fase confirmatoria.** La fase confirmatoria se llevó a cabo después de haberse determinado la dosis mínima efectiva de irradiación, capaz de inhibir la emergencia de adultos Probit 9 (99.9968%), de acuerdo con lo propuesto por Baker (1939) y establecido por el protocolo de exportación de frutos del ARS/USDA (APHIS, 1996).

Para llevar a cabo esta fase se procedió a infestar naranjas de la misma madurez comercial en la forma descrita en la fase de laboratorio. Por cada lote de fruta infestada se separó al azar el 75% de la fruta infestada y se irradió a 100 Gy y el otro 25% se utilizó como testigo. Después de 24 h de haberse irradiado, la fruta se disecó y se cuantificó el número de larvas vivas del tercer estadio, simultáneamente se hizo lo mismo con la fruta del testigo. Las larvas se colocaron por separado en recipientes de plástico con vermiculita húmeda para promover la pupación a  $26 \pm 1^\circ\text{C}$ . Después de 8 d con un tamiz se separaron las pupas de la vermiculita y se cuantificó el número de larvas muertas y pupas formadas (deformes y normales). Las pupas normales continuaron en los recipientes y después de 18 d se revisaron para cuantificar el número de adultos emergidos. Esta fase concluyó cuando se irradió un total de 20,359 larvas.

**Calidad de la fruta irradiada.** Las pruebas de fitotoxicidad se realizaron con naranjas Var. "Valencia" con madurez comercial y recién cosechadas. La fruta se dividió en 5 grupos de 100 kg cada uno. La fruta a irradiarse se colocó en cajas de plástico y se irradiaron simultáneamente cuatro cajas por dosis. Se colocaron dos cajas

frente a la fuente de Cobalto 60 y una caja a cada costado de la fuente. Cada lote de fruta se irradió a 100, 250, 600 y 1,000 Gy y se manejó un testigo para todas las dosis.

Se determinó el efecto del tratamiento después de un almacenamiento a 15°C y 94% H. R. por 12 días. Los parámetros evaluados a nivel consumidor fueron: color, olor, sabor del jugo y firmeza del fruto (textura). Para lo cuál se utilizó una escala hedónica de acuerdo a la metodología descrita por Bustos (1987), con los siguientes valores: disgusta extremadamente (1), disgusta mucho (2), disgusta moderadamente (3), disgusta ligeramente (4), ni gusta, ni disgusta (5), gusta ligeramente (6), gusta moderadamente (7), gusta mucho (8), y gusta extremadamente (9).

**Análisis de datos.** Las larvas tratadas que no dieron origen a adultos se consideraron como insectos muertos, la mortalidad natural fue corregida usando la fórmula de Abbot (Abbot, 1925) y los resultados obtenidos fueron analizados usando un modelo Probit (Proc Probit, SAS Institute, 1992). Los datos de los parámetros de la calidad de la fruta fueron analizados como bloques completamente al azar (Cochran y Cox, 1983).

## RESULTADOS

**Fase de laboratorio.** La emergencia de adultos disminuyó significativamente conforme se incrementó la dosis de irradiación, de tal manera que cuando se aplicaron 2, 5 y 7 Gy la emergencia fue de 80.2, 77.2 y 71.0%, respectivamente. A 10 Gy, la emergencia fue de 61.9%. Con 15 y 20 Gy se redujo a 44.3 y 27.7%, respectivamente, con 40 Gy la emergencia sólo fue de 1.5%. Las larvas irradiadas entre 60 y 150 Gy no dieron origen a adultos (Cuadro 1). Se observó que hay una relación directa entre la dosis de radiación y la respuesta de las larvas, es decir, que a mayor dosis hay mayor mortalidad larvaria. Utilizando el concepto de larvas muertas para aquellas que no dieron origen a adultos (Figura 1).

Para inhibir la emergencia de adultos irradiando larvas de tercer estadio de *A. ludens* en naranjas se requirió una dosis de 43.9 Gy, la cual se estableció como  $DE_{95}$  (Dosis Efectiva para inhibir la Emergencia en 95%). Para alcanzar la  $DE_{99}$  se requirió una dosis de 73.2 Gy, y al sustituir los datos de la ecuación obtenida del análisis Probit ( $\gamma = 1.608 + 3.067\chi$ ;  $\chi^2 = 9.48$ ; 4 G.L.), se determinó que es necesario aplicar 85.3 Gy para alcanzar la  $DE_{99.9968}$  conocida como Probit 9.

**Fecundidad y fertilidad de adultos provenientes de larvas irradiadas.** La fecundidad de adultos provenientes de larvas irradiadas hasta 10 Gy no sufrió cambios significativos durante 12 d de oviposición. Las hembras obtenidas de larvas irradiadas a 15 y 20 Gy registraron una menor fecundidad que aquellas moscas obtenidas de larvas tratadas con menor dosis de radiación. En las dosis más altas, que son 25 a 40 Gy, se observó una disminución significativa de la fecundidad, las hembras que

provinieron del 17.9 y 10.8% de emergencia respectivamente no ovipositaron (Cuadro 1). Esto posiblemente se debió a que estas hembras tuvieron una longevidad menor a los 10 días, tiempo que requiere esta especie para su madurez sexual (Dickens *et al.*, 1982). Aunque al realizar la disección de las moscas se observó que los ovarios no presentaron malformación en su anatomía.

### Cuadro 1

Emergencia, fecundidad y fertilidad de adultos de *A. ludens* obtenidos de larvas de tercer estadio irradiadas con Cobalto 60 a diferentes dosis en naranjas infestadas.

Tratamientos (Gy)	Larvas irradiadas	Emergencia* (%)	Total de huevos/hembra	Eclosión (%)
Testigo	1623	86.7	262	85.1
2	1716	80.2	272	82.8
5	2112	77.2	258	78
7	1756	71	261	73.4
10	1891	61.9	254	71
15	1931	44.3	143	40
20	1521	27.7	48	2
25	1654	17.9	0	0
30	1759	10.8	0	0
40	1788	1.5	0	0
60	1716	0	0	0

\* Datos corregidos por la fórmula de Abbot.

En lo que se refiere a la fertilidad ocurrió algo semejante, es decir, las hembras obtenidas de las larvas irradiadas a 2 Gy tuvieron una fertilidad muy similar a la del testigo, pero la fertilidad observada en huevos de hembras que emergieron de larvas irradiadas a 10 Gy fue de 71% y en las que se trataron a 20 Gy fue de solo 2% (Cuadro 1). Esto indicó que la fertilidad disminuyó al incrementar la dosis de radiación.

Toledo, Bustos y Liedo: Irradiación de naranjas infestadas con *Anastrepha ludens*

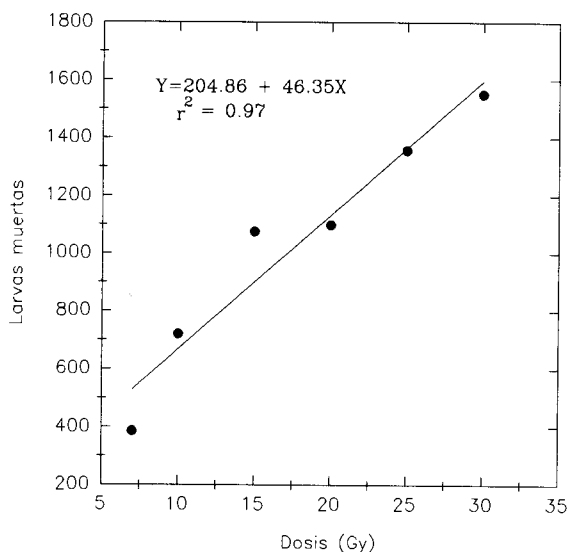


Figura 1. Mortalidad de larvas de tercer estadio de *A. ludens* al irradiar con Cobalto 60 a diferentes dosis en naranjas infestadas.

**Fase confirmatoria.** De acuerdo con los resultados de la fase de laboratorio, al sustituir los datos en la ecuación, se determinó que con una dosis de 85.3 Gy se inhibe la emergencia de adultos de *A. ludens* en un 99.9968%. Debido a que los resultados de este estudio se van a aplicar a escala comercial, por lo que, como medida de seguridad, regularmente se incrementa la dosis en un 15%, se decidió incrementar la dosis a 100 Gy.

**Cuadro 2**

Emergencia (%) de adultos de *A. ludens* obtenidos de larvas de tercer estadio irradiadas con 100 Gy en naranjas infestadas.

Parámetros evaluados	Larvas del testigo	Larvas irradiadas
Larvas observadas	8476	20359
Larvas muertas	55	405
Pupas no emergidas	1695	19359
Adultos emergidos	7181	0
Emergencia (%)	85	0



En esta fase se observaron 20,359 larvas irradiadas y no se registró emergencia de adultos. En la población de larvas que se manejó como testigo (8,476 larvas), la emergencia de adultos fue de 84.7%, lo cuál estuvo de acuerdo con los requisitos exigidos para estos tipos de estudios (Cuadro 2).

**Calidad de la fruta irradiada.** En el Cuadro 3 se reportan los valores promedio de las pruebas sensoriales y los consumidores expresaron agrado moderado por el color de las naranjas irradiadas hasta la dosis de 1000 Gy y las no irradiadas. El rango de la escala promedio para este parámetro fue entre 6 (gusta ligeramente) y 7 (gusta moderadamente), las pequeñas diferencias que se registraron no fueron significativas ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 3**

Evaluación sensorial de naranjas Var. "Valencia" irradiadas y almacenadas por 12 días a 15°C. Los valores son promedios de 25 encuestas. Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales ( $p \leq 0.05$ ).

Dosis (Gy)	Color	Olor	Sabor	Firmeza
Testigo	6.68 n.s.	5.92 n.s.	5.80 a	5.00 a
100	6.75 n.s.	5.94 n.s.	5.80 a	5.00 a
250	6.76 n.s.	5.96 n.s.	5.92 a	5.00 a
600	6.48 n.s.	5.84 n.s.	4.88 b	4.65 a
1000	6.88 n.s.	6.36 n.s.	4.96 b	4.10 b

En cuanto al olor de las naranjas irradiadas no se detectaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) por efecto del tratamiento. El rango de calificaciones para todas las muestras se mantuvo entre 5.92 a 6.36, lo que significó que el olor gustó ligeramente (6).

Se registró una ligera pérdida de sabor en el jugo de naranjas irradiadas en el intervalo de 600 y 1000 Gy, comparado con el valor registrado en el jugo de naranjas irradiadas a 100 y 250 Gy, y del testigo. Los valores promedios para las dos dosis más altas indicaron que el sabor del jugo ni gusta ni disgusta (5) y para el jugo de naranjas irradiadas a dosis bajas y las del testigo tuvieron una calificación que equivale a gusta ligeramente (6). De acuerdo al análisis estadístico esta diferencia sí fue significativa ( $p \leq 0.05$ ).

La firmeza de los frutos descendió a partir de 600 Gy, aunque solo en las naranjas irradiadas a 1000 Gy se observó una pérdida de firmeza con una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) comparada con las naranjas del grupo del testigo y con las

irradiadas a 100 y 250 Gy (Cuadro 3).

## DISCUSIÓN

La eficacia de la radiación como tratamiento cuarentenario contra moscas de la fruta es evitar la formación de la pupa, pero se requieren dosis muy altas por lo que se afecta la calidad de la fruta (Faria, 1989). Sin embargo, un criterio viable es prevenir la emergencia de adultos como se determinó en este trabajo.

Los resultados de este estudio tienen cierta similitud con los obtenidos por Bustos *et al.* (1992) y Casimiro (1995) quienes reportaron que cuando irradiaron mangos infestados con larvas de tercer estadio de *A. obliqua* (Macquart), *A. serpentina* (Wied.), *A. ludens* y *Ceratitis capitata*, la emergencia se inhibió con 40 Gy. Estos autores reportaron que cuando hay diferencias en el tamaño de los insectos la respuesta del organismo al efecto de la radiación es diferente. Para larvas de tercer estadio de *C. capitata* en mangos se requirió aplicar 120 Gy para inhibir la emergencia de adultos, en cambio para larvas de tercer estadio de *A. ludens* se logró el mismo efecto con sólo 40 Gy (Bustos *et al.*, 1992). Posiblemente las mayores dosis requeridas por *C. capitata* comparada con *A. ludens* se debió a que la primera especie tiene un tiempo de desarrollo más corto (Liedo y Carey, 1996), por lo que su metabolismo de formación de nuevos órganos y el de diferenciación celular es más rápido, por lo que el daño a nivel cromosómico es menor (Bustos *et al.*, 1992).

Costa (1990) reportó que para inhibir la emergencia de adultos de *C. capitata* en naranjas y mandarinas infestadas con larvas de 8 d de edad se requirió aplicar 200 Gy. En cambio para papayas, la dosis para inducir el mismo efecto en esta especie fue de 244 Gy (Faria, 1989). Pero para inducir la muerte inmediata de la larva de 8 d de edad fue necesario aplicar 1,190 Gy, dosis que resultó ser muy alta y no es atractiva porque afecta la calidad de la fruta, principalmente de aquellas que son más radiosensibles.

En lo que se refiere a la fecundidad los resultados de este trabajo tuvieron una tendencia similar, aunque con menor dosis, a la que reportaron Seo *et al.* (1973) para *C. capitata*, *Bactrocera (Dacus) dorsalis* Hendel y *B. (Dacus) curcubitae* Coquillett cuando irradiaron papayas y berenjenas con dosis de 225 a 244 Gy. También la eclosión de los huevos obtenidos de moscas provenientes de larvas irradiadas se redujo de manera significativa a medida que la dosis de irradiación se incrementó.

Es importante hacer notar que los adultos que se obtuvieron de larvas tratadas a 25 y 30 Gy, a pesar de que registraron una longevidad muy reducida comparada con la longevidad de los adultos de los otros tratamientos y del testigo, no mostraron deformaciones evidentes, por lo que no presentaron impedimentos manifiestos, contrario a lo reportado por Burditt y Hungate (1988) para adultos de *Rhagoletis indifferens* Curran, y Seo *et al.* (1973) para tres especies de moscas de la fruta en

donde los adultos que emergieron de larvas irradiadas presentaron deformaciones evidentes en sus partes bucales, antenas y en las alas, lo cual pudo estar relacionado directamente al efecto deletéreo sobre su fecundidad y longevidad. En este aspecto los resultados de esta investigación concordaron en parte a los que reportó Bustos *et al.* (1992), quienes obtuvieron resultados muy similares para *A. obliqua* y *A. serpentina*, y la mosca del Mediterráneo, *C. capitata*, y Casimiro (1995) hizo la misma observación al irradiar mangos infestados con larvas de *A. ludens* de tercer estadio.

Si las dosis de radiación que se proponen como tratamiento cuarentenario son bajas, además, si el proceso se lleva a cabo en condiciones de una atmósfera adecuada y la fruta a irradiar se encuentra en el estado fisiológico óptimo, los cambios inducidos por efecto del tratamiento se pueden reducir a niveles no detectables. Pues está demostrado que a 100 Gy la calidad de varias especies de frutas no sufre daño en su calidad (Bustos *et al.*, 1993; Toledo, 1989; Costa, 1990) y es una dosis que está por abajo de la dosis máxima permisible (1,000 Gy) para tratar frutas y vegetales frescos (FDA, 1984). Lo que permitió concluir que el color, olor y la firmeza de las naranjas irradiadas hasta 1,000 Gy y almacenadas por 12 días a 15°C son de la misma calidad que al de las naranjas no irradiadas. A partir de 600 Gy el sabor del jugo empieza a ser de menor calidad que el de los frutos no irradiados, pero es una dosis demasiado alta comparada con la dosis que se determinó para inhibir la emergencia de adultos.

Adicionalmente, productos químicos como el Bromuro de Metilo, utilizado en el tratamiento cuarentenario postcosecha contra moscas de la fruta por el riesgo que representan para la salud, su aplicación ha sido severamente limitada y cuestionada por lo que no se descarta la posibilidad de prohibir su uso. Otros métodos como el uso de aire caliente forzado o temperaturas frías (0-3°C, por 10 o 22 días) afecta la calidad de las frutas y son demasiado costosos debido al consumo de energía (Gaffney y Armstrong, 1990; Jessup, 1994). Por lo que en el presente trabajo se indica de manera concluyente la alta eficiencia del uso de la radiación como tratamiento cuarentenario de naranjas con madurez comercial. La emergencia de adultos se logró inhibir totalmente con 85.3 Gy y la calidad de la fruta no se vio afectada a 100 Gy, dosis que se propone para el tratamiento cuarentenario de naranjas y también puede aplicarse a otras frutas hospederas de moscas de la fruta que estén sujetas a cuarentena.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Ramón Cartujano, Agner López y Oscar Villatoro por su colaboración durante el trabajo experimental. A William de la Rosa, por su apoyo para el análisis gráfico. A los dos revisores anónimos por sus observaciones y sugerencias que contribuyeron a mejorar de manera importante este artículo. El trabajo se realizó con apoyo del Departamento de Desarrollo de Métodos y el de

Irradiación del Programa Moscamed (SAGAR-USDA).

LITERATURA CITADA

- ABBOT, W. S. 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18: 265-267.
- (APHIS) ANIMAL AND PLANT HEALTH INSPECTION. 1996. The application of irradiation to phytosanitary problems. *Federal Register*, 1996: 24433-24439.
- BAKER, A. C. 1939. The basis of treatment of products where fruit flies are involved as a condition for entry into the United States. *U.S.D.A., Circular* 551: 1-7.
- BENSCHOTER, C. A., AND C. TELICH, 1964. Effects of gamma rays on immature stages of the Mexican fruit fly. *Journal of Economic Entomology*, 57: 690-691.
- BOLLER, E. F. 1968. An artificial oviposition device for European cherry fruit fly, *Rhagoletis cerasi*. *Journal of Economic Entomology*, 61: 850-852.
- BURDITT, A. K., JR. AND F. P. HUNGATE. 1988. Gamma irradiation as a quarantine treatment for cherries infested by Western Cherry Fruit Fly (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 81: 859-862.
- BUSTOS, R. E. 1987. *Aplicación de la irradiación para la desinsectación de mango* (Mangifera indica L.) *Kent y naranja* (Citrus sinensis O.) Valencia. Tesis de Maestría en Ciencias. Escuela Nacional de Fruticultura. CONAFRUT. México. 77 pp. + anexos.
- BUSTOS, R. E., W. ENKERLIN, J. TOLEDO, J. REYES Y A. CASIMIRO. 1992. Irradiation of mangoes as a quarantine treatment, pp. 77-90. In: *Use of irradiation as a quarantine treatment of food an agricultural commodities*. IAEA. Vienna.
- BUSTOS, R. E., J. TOLEDO AND W. ENKERLIN. 1993. Evaluation of irradiation parameters in the quarantine treatment of Mexican mangoes, pp. 329-335. In: *Cost benefit aspects of food irradiation processing*. IAEA. Vienna.
- CASIMIRO, G., A. 1995. *Irradiación de mangos infestados con Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) como tratamiento cuarentenario. Tesis de Licenciatura. Univ. Autón. Chiapas. México. 42 pp.
- COCHRAN, W. G. Y G. M. COX. 1983. *Diseños experimentales*. Ed. Trillas, México. 661 pp.
- COSTA, N. 1990. *Desinfestação de laranjas e tangerinas* (Citrus spp.) *Atacadas pela mosca-do-Mediterrâneo, Ceratitis capitata* (Wied., 1924) (Diptera: Tephritidae), *através de radiação gama* (Co-60), *para fins de exportação*. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidade de São Paulo, Brasil. 86 pp.
- DICKENS, J. C., E. SOLIS Y W. G. HART. 1982. Sexual development and mating behavior of the Mexican fruit fly, *Anastrepha ludens* (Loew). *The Southwestern Entomologist*, 7: 9-15.
- FARIA, J., T. 1989. *Radiação gama como um processo quarentenário para Ceratitis capitata* (Wied., 1924) *e Anastrepha fraterculus* (Wied., 1830) (Diptera: Tephritidae) *em mamão papaya* (Carica papaya L.) *Cultivar Sunrise Solo*. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidade de São Paulo, Brasil. 182 pp.
- FINNEY, D. J. 1971. *Probit analysis*. 3d. Ed. Cambridge University. Cambridge. England.
- (FDA) FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. 1984. Irradiation in the production processing and handling of food: Proposed rule. *Federal Register*, 49: 5713.
- FREEMAN, R. AND J. R. CAREY. 1990. Interaction of host stimuli in the ovipositional response of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Environmental Entomology*, 19: 1075-1080.
- GAFFNEY, J. J. AND J. W. ARMSTRONG. 1990. High temperature forced hot air research facility for heating fruits for insects quarantine treatments. *Journal of Economic Entomology*, 83: 1959-1964.
- HALLMAN, G. J. 1999. Ionizing radiation quarantine treatments tephritid fruit flies. *Postharvest Biology Technology*, 16: 93-106.
- HERNÁNDEZ-ORTIZ, V. Y M. ALUJA. 1993. Listado de especies del género neotropical *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) con notas sobre su distribución y plantas hospederas. *Folia Entomológica Mexicana*, 88: 89-105.
- (INEGI) INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. 1999. *Anuario Estadístico de*

*los Estados Unidos Mexicanos*. Edición 1999. México.

- LIEDO, P. AND J. R. CAREY. 1996. Demography of fruit flies and implications to action programs. pp. 299-308. In: B. A. MCPHERON AND G. J. STECK (Eds.). *Fruit fly Pests: A world Assessment of their Biology and Management*. St. Lucie Press, Florida, USA.
- NORRBOM, A. L. AND K. C. KIM. 1988. A list of the reported host plants of the species of *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae). *United States Department of Agriculture (APHIS-PPQ)*. 81-52: 114 pp.
- RAGA, A. 1990. *Uso da radiação gama na desinfestação de mangas destinadas à exportação em relação a Ceratitis capitata (Wied., 1924), Anastrepha fraterculus (Wied., 1830) e Anastrepha obliqua (Macquart, 1835) (Diptera: Tephritidae)*. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidade de São Paulo, Brasil. 134 pp.
- REYES, P. 1995. Estudio beneficio/costo de la Campaña Nacional contra Moscas de la Fruta. pp. 75-82. In: *Memorias del VIII Curso Internacional sobre Moscas de la Fruta*. Centro Internacional de Capacitación en Moscas de la Fruta. Metapa de Domínguez. Chiapas, México.
- SAS INSTITUTE. 1992. *SAS user's guide, versión 6.04*. SAS Institute, Cary, N. C.
- SEO, S. T., R. M. KOBAYASHI, D. L. CHAMBERS, A. M. DOLLAR, AND M. HANAOKA. 1973. Hawaiian fruit flies in papaya, bell pepper, and eggplant: Quarantine treatment with gamma irradiation. *Journal of Economic Entomology*, 66: 937-939.
- SHARP, J. L., M. T. OUYE, S. J. INGLE, W. G. HART, W. R. ENKERLIN, H. CELEDONIO H., J. TOLEDO A., L. STEVENS, E. QUINTERO, J. REYES, AND A. SCHWARS. 1989. Hot-water quarantine treatment for mangoes from the State of Chiapas, Mexico, infested with Mediterranean fruit fly and *Anastrepha serpentina* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 82: 1663-1666.
- TOLEDO, A., J. C. FONG G. Y W. ENKERLIN. 1989. Irradiación gamma (Co60) como tratamiento postcosecha para chicozapote infestado por *Anastrepha serpentina* Wied. (Diptera: Tephritidae), pp. 1-10. In: *Memorias del III Seminario Nacional sobre Irradiación de Alimentos*. México.
- ZAVALA, J. L., M. M. FIERRO, A. J. SCHWARZ, D. H. OROZCO, AND M. GUERRA. 1985. Dosimetry practice for irradiation of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wied.). pp. 23-30. In: *High-dose Dosimetry*. IAEA, Vienna.

Recibido: 9 de mayo del 2000

Aceptado: 2 de abril del 2001