

CONTROL GENÉTICO

La utilización de mecanismos genéticos o de la herencia con fines de control de plagas es más un motivo de especulación teórica que de aplicación práctica. Existen sólo posibilidades remotas de explotar casos de incompatibilidad citoplásmica entre diferentes razas de insectos (WHO 1967) y de producción de híbridos estériles (Whitten 1970). El único caso práctico considerado en esta forma de Control es la *Técnica de Insectos Estériles*.

TÉCNICA DE INSECTOS ESTÉRILES

Esta técnica consiste en esterilizar un gran número de insectos para que compitan en apareamiento con los insectos normales en una población natural. Como consecuencia, la población natural se reduce o pierde su capacidad de reproducción. La magnitud de la pérdida de la capacidad de reproducción está en relación con la proporción de insectos esterilizados y su capacidad de competencia, respecto a los insectos normales presentes.

En la mayoría de los casos la técnica está orientada a la esterilización de los machos, aunque en el proceso mismo de la esterilización el efecto se produce en ambos sexos. Debido a que en este sistema de control de plagas se utilizan individuos de la misma especie, se dice que el método es *autocida*. El término *autocida* se usa también para la incompatibilidad citoplásmica y la producción de híbridos infértiles entre insectos de la misma especie.

La técnica de insectos estériles comenzó a desarrollarse en la década de 1950, cuando se logró la erradicación de la mosca de la miasis del ganado *Cochliomyia hominivorax* (Coq.) de la Isla de Curazao, frente a Venezuela. En un comienzo la técnica fue concebida como un método de erradicación pero las experiencias de los años posteriores han demostrado que este objetivo es muy difícil de alcanzar. En la actualidad se tiende a utilizar el método como una alternativa a los métodos convencionales de control, aunque normalmente resulta más costoso. En una época, contó con el apoyo entusiasta de la Comisión Internacional de Energía Atómica y otros organismos internacionales.

Métodos de esterilización

La Esterilización de los insectos se obtiene mediante radiaciones y con esterilizantes químicos.

Esterilización por irradiación

La esterilización de los insectos puede lograrse con las radiaciones ionizantes de los rayos X y con los rayos gamma.

La esterilización con rayos X se conoce desde el año 1916 cuando se observó que esta radiación causaba la esterilización del escarabajo del tabaco *Lasioderma serricorne* (E.). En 1950 los rayos X se utilizaron para irradiar las

pupas de la mosca *Cochliomyia hominivorax* con buenos resultados.

La utilización de los rayos gamma resulta más fácil y económica gracias al desarrollo de los radio-isótopos artificiales, que producen un mayor volumen de radiación. Los isótopos más comúnmente usados como fuentes de rayos gamma son el Cobalto-60, con una vida media de 5.3 años y el Cesio-137 con una vida media de 30 años. Las unidades de tratamiento pueden consistir en una fuente de radiación que se eleva para irradiar el material contenido en una cámara; o, por el contrario, la cámara de tratamiento es subterránea y el material a irradiar se baja hacia ella por dispositivos especiales. Otras unidades de tratamiento, generalmente más pequeñas, son de tipo horizontal.

En general los insectos holometábolos son irradiados en forma de pupas aprovechando que en este estado los insectos son fácilmente manipulables y tolerantes a las radiaciones. La tolerancia se incrementa con la edad de la pupa lo que permite provocar la esterilización del insecto sin que se afecten apreciablemente otras condiciones del adulto. Cuando se irradian huevos, larvas o pupas muy jóvenes se producen altas mortalidades en esos mismos estados.

La esterilidad de los machos puede ser debida a: (a) aspermia (falta de esperma), (b) mutaciones letales dominantes en el esperma y (c) inactividad del esperma. El efecto logrado está, hasta cierto punto, relacionado con el estado de desarrollo del insecto durante la radiación. En general es preferible que la capacidad de formación del esperma no sea alterada, salvo que el acto de cópula en sí sea suficiente para que la hembra no acepte otras cópulas. La radiación de pupas de mosca mediterránea con 8,000 a 10,000 roentgen produce machos estériles cuyos espermatozoides son predominantemente móviles (Steiner y col. 1962; Simón y col. 1972).

Esterilización química

Ciertos compuestos químicos son capaces de causar esterilidad de los insectos. Este efecto puede deberse a las siguientes mecanismos: (a) aspermia o falta de óvulos (*esterilizantes antimetabolitos*), (b) muerte del óvulo o del esperma después de haberse formado y (c) producción de mutaciones letales dominantes en el esperma o en los óvulos (*agentes alkilantes*). Esto último es lo más deseable pues en estas condiciones los machos resultan mejores competidores de las poblaciones normales que en los otros casos. En algunas especies y con algunos productos esterilizantes el efecto de esterilización puede ser permanente y en otros casos sólo temporal.

Los *antimetabolitos* son sustancias que producen síntomas similares a la ausencia de metabolitos específicos esenciales para el desarrollo de las células, en este caso de las células germinativas. Entre los numerosos compuestos antimetabolitos están las purinas y las pirimidinas.

Los *agentes alkilantes* son compuestos capaces de reemplazar el hidrógeno de una molécula orgánica por grupos alquílicos; como consecuencia, el

esperma sufre defectos genéticos que evitan el desarrollo del cigote después de la fertilización. Entre los agentes alquilantes está el importante grupo de las azarinas al cual pertenecen los compuestos afomida, afólate, tepa, metepa, tio-tepa y tetramina.

El tratamiento con los esterilizantes varía en las diversas especies de insectos. El proceso más simple es la inmersión de pupas en el compuesto esterilizante por un tiempo determinado. La esterilización en el estado adulto es más complicada debido a que los insectos adultos son normalmente muy activos y susceptibles a dañarse cuando están muy aglomerados. La esterilización puede ser por contacto en adulto recién emergidos o por ingestión del producto esterilizante. Los esterilizantes químicos son fácilmente absorbidos y muy peligrosos; pueden causar esterilización, cáncer y teratogenesis o deformaciones congénitas en los humanos. Se buscan nuevos productos que no tengan estas características.

Modalidades de la técnica de esterilización

La técnica de insectos estériles presenta dos modalidades: (a) la esterilización de los insectos criados en el laboratorio y (b) la esterilización de una población natural en el campo. La primera técnica es la única que se utiliza en la actualidad. ;

Esterilización de los insectos de laboratorio

La técnica de insectos estériles utilizando insectos criados en el laboratorio comprende tres fases: (a) la crianza masal del insecto, (b) la esterilización de los insectos y (c) en liberación en el campo. Para que la crianza masal sea factible, con una producción de millones de insectos por semana, los insectos deben de tener un ciclo relativamente corto; el medio de crianza o dieta debe ser artificial, y los diversos pasos de la producción deben tener cierto grado de automatización.

No todas las especies de insectos tienen la potencialidad de ser controlados con la técnica de insectos estériles. Entre las características que deben tener las especies para ofrecer posibilidades de control por esta técnica están las siguientes:

- Que el insecto pueda ser criado fácil y económicamente en forma masal.
- Que el insecto adulto no constituya por sí mismo una molestia O cause daños importantes. Sería contraproducente liberar especies como moscas caseras, grillos, langostas o arrebiatados por los perjuicios que estos insectos causan directamente.
- Que los adultos tengan fácil y rápido desplazamiento debiendo mezclarse uniformemente con la población natural, con cuyos individuos han de competir.
- Que las hembras copulen preferiblemente una sola vez mientras que los machos puedan hacerlo varias veces. Por racionios teóricos se ha llegado a la conclusión que esta característica no es tan decisiva como se le consideró al comienzo.

- Que las técnicas de crianza y esterilización no causen apreciable pérdida de vigor, de longevidad, ni de competitividad copulatoria del insecto, ni cambie su comportamiento.
- Que la especie tenga una gran importancia económica.
- Que la población de la plaga sea baja o susceptible de ser disminuida mediante otros métodos, como aplicaciones previas de insecticidas; pues el número de insectos estériles que se liberan debe sobrepasar por muchas veces el número de la población natural.
- Que el área de infestación se encuentre aislada a fin de evitar reinfestaciones, sobre todo cuando se trata de un programa con propósitos de erradicación.

Entre las especies que reúnen un buen número de estas características están algunas especies de moscas, como las moscas que atacan al ganado y las moscas de la fruta. En algún momento también se consideró a la polilla de la manzana y a otros insectos.

Esterilización de la población natural

Si se dispusiera de un producto esterilizante de insectos que resulte inocuo para las personas y animales, podría efectuarse la esterilización de un gran porcentaje de la población mediante la aplicación de aspersiones o cebos apropiados. Los insectos esterilizados de esta manera entrarían en competencia copulatoria con los insectos que no llegaron a ser esterilizados. Esta técnica sería muy superior al método antes descrito, porque no sólo se ahorran los gastos de crianza y del equipo de irradiación, sino que se produce un doble efecto directo de la esterilización sobre la población y luego el efecto adicional de la competencia de los individuos estériles con los normales. La comparación de la efectividad teórica de las dos modalidades de la técnica de insectos estériles se presenta en el Cuadro 11. En la actualidad todavía no se ha desarrollado un producto económico y seguro que permita la aplicación de este sistema.

En el cuadro indicado se parte de una población inicial de 1 '000,000 de insectos con una tasa de incremento de 5X, es decir que la población se quintuplica en cada generación, hasta llegar a una máxima densidad sostenible en el campo de 125'000,000. Si se liberan 9'000,000 de insectos estériles cuando en el campo existe 1'000,000 individuos, las probabilidades de que individuos normales copulen con individuos estériles será de: 9/10. Esto produce una neutralización de 900,000 individuos de la población normal, quedando solo 1/10 de la población, o sea 100,000 individuos fértiles que se quintuplican al pasar a la segunda generación, dando lugar a 500,000 individuos. Si se liberan nuevamente 9'000,000 de individuos estériles, la neutralización de la población será de $(9/9.5) 500,000$ individuos (=473,684) lo que equivale a dejar a 26,316 individuos normales con la capacidad de quintuplicarse. En la siguiente generación la reducción será de 129,673 individuos dejando 1,907 individuos normales. En la cuarta generación se habría logrado la erradicación de la población.

En el caso de la esterilización química, si se esteriliza el 90 por ciento de la

población inicial en el campo se tendrá 900,000 individuos estériles y 100,000 individuos normales. Por competencia con los individuos estériles, los insectos normales reducen su capacidad de reproducción en la proporción de 9/10 lo que equivale a que sólo 10,000 individuos queden con la capacidad de reproducirse normalmente. Primero se ha tenido una reducción del 90 por ciento del 10 por ciento restante, lo que hace una reducción total del 99 por ciento de la población inicial. Este efecto se repite en cada generación. A la cuarta generación se habría producido la erradicación de la población.

Algunas limitaciones prácticas del método

El modelo teórico se basa en que los individuos esterilizados son totalmente competitivos con los individuos normales y se encuentran uniformemente distribuidos dentro de la población natural. En la mayor parte de los casos parece que tales conjeturas no se cumplen satisfactoriamente. Ha sido demostrado que la crianza de insectos en condiciones de laboratorio puede afectar las cualidades de la población (Cisneros 1971). Por otro lado, el proceso de esterilización normalmente afecta la competitividad de los individuos, inclusive cuando ésta se establece en condiciones de laboratorio. Las irradiaciones de 8 a 10 kr., disminuyen la aptitud de apareamiento de la mosca mediterránea, siendo mayor la disminución con la dosis más alta (Simón y col. 1972).

En condiciones de laboratorio, moscas mediterráneas estériles y normales en proporción de 30:1, registran una reducción de la viabilidad de huevos de 60 a 80 por ciento (Ramos y González 1968), lo que no es suficiente para reducir la población normal. En la proporción de 50:1 la viabilidad se reduce a 0.2 - 0.6 por ciento (Simón y col. 1972). Si estos son los resultados en laboratorio, es de suponerse que en condiciones de campo las formas estériles se encuentran todavía más desfavorecidas tanto por su competencia de apareamiento como por su distribución. Además, un porcentaje de individuos mueren durante el proceso de liberación.

Para determinar la cantidad de insectos estériles que debe liberarse hay que conocer previamente el número de insectos normales que se encuentran en el campo. Esta evaluación suele ser muy compleja. Entre los métodos que se emplean se encuentran el trapeo directo de la población y el método del marcado-liberación y recaptura.

Otro problema con el método es que cualquier error en el proceso que produzca una esterilización incompleta tendría consecuencias catastróficas en el campo. Es necesario controlar en forma continua la efectividad de la esterilización mediante copulaciones cruzadas entre los machos irradiados y las hembras normales y entre las hembras irradiadas y los machos normales, debiendo registrarse la fertilidad correspondiente.

Aplicaciones prácticas o casos de la técnica de esterilización

En diversas partes del mundo se han efectuado campañas de control de plagas mediante la liberación de insectos estériles. Entre los casos más conocidos están los siguientes:

Campaña contra la mosca de la miasis del ganado:

El éxito más notable del uso de la técnica de insectos estériles es indudablemente la erradicación de la mosca de la miasis del ganado, *Cochliomyia hominivorax*, de la Isla de Curazao, frente a las Costas de Venezuela, y de algunas áreas del sur de los Estados Unidos en la década de 1950. La liberación de 38 a 150 machos estériles/semana/km² fue suficiente para lograr el éxito. Desde al año 1962 se estableció en la frontera entre Méjico y los Estados Unidos un sistema de protección contra la invasión de esta plaga hacia el norte, liberando moscas estériles en una franja de 100 a 450 km. de ancho por 1,800 km. de largo. En el año 1972, las condiciones moderadas del invierno favorecieron el desarrollo de las moscas que lograron desbordar la línea de defensa. Para evitar estos problemas en 1974 se inició una gigantesca campaña destinada a erradicar la plaga del territorio mejicano hasta el Istmo de Tehuantepec, que tiene 220 km. de ancho, y establecer allí una nueva franja de protección (Lindstrom 1974).

Campañas contra las moscas de la fruta

En el año 1959 se inició un programa con el objeto de erradicar la mosca mediterránea de un área de las islas de Hawaii llegándose a reducir las poblaciones hasta un 90 por ciento en promedio pero sin alcanzar la erradicación. La plaga regresó a su nivel de infestación normal en el período de 3 meses, correspondientes a dos generaciones (Steiner y col. 1962).

Otro ensayo se inició en 1963 en Punta Arenas, Costa Rica, sobre una pequeña área, de aproximadamente 2.5 Km². registrándose una fuerte reducción de la infestación, pero sin alcanzar su erradicación (Katiyar 1965).

En Israel se ha tratado de erradicar la mosca mediterránea de las áreas citricolas por la técnica de machos estériles (Nadel 1965). Aparentemente no se ha logrado este objetivo pues años más tarde Cohén (1969) refiere que el método de aspersiones de cebos tóxicos se emplea en ese país con todo éxito para combatir esta plaga.

En Méjico se han llevado a cabo algunos trabajos contra la mosca mejicana *Anastrepha ludens* Loew con éxito parcial. Aparentemente las grandes poblaciones naturales y la falta de aislamiento dificultaron las operaciones (La Chance y otros, 1967).

Se ha señalado como un éxito la erradicación de la mosca oriental de la fruta, *Dacus dorsalis* Hendel en la Isla de Guam, en el Pacífico; sin embargo, no se han disipado las dudas sobre si el éxito se debió a la liberación de los machos estériles o a los tifones de fines de 1962 y principios de 1963 que devastaron la producción frutícola de la isla (Steiner 1969). Un esfuerzo similar que se había hecho previamente en la isla de Rota había fracasado.

En 1975 se detectó un foco inicial de infestación de mosca mediterránea en el área urbana de Los Angeles, California, Estados Unidos, que fue neutralizado con liberaciones masivas de moscas estériles. Entre 1975 y 1976 se liberaron más de 600 millones de moscas estériles en un área de 100 millas cuadradas.

Campaña contra las moscas de la fruta en el Perú

En 1965 se iniciaron programas de aplicación de la técnica de insectos estériles contra la mosca mediterránea en el Perú, Italia, España y Costa Rica. En el Perú el programa se concentró en el pequeño valle de Moquegua, al sur del país.

La mosca mediterránea de la fruta en el país constituye un problema serio; se le detectó en Huánuco el 1955 y desde entonces ha invadido prácticamente todos los valles del país, habiendo llegado a desplazar en importancia a la mosca sudamericana de la fruta *Anastrepha fraterculus* en el sur. Pero éstas no son las únicas especies de moscas de la fruta en el país. Sólo en el noroeste del Perú se han detectado 35 especies de moscas del género *Anastrepha* (Korytkowski y Ojeda 1968).

El Programa Nacional estuvo orientado a la erradicación de la mosca mediterránea pero también se hicieron estudios preliminares sobre la utilización de esta técnica contra la mosca sudamericana (González y col. 1971). En el año 1973 el programa tenía una capacidad de liberación de 4 millones de moscas semanales y se construyeron instalaciones para producir 10 veces más, lo que no llegó a concretarse por diversas razones. Entre tanto el objetivo de erradicación fue cambiado por el de buscar un control económico de la mosca mediterránea. Un informe del Programa (Simón y col. 1972) señala la aplicación exitosa de la técnica en el valle de Moquegua, con una eficiencia del 97.5 por ciento y la considera más conveniente que el método de cebos tóxicos al que le atribuye un control de solo 90 por ciento, muy por debajo de lo obtenido en otros valles y en otros países (Cohen 1969).

De llegarse a erradicar a la mosca mediterránea en el valle de Moquegua, por la técnica de insectos estériles o de reducir substancialmente su población en forma permanente, queda latente el peligro que la mosca sudamericana vuelva a tomar la importancia económica que tenía antes de ser desplazada por la mosca mediterránea.

La aplicación de esta técnica a nivel nacional presenta una serie de dificultades. Supongamos por un momento que el problema de la mosca de la fruta en el Perú se restringe a la mosca mediterránea. Dada la dispersión de los frutales en todos los valles del país, el área para cubrir sería tan grande que es dudoso pensar que algún día pueda contarse con la producción de insectos y la infraestructura necesaria para su dispersión en todos los valles. Si el programa fuera parcial los problemas de cuarentena interna para evitar rápidas infestaciones serían muy difíciles de resolver.

Más grave aún es que el problema de la mosca de la fruta no se restringe a la mosca mediterránea sino que existen también otras especies de moscas del género *Anastrepha* con incidencia variable según las regiones y las plantas hospederas. Por un fenómeno ecológico conocido como *desplazamiento forzoso de los homólogos ecológicos*, confirmado en nuestro medio por el desplazamiento de *Anastrepha fraterculus* por *Ceratitis capitata* en los valles del sur, las especies que hoy día han sido desplazadas y no tienen mayor importancia económica pueden tenerla en cuanto desaparezca el competidor que los reprime. Ante esta situación habría que criar, esterilizar y liberar

varias especies, y repartirlas en todo el país; algo cerca de lo imposible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CISNEROS, FAUSTO H. 1971. Contribution to the biological and ecological characterization of apple and walnut host races of codling moth. *Laspeyresia pomonella* (L). Tesis sin publicar. Univ. de California. Riverside 162 p.
- COHEN. I. 1969. Biological control of citrus pest in Israel. Proceedings. First Intern. Citrus Symp. 2: 769-772.
- GONZALEZ B., JUAN; CARLOS VARGAS V. y BENJAMIN JARA P. 1971. Estudios sobre la aplicación de la técnica de machos estériles en el control de la mosca sudamericana de la fruta, *Anastrepha fraterculus* (Wied). Rev. Peruana de Entomol. 14(1):66-86.
- KATIYAR, K.P. 1965. Possibilities of eradications of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* Wied. from Central America by gamma irradiated males. Proc. IV InterAmerican Symp. on the "Peaceful application of Nuclear Energy", Ciudad de Méjico, Washington, D.C. Pam American Union. 211-217.
- KNIPLING, K.P. 1965. Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterile males. J. Econ. Ent. 48 (4): 459-462.
- KNIPLINO, E.F. 1955. The potencial role of the sterility method for insect population control with special reference to combining this method with conventional methods. U.S. Dpt. Agriculture. ARS 33-98, 54 pp.
- KORYTKOWSKI G., CHESLAVO Y DAVID OJEDA P. 1968. Especies del género *Anastrepha* Schiner 1868 en el Noreste peruano. Rev. Peruana de Entomol. 11 (1): 32-70.
- LA CHANCE, L.E., C.H. SCHMIDT, y R.C. BUSHLAND. 1967. Radiation-induced sterilization. *En: Pest Control, Biological, Physical, and Selected Chemical Methods*. Editado por W.W. Kilgore y R.L. Doutt. 147-196.
- LINDSTROM, LEN. 1974. Nuevo ataque contra el gusano barrenador. El Surco Latinoamericano 79 (3): 22-23.
- RAMOS E.A. Y J. GONZALEZ B. 1968. Informe anual del Departamento de Entomología de la Estación Experimental del Ministerio de Agricultura en la Molina. Perú. 155-156 y 177-187.
- SIMÓN F., J.E., A. RAMOS F., O. VELARDE R. y P.M. GONZALEZ A. 1972. Investigaciones sobre control de *Ceratitidis capitata* Wied. por la técnica de insectos estériles en Moquegua. Perú. Rev. Peruana de Entomol. 15 (1): 1-21.
- STEINER, L.F. 1969 (a) Control and erradication of fruit flies on citrus Proc. First Intern. Citrus Symp. 2: 881-887.
- STEINER, L.F. 1969 (B) Mediterranean fruit fly research in Hawaii for the sterile-fly release program. IAEA-P.P.S., STI/PUB/222.
- STEINER, L.F. y L.D. CHRISTENSON. 1956. Potential usefulness of the sterile fly release method in fruit fly erradication programs. Proc. Hawaiian Acad. Sci. 31° Annual Meeting 1955-1956: 17-18.
- STEINER L.F., E.J. HARRIS, W.C. MITCHELL, M.S. FUJIMOTO y L.D.

- CHRISTENSON. 1965. Melon fly-eradication by overflooding with sterile flies. *J. Econ. Entomology*. 58 (3): 519-522.
- STEINER, L.F., W.C. MITCHELL, y A.H. BAUMHOVER. 1962. Progress of fruit fly control by irradiation sterilization in Hawaii and the Mariana Islands. *Internal. J. Appl. Radiation Isotopes* 13: 427-434.
- WHITTEN, J.M. 1970. Genetics of pests in their management. *En Concepts of Pest Management*. North Carolina State University editado por R.L. R.L. Rabb y F.E. Guthrie. 199-137.
- WHO REPORT. 1967. Genetics of vectors and insecticide resistance. Appendix A. *En Genetics of insect Vectors of Diseases*. Editado por J. Wright y R. Pal. Elsevier. Londres.
- YASUMATSU KEIZO. 1969. Biological control of citrus pests in Japan. *Proc. First Intl. Citrus Symp. Vol 2: 773-780*.