

Determinación de la competitividad de insectos estériles por regresión lineal

M. MUÑIZ

En este trabajo se propone un método para estimar la competitividad de insectos estériles en el laboratorio mediante rectas de regresión, utilizando las transformaciones basadas en la respuesta cuantitativa a partir de las distribuciones normal (análisis de «probit»), logística (análisis de «logit») y angular (análisis de «anglit»). Si las expresiones matemáticas del método de FRIED (1971) se corrigen introduciendo la respuesta natural, se determina más exactamente la competitividad.

M. MUÑIZ. Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC). C/ Serrano, 115. Dpto. 28006 Madrid.

Palabras clave: Competitividad, insectos estériles, regresión lineal, «probit, logit, anglit».

INTRODUCCION

Uno de los requisitos fundamentales para que la técnica de machos estériles sea eficaz en la lucha contra insectos-plaga, es que el comportamiento sexual de los adultos procedentes del laboratorio que se liberen en el campo sea competitivo con el de los insectos de la misma especie existentes en las zonas naturales. Sin embargo, las técnicas de esterilización, tanto con radiaciones ionizantes como con quimioesterilizantes, producen una alteración significativa de ciertos procesos vitales que inciden negativamente en dicho comportamiento. Ello implica la cría masiva en el laboratorio de la especie objeto de estudio y la liberación de un número elevado de machos estériles, de forma que la proporción de éstos a normales sea siempre mayor que uno; la estimación más exacta posible de esa proporción es fundamental para que se produzcan los efectos deseados, ya sea la erradicación de la

plaga o el mantenimiento de la misma a niveles que no produzcan daño económico.

La cría continuada de insectos en el laboratorio bajo condiciones artificiales, durante muchas generaciones, introduce ciertos factores que inciden negativamente en su evolución posterior en el campo (capacidad de dispersión, agresividad sexual, longevidad, etc.), por lo que es fundamental el desarrollo y puesta a punto de técnicas para lograr una adaptación rápida de la especie a esas condiciones (MUÑIZ, 1984, 1987, 1991).

Entre los métodos para determinar la competitividad de insectos tratados con agentes esterilizantes, el de FRIED (1971) es el más conocido y utilizado por los investigadores en el campo de la entomología experimental. Este autor estableció la hipótesis básica de que cualquier factor que afecte a la competitividad total se refleja en el porcentaje de eclosión de huevos (o en el número de huevos eclosionados), cuando los machos tratados compiten con los normales en la cópula.

El propósito de este trabajo es modificar el método de FRIED para calcular la competitividad, introduciendo la respuesta natural en los cálculos, y proponer uno nuevo mediante regresión lineal utilizando las transformaciones «probit», «logit» y «anglit» basadas en la respuesta cuantil.

METODOLOGIA DE CALCULO

Método de FRIED

Se supone que existen N_n machos y hembras normales (sin esterilizar) y N_e machos estériles totalmente competitivos; el porcentaje de eclosión debido a los cruces entre machos y hembras normales es:

$$\frac{N_n}{N_n + N_e} \quad E_n$$

y el debido a los cruces entre machos estériles y hembras normales:

$$\frac{N_e}{N_n + N_e} \quad E_e$$

siendo E_n y E_e los porcentajes de eclosión que se obtienen en el 1.º y 2.º caso respectivamente.

El porcentaje de eclosión total será la suma de ambas expresiones:

$$E = \frac{N_n \cdot E_n + N_e \cdot E_e}{N_n + N_e} \quad (1)$$

De aquí se deduce que la proporción N_e/N_n necesaria para obtener E será:

$$\frac{N_e}{N_n} = \frac{E_n - E}{E - E_e}$$

Es decir, se calcula la razón de machos estériles totalmente competitivos a normales, en presencia de N_n hembras, que dará lugar a un porcentaje de eclosión obtenido en el laboratorio (E).

Por último, esa razón dividida por la utilizada experimentalmente es la competitividad relativa (c).

$$c = \frac{E_n - E}{E - E_e} : \frac{N_e}{N_n} \quad (\text{real}) \quad (2)$$

Si los machos son parcialmente competitivos:

$$E = \frac{N_n \cdot E_n + N_e \cdot E_e \cdot c}{N_n + N_e \cdot c} \quad (3)$$

siendo c el factor de competitividad, comprendido entre 0 y 1.

A partir de la expresión (3) se pueden construir tantas curvas como se desee sin más que fijar E_n y E_e y dar distintos valores a N_e y c , con $N_n = 1$; en la figura 1 se han representado sólo algunas para hacer más clara su observación.

Si en (1) se sustituyen las eclosiones E , E_n y E_e por sus equivalentes en términos de mortalidades, $100 - M$, $100 - M_n$ y $100 - M_e$, se obtiene:

$$E = \frac{N_n \cdot M_n + N_e \cdot M_e}{N_n + N_e} ; \quad \frac{N_e}{N_n} = \frac{M - M_n}{M_e - M}$$

y la competitividad será:

$$c = \frac{M - M_n}{M_e - M} : \frac{N_e}{N_n} \quad (\text{real}) \quad (4)$$

Análogamente, si los machos son parcialmente competitivos:

$$M = \frac{N_n \cdot M_n + N_e \cdot M_e \cdot c}{N_n + N_e \cdot c} \quad (5)$$

Mediante esta expresión se construye una familia de curvas complementarias a las de la Figura 1, fijando M_n y M_e y dando distintos valores a N_e y c , siendo $N_n = 1$ (Figura 2).

Modificaciones al método de FRIED

Para determinar la competitividad de forma más exacta, es necesario tener en cuenta que la mortalidad obtenida en el laboratorio con los cruces de machos estériles y hembras normales, no es debida solamente al tratamiento con el agente esterilizante, sino que incluye también la del control o mortalidad natural. Por ello, los

valores de M obtenidos con (5) se han de corregir con la fórmula de ABBOTT (1925):

$$M_c = \frac{M - M_n}{1 - M_n}$$

siendo M_c la mortalidad corregida. Por tanto, la nueva razón de machos estériles a normales será, para $c = 1$:

$$\frac{N_e}{N_n} = \frac{M_c - M_n}{M_e - M_c};$$

y la competitividad:

$$c = \frac{M_c - M_n}{M_e - M_c} : \frac{N_e}{N_n} \text{ (real)} \quad (6)$$

De igual forma se pueden considerar eclosiones corregidas, $E_c = E/E_n$ (MÚÑIZ y BURGOS, 1982). Así, la mortalidad M_c , o la eclosión E_c , son debidas únicamente al efecto del tratamiento, en este caso del agente esterilizante (FINNEY, 1971; GIL y MÚÑIZ, 1979).

Regresión lineal

Normalmente, las expresiones que relacionan las dosis aplicadas a un lote de seres vivos con la respuesta de éstos (en general porcentajes de mortalidad) son muy complicadas y responden a curvas sigmoideas asimétricas en las que el punto de inflexión

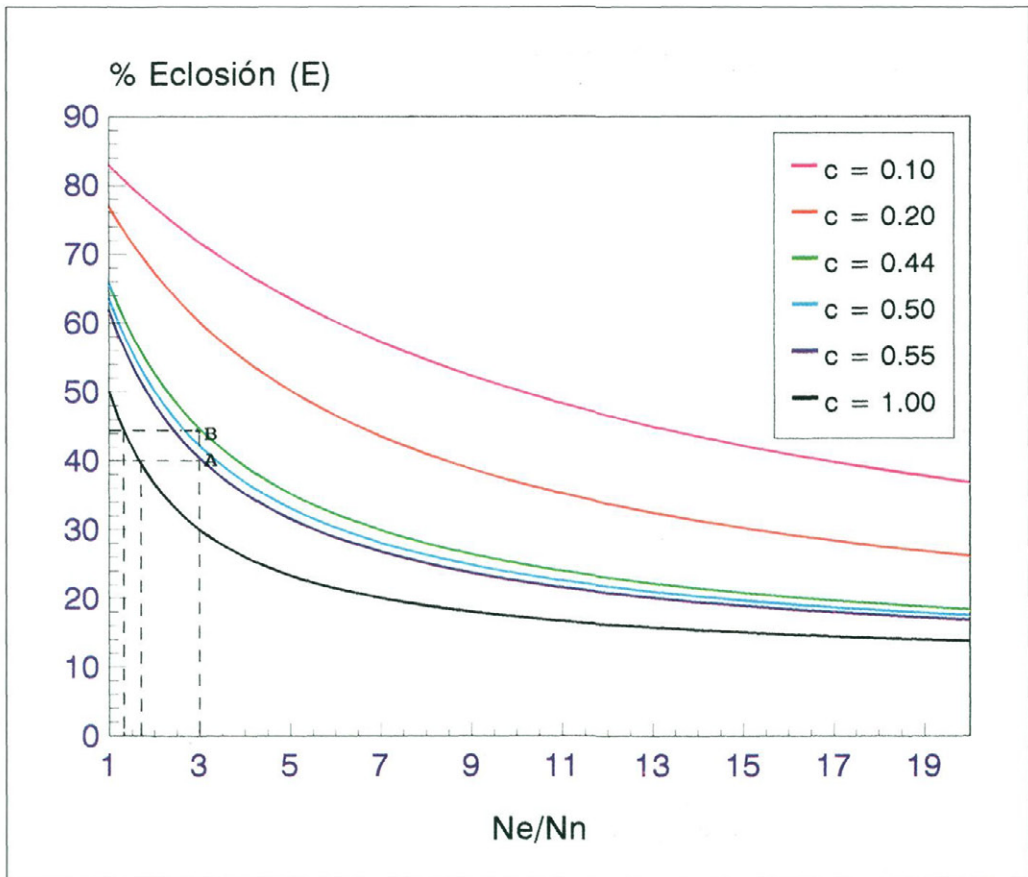


Fig. 1.-Variación del porcentaje de eclosión de huevos con la razón de machos estériles a normales, para distintos valores del factor de competitividad.

corresponde a un porcentaje de respuesta inferior al 50 %. Sin embargo, si se representan esos porcentajes frente a los logaritmos decimales de las dosis, esas curvas se convierten en sigmoideas simétricas (normales), con el punto de inflexión en el nivel del 50 % de respuesta. Pero si además, los porcentajes de respuesta se transforman en unidades de probabilidad, se obtienen rectas, lo que supone una gran ventaja al determinar dosis efectivas medias, potencias relativas, etc. (FINNEY, 1973; GIL y MUÑOZ, 1975, 1978, 1979; HEWLETT y PLACKETT, 1979; MUÑOZ y GIL, 1984).

En el caso de la esterilización de insectos, cuando se cruzan machos tratados con hembras sin tratar, de forma que la razón de machos estériles a normales aumenta pro-

gresivamente, se produce una disminución de los valores de eclosión de huevos respecto a los controles (Figura 1) o un incremento de su mortalidad (Figuras 2 y 3). Si mediante las distribuciones normal, logística y angular, se transforman los porcentajes de mortalidad corregida en sus respectivas unidades de probabilidad «probits», «logits» y «anglits» y se representan gráficamente frente a los logaritmos decimales de N_e/N_n , se obtienen las curvas de la Figura 4, con una tendencia claramente rectilínea. Ajustando estos pares de valores por regresión lineal, se determinan las rectas $y = a + bx$; mediante la que corresponde a $c = 1$ se calcula la razón de machos estériles totalmente competitivos a normales que dará un porcentaje de mortalidad corregida de huevos,

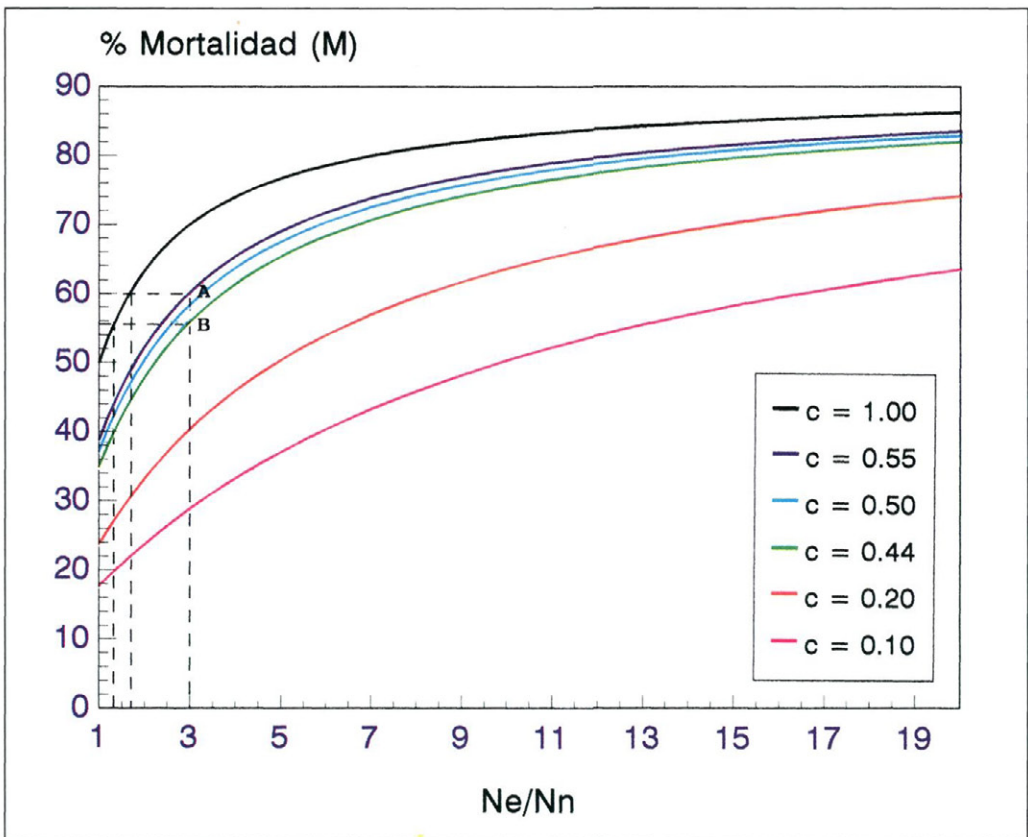


Fig. 2.—Variación del porcentaje de mortalidad de huevos con la razón de machos estériles a normales, para distintos valores del factor de competitividad.

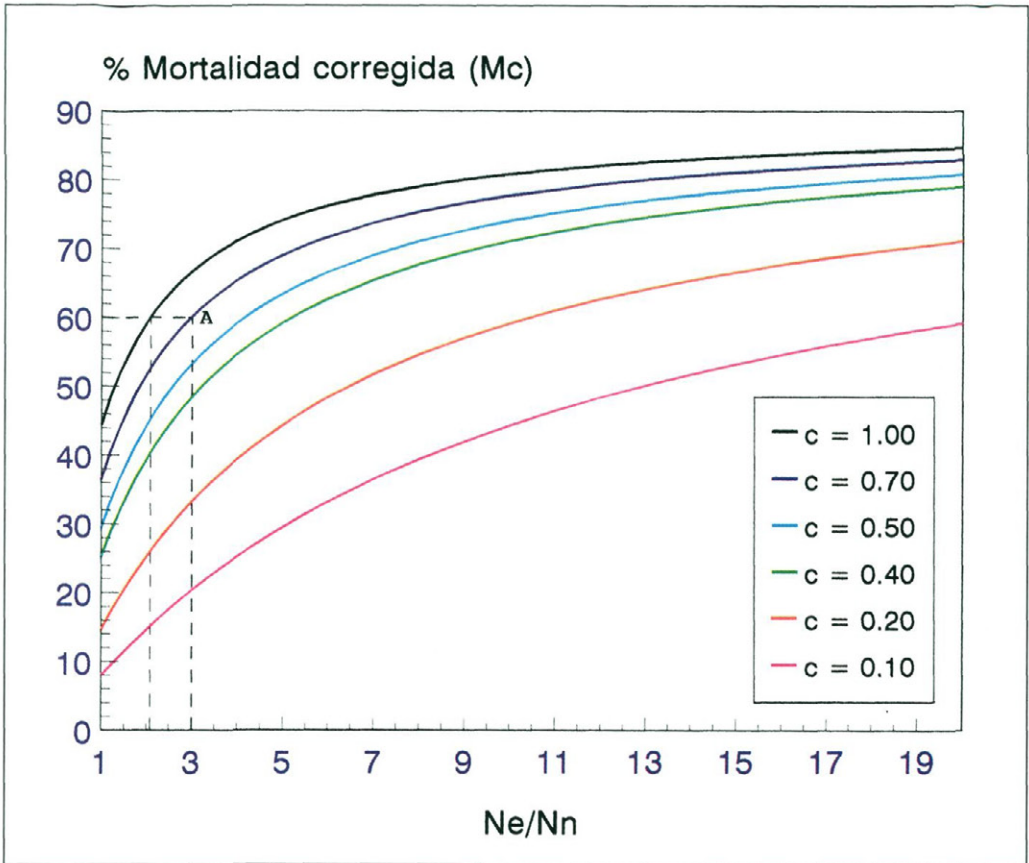


Fig. 3.—Variación del porcentaje corregido de mortalidad de huevos con la razón de machos estériles a normales, para distintos valores del factor de competitividad.

Mc. Dividiendo ese valor por la razón Ne/Nn utilizada experimentalmente se obtendrá la competitividad, c .

RESULTADOS Y DISCUSION

Para comparar los resultados obtenidos con estos métodos se consideran los mismos datos que tuvo en cuenta FRIED, es decir, los obtenidos por WALKER y BRIENDLEY en 1963 con *Ostrinia nubilalis* (Hübner): $En = 90\%$, $Ee = 10\%$ y $E = 40\%$, con una razón experimental 3:1.

Según el método de FRIED, con estos valores es $Ne/Nn = 1.67$; Esto significa que una proporción de 1.67:1 machos totalmente

competitivos a normales daría lugar a un porcentaje de eclosión del 40%; como la razón utilizada experimentalmente (razón real) es 3:1 la competitividad será, según (2), $1.67:3 = 0.556$ (55.6%). Gráficamente se obtiene aproximadamente lo mismo en el eje de abscisas de la Figura 1 (1.68), trazando una vertical a partir del punto donde la horizontal que corresponde a $E = 40\%$ corta a la curva de $c = 1.00$; la competitividad será $c = 1.68:3 = 0.56$ (56%). Este valor se obtiene también con bastante aproximación en la intersección de la vertical trazada desde $Ne/Nn = 3$ con la horizontal correspondiente a $E = 40\%$ (punto A de la Figura 1; curva de $c = 0.55$).

Si a partir de las eclosiones obtenidas por

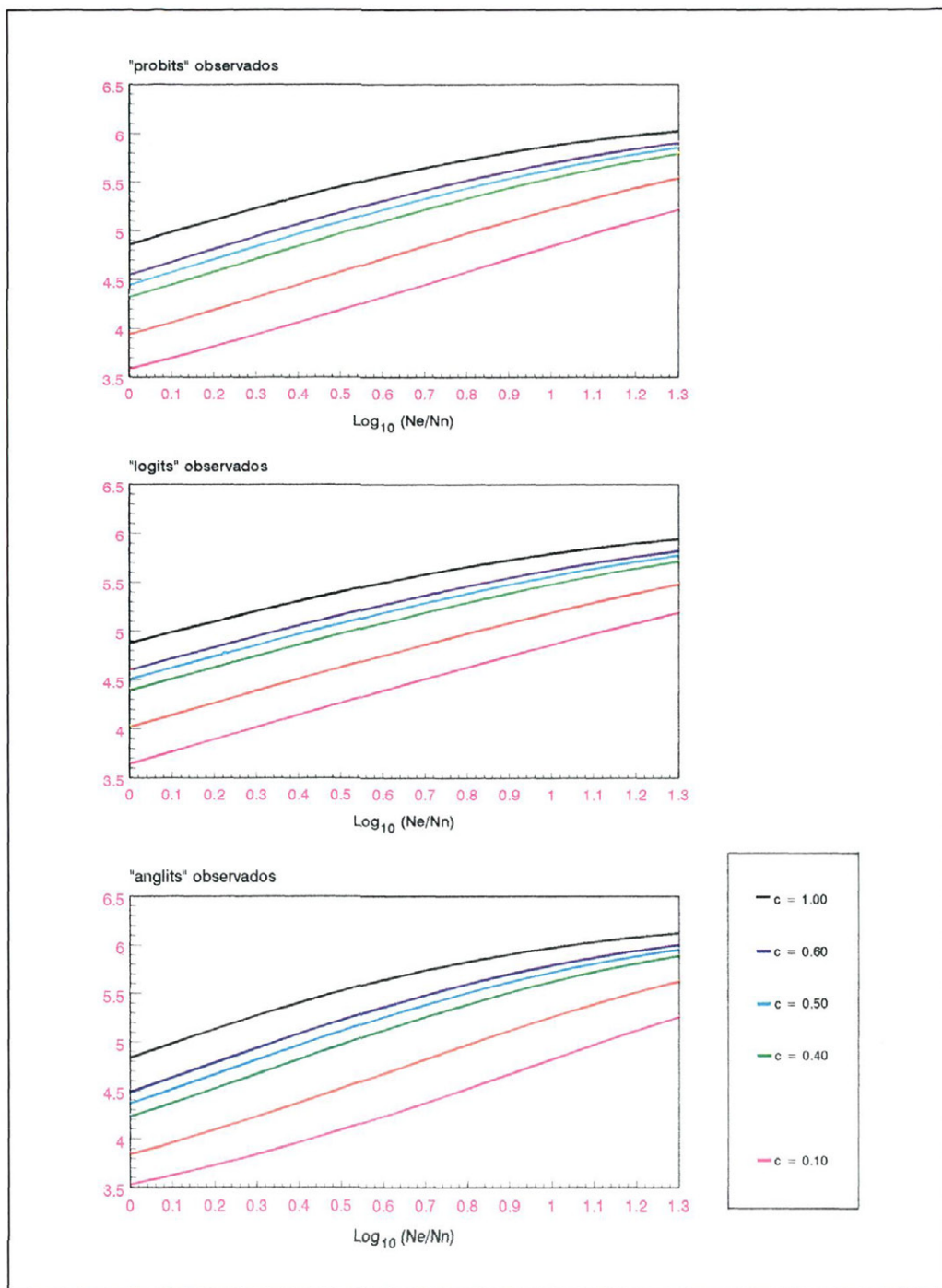


Fig. 4.-Variación del porcentaje corregido de mortalidad de huevos, expresado en unidades de probabilidad, con el logaritmo decimal de la razón de machos estériles a normales, para distintos valores del factor de competitividad.

WALKER y BRINDLEY se calculan las mortalidades, $M_n = 10\%$, $M_e = 90\%$ y $M = 60\%$, se pueden obtener los mismos resultados, ya sea aplicando la expresión (4) o con el mismo procedimiento gráfico (punto A de la Figura 2).

Aplicando la fórmula de ABBOTT, la mortalidad corregida es $M_c = 55.56\%$, y la razón de machos estériles a normales $N_e/N_n = 1.32$; por tanto, $c = 0.44$ (44 %) en lugar de 0.556 obtenido anteriormente; este valor también se confirma gráficamente (punto B de la Figura 2). Si en lugar de mortalidades corregidas se consideran eclosiones corregidas ($E_c = 44.44\%$) se obtiene también $N_e/N_n = 1.32$, y $c = 0.44$; el punto B de la Figura 1 corresponde asimismo a la curva de $c = 0.44$. El valor de la competitividad obtenido así es más exacto, ya que se ha tenido en cuenta la mortalidad natural. Si la mortalidad del 40 % se debiera solamente al tratamiento, es decir, si $M_c = 60\%$, el valor de M obtenido a partir de la fórmula de ABBOTT es 64 %, y la razón de machos estériles a normales 2.08; la competitividad sería $2.080 : 3 = 0.692$ (69.2 %) en lugar de 0.55. Esto mismo se puede obtener con la Figura 3 en el punto A, que corresponde a la curva de $c = 0.7$, o al dividir por 3 el valor de N_e/N_n que resulta al trazar la perpendicular desde el punto en que la horizontal correspondiente a $M_c = 60$ corta a la curva de $c = 1$. Con las Figuras 1 y 2 se puede determinar también ese valor considerando

que $E = 36\%$ y $M = 64\%$ respectivamente.

Si los porcentajes de mortalidad calculados con la expresión (5) para diferentes valores de N_e y c se corrigen con la fórmula de ABBOTT y se calculan los «probits», «logits» y «anglits» con las tablas de transformación (FISHER y YATES, 1963; GIL y MÚÑIZ, 1978), se pueden ajustar a una regresión lineal, obteniéndose las rectas $y = a + bx$, siendo $x = \log_{10} (N_e/N_n)$, con un coeficiente de correlación, r , significativo al nivel de probabilidad del 99.99 % en todos los casos para 38 grados de libertad. Los parámetros de esas rectas, para las tres unidades de probabilidad, se dan en el Cuadro 1.

Para estimar la competitividad, se parte de las rectas correspondientes a $c = 1.00$ (Figura 5); se calcula la mortalidad corregida con la fórmula de ABBOTT ($M_c = 55.56\%$) y se transforma en las tres unidades de probabilidad, obteniéndose «probit» = 5.1398, «logit» = 5.1231 y «anglit» = 5.1630. Por tanto:

$$5.1398 = 4.9951 + 0.8596 x; \\ N_e/N_n = 1.4734; c = 0.4911 (49.11 \%)$$

$$5.1231 = 4.9836 + 0.7945 x; \\ N_e/N_n = 1.4982; c = 0.4994 (49.94 \%)$$

$$5.1630 = 5.0146 + 0.9382 x; \\ N_e/N_n = 1.4394; c = 0.4798 (47.98 \%)$$

es decir, se necesita aproximadamente una proporción de 1.5 : 1 machos estériles totalmente competitivos a normales para obtener

Cuadro 1.—Parámetros para las tres unidades de probabilidad

«probit»				«logit»			«anglit»		
c	a	b	r	a	b	r	a	b	r
0.10	3.5737	1.2797	0.9999	3.6826	1.1886	0.9997	3.4404	1.3884	0.9981
0.20	3.9741	1.2463	0.9994	4.0765	1.1206	0.9990	3.8385	1.4135	0.9995
0.30	4.2282	1.1858	0.9980	4.3091	1.0613	0.9980	4.1198	1.3529	0.9978
0.40	4.4091	1.1293	0.9961	4.4736	1.0098	0.9969	4.3327	1.2802	0.9952
0.50	4.5575	1.0699	0.9945	4.6005	0.9642	0.9958	4.5013	1.2093	0.9926
0.60	4.6750	1.0194	0.9928	4.7032	0.9235	0.9945	4.6394	1.1439	0.9899
0.70	4.7754	0.9717	0.9910	4.7892	0.8867	0.9933	4.7549	1.0852	0.9875
0.80	4.8576	0.9319	0.9893	4.8704	0.8447	0.9930	4.8540	1.0308	0.9850
0.90	4.9308	0.8940	0.9877	4.9271	0.8225	0.9908	4.9396	0.9822	0.9827
1.00	4.9951	0.8596	0.9862	4.9836	0.7945	0.9895	5.0146	0.9382	0.9806

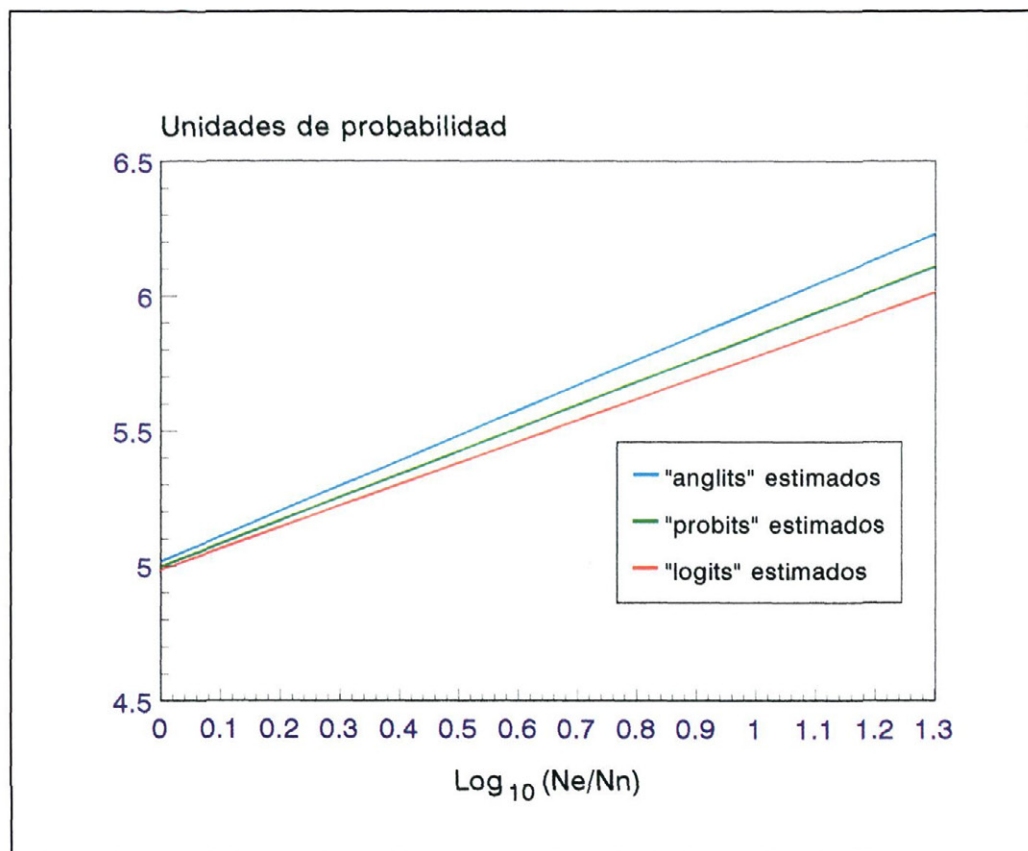


Fig. 5.—Variación del porcentaje corregido de mortalidad de huevos, expresado en unidades de probabilidad estimadas por regresión lineal, con el logaritmo decimal de la razón de machos estériles a normales, para valor 1 del factor de competitividad.

el mismo porcentaje de eclosión de huevos que con la razón 3 : 1 utilizada experimentalmente.

Si en lugar de mortalidades corregidas (M_c) se hubieran utilizado eclosiones corregidas ($E_c = 100 - M_c$), se habrían obtenido rectas de regresión con ordenadas en el origen $10 - a$ y pendientes negativas $-b$, ya que las unidades de probabilidad de un porcentaje y de su complementario suman 10, y los porcentajes de eclosión disminuyen en la misma proporción que aumentan los de mortalidad, cuando se incrementa N_e/N_n . Utilizando los mismos datos que antes se obtiene $E_c = 44.44\%$, que transformado en «probit», «logit» y «anglit» es 4.8602, 4.8769 y 4.8370 respec-

tivamente. Por tanto, las nuevas relaciones son:

$$4.8602 = 5.0049 - 0.8596 x;$$

$$4.8769 = 5.0164 - 0.7945 x;$$

$$4.8370 = 4.9854 - 0.9382 x;$$

a partir de las cuales se obtienen los mismos valores de c que los calculados con mortalidades corregidas.

Este método tiene la ventaja sobre los anteriores de que se determina la competitividad de forma más exacta, ya que tiene en cuenta la respuesta natural y se eliminan los errores que se pueden cometer con los métodos gráficos, sustituyendo éstos por rectas

de regresión, con valores altamente significativos de los coeficientes de correlación.

CONCLUSIONES

1. Para calcular la competitividad de insectos estériles por el método de FRIED, se considera necesario corregir con la respuesta natural los valores de mortalidad o

de eclosión de huevos obtenidos en los cruces entre machos estériles y hembras normales.

2. El método que se propone introduce la respuesta natural en los cálculos y tiene la ventaja sobre los anteriores de que se determina la competitividad de forma sencilla y más exacta mediante rectas de regresión, con valores altamente significativos de los coeficientes de correlación.

ABSTRACT

M. MÚÑIZ (1993). Determinación de la competitividad de insectos estériles por regresión lineal. *Bol. San. Veg. Plagas*, **19** (2): 285-293.

A new method to estimate sterile-insect competitiveness is proposed. The method is based on linear regression using transformations for quantal response in biological assays from normal distribution («probit» analysis), logistic distribution («logit» analysis) and angular distribution («anglit» analysis).

If the mathematical expressions of FRIED's method are corrected with the natural response, competitiveness for sterilized insects is more exactly estimated.

Key words: Competitiveness, sterile-insects, linear regression, quantal response, «probit», «logit», «anglit».

REFERENCIAS

- ABBOTT, W. S., 1925: A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.*, **18**: 265-267.
- FINNEY, D. J., 1971: *Probit analysis*. Third Edition. Cambridge University Press. London. 333 pp.
- FISHER, R. A. y YATES, F., 1963: *Tablas estadísticas*. Tercera edición. Aguilar, S. A., Madrid, 131 pp.
- FRIED, M., 1971: Determination of sterile-insect competitiveness. *J. Econ. Entomol.*, **61** (4): 869-872.
- GIL, A. y MÚÑIZ, M., 1975: Aplicación del método de máxima verosimilitud al análisis cuantil. *An. INIA/Ser. General*, **3**: 166-186.
- 1978: Nuevas transformaciones en experimentos biológicos basadas en la respuesta cuantal. *Bol. Serv. Plagas*, **4**: 89-229.
- 1979: Introducción de la respuesta natural en el tratamiento estadístico del análisis cuantal. *An. INIA/Ser. Gen.*, **6**: 113-136.
- HEWLETT, P. S. y PLACKETT, R. L., 1979: *The interpretation of quantal responses in Biology*. E. Arnold (Publishers) Limited. London. 82 pp.
- MÚÑIZ, M., 1984: Studies on a rapid adaptation of the Mediterranean fruit fly. **En: Proceedings of the CEC/IOBC «ad hoc» meeting**. Agosto, 1984. Hamburgo: 121-124.
- 1987: Laboratory studies on the adaptation of the Mediterranean fruit fly after one year of rearing under artificial conditions. **En: Proceedings of the CEC/IOBC International Symposium Fruit Flies of Economic Importance**. Abril, 1987. Roma: 585-588.
- 1991: *Sistema para la adaptación de Ceratitis capitata* Wied. al laboratorio. Patente de invención. N.º de publicación 2018970. CSIC.
- MÚÑIZ, M. y BURGOS, R., 1982: Estudio del comportamiento reproductor de *Ceratitis capitata* Wied. ante el tratamiento con 5-fluoruracilo y radiación gamma. *Graellsia*, **28**: 155-165.
- MÚÑIZ, M. y GIL, A., 1984: Modelos alternativos de respuesta cuantal en la acción conjunta de tóxicos. *Arch. de Farmacología y Toxicol.*, **10**: 1-12.

(Aceptado para su publicación: 26 octubre 1992)