

ESTIMACION DE LOS NIVELES DE DAÑO ECONOMICO PARA PLAGAS INSECTILES*

Allan J. Hruska**
Peter M. Rosset***

INTRODUCCION

Definición de una plaga

Un insecto herbívoro u otro organismo se constituye en una plaga cuando ha alcanzado un nivel poblacional que es suficiente para causar pérdidas económicas. La meta principal de la estimación de los niveles de daño económico ("economic injury levels") es definir "pérdida económica" para un cultivo dado y calcular el nivel poblacional de una plaga dada que provocaría tal pérdida.

Estimación de pérdidas

La estimación de las pérdidas en cultivos, provocadas por plagas insectiles, es el primer paso hacia la racionalización del combate de éstas. Una vez que son cuantificadas las pérdidas en diversos cultivos debidas a los distintos insectos, se puede priorizar el trabajo investigativo según la importancia económica que tienen las diferentes plagas. Además se pueden identificar problemas actuales de insectos antes no reconocidos como plagas, y de insectos que son objeto de muchas aplicaciones químicas a pesar de que no causan daños económicos. Finalmente los datos adquiridos permiten estimar el nivel de daño económico, obteniendo así información básica del manejo integrado de plagas.

CONCEPTO DEL NIVEL DE DAÑO ECONOMICO (NDE)

Definiciones: El nivel de daño económico y el umbral económico

Hay una gran confusión en la literatura entomológica entre el Nivel de Daño Económico (NDE) y el "Umbral Económico" ("economic threshold") o "Umbral de Acción" ("action threshold"). La

* Material preparado para el: "Curso/Taller sobre Estimación de los Niveles de Daño Económico para Plagas Insectiles". 24-28 Agosto, 1987. San José, Costa Rica, Proyecto MIP/CATIE/CR.

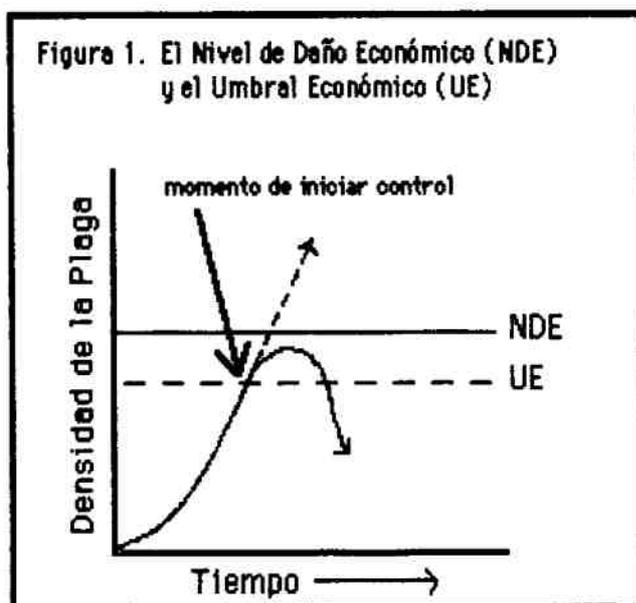
** Profesor, Escuela de Sanidad Vegetal, ISCA. Apartado 453, Managua, Nicaragua.

*** Coordinador, Proyecto MIP/CATIE/CR. Apartado 843-2050, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

tendencia ha sido la de usar estos términos como si fueran intercambiables, aunque en realidad son conceptos distintos. Recientemente se han publicado algunas revisiones de la literatura que aclaran esta situación (Poston et al., 1983; Andow y Kiritani, 1983; Pedigo et al., 1986).

El Nivel de Daño Económico es la densidad poblacional de plaga en la cual el costo del combate coincide con el beneficio económico esperado del mismo. La acción de control "salva" una parte del rendimiento, lo cual se hubiera perdido si no se hubiese implementado el control. Dicho "rendimiento salvado" tiene un valor monetario, que iguala al costo de implementar el control, si esto se hace cuando la densidad poblacional de la plaga alcanza el NDE. En otras palabras, el NDE es la densidad poblacional de la plaga donde el valor del rendimiento salvado cubre exactamente los gastos del control. Si la densidad de la plaga es menor, no sería rentable implementar el control.

El Umbral Económico (UE) o "umbral de acción" es generalmente definido como la densidad poblacional de la plaga donde el productor debe iniciar la acción de control para evitar que la población sobrepase el NDE en el futuro. Esto supone que hay un retraso entre la estimación de la densidad de la plaga (el "monitoreo") y el control de la plaga. Entonces el UE se encuentra a una densidad menor de la plaga que el NDE, para permitir el tiempo en que actúa el método del control (Figura 1).



El UE es sumamente difícil de estimar, porque depende de la futura dinámica poblacional de la plaga. Normalmente se requieren años de investigación para poder predecir el crecimiento de una población.

Se podría pensar en otros criterios potenciales para determinar un "umbral de acción". Su estimación podría depender, por ejemplo, de los factores subjetivos que incorpora el agricultor en su proceso de toma de decisiones, como de los recursos monetarios disponibles, el nivel de riesgo que él está dispuesto a aceptar, o el hecho de producir para autoconsumo versus de querer maximizar su ganancia, etc. Estos factores también son difíciles de cuantificar, y tampoco están realmente al alcance de nosotros.

En cambio el NDE es relativamente fácil de estimar, y nos podría servir como un primer paso o "umbral provisional" que divida las acciones de control en dos grupos: las que se implementan por debajo del NDE, **que no son rentables**; y las que se implementan del NDE para arriba, que sí **son rentables**. Esto quizás no indica la densidad "óptima" para iniciar un control, pero permite eliminar las aplicaciones no rentables y lógicamente innecesarias, "racionalizando" así el control químico. En este curso vamos a estimar los NDE's dejando la discusión de la estimación de los UE's o umbrales de acción, para el futuro.

Los componentes y cálculo del NDE

Volviendo a la definición del NDE,

"La densidad poblacional de la plaga en la cual el costo del control iguala al beneficio económico del control"

observamos que el NDE está compuesto por dos tipos de datos: datos biológicos provenientes de la experimentación, y datos económicos.

En la esfera biológica se ha de estimar 1) la relación entre la densidad poblacional de la plaga y el rendimiento del cultivo, y 2) la reducción de la densidad de la plaga ocasionada por el método de control (ej. una aplicación de un plaguicida). Los datos "económicos" que son necesarios son: 1) el precio de venta de cosecha (el valor), y 2) el costo del método de control (materia, maquinaria y mano de obra).

El NDE en su forma más sencilla está dado como la densidad de la plaga donde,

$$\text{Costo} = \text{Beneficio.}$$

Esta relación puede expresarse como,

$$C = mDSP,$$

donde C = el costo de control
m = la reducción en el rendimiento por unidad de plaga
D = la densidad poblacional de la plaga
S = el grado de supresión de la plaga efectuado por el control
P = el precio de venta de la cosecha

Al reflexionar queda claro que el término **mDS** representa el "rendimiento salvado" por unidad de plaga, debido a la aplicación del control. Al multiplicar esta cantidad por P se obtiene el valor monetario de dicho rendimiento salvado. Para calcular la densidad de plaga equivalente al NDE, se resuelve la ecuación para D, o sea,

$$NDE = D^* = C/mSP$$

Esta es la forma más sencilla de la relación; sin embargo diferentes autores presentan distintas formas de la ecuación que son superficialmente diferentes. Por ejemplo se utilizan diferentes nombres para las mismas variables. También suele suponerse que la supresión de la plaga siempre es de 100%, y en tal caso no aparece S como variable. Algunos autores utilizan porcentajes para la supresión de la plaga, prefieren otras proporciones. A veces se habla en términos de rendimiento absoluto, a veces de "rendimiento perdido", o del "porcentaje del rendimiento perdido" (Rosset, 1986; Pedigo *et al.* 1986; etc.). Todas estas variaciones son válidas y no deben oscurecer la relación básica.

Ejemplo 1: 100% Supresión de la Plaga

Si el control es 100% efectivo (Hruska, 1987), la ecuación se reduce a:

$$C = mDP,$$

y el NDE a,

$$NDE = D^* = C/mP$$

Ejemplo 2: Porcentaje del Rendimiento Perdido

En lugar de hablar de rendimientos absolutos (ej. 1000 Kg/ha), se podría hablar del porcentaje de rendimiento perdido como consecuencia de la acción de la plaga (ver Figura 4). En estos casos las variables de interés son:

- C = costo de control
- m = porcentaje de reducción en el rendimiento por unidad de plaga
- D = densidad poblacional de la plaga
- S = grado de supresión de la plaga efectuado por el control
- P = precio de venta de la cosecha
- R = rendimiento del cultivo esperado en la ausencia de la plaga

Ahora **mDS** representa el **porcentaje** del rendimiento "salvado", y el **NDE** es la densidad de la plaga donde,

$$C = [mDSPR] / 100$$

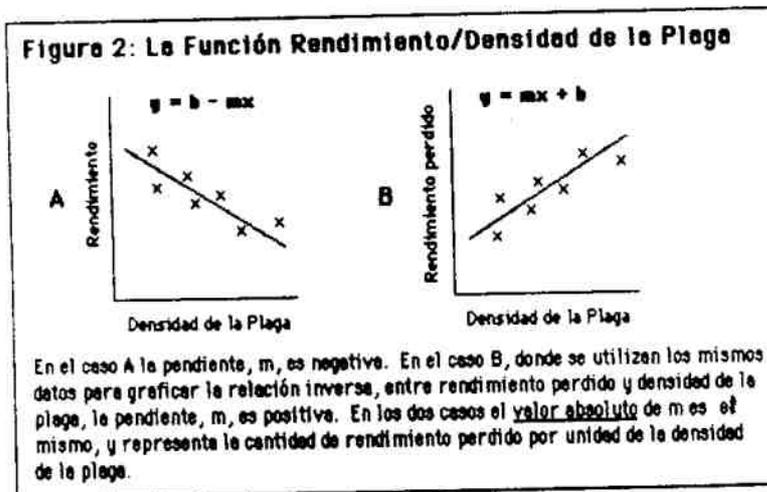
(se divide por 100 para convertir el porcentaje en proporción), y,

$$NDE = D^* = C(100) / [mSPR]$$

Este es el mismo análisis que presenta Rosset (1986), aunque se utilizan diferentes letras para representar las variables.

La relación entre la densidad de la plaga y el rendimiento

En las ecuaciones anteriores se utilizó la constante **m**, que representa la reducción causada en el rendimiento por "unidad" de la plaga. Esta constante se obtiene de la función que relaciona **Rendimiento/Densidad de la Plaga** ("yield/pest density function"), donde **m** es el valor absoluto de la pendiente de la línea que representa la relación entre el rendimiento del cultivo y la densidad de la plaga (ver Figura 2). La función es la ecuación de **regresión** entre las variables densidad y rendimiento. En algunos casos se supone una relación no lineal entre rendimiento y densidad (ver anexo).

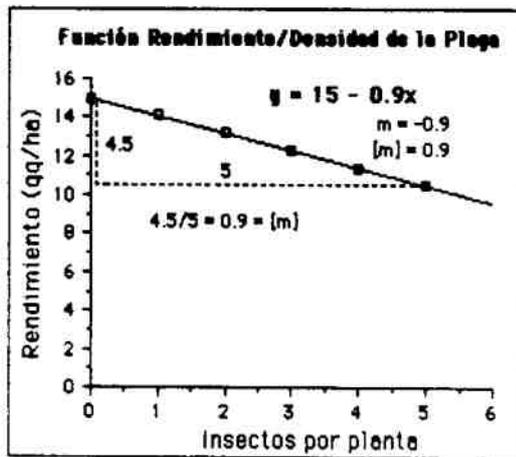


Ejemplo 3: El Cálculo del NDE

En un experimento hipotético obtuvimos los siguientes valores

<u>Numero de insectos por planta</u>	<u>Rendimiento qq/ha</u>
0	15.0
1	14.1
2	13.2
3	12.3
4	11.4
5	10.5

De estos valores se calcula **m**, la reducción del rendimiento por unidad de la densidad de la plaga (el valor absoluto de la pendiente de la línea de regresión). Esto se puede calcular de dos maneras: directamente de la gráfica o de la ecuación de regresión



Este valor absoluto de **m**, 0.9, se utiliza junto con los siguientes datos hipotéticos para calcular el NDE

C = el costo de control = 1000€/\$/ha

S = el grado de supresión de la plaga efectuado por el control = 0.80 (80%)

P = el precio de venta de la cosecha 800€/\$/qq

D = numero de insectos por planta

m = la reducción en el rendimiento por unidad de plaga = el valor absoluto de "m" en la ecuación de regresión (|m|) = 0.9

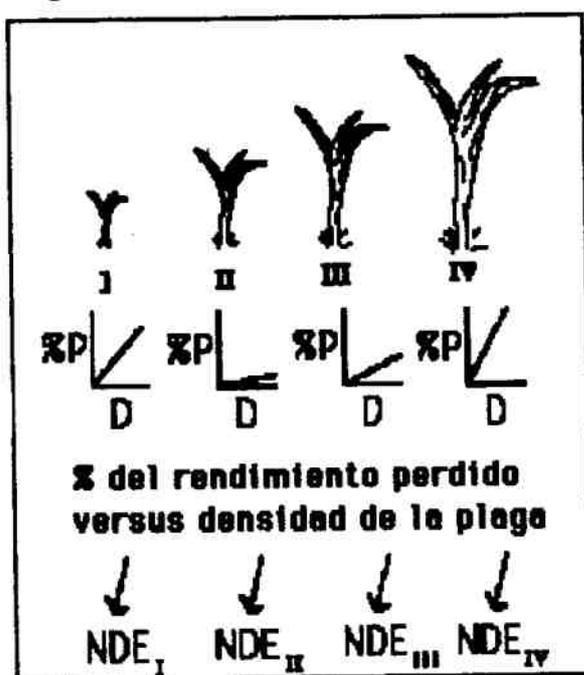
El NDE = $D^* = C / mDSP = 1000 / 0.9(0.80)800 = 1.74$ insectos/planta

Etapas fenológicas

La susceptibilidad de la planta al daño insectil varía durante la vida de la planta. Hay etapas fenológicas donde un daño mínimo causa una pérdida significativa del rendimiento, mientras que hay

otras etapas donde la planta tolera mayor daño sin perjudicar el rendimiento. En el tomate, por ejemplo, la etapa de plántula y de formación de frutos son susceptibles, mientras que durante la etapa de crecimiento vegetativo la planta típicamente puede soportar hasta una defoliación de 30% sin reducir el rendimiento final (Rosset, 1986). Entonces se ha de estimar separadamente para cada etapa fenológica de la planta, la relación entre el nivel poblacional de la plaga y el rendimiento perdido (ver Figura 3). Luego se utiliza el valor de m de cada etapa para calcular un NDE para la misma.

Figura 3. Etapas Fenológicas



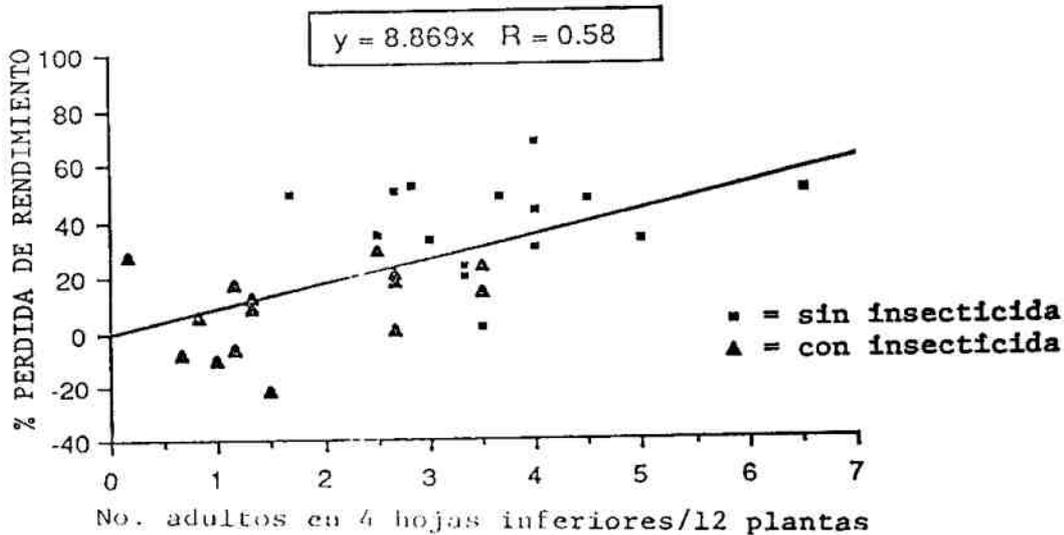
ESTIMACION DE LAS CONSTANTES

Objetivos

Se observó anteriormente que el NDE está compuesto por datos biológicos y datos económicos. Los datos económicos son: el costo de control (material, maquinaria y mano de obra), el precio que recibe el productor por la cosecha, y la gama de rendimientos esperados en la ausencia de la plaga (para el análisis basado en el porcentaje de rendimiento perdido; (Rosset, 1986). Estos datos se obtienen de estudios del mercado, de los presupuestos del cultivo, y/o de entrevistas.

Los datos biológicos son: la efectividad del método del control (reducción efectuada en la densidad de la plaga), y la función rendimiento/densidad de la plaga. El primero se obtiene de "pruebas de productos", mientras que el segundo se puede obtener a través de diferentes tipos de experimentos.

Figura 4. Regresión del porcentaje perdido del rendimiento de tomate versus la densidad poblacional de la mosca blanca (número de adultos en 4 hojas compuestas de la mitad inferior de la planta por 12 plantas) a los 43 días después de sembrar (según Rosset, 1986).



Una ventaja de este análisis es que a veces se puede aplicar a datos "archivados" provenientes de pruebas previas de productos, siendo así un método útil para "rescatar" información importante del tipo de ensayo más corriente. La gran desventaja es que confunde los efectos de la densidad de la plaga con los de período o etapa fenológica del ataque, fiándose del análisis de correlación y regresión para separar dichos efectos. El método siguiente evita este problema.

Períodos críticos

En este diseño se cruzan dos tipos de tratamientos: la dosis del producto y la "época de protección". El primer tipo es nada más que una prueba de dosis para "manipular" la densidad de la plaga. En el segundo, se "proteje" a diferentes etapas fenológicas de la planta, dejando otras sin aplicación del producto, para explícitamente separar los efectos de la plaga en las distintas etapas fenológicas de la planta (Hruska, 1987). Se utiliza regresión entre densidad y rendimiento en cada período para estimar la función rendimiento/densidad de la plaga y la constante ■.

Infestación artificial

Cuando la densidad natural de la población de la plaga es baja, se puede aumentar artificialmente mediante la infestación con insectos criados en el laboratorio. En este caso los diferentes tratamientos corresponden a varios niveles de infestación. Este diseño puede ser incorporado a un experimento de "períodos críticos", infestando tratamientos diferentes en distintas fechas.

Daño artificial

Cuando ya se conoce la cantidad de daño producido por insecto, se puede defoliar la planta artificialmente para estimar la relación entre daño y rendimiento (Keularts *et al.*, 1985). La ventaja de este método es que se puede controlar en forma precisa el porcentaje de defoliación. La desventaja es que el daño artificial no siempre causa el mismo efecto que la alimentación de un insecto.

Prueba de umbrales de acción

Otro tipo común de experimento es la prueba de umbrales de acción o "niveles críticos". En este diseño cada tratamiento corresponde al empleo de un umbral de acción distinto. Por ejemplo, en un experimento hipotético el tratamiento 1 podría ser la aplicación de insecticida cuando la densidad de la plaga alcanza una larva por planta; el tratamiento 2 cuando alcanza dos larvas por planta, etc. En este caso se realizan dos tipos de análisis estadísticos. Se utiliza el análisis de varianza para comparar los rendimientos, niveles de infestación, número de aplicaciones y ganancias netas de los diferentes tratamientos (Sears *et al.*, 1985). Luego se hace el análisis de correlación y regresión descrita anteriormente para determinar el NDE.

La ventaja de este diseño es que incorpora, aunque como "caja negra", el efecto del umbral en la dinámica futura de la plaga. La desventaja es que confunde los efectos de la densidad de la plaga y la etapa fenológica del ataque.

EFFECTOS DE CAMBIOS EN LAS VARIABLES

La ecuación del NDE

Recordando la ecuación del NDE,

$$\text{NDE} = D^* = C/mSP,$$

debe ser claro que un cambio en el valor de cualquiera de las variables cambiaría el nivel de daño económico (Zavaleta, 1983).

Costo de control

En el ejemplo 3 la ecuación hipotética del NDE fue,

$$\begin{aligned} \text{NDE} = D^* = C/m\text{DSP} &= 1000/[0.9(0.80)800] \\ &= 1.74 \text{ insectos/planta,} \end{aligned}$$

donde el costo de control, C, era 1000¢\$/ha. Si el costo de control sube como consecuencia de un alza en el precio del producto o el costo de mano de obra, a 2000¢\$/ha, la ecuación cambia a $2000/[0.9(0.80)800] = 3.47$ insectos/planta. Esto es lógico, como no debe ser rentable aplicar tanto si el producto es más caro. En cambio, si se baja el costo de control a 500¢\$/ha, como consecuencia de un subsidio al precio del producto, la ecuación nueva es $500/[0.9(0.8)800] = 0.87$ insectos por planta (Rosset, 1987). Entonces la consecuencia de subvencionar el precio del insecticida es un aumento en su uso, a través de un NDE menor.

El costo cambia también cuando se sustituye otro producto con otro precio. El producto nuevo podría tener también un grado diferente de efectividad, como se expone más adelante en el párrafo sobre la efectividad del producto.

El precio de venta de la cosecha

Si el valor de la cosecha sube se justifica un uso mayor de insecticida, como consecuencia de un NDE menor. Por ejemplo, ¿cuál sería el NDE si el precio de venta de la cosecha sube de 800¢\$/qq a 1600¢\$/qq?

La función rendimiento/densidad de la plaga

El valor **m**, la reducción en el rendimiento por unidad de la densidad de la plaga, también puede cambiar, por ejemplo como consecuencia de la introducción de una variedad resistente o tolerante del cultivo. El uso de la variedad más resistente resultaría en un valor **menor** de **m**, o sea, una pérdida menor por unidad de plaga. Queda claro por la ubicación de **m** en la ecuación que al **bajarlo**, se **aumentaría** el NDE, reduciendo así el uso de insecticida.

La efectividad del producto

Al introducir un producto nuevo, con mayor efectividad en cuanto al grado de supresión de la densidad de la plaga obtenida, se aumenta la cantidad de **mDS**, el "rendimiento salvado", justificando una mayor inversión en control (recordar que el NDE representa un balance entre el costo y el beneficio del control). Entonces disminuiría el NDE. Por ejemplo, ¿cuál sería el NDE si se introduce un producto que elimina 0.99 (99%) de la población de la plaga?

El papel del rendimiento esperado

Cuando se utiliza el análisis basado en el **porcentaje de rendimiento perdido** (ver ejemplo 2), el rendimiento esperado del cultivo juega un papel en la ausencia del ataque de la plaga. La ecuación del NDE es,

$$NDE = D^* = C(100)/mSPR,$$

donde R es dicho rendimiento esperado. Así un cambio en R. cambia el NDE.

La ventaja de este tipo de análisis es que hablar en términos del "porcentaje del rendimiento" y no de rendimientos absolutos, permite generalizar los NDE's a los agricultores quienes esperan obtener rendimientos diferentes. Se presentan los NDE's en forma tabular según el rendimiento esperado y el precio de venta de la cosecha (Cuadro 2).

La desventaja es que este método se justifica solamente cuando el supuesto biológico, (que la **pérdida porcentual causada por la plaga no depende del rendimiento absoluto**), sea válida. En muchos casos el valor de m variará cuando se cambia el sistema de producción (Ej. riego versus lluvia), violando el supuesto y haciendo necesario nuevos experimentos.

 Cuadro 2. Nivel de daño económico (NDE) para *Bemisia tabaci* en el tomate, Nicaragua 1983. Los rendimientos esperados cubren el rango esperado para el ciclo de 1982-1983 (10,000 - 40,000 kg/ha), para diferentes regiones y formas de tenencia de la tierra. Los precios esperados cubren el rango del precio predicho para 1983 según varias instuciones estatales. El NDE se basa en un costo por ha de 720c\$ por dos aplicaciones de insecticida, obtenidos de los presupuestos estimados en 1983 por el Banco Nacional de Desarrollo (Rosset, 1986).

NIVEL DE DAÑO ECONOMICO (NDE)

Rendimiento Esperado (kg/ha)	Precio de Venta de la Cosecha Esperado (c\$/kg)				
	1.76	3.52	5.28	7.04	8.80
10,000	0.891*	0.446	0.297	0.223	0.178
15,000	0.594	0.297	0.198	0.149	0.119
20,000	0.446	0.223	0.149	0.111	0.089
25,000	0.357	0.178	0.119	0.089	0.071
30,000	0.297	0.149	0.099	0.074	0.059
35,000	0.255	0.127	0.085	0.064	0.051
40,000	0.223	0.111	0.074	0.056	0.045
45,000	0.198	0.099	0.066	0.050	0.040

* = número de adultos de la mosca blanca en cuatro hojas compuestas de la mitad inferior de la planta en 12 plantas.

Conclusión: Los NDE's no tienen valores únicos

Queda estar claro que el NDE carece de un valor único, y varía según los costos, precios, etapas fenológicas, rendimientos, variedades, zonas y épocas del año (Cuadro 3). Esto indica un error muy común: el de establecer un solo NDE que nunca cambie para cada plaga. Esto no es válido. Para cambios de precios sería mejor publicar la fórmula que permite sacar el NDE, producir una tabla cada año como recomienda Rosset (1986), o emitir periódicamente nuevos NDE's. Para cambios biológicos (época del año, variedad), clima, etc.) hay que realizar nuevos experimentos con el fin de estimar el nuevo valor de m .

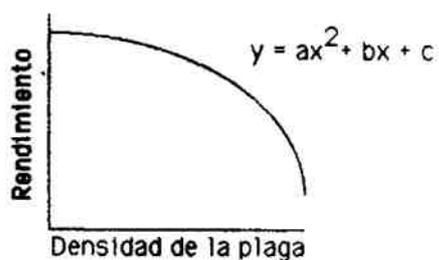
Cuadro 3. Resumen de los efectos de cambios en los parámetros del NDE.

<u>Al</u>		<u>El NDE se</u>
Aumentar Bajar	el costo de control	aumenta baja
Aumentar Bajar	el precio de venta de la cosecha	baja aumenta
Aumentar Bajar	la resistencia de la planta	aumenta baja
Aumentar Bajar	la efectividad del insecticida	baja aumenta

ANEXO: El Caso de una Relación Curvilínea

A veces la relación entre el rendimiento del cultivo y la densidad de la plaga no es lineal. En este caso se utiliza un polinomial cuadrática en regresión curvilínea:

1) La forma de la ecuación que describa la curva es:



2)
$$NDE = D^* = x^* = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4a(C/P)}}{2a}$$

donde C mayúscula = Costo de control,
y P = Precio de venta de la cosecha

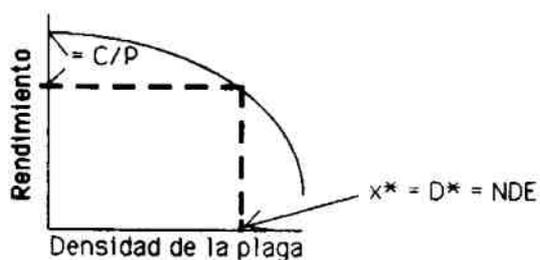
3) Se puede averiguar la solución a través del método gráfico:

Recuerde que en la densidad equivalente al NDE el Costo = Beneficio, y el beneficio refiere al "rendimiento salvado." Entonces se puede "traducir" el costo en un rendimiento de equivalente valor:

$$C = yP, \text{ o}$$

$$y = C/P$$

Este rendimiento puede ser indicado en la gráfica, y la densidad (el NDE) correspondiente calculado:



LITERATURA CITADA

- ANDOW, D.A.; KIRITANI, K. 1983. The economic injury level and the control threshold. *Japan Pesticide Information* 43:3-9.
- HRUSKA, A.J. 1987. Períodos críticos de protección y el efecto de infestación del gusano cogollero, Spodoptera frugiperda (Lepidoptera:Noctuidae) en maíz bajo riego en Nicaragua. In *Memorias del 1er. Congreso Centroamericano, México y El Caribe de Manejo Integrado de Plagas*, 5-7 agosto 1987, Guatemala, Guatemala. 12 p.
- KEULARTS, J.; WADDILL, V.; POHRONEZNY, K. 1985. Effect of manual defoliation on tomato yield and quality. *Agricultural Experiment Stations, Institute of Food and Agriculture Sciences, University of Florida (Gainesville), Technical Bulletin No. 847*, 41 p.
- PEDIGO, L.P.; HUTCHINS, S.H.; HIGLEY, L.G. 1986. Economic injury levels in theory and practice. *Ann. Rev. Entomol.* 31:341-368.
- POSTON, F.L.; PEDIGO, L.P.; WELCH, S.M. 1983. Economic injury levels: reality and practicality. *Bull. Entomol. Soc. Am.* 29(1):49-53.
- ROSSET, P.M. 1986. Métodos de muestreo, reducción en rendimiento y niveles de daño económico por la mosca blanca del algodón, Bemisia tabaci Genn., en el tomate en Nicaragua. In P.M. Rosset, 1986, *Aspectos Ecológicos y Económicos del Manejo de Plagas y los Policultivos de Tomate en Centroamérica*. Ann Arbor, MI, EEUU. Institute for the Development of Agricultural Alternatives, pp. 32-70.
- _____. 1987. Precios, subvenciones y los niveles de daño económico. In *Memorias del 1er Congreso Centroamericano, México y El Caribe de Manejo Integrado de Plagas*, 5-7 agosto 1987, Guatemala, Guatemala (en prensa).
- SEARS, M.K.; SHELTON, A.M.; QUICK, T.C.; WYMAN, J.A.; WEBB, S.E. 1985. Evaluation of partial plant sampling procedures and corresponding action thresholds for management of Lepidoptera on cabbage. *J. Econ. Entomol.* 78(4):913-916.
- ZAVALETA, L.R. 1983. Aspectos económicos del manejo integrado de plagas. In *Memorias del 1er Congreso Centroamericano, México y El Caribe de Manejo Integrado de Plagas*, 5-7 agosto 1987, Guatemala, Guatemala. pp. 192-202.