

## PLAN DE MUESTREO SECUENCIAL PARA LARVAS DEL GUSANO COGOLLERO DEL MAÍZ (*Lepidoptera: Noctuidae*), EN MAÍZ

J. ALONSO ALVAREZ R.<sup>1</sup>; ORLANDO MARTINEZ W.<sup>2</sup>

**Palabras Claves Adicionales:** Distribución espacial, nivel de precisión, dispersión. *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith).

**Resumen.** La función exponencial de Taylor y la ecuación de Iwao se usaron para evaluar los patrones de agregación y distribución de los diferentes estados larvales del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). El modelo exponencial de Taylor dio un mejor ajuste que la ecuación lineal de Iwao. Los instares primero y segundo exhibieron un mayor nivel de agregación o contagio, que el tercero y cuarto; del quinto instar en adelante el nivel de contagio decreció significativamente. Con base en el modelo exponencial de Taylor se desarrolló un plan de muestreo secuencial para el número de larvas pequeñas y medianas.

### SEQUENTIAL SAMPLING PLAN FOR THE FALL ARMYWORM (*Lepidoptera: Noctuidae*) LARVAE IN CORN

**Summary.** Taylor's power law and Iwao regression method were used to evaluate aggregation patterns of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on different larval stages. Taylor exponential model provided better fit than did Iwao method. First and second instars exhibit a higher level of aggregation or contagion than the third and

fourth instars, from the fifth instar on the contagion degree decreased significantly. Based upon Taylor's power law a sequential sampling plan was developed for the small and medium larvae stages.

**Additional Index Words:** Spatial distribution, precision level, dispersion. *Spodoptera frugiperda* (F.E. Smith).

### INTRODUCCION

En los climas cálidos y templados de Colombia, uno de los factores limitantes en la producción del maíz lo constiuyen las plagas y, entre éstas, el gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), es una de las más importantes.

Para implementar un manejo racional del gusano cogollero del maíz, al igual que con otros insectos plagas, es necesario disponer de un plan confiable de muestreo que permita estimar la densidad de la población plaga o clasificar su daño, y con base en ello tomar una decisión sobre una medida de control.

Un muestreo confiable, desde el punto de vista estadístico, es aquel mediante el cual se puede obtener un estimador preciso a un mínimo costo, con un aceptable nivel de precisión (Cochran, 1963). Pero la precisión puede variar con la densidad de la población, y por lo tanto el número de muestras a tomar, con una precisión determinada, sería inadecuado a densidades bajas y excesivo a densidades altas (Butin, 1988 y Onsager, 1976).

Para evitar los problemas anteriores, se ha propuesto el muestreo secuencial. Este método se caracteriza porque en contraste con los métodos convencionales, el número

<sup>1</sup> Investigador de la Sección de Entomología del Instituto Colombiano Agropecuario.

<sup>2</sup> Profesor Asociado de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional, Bogotá. A.A. 14490.

de muestras es variable y depende de los resultados en la secuencia del muestreo. El método tiene la ventaja de que cuando las densidades de una plaga son extremadamente altas o bajas, se requiere de pocas muestras para tomar una decisión sobre la necesidad de una medida de control (Carrillo, 1970 y Waters, 1959).

El muestreo secuencial se ha utilizado en programas de manejo de plagas desde 1952, y se ha demostrado que es un método confiable, rápido y realístico, en especial, cuando se requiere clasificar en categorías la densidad de una plaga o sus daños, y cuando las observaciones son demoradas o costosas (Fowler y Linch, 1987; Onsager, 1976).

Desde el punto de vista estadístico, antes de diseñar un plan de muestreo secuencial, es necesario estudiar la distribución espacial de la población a muestrear. Con base en dicha distribución espacial es posible calcular el tamaño de las muestras, el número de ellas a tomar y la forma de colectarlas (Carrillo, 1970).

Para el diseño de planes de muestreo secuencial de insectos también se han utilizado los modelos propuestos por Taylor e Iwao, los cuales no requieren de un conocimiento detallado de la distribución espacial. Estos modelos permiten obtener información biológica sobre la especie de interés e información para la toma de decisiones en relación con una medida de control (Iwao, 1968 y Taylor, 1961).

Los objetivos del presente trabajo fueron: describir la distribución espacial de las larvas del gusano cogollero del maíz y utilizar dicha información para desarrollar un plan de muestreo secuencial.

## MATERIALES Y METODOS

El ensayo para este estudio se realizó en el Centro Regional de Investigaciones "Nataima" del ICA, Espinal, Tolima, durante el segundo semestre de 1988.

**Procedimiento de Muestreo.** El experimento a nivel de campo estuvo constituido por cuatro parcelas, las repeticiones, con un tamaño de 20 surcos de ancho por 18 m de largo cada una. Cada 3 o 4 días, entre Octubre 14 y Noviembre 14, se muestrearon las cuatro parcelas para un total de 11 períodos. En cada fecha o período se tomaron 20 plantas por parcela siguiendo una diagonal, y en

cada surco se muestreó una planta, la cual se constituyó en la unidad de muestreo; el número total de plantas observadas durante los 11 períodos fue de 880. En cada unidad de muestreo se contó el número de larvas pequeñas (1o. y 2o. instar), medianas (3o. y 4o. instar) y grandes (5o. instar en adelante). Para realizar estos conteos, la planta se deshojó completamente desde la base hasta el cogollo. También, en cada parcela y período, se evaluó el porcentaje de daño inicial causado por *S. frugiperda*.

**Procedimiento Estadístico.** Para modelar la dispersión y la distribución espacial de las larvas del gusano cogollero del maíz, se utilizaron los modelos postulados por Taylor (1961) e Iwao (1968). El primer autor propuso lo que se conoce como el principio o Ley Exponencial de Taylor, en el cual la varianza ( $S^2$ ) se expresa como una función del promedio ( $\bar{X}$ ) de la densidad de infestación; la función es:  $S^2 = a\bar{X}^b$ , donde "a" es un componente del muestreo, "b" es una medida de agregación de la población y se considera constante para cada especie; así valores de  $b > 1$  indican una distribución de tipo agregado;  $b = 1$  significa una distribución al azar y  $b < 1$  representa un tipo de distribución regular. La regresión entre el log ( $S^2$ ) y el log ( $\bar{X}$ ) convierten en lineal la función exponencial de Taylor y por lo tanto permite la estimación de "a" (el intercepto) y "b" (la pendiente).

El procedimiento de Iwao (1968) se fundamenta en la relación existente entre el índice de agrupamiento "m" y el promedio ( $\bar{X}$ ) de densidad. El autor demostró que la regresión entre m y  $\bar{X}$  es lineal y está descrita por  $m = \alpha + \beta \bar{X}$ . Posteriormente, Iwao y Kuno (9) formularon implicaciones teóricas y empíricas de los valores de  $\alpha$  y  $\beta$ , y definen a  $\alpha$  como un índice básico de contagio que describe un componente de la población; y a  $\beta$  como el coeficiente de densidad de contagio, el cual describe el comportamiento de la especie en un habitat de tal forma que si  $\beta > 1$  la población tiene una distribución agregada;  $\beta = 1$  una distribución al azar y si  $\beta < 1$  la distribución es regular.

Para cada repetición, período de muestreo y tamaño de larva se calculó  $S^2$ ,  $\bar{X}$  y  $m = X + S^2/\bar{X} - 1$ ; mediante la técnica de regresión lineal simple se estimaron los coeficientes asociados a las leyes o principios de Taylor e Iwao. Los cuatro primeros períodos

o lecturas fueron descartadas para el análisis, debido a que no se encontraron larvas en las plantas muestreadas.

Los coeficientes de regresión de la función de Taylor se usaron para determinar el tamaño de muestra requerido para estimar el promedio de infestación de *S. frugiperda* en los diferentes estadios larvales y también para establecer planes y curvas de muestreo secuencial de acuerdo con niveles fijos de precisión y confiabilidad. Por precisión se definió a  $D = \frac{S\bar{X}}{\bar{X}}$ , donde  $S\bar{X}$  es la desviación estándar del promedio  $\bar{X}$ , en este caso se usaron valores de  $D = 0,20; 0,25$  y  $0,30$ , las cuales son razonables para el caso de manejo de plagas (Southwood, 1978). Para la determinación de las curvas de precisión constante se usó la ecuación de Green (1970) así:

$$\text{Log}(T_n) = \frac{\text{Log}(D^2/a)}{b-2} + \left[ \frac{b-1}{b-2} \text{Log}(n) \right] \dots \quad (1)$$

donde  $T_n$  es el total acumulado de individuos (larvas) en una muestra de tamaño  $n$ ;  $a$  y  $b$  son los coeficientes de regresión estimados por el modelo de Taylor.

Para establecer el nivel superior e inferior del plan de muestreo secuencial se usó el intervalo de confianza propuesto por Kuno (1969) y definido por la ecuación:

$$T_0 = q m_0 \pm t \sqrt{q f(m_0)} \dots \quad (2)$$

donde,  $T_0$  es el límite superior e inferior del intervalo de confianza para el número acumulado de larvas;  $q$  = número de plantas muestreadas;  $m_0$  = promedio crítico de densidad;  $t$  = valor de las tablas de  $t$ ;  $f(m_0)$  = es la varianza muestral ( $S^2$ ) expresada como una función de  $\bar{X}$ , el promedio muestral de densidad de la población de larvas.

Para el cálculo de  $m_0$  se plantearon los siguientes modelos de regresión lineal simple:

$$\sqrt{Y_1} = f(X_1); \quad \sqrt{Y_2} = f(X_1); \quad \sqrt{Y_3} = f(X_1);$$

$$\sqrt{Y_1, Y_2} = f(X_1); \quad \sqrt{Y_1, Y_3} = f(X_1);$$

$$\sqrt{Y_2, Y_3} = f(X_1)$$

donde  $Y_1, Y_2, Y_3$  corresponden al número de larvas pequeñas, medianas y grandes res-

pectivamente y  $X_1$  = porcentaje de plantas con daño inicial. Se eligió el modelo con mayor coeficiente de determinación y se reemplazó en este modelo el valor  $X_1 = 40\%$ , que se considera como el umbral de control para el gusano cogollero del maíz, según Alvarez y Martínez (1989).

## RESULTADOS Y DISCUSION

**Análisis de Dispersión y Distribución.** El Cuadro 1 contiene los índices de dispersión y otras estadísticas de interés involucradas en los modelos de Taylor e Iwao. En primer término, se observa que, en general, la función exponencial de Taylor provee de un mejor ajuste y descripción de la distribución espacial de las larvas del gusano cogollero del maíz, puesto que los coeficientes de determinación para la función exponencial de Taylor oscilaron entre 0,87 y 0,93 mientras que los valores de  $r^2$ ; para el modelo lineal de Iwao variaron entre 0,28 y 0,57. Por esta razón se continuaron analizando y discutiendo los resultados con base en los estimadores o índices de dispersión obtenidos con el modelo de Taylor. Estos resultados están en concordancia con lo propuesto por Taylor (1961), en el sentido de que el modelo exponencial que relaciona la varianza y el promedio es preferible al modelo lineal de Iwao por las limitaciones teóricas asociadas con el uso del índice de agrupamiento "m". Resultados similares han sido reportados por varios autores (2, 12, 18, 19). Sin embargo, la función de Iwao también ha proporcionado buenos ajustes en la distribución espacial de algunos insectos (Hutchinson et al., 1988; Martel et al., 1986 y Walgenbach, et al., (1985).

Los coeficientes de regresión  $b$  entre el  $\log S^2$  y  $\log \bar{X}$ , para las larvas pequeñas (1o. y 2o. instar) y medianas (3o. y 4o. instar) fueron de 1,34 y 1,26 respectivamente y significativamente mayores a uno ( $P < 0.01$ ), lo que sugiere que la forma de distribución para estos instares es de tipo agregado. En el caso de larvas grandes (5o. instar en adelante) el coeficiente de regresión fue de  $b = 1,05$ , estadísticamente igual a la unidad ( $P < 0,01$ ) lo que sugiere un tipo de distribución al azar para larvas grandes. Los valores de 1,34 y 1,26 para los coeficientes de regresión son muy similares a los reportados por Mitchell y Fuxa (1987) para la misma

**Cuadro 1.** Estimadores de los modelos de regresión propuestos por Taylor e Iwao. CRI Nataima. 1988.

Estado Larval	TAYLOR						IWA O			
	Log a	b	r <sup>2</sup>	H <sub>0</sub> : b=0	H <sub>0</sub> : b=1	H <sub>0</sub> : a=0	α	β	r <sup>2</sup>	n
Larvas Pequeñas	1,37	1,34	0,93	**	**	**	0,52	4,75	0,33	28
Larvas Medianas	0,79	1,26	0,91	**	**	**	-0,15	3,63	0,57	28
Larvas Grandes	0,09	1,05	0,87	**	NS	NS	-0,10	1,66	0,28	28

\*\* Significativo al nivel del 1%

\* Significativo al nivel del 5%

N.S. No significativo.

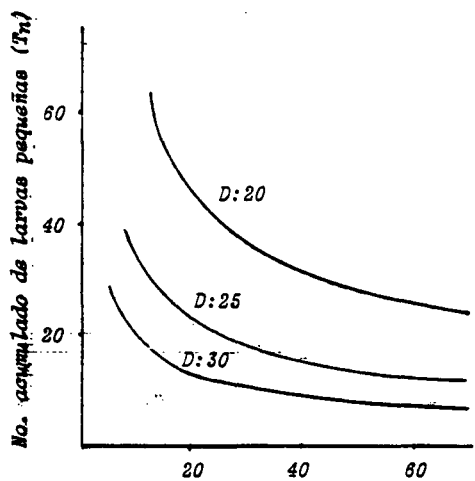
especie, en Louisiana (Estados Unidos), lo cual confirma lo establecido por Taylor (1961) en el sentido de que el coeficiente de regresión b es una estadística de la población, la cual describe propiedades intrínsecas de la misma, y que es independiente del método de muestreo, del medio y de las variaciones estacionales.

La distribución espacial de tipo agregado para las larvas pequeñas (1o. y 2o. instar) era de esperarse puesto que las hembras del *S. frugiperda* depositan los huevos en masas. Después del tercer instar y durante el cuarto instar, las larvas inician movimientos entre plantas de maíz en busca de alimento y mejores sitios de refugio, posiblemente debido al hábito caníbal de las larvas, de la especie. Por tal razón es poco probable encontrar más de una larva grande por cogollo por planta de maíz, lo cual explica la distribución espacial de tipo al azar para las larvas grandes.

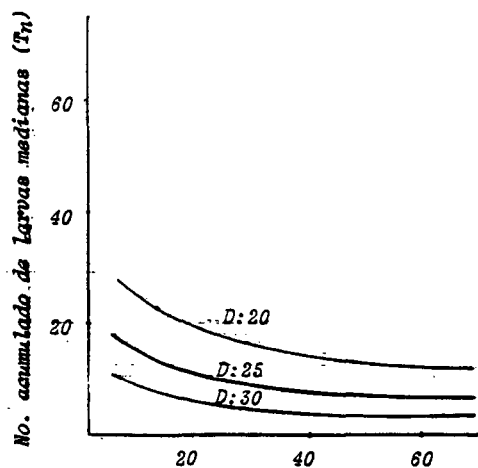
**Planes de Muestreo.** Las curvas de precisión - constante (Figura 1) se calcularon mediante la ecuación 1 para cada uno de los instares larvales en consideración. Para cada estadio se usaron los correspondientes valores de a y b, que se expresan en el Cuadro 1. En este caso, se muestrean plantas de maíz secuencialmente hasta que el número acumulado de larvas excede la curva de precisión-constante, en ese momento el promedio de densidad poblacional del gusano cogollero del maíz se estima dividiendo el número acumulado de larvas por el número de plantas muestreadas. Se observa en la Figura 1 que a medida que se incrementa el nivel de precisión, mayor número de plantas se requieren para estimar el promedio de densidad.

El intervalo de confianza para el plan de muestreo secuencial se calculó con base en el número de larvas pequeñas y medianas, porque estos estadios están más estrechamente ligados con el daño inicial producido por el *S. frugiperda*; adicionalmente, los mayores valores de r<sup>2</sup> (Cuadro 1) se encontraron en las larvas pequeñas y medianas. Para el cálculo de los intervalos los de confianza (T<sub>0</sub>), se estimó nuevamente la función de Taylor, la cual fue: S<sup>2</sup> = 1.121 X̄1,323 (r<sup>2</sup> = 0,90). Este valor sustituyó a f(m<sub>0</sub>) en la ecuación 2. El valor de m<sub>0</sub> fue de 0,5, estimado mediante la función  $\sqrt{Y_1, Y_2} = f(X_1)$ , reemplazando en ella el valor de X<sub>1</sub> por el de 40% de plantas con daño inicial (umbral crítico de control). Para t se empleó el valor de 1,96 de las tablas, que representa un nivel de precisión del 5%. La Figura 2 que ilustra el plan de muestreo secuencial para larvas pequeñas y medianas, se generó con el intervalo de confianza T<sub>0</sub> descrito y reemplazando en la ecuación 2 diferentes valores de q (número acumulado de muestras).

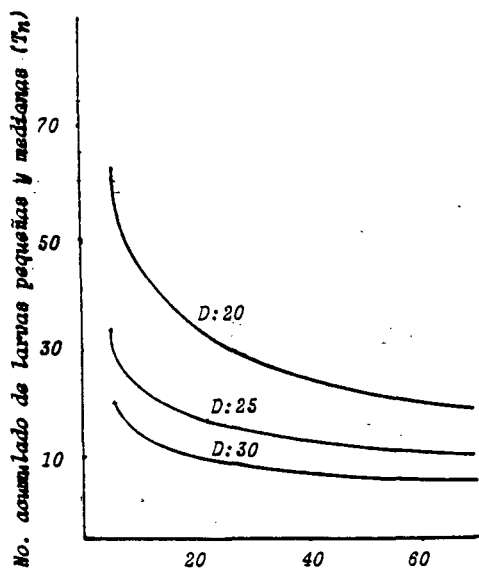
La Figura 2 se interpreta como sigue: cuando el número acumulado de larvas pequeñas y medianas excede el límite superior, la densidad de la población es significativamente superior al umbral crítico de control, entonces es necesario tomar una medida de control. Cuando el número acumulado no alcanza el límite inferior, la densidad de la población es significativamente menor al umbral crítico de control, y no es necesario ninguna medida de control. Cuando el número acumulado de larvas está dentro de los límites, inferior y superior, es necesario continuar el muestreo hasta un máximo de 50



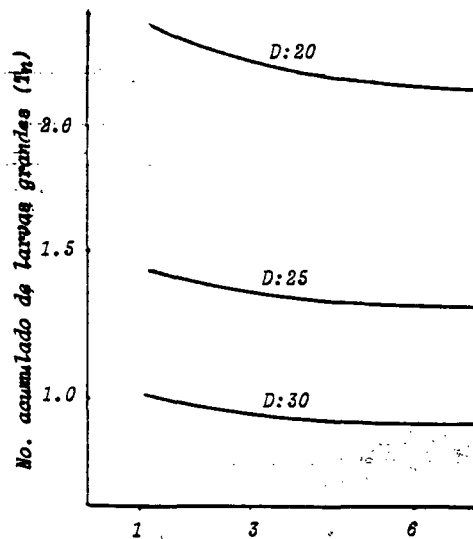
No. plantas muestreadas ( $n$ )



No. plantas muestreadas ( $n$ )



No. plantas muestreadas ( $n$ )



No. plantas muestreadas ( $n$ )

Figura 1. Curvas de precisión constante para muestras secuenciales de larvas pequeñas, medianas y grandes de *S. frugiperda* (J.E. Smith), utilizando tres niveles de precisión (D).

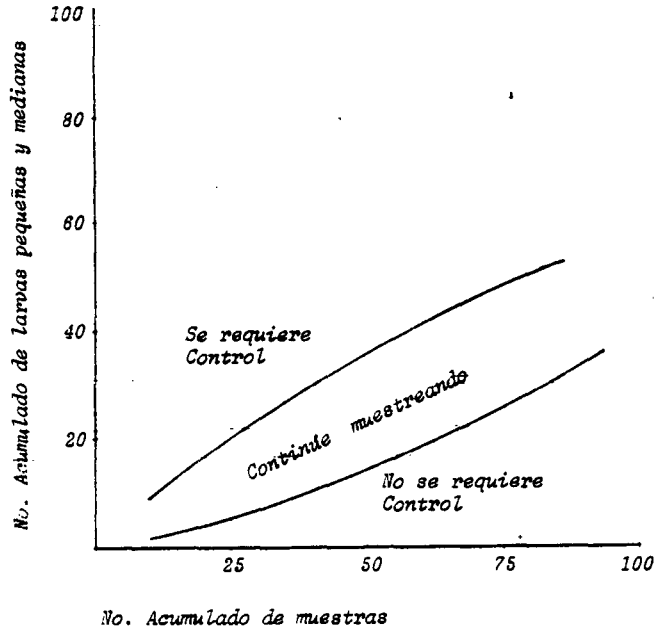


Figura 2. Plan de muestreo secuencial para larvas del *S. frugiperda* (J.E. Smith). en maíz.

plantas por hectárea, valor sugerido por Alvarez y Martínez (1989) como adecuado en estudios de daño inicial producido por larvas del *S. frugiperda* en maíz.

Se recomienda adelantar experimentos para validar el muestreo secuencial desarrollado en el presente trabajo. Finalmente, se pudo concluir que la función exponencial de Taylor es un modelo apropiado para analizar y describir la distribución espacial de las larvas del *S. frugiperda* (J.E. Smith) en maíz. También, bajo condiciones de campo, las larvas del cogollero del maíz tienen una distribución de tipo agregado, durante los primeros cuatro instares larvales. Después del 5o. instar, la distribución es al azar.

#### LITERATURA CITADA

1. Alvarez R., A. y O. Martínez. 1989. Análisis de métodos de muestreo para estimar niveles de daño del *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz. Revista ICA (Colombia) (En Impresión).
2. Butin, G.D. 1988. Sampling techniques, population dispersion, and sampling plans for leafhoppers (Homoptera: Cicadellidae) in bermudagrass. Environmental Entomology (EE.UU.) v.17 no.5, p.872-877.
3. Carrillo, L., A. 1970. Proyecto de investigación sobre muestreo de insectos. Centro de Estadística y Cálculo, Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, Chapinigo (México). 56p.
4. Cochran, W.G. 1963. Sampling techniques. 2nd. Ed. New York. Wiley Publications in Statistics. 413p.
5. Fowler, G.W. y A.M. Lynch. 1987. Sampling plans in insect pest management based on Wald's sequential probability ratio test. Environmental Entomology (EE.UU.) v.16 no.2, p.345-354.
6. Green, R.H. 1970. On fixed precision level sequential sampling. Researches on Population Ecology (Japón) v.12, p.249-251.
7. Hutchison, W.G.; D.B. Hogg, M.A. Poswal, R.C. Berberet y G.W. Cuperus. 1988. Implications of the stochastic nature of Kuno's and Green's fixed-precision stop lines: sampling plans for the pea aphid (Homoptera: Aphididae) in alfalfa as an example. Journal of Economic Entomology (EE.UU.) v.81 no.3, p.749-758.
8. Iwao, S. 1968. A new regression method for analysing the aggregation pattern of animal populations. Researches on Population Ecology (Japón) v.10, p.1-20.
9. Iwao, S. y E. Kuno. 1968. Use of regression of mean crowding on mean density for estimating sample size and the transformation of data for the analysis of variance. Researches on Population Ecology (Japón) v.10, p.210-214.

10. Kuno, E. 1969. A new method of sequential sampling to obtain the population estimates with a fixed level of precision. *Researches on Population Ecology (Japón)* v.11, p.127-136.
11. Martel, P., J. Belcourt, D. Choquette y G. Boivin. 1986. Spatial dispersion and sequential sampling plan for the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology (EE.UU.)* v.79 no.2, p.414-417.
12. Mitchell, F.L. y J.R. Fuxa. 1987. Distribution, abundance and sampling of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in South-Central Louisiana cornfields. *Environmental Entomology (EE.UU.)* v.16 no.2, p.453-458.
13. ONSAGER, J.A. 1976. The rationale of sequential sampling, with emphasis on its use in pest management. USDA. Agr. Res. Serv. Tech. Bull. 1526, 19p.
14. Southwood, T.R.E. 1978. Ecological method, with particular reference to the study of insect populations. London, Chapman and Hall, 391 p.
15. Taylor, L.R. 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature (Inglaterra)* v.189 no.4766, p.732-735.
16. Walgenbach, J.F., J.A. y D.B. Hogg. 1985. Evaluation of sampling methods and development of sequential sampling plan for potato leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) on potatoes. *Environmental Entomology (EE.UU.)* v.14 no.3, p.231-236.
17. Waters, W.E. 1955. Sequential sampling in forest insect surveys. *Forest Science (EE.UU.)* v.1, p.68-79.
18. Zehnder, G.W. y J.T. Trumble. 1985. Sequential sampling plans with fixed levels of precision for *Liriomyza* species (Diptera: Agromyzidae) in fresh marked tomatoes. *Journal of Economic Entomology (EE.UU.)* v.78 no.1, p.138-142.
19. Zehnder, G.W. y J.J. Linduska. 1988. Within-field distribution patterns and fixed-precision-level sampling plans for Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) in tomatoes. *Journal of Economic Entomology (EE.UU.)* v.81 no.2, p.692-696.