

## **Bases para el diseño de planes de muestreo de plagas**

*Autor:*

*Dr. Cs. Biológicas Eduardo Trumper, email: [entomomanfre@manfredi.inta.gov.ar](mailto:entomomanfre@manfredi.inta.gov.ar)*

### **Introducción**

La aplicación de los modelos clásicos de Umbral Económico y Nivel de Daño Económico se basa en la estimación de la densidad de la plaga por medio de una técnica de muestreo debidamente probada y de acuerdo a un protocolo o programa de muestreo establecido específicamente para la plaga en cuestión.

### **Patrón espacial y variabilidad**

La abundancia de las poblaciones generalmente se expresa en términos de densidad poblacional (larvas por metro, pulgones por tallo, etc.). El recuento total de los individuos de una población, es decir un censo, arroja el conocimiento exacto de la densidad poblacional.

Obviamente, los censos son impracticables en cultivos, de modo que se debe recurrir al muestreo. El muestreo es una actividad cuyo objetivo es estimar la densidad poblacional. Toda estimación de un parámetro poblacional tiene un determinado nivel de error.

Una estimación errónea de la densidad de una población plaga puede desembocar en una decisión de manejo errónea (aplicar un insecticida cuando no es necesario o no aplicarlo cuando sí es requerido). Si se busca minimizar la probabilidad de tomar decisiones erróneas, es necesario incrementar la precisión en las estimaciones de densidad poblacional.

La precisión de una estimación de densidad es la diferencia entre la media muestral y el promedio de las medias muestrales; cuanto menor es esta diferencia, mayor es la precisión.

Diversos factores determinan el nivel de precisión de una estimación de densidad poblacional. El primero de ellos es el tamaño de la muestra (número de unidades muestrales); a mayor tamaño de muestra, menor variabilidad y por consiguiente mayor precisión (Pedigo & Buntin, 1994).

Otro factor es el patrón de disposición espacial de la población. Genéricamente, se identifican tres patrones espaciales: uniforme, aleatorio y agrupado (o agregado).

El patrón uniforme se caracteriza porque los individuos de la población guardan entre sí, distancias bastante regulares. En el patrón agregado los individuos se disponen en grupos más o menos definidos. Este patrón puede estar causado por interacciones positivas entre los individuos de la población. Por otra parte, el patrón agrupado puede manifestarse con distintos grados de agregación.

Un mismo tamaño de muestra (por ejemplo 20 unidades muestrales) aplicado a tres poblaciones, cada una con uno de los tres patrones espaciales, arrojan

distintos niveles de precisión: con el patrón uniforme la precisión es mayor que con el patrón aleatorio, y éste a su vez arroja mayor precisión que el patrón agregado. Adicionalmente, la precisión está directamente relacionada al grado de agregación.

### **Modelos de disposición espacial de poblaciones**

Reconocer que el patrón espacial de una población influye en la precisión de la estimación de un parámetro poblacional no es suficiente. Para diseñar un plan de muestreo confiable primero es necesario caracterizar cuantitativamente el patrón espacial.

Uno de los enfoques más conocidos para caracterizar la disposición espacial se basa en la ley de Taylor (Taylor, 1984). Ésta es una relación empírica entre la varianza y la media de estimaciones de abundancia, descrita mediante la ecuación potencial  $S^2 = a m^b$ , donde  $S^2$  y  $m$  representan la varianza y la media, mientras que  $a$  y  $b$  son parámetros a estimar estadísticamente. Al tomar logaritmos en ambos miembros de la ley de Taylor se obtiene la ecuación lineal  $\text{Log } S^2 = \text{Log } a + b \text{ Log } m$ . Esta versión linealizada de la Ley de Taylor permite cuantificar el grado de agregación mediante la pendiente del modelo:  $b < 1$ ,  $b = 1$  y  $b > 1$  indican patrones uniforme, aleatorio y agregado, respectivamente.

Asimismo, cuanto mayor es el valor de  $b$ , mayor es el grado de agregación. Para caracterizar el patrón espacial de una población mediante la ley de Taylor, es necesario contar con un conjunto de muestreos, cada uno de los cuales haya arrojado una estimación de la media y la varianza de la densidad poblacional. Por medio de regresión, se ajusta la versión linealizada de la ley de Taylor y se estiman los parámetros  $\text{Log } a$  y  $b$ .

Para poder aplicar estos análisis, es necesario implementar un programa de muestreos de una determinada plaga a lo largo de varias campañas agrícolas. Estos muestreos deben mantener constante la técnica de muestreo, se deben aplicar siempre en el mismo cultivo y el tamaño de la unidad muestral debe ser siempre igual.

En efecto, si se comienza el proceso usando una red entomológica y cada unidad muestral está representada por 5 golpes de red, entonces se deberá mantener esa técnica y los 5 golpes como unidad muestral, a lo largo de todos los muestreos.

### **Planes de muestreo para estimación de abundancia**

Los métodos para estudiar el patrón espacial descritos anteriormente, constituyen la base para el desarrollo de planes o programas de muestreo. Existen dos tipos principales de planes de muestreo: muestreo para estimación de abundancia y muestreo específico para toma de decisiones. A continuación se describe brevemente el primero de ellos.

Supóngase una población cuyo patrón espacial se describió mediante la versión linealizada de la ley de Taylor y que mediante análisis de regresión se estimaron  $b$  y  $\text{Log } a$ . Si se quiere elaborar un plan de muestreo en base a estos resultados, pueden seguirse dos caminos. El primero es la elaboración de curvas de número mínimo de unidades muestrales. Si se define la precisión como  $C = EE/m$ , donde  $EE$  es el error estándar,  $S^2$  puede reemplazarse por su equivalente según la ley de Taylor, obteniéndose la siguiente expresión:

$$n = \frac{a \cdot m^{(b-2)}}{C^2} \quad (\text{Ec. 1})$$

Mediante la Ec. 1 y seleccionando un determinado nivel de precisión,  $C$ , se puede calcular el número mínimo de unidades muestrales (NMM) para diferentes niveles de abundancia de la plaga (Fig. 1). Este tipo de planes de monitoreo requiere un muestreo preliminar para conocer aproximadamente la densidad poblacional y

ubicar el NMM correspondiente en la curva.

La desventaja de las curvas de NMM radica en el requerimiento de una estimación preliminar, que en cierta forma dificulta su aplicación. La otra posibilidad es elaborar planes de muestreo secuencial para estimación de abundancia, que permiten decidir el número de unidades muestrales a recoger sobre la misma marcha del muestreo, sin necesidad de estimaciones preliminares.

Cuando se toman  $n$  unidades muestrales, se recogen o cuentan  $T_n$  insectos y la densidad poblacional promedio se estima como  $m = T_n/n$ . Reemplazando en la Ec. 1 a  $m$  por su equivalente, y luego de un simple procedimiento algebraico, se puede expresar el número acumulado de insectos como

Con la Ec. 2 se pueden construir las curvas críticas de muestreo secuencial, como se representa en la Fig. 2. Las curvas críticas representan la relación entre  $T_n$  y  $n$  para la cual se ha alcanzado el nivel de precisión deseado. En la curva crítica, a cada valor de  $n$  le corresponde uno de  $T_n$ .

El procedimiento de muestreo consiste en tomar unidades muestrales una a una, acumular en cada paso el número de insectos ( $T_n$ ) y ubicar el par  $T_n$ - $n$  en el gráfico. Si el par  $T_n$ - $n$  está representado por un punto debajo de la curva crítica, el muestreo debe continuar, y si ese punto está por encima, el muestreo puede detenerse y se puede considerar que el cociente  $T_n/n$  estima la media poblacional con un nivel de precisión  $C$ .

Un plan de muestreo secuencial puede aplicarse para estimar la densidad con un nivel de precisión elegido por el "decisor" para luego contrastarlo con el umbral económico correspondiente.

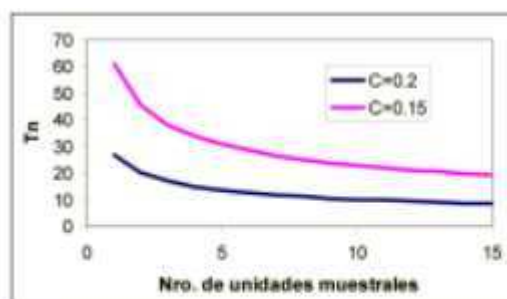


Figura 2. Curvas críticas de muestreo secuencial para estimación de abundancia poblacional, calculadas para dos niveles de precisión ( $C=0.15$  y  $C=0.2$ ).  $T_n$ =Número acumulado de insectos.

## Integración del muestreo secuencial y el UE

Los planes de muestreo secuencial representan un avance con respecto a las curvas de NMM, porque ahorran un paso que insume tiempo en la práctica. Sin embargo, se ha propuesto otro enfoque que sintetiza aún más el proceso que va desde la estimación de la abundancia de la plaga hasta la decisión de aplicar una medida terapéutica.

Los planes de decisión secuencial integran los requerimientos estadísticos de un plan de muestreo secuencial a una prueba de hipótesis sobre la relación entre la densidad de la plaga y el umbral económico.

Se han propuesto dos métodos para la construcción de planes de decisión secuencial: el Test Secuencial de Razón de Probabilidad (TSRP) y el método de intervalos de confianza de Iwao. De estos, el TSRP es el más ampliamente aceptado.

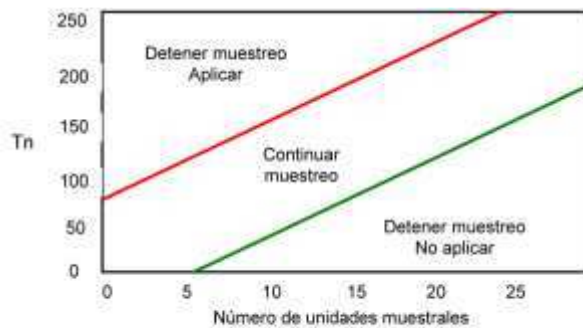
El método TSRP requiere la previa caracterización del patrón espacial de la población plaga mediante un modelo de distribuciones probabilística, como el modelo de Poisson o el modelo binomial negativo. Luego, se fijan los valores de probabilidad de error de tipo I (aplicar una medida terapéutica cuando no es necesario) y error de tipo II (no aplicar la medida cuando sí es necesario),  $A$  y  $B$ , respectivamente, que se está dispuesto a admitir en la toma de decisiones de control.

Finalmente, se debe conocer el umbral económico, en base al cual se establecen densidades críticas inferior y superior,  $m_1$  y  $m_2$ . Generalmente,  $m_1$  se toma como el umbral económico, mientras que  $m_2$  se fija como un porcentaje de  $m_1$ .

El plan TSRP consiste en un diagrama con  $T_n$  y  $n$  en los ejes vertical y horizontal, respectivamente, y dos líneas críticas paralelas que delimitan tres áreas: a) debajo de la línea crítica inferior corresponde detener el muestreo, no aplicar ninguna medida terapéutica y repetir el muestreo cierto número de días después; b) entre las dos líneas críticas corresponde continuar el muestreo; c) por encima de la línea crítica superior, se detiene el muestreo y se aplica una medida de control.

La ecuación que se usará para construir el plan TSRP depende del modelo que haya descrito con mayor fidelidad el patrón espacial de la población. Como ejemplo, se ilustra (Fig. 3) un plan de decisión secuencial para una población hipotética.

Para la elaboración del plan, A y B se fijaron en 0.1 y 0.05, respectivamente, mientras que  $m_1=18$  y  $m_2=22$ . La pendiente y las ordenadas al origen de estas rectas paralelas se calculan con ecuaciones complejas. Los interesados en conocer estos detalles, pueden recurrir al autor de este artículo o bien consultar la obra de Pedigo & Buntin (1994).



**Figura 3.** Plan de muestreo secuencial para toma de decisiones.  $T_n$ =número acumulado de insectos.

### BIBLIOGRAFÍA

- Pedigo, L.P. & G.D. Buntin (1994) Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture. CRC Press.
- Taylor, L.R. (1984) Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. Annual Review of Entomology, 29:321-357.