EL MUESTREO EN EL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS*

Carl S. Barfield**

INTRODUCCION

El paradigma actual para enfrentarse a los problemas de plagas, se designa como Manejo Integrado de Plagas (MIP). Aún cuando existen obvias discrepancias entre los principios (Botrell, 1979) y las prácticas (Barfield y O'Neil, 1984) del MIP, los fitoproteccionistas han hecho progresos significativos combatiendo una plétora de plagas (Metcalf y Luckmann, 1979; Apple y Smith, 1976; Flint y van den Bosch, 1981; Huffaker, 1980; Barfield y Stimac, 1980).

El muestreo es una idea implícita en el concepto y práctica del MIP. Sin embargo, parece que existe una ancha brecha entre la teoría y la práctica del muestreo en los programas de MIP. La verdad es que la mayor parte de los futuros participantes del MIP, especialmente a nivel no graduado, durante su preparación formal, nunca reciben una exposición rigurosa de los fundamentos teóricos y prácticos del muestreo. Esta situación es preocupante, ya que la creciente popularidad del "umbral económico" como piedra de toque de las decisiones de MIP, demanda un conocimiento completo del muestreo.

Se han incluído en este capítulo elementos selectos del muestreo para hacerlo útil, tanto al muestreador novicio, como al practicante experimentado del MIP. Alguna información es teórica, otra es práctica; sin embargo, toda la presentación se relaciona con la toma de decisiones en el manejo integrado de plagas. Las ideas, bases teóricas y enfoques presentados deberían ser útiles como suplemento de la información ofrecida en otros capítulos de este libro. El lector debe estar advertido que los conceptos son aplicables a una amplia gama de sistemas de producción y especies de plagas. Obviamente, los detalles

---

*Este material corresponde al capítulo 9 del libro Manejo Integrado de Plagas Insectiles en Centroamérica: Estado Actual y Potencial. Ed. por K. L. Andrews y José Rutilio Quezada. (En preparación).

**Departamento de Entomología, Universidad de Florida, Gainesville, Florida.

metodológicos asociados con la biología y comportamiento de plagas específicas presentará diferencias entre un sistema y otro.

Poblaciones versus Muestreos

Rara vez puede conocerse con exactitud la densidad, variedad o tamaño total de las poblaciones de organismos en la naturaleza. Para estimar estos parámetros es que se recurre al muestreo. El valor de los datos de muestreo para estimar los verdaderos parámetros poblacionales dependerá de lo apropiado de los métodos y diseño de muestreo.

Siendo que las decisiones de MIP se basan en datos de muestreo, se necesita saber en qué medida esos datos son "buenos" y que tan bien reflejan la verdadera situación en el campo. Para ser capaz de determinarlo, se necesita tener una comprensión del significado y los métodos computacionales de variables estadísticas, tales como el promedio de muestra, desviación estándar, varianza, error estándar y la proporción del error estándar y la media. Además, quien toma las decisiones necesita saber como usar estas estadísticas, para estimar la estadística total de la población y tomar así decisiones locales de MIP.

Como las computaciones estadísticas son estudiadas en cursos elementales sobre la materia, no se darán detalles sobre ellas aquí. Los principiantes pueden consultar la tabla 1, en que se presentan computaciones de 1) estadísticas de muestreo; 2) estadísticas de poblaciones y 3) parámetros poblacionales. Más fórmulas y detalles pueden encontrarse en los trabajos de Cochran (1953), Southwood (1966), Ruesink y Kogan (1975), Kogan y Herzog (1980) y Little y Hills (1978).

Dos razones para muestrear

El desarrollo e implementación de un programa de manejo integrado de plagas tiene una fase experimental y otra de extensión. Estas dos fases ilustran las razones generales para hacer muestreos. En la experimentación, los investigadores se preocupan por medir aspectos relevantes de las plagas y el sistema. Ciertos parámetros poblacionales necesitan ser medidos para comprender el sistema. A la vez, tal conocimiento conduce al diseño de programas relevantes

de MIP. Por ejemplo, si el investigador intenta establecer un programa MIP, tiene que recoger y organizar una serie de datos, tales como: el tamaño de las poblaciones de la plaga, relaciónandolas con las etapas importantes del desarrollo del cultivo, capacidad de consumo de la plaga, su mortalidad, tasas de desarrollo y de reproducción.

Una vez que se han obtenido suficientes conocimientos por medio de las mediciones del sistema, los investigadores están listos para encajar una o más tácticas dentro de una estrategia amplia de combate contra las plagas. En este punto se coloca un programa en manos de personal de campo, típicamente, los extensionistas. Estas personas tienen la responsabilidad de ayudar a los agricultores a decidir si han de tomar o no acciones correctivas en las variadas etapas de la producción, para evitar las pérdidas económicas debidas al ataque de las plagas. Esto se hace típicamente tomando muestras a intervalos definidos y comparando los datos con un criterio de decisión (el umbral económico, por ejemplo). Este aspecto del muestreo se conoce como "muestreo para toma de decisiones" y su función básica es permitir que se puedan tomar decisiones correctas de manejo.

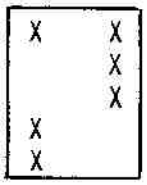
Ambas razones para el muestreo, comparten componentes tales como: 1) consideración de la dispersión espacial de la población a muestrearse; 2) decisión acerca del número de muestras a tomar; 3) decisión acerca de la ubicación de las muestras en espacio y tiempo; y 4) decisión acerca del instrumento a usarse en el muestreo (tamaño de la unidad de muestreo). De una manera u otra, los fitoproteccionistas tienen que enfrentarse a cada uno de estos cuatro componentes para decidir su plan de muestreo. Se necesita entonces entrar en detalle sobre cada uno de tales componentes, para proporcionar al lector una comprensión clara de las opciones y riesgos involucrados en el establecimiento de un plan de muestreo por cualquiera de las dos razones para hacerlo.

COMPONENTES DE CUALQUIER ESTRATEGIA DE MUESTREO

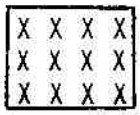
Patrones de dispersión

Las poblaciones exhiben varios patrones de dispersión en espacio y tiempo. Por ejemplo, algunas pueden estar agregadas, mientras otros se distribuyen en forma más o menos equidistante. El comportamiento social, los factores edáficos, los gradientes de temperatura y la mortalidad diferencial, se cuentan entre algunas de las razones por las que los organismos se encuentran en variados arreglos espaciales. El conocimiento de los patrones espaciales de distribución de las poblaciones de plagas, puede tener un impacto decisivo en la estrategia del muestreo. Tanto el número de muestras a tomar, como los puntos del campo en donde se efectúen, estarán determinados por el patrón de dispersión de las plagas que se están muestreando.

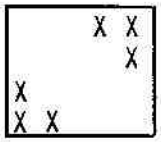
Aún cuando hay un gran número posible de patrones, se considerarán aquí sólo tres de los más comunes y que son: distribución al azar, uniforme y agregada. En cada caso, el investigador puede adquirir una percepción de como están dispersas las poblaciones de la plaga al hacer un análisis de las relaciones entre la media y la varianza de la muestra. Se toma una muestra y se computan la media y la varianza (ver tabla 1 para las fórmulas). Si la proporción de media a varianza es 1, se considera que la población tiene una dispersión al azar ; si es mayor que 1, es uniforme y si es menor que 1, agregada. Considérense los diagramas siguientes:



al azar



uniforme



agregada

De las figuras anteriores, debería ser obvio que los puntos de campo de donde se tomen las muestras pueden causar diferencias significativas en las estimaciones de densidad de la plaga bajo los tres patrones de dispersión. Además, bajo condiciones en que las poblaciones se encuentran agregadas, la varianza asociada con el estimado de la densidad media resultará un tanto alta. El único modo de compensar esta situación es el de tomar más muestras y el

número necesario para obtener estimados más exactos es a menudo mayor de lo que puede humanamente hacerse. Aún cuando él no puede controlar la dispersión de la plaga, el fitoproteccionista debe ser capaz de comprender el patrón que existe, ya que esto es muy importante para diseñar una estrategia total de muestreo.

Número de muestras a tomar

Una de las preguntas más comunes que hacen los practicantes del MIP, es: "¿Cuántas muestras necesito tomar?". Esta no es una pregunta trivial, ya que muchas cosas afectarán ese número. Básicamente, quién tomará una decisión deberá tener un conjunto explícito de objetivos en mente cuando muestrea y solamente entonces puede llegar a un estimado legítimo del número de muestras que deben ser tomadas. Consideramos los siguientes objetivos que son típicamente los que toman en cuenta quienes trabajan en MIP:

A. Hacer un estimado de la densidad media de la plaga con un nivel de precisión tal que el error estándar quede dentro del 10% de la media.

B. Usar 10 muestreos semanales con la mayor efectividad, ya que éste es el número máximo de muestras que estamos en capacidad de hacer.

En el caso B, la pregunta de cuantas" es debatible, ya que el que toma la decisión tiene una experiencia que le dice: "sólo 10 muestreos semanales pueden ser hechos". Su preocupación mayor es cómo distribuir las muestras, lo que constituye el tópico de la próxima sección de este capítulo.

En el caso A, sin embargo, la pregunta de "cuantas muestras" es relevante y puede ser computada. Considérese la siguiente ecuación:

$$N = \left[\frac{S}{E\ \bar{X}} \right]$$

en donde,

N = el número de muestras requeridas para un nivel específico de precisión

S = la desviación estándar de muestras preliminares

$\bar{X}$ = la media de las muestras preliminares
E = el error estándar predeterminado (p.ej., 0.05)

Si por ejemplo, el técnico decide a priori que desea tomar un número suficiente de muestras para asegurarse que la proporción del error estándar de muestra y la media de la muestra (una medida de la precisión del muestreo) no exceda el 5% (0.05), la ecuación anterior podría ser usada para decirle cuantas muestras tendría que tomar para conseguir ese objetivo. Otras ecuaciones útiles para ese fin se pueden encontrar en Southwood (1966). El problema con el uso de este tipo de fórmula es que inevitablemente se descubre que el número de muestras a tomar es mucho mayor de lo que humanamente puede hacerse. Esto se debe al hecho de que la mayoría de las poblaciones de plagas se encuentran en agregados, por lo que resulta inflada la varianza asociada con los estimados de densidad media. Además, las ecuaciones como la arriba presentada no incorporan realmente lo que al trabajador de MIP le preocupa más, o sea, la relación entre la densidad media de la plaga y el umbral económico.

Un juego de ecuaciones recientemente ingeniados por O'Neil (no publicado), parecen ofrecer mucha más utilidad a los que hacen decisiones de MIP que otras previamente publicadas. Considérese las siguiente ecuación:

$n = t^2 s^2 / r^2 \bar{X}^2$

donde n = número estimado de muestras necesarias
t = estadística del estudiante
s^2 = varianza de la muestra
$\bar{X}$ = media de la muestra
r = error relativo

El error relativo es una medida de la distancia de $\bar{X}$ del umbral económico (UE). Si la media es menor que UE, entonces r es grande y n pequeño. En el grado que la media se acerca a UE, r disminuye y n aumenta. Si la media es mayor que UE, se necesitan medidas de control y el estimado de n no resulta influenciado. En el tanto en que la media se acerca al valor de UE, se requiren más muestras. Con una media "alta" o "baja" en relación al UE se pueden tomar decisiones rápidamente.

Cuando el límite superior de confianza (LSC) es mayor que el UE, los técnicos se enfrentan con un nivel de ambigüedad insertado en el proceso de toma de decisión. ¿Se deben tomar medidas de control o no? Cuando el LSC es menor que el UE, no existe tal ambigüedad. Pero cuando es mayor, la pregunta resulta en "¿Cuántas muestras debo tomar para remover la ambigüedad al tomar la decisión?" O'Neil (no publicado) ha propuesto la siguiente ecuación para resolver el asunto:

$$n = \frac{T^2 s^2}{r^2 \bar{x}^2}$$

donde, n = número de muestras necesarias
t = estadística del estudiante
s = desviación estándar de las muestras
$\bar{x}$ = media de las muestras
r = error relativo definido como LSC/x

Ya que t, r, s y $\bar{x}$ se conocerán, se puede encontrar a n. Este enfoque pareciera ser mucho más útil para los practicantes del MIP que las ecuaciones presentadas por Southwood (1966) y otros.

Localización espacial de las muestras

La segunda pregunta más común que hacen los que trabajan con el MIP es "¿De dónde tomo mis muestras en el campo?". Literalmente, la manera como uno se conduce en el campo y se para a tomar una muestra puede tener un tremendo impacto en la estimación de estadísticas como la densidad media de una plaga. La localización espacial de las muestras puede tomar varias formas, de las que sólo se discutirán cuatro: 1) azar simple; 2) azar estratificado; 3) sistemática y 4) "a troche y moche".

Muestreo al azar simple. Tomar una muestra de tamaño n de una población de tamaño N, en tal forma que cada unidad de muestreo tiene una oportunidad igual de ser muestreada. Este método de localización espacial es el más comúnmente discutido; sin embargo, puede ser tedioso de llevar a cabo si se hace correctamente. Existen cuatro pasos involucrados en el muestreo al azar simple,

primeramente, el universo de muestreo (el campo) se divide en cuadrantes, lo que puede hacerse mentalmente o usado medios físicos como banderillas.

En segundo lugar, se usa una tabla de números azarizados para seleccionar coordenadas de campo de donde se tomaran las muestras, las cuales son meras posiciones "x" y "y", que permiten la identificación de cualquier punto en el campo. Esto significa en la práctica, que el campo debe ser marcado en tal forma, que uno pueda identificar cualquier punto dado por sus coordenadas x y y propias.

El tercer paso consiste en que una vez se ha seleccionado un juego de coordenadas, el muestreador se mueve hasta ese punto y toma la muestra.

Por último, los organismos encontrados en la muestra se cuentan y registran. Esto parece simple, y sin embargo, muchos técnicos no dan preferencia a hacer el muestreo al azar simple, por la inconveniencia de tener que llevar una tabla de números azarizados al campo o tener que delinear ejes en el terreno para identificar las coordenadas. En la tabla 1 se presentan ecuaciones para computación de datos de muestreo y la estimación de estadísticas y parámetros poblacionales bajo el sistema de muestreo al azar simple.

Muestreo al azar estratificado. Ahí donde los patrones de dispersión pueden ser vistos o inferidos, los estimados de media de población se pueden a menudo mejorar al dividir el universo de muestreo en estratos. El criterio para la división es separar los estratos de tal modo que las variaciones entre las unidades de muestreo queden minimizadas. Los datos dentro de cada estrato deben ser internamente homogéneos. Una vez delimitados los estratos, el muestreo se lleva a cabo en la forma que se hace para el de azar simple, haciéndolo, por supuesto, para cada estrato.

Cuando existen razones biológicas, las estimaciones de densidad media pueden a menudo ser mejorados al dividir el universo de muestreo en estratos. Las razones para una estratificación pueden ser los accidentes del terreno, factores edáficos, niveles variables de humedad, o la existencia de un policultivo. Sin ese tipo de justificación, el uso de muestreo al azar estratificado no compensa el tiempo invertido en verificarlo.

Tabla 1. Comparación de Estadísticas y Parámetros de Población y Estadísticas de Muestreo bajo un Sistema de Muestreo al Azar Simple.

Estadísticas de Muestreo	Estadísticas de Población	Parámetros de Población
Media $\bar{X} = \Sigma X_1/n$	$\bar{X} = N(X)$	$\mu = \Sigma X_1/$
Varianza $S^2 = \frac{\Sigma x_1^2 - (\Sigma x_1)^2/n}{n-1}$	$S^2 = \frac{N^2 S^2}{n}$	$\sigma^2 = \frac{(\Sigma x_1 - \bar{x})^2}{N}$
Desviación estándar $S = \sqrt{S^2}$	$S = \sqrt{S^2}$	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$
Error estándar	definida como = 0	definida como = 0
Proporción de error estándar a media	definida como = 0	definida como = 0

n = número de muestras tomadas

N = número de muestras posibles de tamaño n en el universo de muestreo

x_1 = conteo de organismos para cualquier muestra particular

Tabla 2. Ecuaciones para la Estimación de Estadísticas de Muestras y Poblaciones bajo un Sistema de Localización Estratificada al Azar.

Estadística de muestra: iguales a las de tabla 1

Estadísticas de población:

media $\quad \bar{X} = N \bar{X}_{S+}$

en donde, $\bar{X}$ = estimado del tamaño total de población
N = número total de muestras posibles
$\bar{x}$ = media de las medias de cada estrato

varianza $\quad S^2 = \Sigma N_h (N_h - n_h) \frac{S_h^2}{n_h}$

en donde, S^2 = estimado de la varianza por estrato
N_h = número total de muestras posibles en ese estrato
n_h = número de muestras tomadas en ese estrato

Una vez que los estratos se han identificado, todavía queda la pregunta de cuantas muestras se deberán tomar de cada uno. Existen tres criterios para ayudar al técnico en esta situación y son los siguientes:

a) Simplemente tómense números iguales de muestras en cada estrato. Esto no parecería tomar máxima ventaja de la justificación biológica de haber comenzado por estratificar.

b) Sopesar el número de muestras con respecto al área de cada estrato. Si uno de ellos alcanza el 60% del área total de campo, tomar 60% de las muestras en ese estrato.

c) Localización óptima, en la que el número de muestras en cada estrato es sopesado, ya sea de acuerdo a la varianza del muestreo dentro del estrato o al costo del muestreo. En cualquiera de esos casos, un muestreo preliminar ayudaría a determinar la varianza y el costo. Los estratos con las más altas varianzas reciben más muestreo en proporción a la magnitud de tales varianzas. Los estratos que cuestan más muestrear, pueden recibir proporcionalmente menos muestreos.

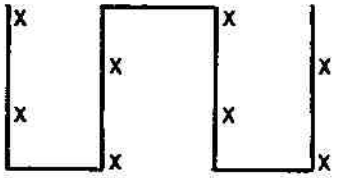
En la tabla 2 se presentan ecuaciones para computación de estadísticas de muestreo y estimación de estadísticas y parámetros de población adecuados al método de muestreo al azar estratificado.

Muestreo sistemático. Caminar sobre una ruta establecida a través del campo, tomando muestras a distancias especificadas, puede ahorrar tiempo y servir para hacer máximo uso de un número fijo de muestras.

En este caso, el número de muestras a tomar se conoce por experiencia o se infiere de la literatura. La idea es de distribuir los sitios de muestreo a través del campo de la mejor manera posible. Se selecciona una línea de transecto, cuya distancia total se divide por el número de muestras a tomar. Este valor representa la distancia entre cada muestra consecutiva. Si la longitud total del transecto es igual a 500 metros y el número de muestras a tomar es 10, aquéllos deberán tomarse cada 50 metros. La forma del transecto es variable y

puede ir desde líneas diagonales a través del campo hasta diseños que representan letras del alfabeto. Muchos programas de extensión sugieren caminar por el campo, formando letras como X, C ó N. Consideremos el siguiente diagrama:

x = Sitio de muestreo



Al comenzar cada período de muestreo en un punto diferente del transecto, uno puede evitar el volver a los puntos exactos de muestreo semana a semana. Así, este método se designa a veces como "muestreo sistemático con inicio al azar". Al usar este método de localización resulta fácil tomar las muestras, ya que se invierte un tiempo mínimo en identificar el sitio sucesivo de muestreo (si se compara con el de azar simple). También tiene la ventaja de "dispersar" las muestras a través del campo y constituye un buen método de localización cuando el número máximo de muestras a tomar es conocido.

Muestreo "al troche y moche". Caminar sin propósito por el campo, parando aquí y allá para tomar muestras.

Muchos técnicos de MIP sienten que pueden usar el "paso de borracho" a través de un campo y obtener un muestreo "al azar". No es ése el caso. Inevitablemente, uno es atraído a los sitios donde hay daño, por el contacto visual con ellos. Por lo general hay un prejuicio que resulta en estimaciones infladas de la densidad promedio de una plaga. El lector deberá recordar que solamente con el uso de los métodos antes mencionados para el muestreo al azar simple, puede uno realmente hacer muestreo "al azar". El término de muestreo "al troche y moche", no aparece en ningún texto de estadística o ecología. Sin embargo, parece describir ampliamente lo que algunos hacen bajo el disfraz de muestreo al azar. Aún cuando pareciera ser más conveniente usar un enfoque "al troche y moche", lo que parece resultar son datos prejuiciados que conducen a decisiones inapropiadas.

Tamaño de la unidad de muestra

El componente final de cualquier procedimiento de muestreo es la escogencia de la herramienta con que se tomarán las muestras. En la mayoría de los casos, el conocimiento previo conduce al técnico a escoger un instrumento de muestreo ya adoptado por otros. Por ejemplo, casi todos los entomólogos saben que una tela para sacudir es útil para muestrear insectos que comen en el follaje. Los nematólogos usan alguna forma de dispositivo para perforar.

La gran cantidad de herramientas de muestreo asociada a toda las disciplinas, se puede dividir en dos amplias categorías: estimadores de densidad relativa y estimadores de densidad absoluta. Los del primer tipo son prácticos y relativamente fáciles de usar, los segundos son más difíciles de usar e imprácticos para los propósitos de tomar decisiones. El establecimiento de una relación cuantitativa entre las estimaciones obtenidas por ambos tipos de instrumentos de muestreo para una sola especie, es muy difícil, por lo que debería ser el motivo de una investigación especial.

Estimadores de densidad absoluta. Estos proveen el tipo de datos mayormente buscados por los ecólogos de poblaciones. Los que toman decisiones de manejo de plagas desean ese tipo de datos, pero encuentran impráctico el adquirirlos cuando intentan tomar esas decisiones. Estas medidas dan estimados de densidad de población por unidad de área de terreno, lo que puede darse por metro cuadrado, un pie de surco cultivado, etc. Ruesink y Kogan (1975), presentan cuatro enfoques usados para obtener estimados de densidad absoluta, que son: 1) distancia al vecino más cercano; 2) muestreo de una unidad de hábitat; 3) trampeo de remoción y 4) recaptura de individuos marcados.

Los botánicos han usado a menudo el enfoque 1, en el que un individuo es escogido al azar y medida la distancia al vecino más cercano. Esto es más aplicable a individuos fósiles más que a otros de mayor movilidad como los insectos. Ruesink y Kogan (1975), presentan la siguiente ecuación:

$$m = (pn)^2$$

donde, m = densidad por unidad de área

n = distancia media entre los vecinos más cercanos

p = un índice de agregación que es igual a 2 cuando ésta es al azar y excede a 2 en las poblaciones agregadas.

Un estimado de densidad relativa para una amplia gama de organismos, se puede obtener muestreando una unidad de hábitat. El muestreo de hojas, tallos, plantas enteras u otras unidades apropiadas, resultará en números totales de organismos en esa unidad de hábitat. Un problema asociado con este enfoque es el gran volumen de muestras que deben ser procesadas. Si se recoge la unidad entera para hacer los conteos, puede aliviarle a uno la preocupación por la eficiencia del muestreo. Se han usado varios tipos de trampas de succión para muestrear desde el aire. Los embudos Berlese han sido empleados para muestrear insectos de la hojarasca y varios dispositivos perforadores han servido para el muestreo de insectos y nemátodos del suelo. El punto es que, el conocimiento del hábitat en el cual los organismos se encuentran puede conducir al uso del instrumento apropiado para hacer una estimación de sus densidades absolutas.

El trampeo de remoción (Southwood, 1966), se basa en el hecho de que si algunos de los miembros de una población son removidos, las capturas subsecuentes serán reducidas. La tasa de declinación puede usarse para estimar el tamaño de la población. Tal como señalan Ruesink y Kogan (1975), la manera más simple de analizar tales datos es graficar el número de organismos capturados en el trampeo n con el total de los capturados en el trampeo previo y trazar una línea recta, tocando los dos puntos. Un estimado del tamaño de la población inicial se puede obtener leyendo el valor de la gráfica, en la que la línea hace intersección con el eje de captura total. Este enfoque presupone que no han ocurrido nacimientos, muertes o migraciones durante el programa de muestreo y que la probabilidad de captura es igual para todos los miembros de la población.

La captura y marcaje de individuos, su liberación y recaptura, ha sido un método usado por largo tiempo para obtener estimados de densidad absoluta de población. El índice de Lincoln (Lincoln, 1930), ha sido desarrollado para este tipo de enfoque. De nuevo, el método presupone que no ocurran nacimientos, muertes o migraciones. El tamaño de la población total, de acuerdo a Ruesink y Kogan (1975), se puede estimar como sigue:

$$P = \frac{an}{r}$$

donde, p = tamaño de la población total
a = número de individuos marcados y leberados
n = número de individuos recapturados
r = número de individuos marcados y recapturados

Los mejores estimados de p ocurren cuando a y n son aproximadamente iguales.

Estimadores de densidad relativa. La categoría de instrumentos de muestreo provee estimados de densidad de población por unidades distintas a las de área de terreno. Tipicamente, dan la densidad por unidad de "esfuerzo". Los estimadores de densidad relativa son los dispositivos más comúnmente usados por los que toman decisiones de MIP, ya que capturan organismos. Son relativamente fáciles de usar y son prácticos cuando se necesitan esfuerzos para tomar decisiones rápidas de MIP. Con estos dispositivos, la idea no es la de capturar todos y cada uno de los organismos en el hábitat. Más bien, se trata de muestrear una proporción constante de los que están presentes. A menudo esto exige alguna investigación para determinar qué proporción de organismos se está capturando con un determinado dispositivo. Por ejemplo, el uso simultáneo de un método que produce un estimado de densidad absoluta y otro que lo haga con la relativa, puede dar información exacta sobre la proporción de la población total que se está muestreando con ese dispositivo en particular. El uso del estimador más práctico para la densidad relativa en el campo puede entonces permitir una "calibración" de estimados de la absoluta. Una discusión más detallada de los factores ecológicos y etológicos que pueden afectar los números de organismos capturados con un estimador de densidad relativa se puede encontrar en Southwood (1966).

Los agrónomos de varias disciplinas han desarrollado un buen número de instrumentos que producen estimados de densidad relativa, algunos de los cuales se presentan a continuación:

a. Conteos visuales: El investigador dedica tiempo en el campo para observar el hábitat; algunas veces se perturba el follaje (lo que puede llamarse "levante")

para contar los organismos a medida que se mueven. Esta técnica de conteo visual es usualmente menos de 100% eficiente para contar los insectos presentes.

b. Red: Los entomólogos han suado por mucho tiempo las redes para capturar insectos, la eficiencia de las cuales puede variar de acuerdo a la especie, los diferentes hábitats y aún con los diferentes estilos de golpear con la red. (Ruesink y Kogan, 1975).

c. Trampas de luz: Una variedad de insectos son atraídos por las trampas de luz y pueden ser capturados en ellas. Necesitan una fuente eléctrica y en áreas de alta precipitación pluvial deben estar equipadas con desaguaderos para evitar la contaminación con agua. El alcohol u otro agente para matar insectos debe usarse en las trampas de luces. Algunas están provistas de mallas eléctricas que matan a los insectos cuando entran en ellas.

d. Trampas con atrayentes: El uso de feromonas y otros tipos de atrayentes. Este tipo de trampa funciona como la trampa de luz, pero por lo general, capturan sólo a la especie deseada. Un obstáculo para su uso puede ser su costo o la escases de la feromona sintética.

e. Trampas de vacío: El uso de la "D-vac" y otros tipos de trampas de succión, constituye una práctica común. Los mínimos de organismos capturados pueden variar con el ritmo con que camina quien muestrea, con el tamaño del cono de succión, o con la velocidad de la misma. Se debe tener cuidado para evitar que escapen organismos cuando cesa la succión.

f. Telas para sacudir: Este es el dispositivo de muestreo más común para los entomólogos interesados en los insectos comedores de follaje. Una tela (típicamente de 1 metro cuadrado) se coloca entre surcos de un cultivo y el follaje a ambos lados se sacude vigorosamente. Los organismos que caen sobre la tela son contados o capturados.

g. Trampa Malaise: Los entomólgos y ornitólogos han usado estas trampas grandes para obtener datos de densidad como de dirección de movimiento. Se exige una tienda de lados abiertos. Cuando los animales se mueven (usualmente volando)

sobre la superficie de la tienda, se desplazan en ella de tal modo que son colectados en recipientes colocados en cualquiera de sus esquinas.

h. Trampas pegajosas: El uso de superficies pegajosas para capturar organismos que vuelan o caminan hacia ellas es bastante común. A menudo son pintados con colores atractivos para ciertos especies particulares o están equipadas con feromonas.

i. Trampas de agujero: Se han usado por mucho tiempo y son perforaciones hechas en el suelo y equipadas con receptáculos para capturar a los insectos que se desplazan por la superficie y que caen en ellas. A veces los receptáculos se llenan parcialmente con líquidos que los matan o preservan.

j. Trampas de esporas: Los patólogos han usado estas trampas guiadas por el viento, análogas a las trampas pegajosas de los entomólogos. Una aleta permite que la trampa se oriente hacia el viento para que la columna de aire pase por la trampa y sobre alguna forma de agar. Las esporas son atrapadas en el agar y se pueden identificar observándolas al microscopio o haciendo un cultivo de ellas.

k. Alutriadores: Los nematólogos habían esperado largo tiempo por un dispositivo que fuera capaz de mezclar completamente el suelo de varias muestras y poder así sacar una muestra "estandarizada" para centrifugarla, obteniendo un conteo promedio de los nemátodos presentes. El alutriador del suelo es ese dispositivo. Sin embargo, puede resultar cara su obtención y operación.

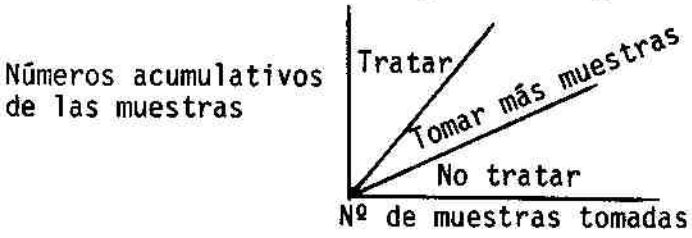
Todos los dispositivos descritos se usan para dar estimados de densidad relativa. En ese sentido resultan ser representadores imperfectos del número real de organismos presentes en el hábitat. Los que toman decisiones de MIP nunca saben cuan eficiente es el uso de estos intrumentos, a menos que se hagan las investigaciones apropiadas para relacionar los valores obtenidos con ellos, con los que produzcan los instrumentos apropiados para estimar la densidad absoluta.

Por ejemplo, en un mismo campo, los técnicos de MIP pueden usar la tela de sacudir (para determinar densidad relativa) y una trampa tipo almeja (para

determinar densidad absoluta) en la estimación de la densidad de una plaga. Si los muestreos se verifican con cada dispositivo a intervalos iguales de tiempo, se puede usar un análisis de regresión para relacionar los estimados de uno y otro método. Siendo que la tela de sacudir es el método fácil y práctico preferido por el técnico, se convierte en la variable independiente (X) en la relación de regresión. Usando los estimados tan fáciles de obtener con la tela de sacudir, el técnico puede "predecir" la densidad absoluta de las plagas presentes. Se debe tener precaución de recalibrar esta relación varias veces en la temporada del cultivo o cuando uno se mueve entre los campos. Hay que recordar que el uso de instrumentos estadísticos descriptivos como la regresión, es sólo útil para describir datos ya recogidos, los que no contienen mecanismos biológicos y por lo tanto, pueden variar drásticamente en espacio y tiempo.

MUESTREO SECUENCIAL

Vale la pena hacer referencia al muestreo secuencial, ya que muchos trabajadores del MIP parecen opinar que no es más que otro método de localización espacial del muestreo. Ese no es el caso. En el muestreo secuencial, el objetivo es separar las densidades de las plagas de varias "categorías de decisión" (por ejemplo: tratar, no tratar, o tomar más muestras). Las muestras son tomadas y los números acumulativos de organismos se registran con cada muestra subsecuente. Con cada muestra, el que toma decisiones es provisto con un límite "alto" y otro "bajo", que le sirven de guía para lo que debe de hacer. Si el número acumulativo de organismos es menor que el límite bajo, el técnico puede dejar de muestrear; no tiene problema con la plaga. Si ese número acumulativo es mayor que el límite alto, se debe tomar una acción correctiva (por lo general, el uso de un pesticida). Si el número acumulativo queda en medio de ambos límites, se tienen que hacer más muestreos. El problema con el muestreo secuencial es que, la mayoría de las veces, el que toma las decisiones, cae en la situación de "tomar más muestras". Considérese el siguiente diagrama:



Existen dos suposiciones implícitas en el muestreo secuencial que obstaculizan su utilidad en la mente de los técnicos de MIP. En primer lugar, el patrón de dispersión de los organismos a muestrear se supone ser fijo a través de los intervalos en que se toman los muestreos secuenciales. La mayoría de fitoproteccionistas sabe que éste no es el caso. En segundo lugar, la varianza asociada con el estimado de densidad media se supone ser estable, o sea, que no fluctúa mucho. Esta también es una suposición incorrecta, especialmente si se aplica a poblaciones con patrones de dispersión agregada. A pesar de tales suposiciones erradas, muchos programas de MIP han adoptado esquemas de muestreo secuencial.

UMBRALES Y NIVELES DE DAÑO

El practicante del MIP toma muestras para hacer cierto tipo de decisiones. Una de las decisiones más importantes es la de si se hace necesario o no tomar una medida correctiva para combatir las plagas. Se han desarrollado dos puntos de referencia (Stern, 1973), que ayudan al técnico a tomar sus decisiones y que son el "nivel de daño económico" (NDE) y el "umbral económico" (EU). El primero se refiere a la densidad de la plaga a la cual el costo del tratamiento no se traduce en una unidad de aumento en las ganancias, si se les compara con las que resultan al no tratar. Este es el punto de "pérdidas y ganancias iguales" en términos de densidad de plaga. Este valor se puede determinar solamente por medio de investigaciones intensivas sobre la economía y las relaciones de daño y rendimiento del cultivo en cuestión. El umbral económico (UE), no es más que el punto de referencia que le dice al técnico cuando debe de tomar una acción, de modo que la plaga nunca alcance el nivel económico de daño (NDE). Detalles del desarrollo y uso de los valores del UE y el NDE, pueden encontrarse en el capítulo 8 de este libro del MIP/CATIE.

PLAGUEO: CONSIDERACIONES PRACTICAS

El papel del fitoproteccionista

Los agricultores se dan cuenta, cada vez más, de la necesidad de un servicio experto que pueda usarse para ayudarles a tomar decisiones críticas concernientes al manejo de las plagas. En todos los países está emergiendo el fitoproteccionista como un nuevo profesional para ayudar a los agricultores. Estos profesionales poseen una preparación diversa y deben estar familiarizados con los fundamentos de un amplio espectro de disciplinas (entomología, nematología, patología, agronomía, etc.). Una de las funciones principales que llevan a cabo los fitoproteccionistas es tomar muestras en el cultivo y ayudar al agricultor a comprender si existe o no un problema de plagas. Otros servicios que forman parte de su trabajo incluyen métodos de preparación del terreno, selección de la variedad apropiada, análisis de suelo, etc. Sin embargo, su responsabilidad primaria es la de ayudar al agricultor a controlar sus plagas, o por lo menos informarle si existe o no un problema real o potencial de plagas.

Típicamente, el fitoproteccionista inspecciona todos los campos de su agricultor cliente una vez por semana. Dispone de un formulario que llena para cada uno de sus agricultores. El formulario contiene información como: 1) semana del año; 2) nombre y ubicación del agricultor; 3) tipo de cultivo; 4) densidad de plaga y organismos benéficos encontrados; 5) etapa de crecimiento del cutivo; 6) acciones tomadas por el agricultor durante la temporada del cultivo. Cada semana discute con el agricultor sobre los resultados de su inspección. El agricultor a la vez, busca el consejo del fitoproteccionista para decidir si conviene o no verificar una acción de control, y si es así, qué es lo que el técnico le recomienda. Podrá aceptar esa recomendación o tomar otra acción alternativa, lo cual es una decisión que él debe hacer. El fitoproteccionista actúa en este caso únicamente como un consejero profesional.

El empleo de fitoproteccionistas se está volviendo popular en las comunidades agrícolas de todo el mundo. Siendo que el muestreo es la única manera que existe para determinar si hay o no problemas de plagas, los ténicos deben comprender tanto la teoría como la práctica del muestreo para ser más eficientes en su trabajo. Con la debida experiencia en la inspección de los cultivos,

cualquier fitoproteccionista sabrá afinar su habilidad para tomar decisiones correctas y moldear la teoría en aplicaciones prácticas.

Consideraciones prácticas

Existen varias consideraciones que deben explicarse bien, para que cualquier programa de inspección se lleve a cabo con eficiencia:

1. Los inspectores deben tener una preparación y adiestramiento en el sistema de cultivo que habrán de muestrear. De otro modo no podrán identificar las plagas, caracterizar las etapas de crecimiento del cultivo o estimar apropiadamente los daños. Además, probablemente no serán capaces de distinguir las plagas de los organismos benéficos sin una educación apropiada. Varios programas de MIP han encontrado que los manuales de bolsillo con claves de identificación son útiles en ayudar, tanto a los agricultores como a los técnicos, para los muestreos, identificación de plagas y otros procedimientos del MIP.

2. Los técnicos inspectores de campo, necesitan un dispositivo práctico para registrar los datos. Algunos programas usan tarjetas electrónicas que se marcan con un lápiz y pueden ser leídas por una computadora. Con más frecuencia se usan hojas o tarjetas impresas con casillas para la fecha, finca, campo, todas las plagas posibles y etapa de desarrollo del cultivo y las que el inspector va llenando a medida que verifica su trabajo.

3. Los que toman las decisiones deberían tener acceso a algún tipo de facilidades de computación, para resumir estadísticamente los datos recogidos en el campo y determinar en donde se encuentran las densidades de las plagas en relación a los valores de umbral económico (UE). Estas facilidades pueden variar desde el simple calculador hasta las computadoras más sofisticadas.

4. Hay que recordar que un tema de importancia discutido en este capítulo ha sido el de "esparcir" las muestras tomadas en el campo. El método de localización sistemática de muestreo resulta práctico, en vista de que las plagas en su mayoría tienen un patrón de dispersión agregada y que, además, los técnicos sólo pueden tomar un número limitado de muestras. Por cierto, el

método de localización sistemática es precisamente el que se usa en muchos programas de inspección en la actualidad.

5. Existen en realidad sólo dos aspectos en cualquier método de muestreo que típicamente son manipulados por el técnico que toma las decisiones. Es sabido que la dispersión de la plaga es fija y que, aún cuando el técnico de MIP puede determinarla, no la puede manipular. El instrumento de muestreo es simplemente adoptado de los trabajos previos. Como consecuencia, los dos aspectos que van a variar es el número de muestras tomadas y la localización espacial de las mismas en el campo.

6. A menudo se encuentra que no se ha hecho investigación alguna hacia el desarrollo de umbrales o niveles económicos de daño de plagas específicas en cultivos específicos. Bajo estas condiciones, el fitoproteccionista se ve forzado a usar los datos de muestreo para juzgar cuando habrá de tomar alguna acción, careciendo así de un criterio para tomar la decisión. Sin embargo, el solo hecho de esperar a que la plaga esté presente en el cultivo (juzgándolo por medio del muestreo), es un paso positivo que nos aleja del simple programa de aspersiones por calendario.

RESUMEN

Los componetes de cualquier estrategia de muestreo se enfocan en la dispersión de la plaga, el número de muestras a tomar, la localización e instrumento para el muestreo. Existen maneras de utilizar en forma óptima un número fijo de muestras. Sin embargo, dependiendo de los objetivos de quien toma las decisiones, un número mayor o menor de muestras habrá de tomarse de tiempo en tiempo. Es de primordial importancia la comprensión de que un estimador de densidad relativa puede conducir a conclusiones erróneas acerca del número real de plagas presentes. Finalmente, los datos de las inspecciones de campo son útiles únicamente si los valores de nivel económico de daños (NED) y el umbral económico (UE) han sido cuidadosamente determinados. En contraste, los datos de muestreo son muy importantes para medir varios componentes del sistema para el cual se está desarrollando un programa de MIP.

LITERATURA CITADA

APPLE, J. L. and SMITH, R. F. (eds.). 1976. Integrated pest management. New York. Plenum Press. 200 p.

BARFIELD, C. S. and STIMAC. 1980. Pest management: an entomological perspective. Bioscience 30:683-9.

_____ and O'NEIL, R. J. 1984. Is an ecological understanding a prerequisite for pest management? Fla. Entomol. 67:42-8.

BOTTRELL, D. C. 1979. Integrated pest management. Washington D.C. U.S. Cov't. Print. Office. Rpt. for Conuncil Environ. Quality. Nº 041-011-00049-1. 120 p.

COCHRAN, W. G. 1953. Sampling techniques. New York, Wiley. 413 p.

FLINT, M. L. and VAN DEN BOSH, R. 1981. Introduction to integrated pest management. New York. Plenum Press. 240 p.

HUFFAKER, C. B. (ed). 1980. New technology of pest control. New York, Wiley. 500 p.

KOGAN, M and HERZOG, D. C. 1980. Sampling methods in soybean entomology. New York. Springer-Verlag. 587 p.

LINCOLN, F. C. 1930. Calculating waterfowl abundance on the basis of banding returns. USDA Cir. 118:1-4.

LITTLE, T. M. and HILLS, F. J. 1978. Agricultural experimentation: design and analysis. New York, Wiley. 350 p.

METCALF, R. L. and LUCKMANN, W. H. (eds.). 1975. Introduction to insect pest management. New York, Wiley. 587 p.

O'NEIL, R. J. (sin publicar) Entomology, Purdue University.

RUESINK, W. C. and KOGAN, M. 1975. Quantitative basis of pest management: In Metcalf L. and Luckmann, W.H. eds. Intro. to Insect pest Management. New York, Wiley. pp. 309-51.

SOUTHWOOD, T. R. E. 1966. Ecological methods with particular references to the study of insect populations. London. Methuen. 391 p.

STERN, V. M. 1973. Economic thresholds. Annu. Rev. Entomol. 18:259-80.