

METODOS DE MUESTREO PARA LA DETERMINACION DE POBLACIONES CRITICAS DE LA BROCA DEL FRUTO DEL CAFETO *Hypothenemus hampei* (Ferr.)

BERNARD DECAZY

Entomólogo IRCC/PROMECAFE/ANACAFE

INTRODUCCION

A pesar de la importancia económica de la broca del fruto del cafeto y del gran número de trabajos sobre la biología y la ecología de esa plaga, se encuentra muy poca información en cuanto a los métodos más apropiados de muestreo de las poblaciones de broca. Eso fue un freno para el desarrollo de los estudios ecológicos de base y atrasó la afinación de un método de manejo integrado de la plaga.

El conocimiento de los niveles de población de la broca en el transcurso del año es necesario:

- para tomar decisiones de hacer cualquier tipo de control, como por ejemplo el control químico, cuyo costo y molestia en el ambiente hacen que sólo se deba utilizar cuando se justifique económicamente.
- para la evaluación de la eficiencia de cualquier medida de control.

El método de muestreo utilizado tiene que definir la precisión con la cual pueden dar los niveles de población. Pero es muy difícil definir los niveles de población de broca en un cafetal, por la gran heterogeneidad de los cafetales y por el tipo de distribución agregativa de la plaga dentro del cafetal, del cafeto y de la rama.

Unos autores han propuesto métodos de muestreo de broca: P. Baker en 1984 en México, experimentó la toma de muestra sistemática en cada kilómetro a lo largo de las carreteras, contabilizando los frutos perforados o no, de una rama de 10 cafetos, tomados al azar. Sánchez, 1984, también en México, definió la **unidad de muestreo**: formada por 5 cafetos seguidos a lo largo de un surco, en los cuales se contabiliza 20 frutos al azar por cafeto (o sea $5 \times 20 = 100$ frutos).

I. ANALISIS DEL METODO DE SANCHEZ

Sánchez (*op. cit*) utilizó la ley binomial negativa, ley que es muy a menudo utilizada para ajustar las distribuciones agregativas de los insectos; en esa ley, la varianza (s^2) y el promedio (m), son ligados por la fórmula:

$$s^2 = m + m^2/k \quad \text{en la cual "k" es un parámetro de dispersión a estimar.}$$



En una distribución dada, una vez calculados s^2 y m , se puede estimar k en una primera aproximación (k_0). Después afina k , igualando la probabilidad de conseguir cero frutos, calculada por la ley binomial negativa, a la frecuencia relativa observada en el muestreo para el mismo valor de cero. Después se calcula una segunda estimación de k , por interpolación lineal.

El autor da unos ejemplos:

- 595 unidades de muestreo:

$$m = 9.32, s^2 = 43.07, k_0 = 2.57, k = 2.247$$

- 30 unidades de muestreo:

$$m = 3.16, s^2 = 12.39, k_0 = 1.082$$

- 136 unidades de muestreo:

$$m = 11.23, s^2 = 51.42, k_0 = 3.14$$

Se nota con esos ejemplos que el parámetro k no es estable, pues cálculos basados sobre un índice de dispersión poco estable, no podrán ser confiables.

Además, la ley binomial negativa es asimétrica pero unimodal; por lo tanto, si se quiere separar dos promedios m_1 y m_0 ($m_1 > m_0$), calculados con n muestras con varianzas s_0^2 y s_1^2 , respectivamente, es preciso que:

$$\frac{m_1 - m_0}{\sqrt{\frac{s_0^2}{n} + \frac{s_1^2}{n}}} \geq t\alpha + t\beta$$

α : riesgo de primera especie (de aplicar aunque no sea necesario)

β : riesgo de segunda especie (de no aplicar aunque sea necesario)

Eso da la fórmula siguiente:

$$n = \frac{(t\alpha s_0 + t\beta s_1)^2}{m_1 - m_0}$$

En la cual t es el t de Student para $(n-1)$ grados de libertad.

n es el número de unidades de muestreo para separar significativamente m_1 de m_0 .

Según Sánchez, para México, el umbral económico de aplicación química es de:

$$m_1 = 4\% \text{ de frutos perforados.}$$

Según el mismo autor, 2% de frutos perforados, que es el m_0 de la fórmula, es tolerable y no necesita control químico. Si se hacen los cálculos con los datos del tercer ejemplo, da un $n = 14$ sitios de muestreo.

La pregunta es: ¿por qué escoger $m_0 = 2\%$ y no cualquier otro valor?

Haciendo los cálculos con otros valores de m_0 , se llega a:

$m_0 = 1\%$,	$n = 5$
$m_0 = 1.5\%$,	$n = 8$
$m_0 = 2.0\%$,	$n = 14$
$m_0 = 2.5\%$,	$n = 29$
$m_0 = 3.0\%$,	$n = 72$

Se nota que el número de unidades de muestreo es dependiente del m_0 que se toma. Por esa razón, no se pueden basar los cálculos para establecer un índice de decisión de control, sobre esa metodología.

Por esas dos razones, se buscó otra metodología, que fuera más confiable y bien adaptada para el estudio de la broca del fruto del cafeto.

II. NUEVA METODOLOGIA

Esta nueva metodolog[ia fue propuesta por Decazy y Lotodé en 1986, en el segundo Taller Internacional sobre la Broca en Tapachula, Chiapas, México.

1. Ley de distribución espacial de la broca

Las distribuciones de los números de insectos por unjidad de muestreo en las muestras de poblaciones diferentes de una misma especie, son de estructuras diferentes. En función del estadio de la población, esas distribuciones pueden ser descritas por varias leyes tales como la binomial negativa, tipo A, B o C, de Neyman, Tipo 1 ó 2 de Polya, etc. L.R. Taylor (XII Conferencia Internacional de Entomología, 1964) ha mostrado que una ley sencilla, ligando la varianza y el promedio de la distribución abarcaba todas las leyes:

$$s^2 = a \cdot m^b$$

en la cual, para el caso de broca:

s^2 : varianza del % de frutos perforados por parcela
 m : promedio del % de frutos perforados por parcela
 a y b : coeficientes propios a la broca en su agroecosistema

Expresada en logaritmo, esa ley se entiende mejor:

$$\text{Log } s^2 = \text{Log } a + b \text{ Log } m$$

en esa forma, el logaritmo de la varianza es una función lineal del logaritmo del promedio.

El coeficiente b (pendiente de la recta de regresión) caracteriza la especie en un ambiente dado y parece ser independiente de:

- el método de muestreo
- la densidad de población
- y supuestamente de la tasa de crecimiento y de su signo

Ese coeficiente b puede ser considerado como el índice de agregación de la especie, se queda constante para una especie en un ambiente estable, como lo es un cafetal. Aunque él puede variar cuando las características del ambiente cambien, su variación se encuentra en un rango bastante angosto.

El parámetro $\text{Log } a$, llamado coeficiente de intercepción (ordenada a la origen), corresponde al valor de la varianza cuando el promedio es igual a 1 (sea $\text{Log } m = 0$) $\text{Log } a$ podría ser modificado por:

- el método de muestreo
- la tasa de crecimiento y su signo

NOTA: Esa ley, muy general, presenta mucho interés, pues da la clave de la transformación de los datos antes de un análisis de varianza, para homogeneizar las varianzas de las muestras. Su función de transformación es:

$$f(x) = \int \frac{dx}{x^{b/2}}$$

siendo b , el coeficiente de agregación

Cada dato de una muestra tiene que ser transformada a $x^{1-b/2}$ para fin de análisis.

Por ejemplo, si $b = 1$ (es entonces una ley de Poisson), los insectos son distribuidos al azar. En ese caso:

$$x^{1-b/2} = x^{0.5}, \text{ sea raíz cuadrada}$$

2. Evaluación de los parámetros de la ley de Taylor

Para la evaluación de los parámetros a y b de la ley de Taylor, los autores comprobaron 3 métodos de muestreo:

- parcela de 1 manzana (= 0.7 ha)
- 2.000 frutos observados en 20 unidades de muestreo. La ubicación de la unidad se hace dividiendo por 20 el número de surcos, sacando al azar el número del primer surco y para los siguientes añadir 20 al número precedente. En cada surco así determinado, se saca la ubicación de la unidad por sorteo, ayudándose de una calculadora de bolsillo.
- La unidad de muestreo se compone:
 - de 5 cafetos juntos a lo largo del surco, se muestrea 20 frutos al azar por cada uno de los 5 cafetos ($5 \times 20 = 100$).
 - de un cafeto en el cual se muestren los frutos de una a tres ramas.
 - de un cafeto en el cual se muestrean 100 frutos al azar en toda la planta.
- En cada caso, se contabilizan los frutos y se establece el porcentaje de frutos perforados por unidad de muestreo.
- Se muestrearon cafetales de varias regiones de Guatemala, haciendo la separación entre dos zonas altitudinales (300 a 600 metros, y 600 a 1.200 m), y haciendo separación entre 3 niveles de tecnificación de fincas.

RESULTADOS

Para cada factor considerado, se calculó los valores de a y b , y sus variaciones. Para eso, cada dato es el dato general sacado de las 20 unidades de muestreo de una parcela. Es decir que la regresión promedio - varianza, se calcula utilizando un cierto número de parcela de una manzana.

Los datos de campo, hay que transformarlos primero en Log . Después se calcula la regresión y así se consiguen los valores de la ley de regresión lineal.

$$y = a + bx$$

b : b de la ley de Taylor

- a : Log a de la ley de Taylor
- y : Log s² de la ley de Taylor
- x : m de la ley de Taylor

Los resultados enseñan que:

- Los coeficientes a y b son estables (los valores que salen de la distribución normal se deben a un número débil de datos).
- No hay diferencia en cuanto al método de muestreo. Se puede entonces escoger cualquiera de esos métodos (sin embargo, es preferible no utilizar el muestreo con ramas para no introducir sesgo).
- no hay diferencia en cuanto a altura.
- no hay diferencia en cuanto a región
- no hay diferencia en cuanto a tecnología

Se hizo cálculo con todos los datos. Los valores de a y b así conseguidos van a ser utilizados para establecer la precisión de las medidas de los % de infestación de los frutos, con la meta de conocer la eficiencia de cualquier medida de control de la broca y para definir los índices de decisión de control en función de umbrales biológicos o económicos de las poblaciones de la plaga (Tabla 1).

b	:	1.21
Log α	:	0.86
a	:	2.36

TABLA 1. Coeficiente a y b, 1987 : Log s² = Log a + b Log m

Nombre y N° muestreo	Coefficiente correlación lineal	Pendiente b	b min.	b max.	Ordenada origen Log.a	Log. a min.	Log. a max.
A (89)	0.98	1.32	1.24	1.40	0.71	0.63	0.79
B (48)	0.96	1.20	1.14	1.26	1.02	0.02	1.11
C (41)	0.99	1.22	1.08	1.36	0.97	0.76	1.17
D (43)	0.98	1.16	1.09	1.24	0.83	0.73	0.92
E (126)	0.97	1.24	1.19	1.29	0.86	0.80	0.91
F (64)	0.98	1.20	1.14	1.25	0.81	0.74	0.89
G (59)	0.97	1.28	1.19	1.36	0.88	0.80	0.96
H (16)	0.96	1.26	1.04	1.47	1.23	1.02	1.44
I (22)	0.96	1.08	0.93	1.23	0.76	0.57	0.95
J (43)	0.98	1.26	1.19	1.34	1.04	0.94	1.13
K (78)	0.98	1.18	1.13	1.23	0.78	0.72	0.85
L (48)	0.96	1.28	1.16	1.40	0.77	0.65	0.89
TOTAL (169)	0.97	1.21	1.17	1.26	0.86	0.81	0.91

A: Sánchez	D: Altitud 0 - 600	G: Región 2	J: Tecnificación buena
B: Ramoa	E: = 600 - 1.200 m	H: Región 5	J: T. media
C: Planin	F: Región 1	I: Región 6	L: T. baja

3. Precisión de las medidas de los % de infestación de los frutos por broca

Varios problemas pueden ocurrir a los investigadores o a los caficultores:

- para una desviación al promedio conocido (x% de m), saber el número n de unidades de muestreo necesarias y suficientes en función del porcentaje de infestación (m).
- para un número (n) de unidades de muestreo dado, conocer la desviación al promedio (x% de m) de la medida en función del porcentaje de infestación (m).

El valor estadístico de una medida es:

$$m \pm t \alpha \sqrt{\frac{s^2}{n}}$$

en la cual $t \alpha \sqrt{\frac{s^2}{n}}$ es la desviación al promedio

Para una desviación esperada, se puede escribir

$$\frac{x}{100} = m = t \alpha \sqrt{\frac{s}{n}}$$

sea:

$$n = \left(\frac{100 \cdot t \alpha \cdot s}{x \cdot m} \right)^2$$

En la Tabla 2 se dan los valores de n, para unos valores de m, tomando en cuenta las desviaciones al promedio de 5, 10, 20, 30, 40 y 50%.

En la Tabla 3 se dan las desviaciones al promedio para unos valores de m, tomando en cuenta unos valores del número de unidades de muestreo (n).

Se puede ver en las tablas que sería en vano pretender conseguir valores de m con una buena precisión, pues para eso, se necesitaría un número de unidades de muestreo muy alto, imposible a hacer en el campo. No se puede pensar poder hacer un muestreo en más de 300 unidades de muestreo en un área cafetalera. Y así sólo se consigue medidas con 20 a 30% de desviación al promedio.

4. Índice de decisión de control

En un plan de manejo integrado de la broca, cuando la infestación de la plaga llegue al umbral económico de pérdidas, hay que tomar la decisión de aplicar la medida de control que le corresponde.

Pero la falta de precisión en la evaluación de las poblaciones de broca, hace que sea preciso tomar la decisión de control antes que se llegue al umbral definido arriba, para estar seguro de no pasar ese umbral.

TABLA 2. Número de unidad de muestreo en función de la adecuación esperada

X/100 m	1	2	3	4	5	10
0.05	3626	2097	1523	1213	1017	558
0.10	907	524	381	303	254	147
0.20	227	131	95	76	64	37
0.30	105	61	44	35	29	17
0.40	59	34	25	20	17	10
0.50	38	22	16	13	11	6

TABLA 3. Desviación al promedio en función del promedio

m	0.5	1	2	3	4	5	10
m = 2000	9	7	5	4	4	4	3
m = 1000	13	10	7	6	6	5	4
m = 500	18	14	10	9	8	7	6
m = 400	20	15	12	10	9	8	6
m = 300	23	18	13	11	10	8	7
m = 200	29	22	17	14	13	12	9
m = 100	40	31	23	20	18	16	12
m = 50	57	43	33	28	25	23	17
m = 30	74	56	43	36	32	30	23

El índice de decisión de control más práctico es aquel que corresponde al intervalo de confianza unilateral abajo del umbral.

Ese índice, lo da la ecuación siguiente:

$$l = m - t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{s^2}{n}}$$

en la cual:

l : % de frutos perforados a partir del cual es preciso tomar la decisión de control.

m : umbral económico de daño (% de frutos perforados)

α : riesgo de primera especie, riesgo de controlar la broca aunque no sea necesario.

t : t de Student

n : número de unidades de muestreo

s² : $am^b = 2.36 m^{1.21}$
con m = umbral económico

Con esa ecuación se calcula los índices de decisión de control para cada umbral económico en función del número de unidades de muestreo (Tabla 4).

TABLA 4. Índices de decisión de control contra la broca

In	1	2	3	4	5	10
I1 % Fr P	-1.6	-1.9	-2.0	-1.9	-1.8	-0.3
I2 # Fr P	-2	-2	-2	-2	-2	0
I2 % Fr P	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.2	2.7
I2 # Fr P	-2	-1	-1	0	0	5
I3 % Fr P	-0.5	-0.2	0.1	0.6	1.1	4.1
I3 # Fr P	-1	-1	0	2	3	12
I4 % Fr P	-0.3	0.1	0.5	1.1	1.6	4.9
I4 # Fr P	-1	0	2	4	6	19
I5 % Fr P	-0.1	0.3	0.8	1.4	2.0	5.4
I5 # Fr P	-1	1	4	7	10	27
I10 % Fr P	0.2	0.8	1.4	2.1	2.9	6.8
I10 # Fr P	2	8	14	21	29	68
I15 % Fr P	0.3	0.1	1.7	2.5	3.3	7.3
I15 # Fr P	5	15	26	37	49	110
I20 % Fr P	0.4	1.1	1.9	2.7	3.5	7.7
I20 # Fr P	9	25	38	54	70	154
I25 % Fr P	0.5		2.0	2.8	3.6	7.9
I25 # Fr P	12	31	50	71	91	199
I30 % Fr P	0.5	1.3	2.1	2.9	3.8	8.1
I30 # Fr P	16	39	63	88	113	244
I35 % Fr P	0.6	1.3	2.2	3.0	3.9	8.3
I35 # Fr P	20	47	76	105	135	289
I40 % Fr P	0.6	1.4	2.2	3.1	3.9	8.4
I40 # Fr P	24	55	89	123	157	335
I45 % Fr P	0.6	1.4	2.3	3.1	4.0	8.5
I45 # Fr P	28	64	102	140	180	381
I50 % Fr P	0.6	1.5	2.3	3.2	4.0	8.5
I50 # Fr P	32	73	115	158	202	427

% ó # Fr P : % ó número de frutos perforados
In : Índice para n unidades

Para cada umbral económico se puede trazar una curva que da, en función del número de unidades de muestreo, n, el valor del índice de control.

Si al muestrear las unidades de muestreo (en función de la disponibilidad de mano de obra), se obtiene

más frutos perforados que lo indicado en el punto correspondiente, se recomienda el control de la broca.

Se nota que el número mínimo de unidades de muestreo no puede bajar de 20 para un cafetal de una superficie comprendida entre 0.5 y 4 ha.