

# MUESTREO ADAPTATIVO PARA “LA BROCA DEL CAFÉ” (*Hypothenemus hampei*)<sup>1</sup>

## ADAPTIVE SAMPLING FOR THE “COFFEE BERRY BORER” (*Hypothenemus hampei*)

Juan F. Barrera, Jaime Gómez, Enrique López y Joel Herrera. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Carretera Antigua Aeropuerto km 2.5, Tapachula, Chiapas, México. Correo electrónico: [jbarrera@tap-ecosur.edu.mx](mailto:jbarrera@tap-ecosur.edu.mx)

**PALABRAS CLAVE:** broca del café, muestreo simple aleatorio, insecto plaga, café, Chiapas.

### Introducción

La broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae), es el insecto plaga más dañino para la cafecultura Latinoamericana y del Caribe (Dufour *et al.* 1999). Actualmente se encuentra presente en casi todos los países americanos donde se cultiva el aromático grano como Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Guatemala, Honduras, Jamaica, México, Perú, República Dominicana y Venezuela. En México, la plaga se introdujo por Chiapas en 1978 y a la fecha se encuentra en también en Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Nayarit, Puebla, San Luis Potosí y Veracruz (Barrera, 2002).

De acuerdo con investigaciones realizadas en varios países, el Manejo Integrado de la Broca (MIB), es la estrategia económica y ambientalmente más adecuada para reducir los daños económicos que ocasiona este escolítido (Jarquín *et al.* 2002). En nuestro país, el MIB se basa principalmente en las siguientes tácticas: recolecta y destrucción de frutos perforados; aplicación del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*; liberación del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis*; y uso de trampas cebadas con etanol- metanol (Barrera, 2002).

La toma de decisiones en el MIB se basa en el muestreo, generalmente a través del conteo de frutos perforados por la plaga en el cafetal. Considerando que el muestreo es un elemento indispensable para el buen funcionamiento del MIB, diversos estudios se han realizado con el objetivo de mejorar su eficiencia (Barrera, 1994). Un método de muestreo de la broca a la fecha no explorado es el Muestreo Adaptativo; éste se refiere a los diseños de muestreo cuyos procedimientos para seleccionar los sitios o unidades que serán incluidos en la muestra, pueden depender de los valores observados de la variable de interés durante el muestreo (Thompson, 1992; Thompson y Seber, 1996).

Dado que el muestreo adaptativo saca ventaja de las características de la población muestreada, puede ofrecer el potencial de incrementar considerablemente la eficiencia del muestreo de ciertas poblaciones. El presente trabajo tuvo el objetivo de explorar las ventajas del muestreo adaptativo para el caso de la broca del café.

### Materiales y métodos

**Parcela de estudio y variables.** Se delimitó una franja de terreno cultivada con café (*Coffea arabica* L.) en producción bajo árboles de sombra de 12 m de ancho por 180 m de

---

<sup>1</sup> Fuente: Barrera, J.F., J. Gómez, E. López & J. Herrera. 2004. Muestreo adaptativo para La Broca del café (*Hypothenemus hampei*). Entomología Mexicana 3: 535-539.

largo en el Ejido Santo Domingo, municipio de Unión Juárez, Chiapas, a 800 msnm. Posteriormente, de la franja delimitada o parcela de estudio se determinó la distribución de todas las plantas de café, para lo cual se midió con una cinta métrica la posición espacial de cada planta a fin de generar una matriz cuyas coordenadas X y Y se expresaron en metros. En total, la parcela estuvo constituida por 1,052 cafetos. Por último, de cada cafeto se seleccionó al azar una rama del tercio central y se le contaron todos los frutos de café perforados por la broca. De esta forma, la unidad de muestra fue una rama y la población total estuvo constituida por 1,052 ramas.

**Mapa de la infestación.** Las coordenadas X y Y de cada planta en la parcela de estudio y el número de frutos perforados por rama (variable Z) fueron capturados en una hoja de cálculo en Microsoft Excel y de allí se exportaron a un archivo texto (\*.txt). Con el programa GS+ (Gamma Design Software, 2001), se importó el archivo anterior y se elaboró un mapa de la infestación de la broca diferenciando las plantas de café en dos categorías: plantas sin y con frutos perforados.

**Análisis de datos.** Los datos de campo fueron procesados para calcular el promedio de frutos perforados por rama ( $\bar{y}$ ). La población total de frutos perforados en las ramas muestreadas se estimó al multiplicar  $\bar{y}N$ , donde N fue el número total de ramas muestreadas, es decir, 1,052. El valor resultante, fue tomado como base para medir la eficiencia de los diseños de muestreo investigados, en el entendido que la no diferencia entre ese valor y el promedio de frutos perforados con límites de confianza al 95% ( $\bar{y} \pm LC95\%$ ) obtenido por cualquiera de los métodos de muestreo, fue considerado satisfactorio para estimar la población total de frutos perforados en las ramas muestreadas.

Se compararon dos métodos de muestreo: uno fue el “Muestreo Simple Aleatorio”, denominado también muestreo convencional en este artículo, y el otro fue el “Muestreo Adaptativo de Cúmulos”, cuyo procedimiento es descrito en Thompson (1992) y Thompson y Seber (1996). Ambos métodos de muestreo se aplicaron a los 1,052 datos de campo graficados en el mapa tomando muestras al azar sin reemplazo de 10 en 10 hasta 100 unidades o ramas ( $n$ ), con 10 repeticiones en cada una. El muestreo adaptativo de cúmulos se refiere a un diseño en el cual un grupo inicial de unidades es seleccionado por algún procedimiento de muestreo probabilístico, y, si la variable de interés en las unidades seleccionadas satisface un criterio dado, las unidades vecinas a estas unidades son incluidas en la muestra. En nuestro caso, si uno ó más frutos perforados por la broca fueron registrados en las ramas seleccionadas, las ramas de los cafetos vecinos adyacentes fueron adicionadas a la muestra. Las ramas fueron seleccionadas mediante un procedimiento de selección aleatoria sin reemplazo en Microsoft Excel, y los cafetos vecinos que satisficieron el criterio anterior, fueron identificados en el mapa y luego incluidos en la hoja de cálculo para proceder a calcular los promedios, varianzas, errores estándar y límites de confianza al 95%.

Los cálculos para estimar  $\bar{y}$  con el muestreo adaptativo de cúmulos se realizaron siguiendo el procedimiento de las “probabilidades trazo por trazo” (en inglés draw-by-draw probabilities), el cual estima la probabilidad de que un cúmulo ó agregado de ramas con frutos perforados sea interceptado por la muestra inicial (Thompson, 1992). De acuerdo con este procedimiento,  $\psi_i$  denota un cúmulo que incluye  $i$  unidades, y  $m_i$  es el número de unidades en el cúmulo (si una unidad no satisface la condición se considera que el cúmulo tiene un valor de 1). Ahora bien,  $w_i$  representa el promedio de las observaciones en el cúmulo el cual incluye la  $i$ th unidad de la muestra inicial, esto es:

$$w_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j \in \phi_i} y_j$$

Y el estimador modificado es:

$$\hat{\mu}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i$$

### Resultados y Discusión

La distribución espacial de los cafetos muestreados en la parcela de estudio en esta investigación, sin y con frutos perforados por la broca, se presenta en la Fig. 1. Como se puede apreciar, los frutos perforados se distribuyeron en toda la superficie de la parcela, con ciertas áreas presentando cúmulos o agregaciones, coincidiendo con señalamientos hechos por diversos autores en relación a la naturaleza agregada que presenta la broca en el cafetal (i.e. Barrera, 1994).

El total de frutos perforados en las 1,052 ramas muestreadas fue 505, dando un promedio de  $\bar{y} = 0.480$  con una varianza de 1.820, que denota también que en algunos cafetos los frutos perforados tendían a agregarse.

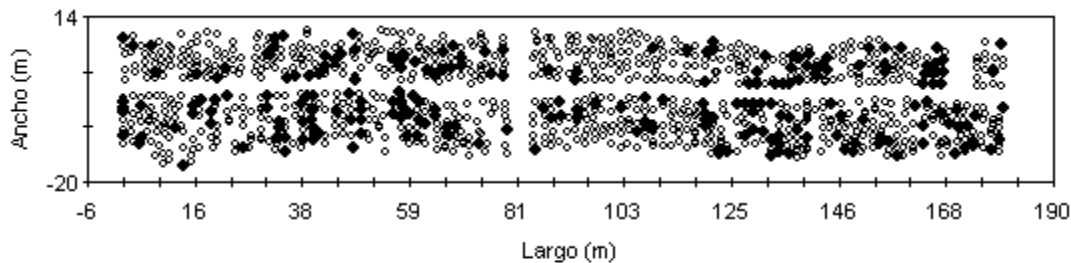


Fig. 1. Distribución espacial de los cafetos muestreados en la parcela de estudio, indicando los cafetos con ramas sin (círculos blancos) y con (círculos negros) frutos perforados por la broca.

La Fig. 2 presenta la comparación de la eficiencia del muestreo adaptativo de cúmulos con respecto al muestreo simple aleatorio para estimar la población total de frutos perforados en las ramas muestreadas, cuyo valor de acuerdo con los datos obtenidos en campo, fue 505. En dicha figura se observa que ambos métodos de muestreo fueron relativamente bajos en precisión y sesgados hacia la sobreestimación cuando el tamaño de muestra inicial fue igual ó menor de 80 ramas, aunque cabe mencionar que de acuerdo con los límites de confianza al 95%, las estimaciones obtenidas con los dos métodos no fueron significativamente diferentes de 505, incluso con el tamaño más pequeño de muestra (10). También se observa que a medida que se incrementó el tamaño de muestra inicial, la precisión y el sesgo disminuyeron en ambos muestreos. La máxima precisión en ambos casos se alcanzó con  $n = 100$ . El muestreo adaptativo fue ligeramente menos preciso que el muestreo convencional con tamaños de muestra iguales o menores a 30, pero casi siempre mostró menos sesgo que éste a lo largo del rango de muestras estudiado.

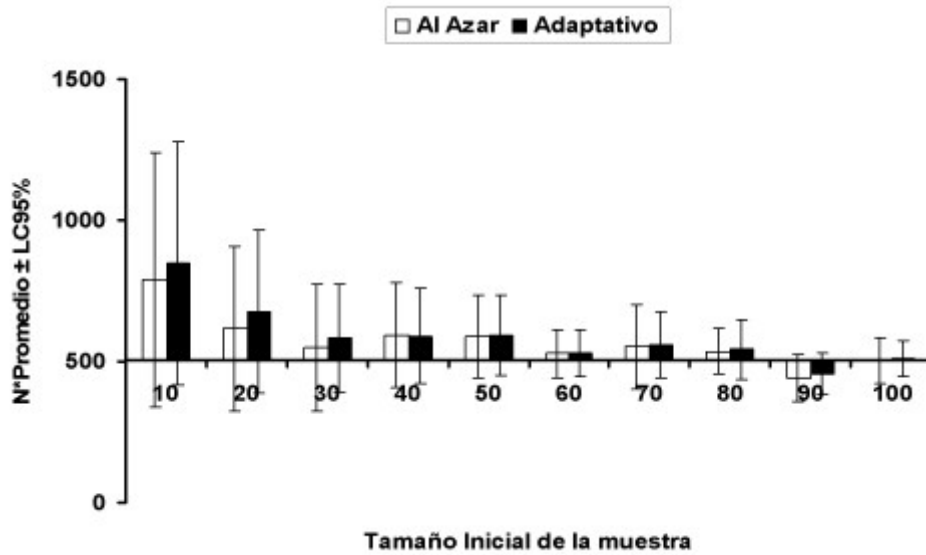


Fig. 2. Comparación de la eficiencia del muestreo adaptativo de cúmulos (barra negra) con el muestreo simple aleatorio (barra blanca) para estimar la población total de frutos perforados en las ramas muestreadas de la parcela de estudio. El eje horizontal corta al eje vertical en 505, valor que indica el total de frutos perforados en la parcela.

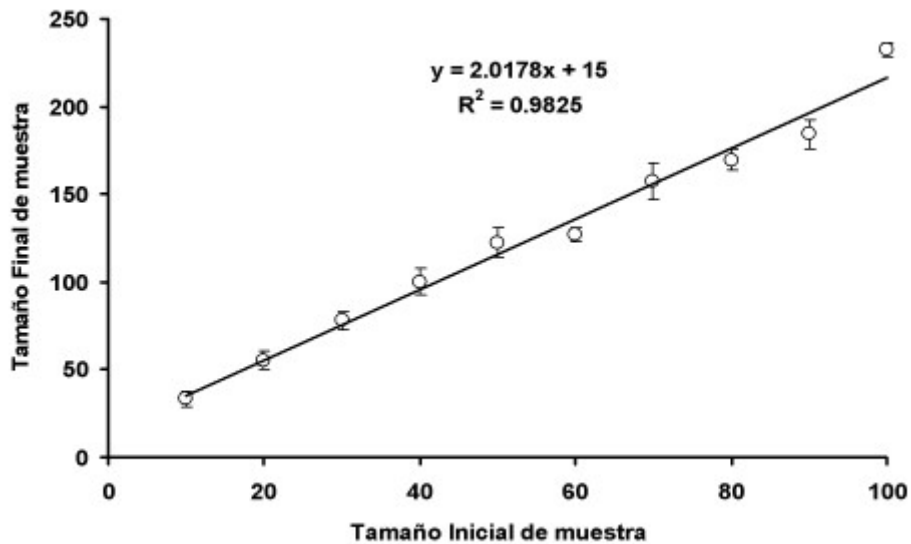


Fig. 3. Relación entre el tamaño inicial de la muestra y el tamaño final ( $\pm$  error estándar) alcanzado al aplicar el muestreo adaptativo de cúmulos a los datos de la Fig. 1.

Según Thompson (1992), el muestreo adaptativo puede incrementar considerablemente la eficiencia del muestreo de ciertas poblaciones, particularmente las

que se encuentran agregadas y en muy bajas densidades o que son raras. En el caso de la población de broca que fue muestreada en esta investigación, el muestreo adaptativo no mostró ser mejor que el muestreo convencional, lo que sugiere que la población muestreada no fue suficientemente baja ni tuvo un grado de agregación pronunciado. De acuerdo con nuestro estudio, será necesario muestrear poblaciones con densidades más bajas a fin de tener más elementos para valorar la utilidad del muestreo adaptativo en el caso de la broca.

Si bien en esta investigación no analizamos el costo del muestreo, considerando el tamaño de muestra final alcanzado en el muestreo adaptativo, resultaría ésta más caro. En efecto, el número de unidades muestreadas fue mayor en el muestreo adaptativo (Fig. 3). Tomando en cuenta los datos de la Fig. 3, el número de ramas muestreadas fue de 2 a 3.3 veces mayor en el muestreo adaptativo. Sin embargo, y tal como señala Thompson (1992), desde el punto de vista biológico el muestreo adaptativo podría aportar mayor información que el muestreo simple aleatorio, ya que se muestrea una proporción mayor de la población estudiada.

Se concluye que el muestreo adaptativo de cúmulos no presentó grandes ventajas sobre el muestreo simple aleatorio, no obstante, habrá que valorar la información que aporta sobre la población estudiada. Por último, se sugiere emprender estudios de muestreo adaptativo en poblaciones de broca con densidades más bajas, por ejemplo, las que se presentan al inicio de la infestación.

### **Agradecimientos**

Se agradece el apoyo de productores de café del Ejido Santo Domingo para realizar este trabajo en sus parcelas. La Fundación Produce Chiapas financió esta investigación a través del proyecto “Bioecología y manejo de plagas del café en el Soconusco y Sierra de Chiapas”.

### **Literatura citada**

- Barrera, J.F. 1994. Dynamique des populations du scolyte des fruits du caféier, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), et lutte biologique avec le parasitoïde *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyridae), au Chiapas, Mexique. Tesis de doctorado de la Universidad Paul-Sabatier, Toulouse, Francia, 301 p.
- Barrera, J.F. 2002. La Broca del café: Una plaga que llegó para quedarse. En: J.F. Barrera (ed.), Tres plagas del café en Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur, México, p. 17-20.
- Dufour, B., J.F. Barrera & B. Decazy. 1999. La broca de los frutos del cafeto : ¿la lucha biológica como solución ? En: Desafíos de la caficultura en Centroamérica. B. Bertrand & B. Rapidel (eds.). San José, Costa Rica. CIRAD, IICA, p. 293-325.
- Gamma Design Software. 2001. GS+ Geostatistics for the Environmental Sciences. Versión 5.1.1. Michigan, EUA.
- Jarquín, R., J.F. Barrera, F. Guharay, L. Jiménez, L. García, M. Figueroa & R. Montes. 2002. Manejo Integrado de la Broca del Café bajo dos modelos de transferencia de tecnología. En: J.F. Barrera (ed.), Tres plagas del café en Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur, México, p. 21-31.
- Thompson, S.K. 1992. Sampling. John Wiley & Sons, Inc. EUA, 343 p.
- Thompson, S.K. & G.A.F. Seber. 1996. Adaptive sampling. John Wiley & Sons, Inc. EUA, 265 p.