

Muestreo aleatorio simple y muestreo sistemático de las poblaciones de *Curculio elephas* (Gyllenhal) (Col: curculionidae) y *Cydia fagiglandana* (Zeller) (Lep: tortricidae) en encinas

M. VILLAGRÁN, A. JIMÉNEZ, F. J. SORIA, M. E. OCETE

En este trabajo se realiza una comparación de los métodos de muestreo aleatorio simple y sistemático para evaluar las poblaciones de *C. elephas* y *C. fagiglandana* en encinas. Se analiza, para ello, la dispersión mediante la Ley Potencial de Taylor y la regresión de Iwao y se calculan los tamaños de muestra correspondientes. Los resultados muestran que el muestreo sistemático resulta más apropiado.

VILLAGRÁN, M.; JIMÉNEZ, A.; SORIA, F.J. y OCETE, M.E.: Laboratorio de Zoología Aplicada. Dpto. de Fisiología y Zoología. Fac. Biología. Avda. Reina Mercedes, 6. 41012 Sevilla. E-mail: villagran@us.es.

Palabras clave: *C. elephas*, *C. fagiglandana*, muestreo aleatorio simple, muestreo sistemático, *Quercus*.

INTRODUCCIÓN

Los frutos de las quercíneas y otras frondosas de nuestras latitudes se ven con frecuencia afectados por el ataque de diversos insectos; entre éstos tienen especial incidencia *Curculio elephas* (Gyllenhal) (Col: Curculionidae) y *Cydia fagiglandana* (Zeller) (Lep: Tortricidae). En ambos casos, el daño viene producido por las larvas, que se desarrollan dentro de los frutos y excavan galerías conforme se alimentan de los mismos. Son diversas las especies arbóreas sobre las que pueden vivir, siendo principalmente es-

tudiados en el castaño (BÜRGES y GAL, 1981 a y b, y 1992), aunque desde hace algunos años están siendo objeto de estudio también sobre la encina (*i.e.*, VÁZQUEZ *et al.*, 1990). Recientemente, se están desarrollando experiencias para el control de estos insectos, especialmente *C. elephas*, como por ejemplo las desarrolladas por la Generalitat Valenciana (1999).

Uno de los pilares básicos en la planificación de los programas de manejo de plagas es la valoración de las poblaciones de insectos objeto de control. Para ello es necesario desarrollar el método de muestreo más apropiado para obtener una adecuada estima de la densidad poblacional, que nos sirva de base para la toma de decisiones en lo que respecta a los posibles tratamientos que se deban realizar.

El muestreo sistemático es el más frecuentemente utilizado para estudiar pobla-

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto "Seguimiento en campo y control de los principales insectos carpófagos que afectan al género *Quercus*" suscrito entre la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, a través de la Empresa Pública TRAGSA, y el Laboratorio de Zoología Aplicada de la Universidad de Sevilla.

ciones plagas en las masas forestales. Sin embargo, el muestreo aleatorio simple puede ser aplicable en viveros y explotaciones poco extensas. Por ello, nos hemos planteado como objetivo el realizar una comparación de ambos tipos de muestreos, basándonos para ello en el tamaño de muestra necesario para evaluar las poblaciones de estos insectos, así como el tiempo necesario para los muestreos.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se ha realizado en la finca "El Rodeo" (U.T.M. 29SQB6482) situada en el término municipal de Castilblanco de los Arroyos (Sevilla). Es una parcela de encinar, en la que previamente se había detectado la presencia tanto de *C. elephas* como de *C. fagiglandana*.

El muestreo aleatorio simple se realizó el 27-12-2000 y el sistemático el 3-1-2001. En ambas fechas ya habían caído todos los frutos al suelo. Este es un punto esencial. Hay que tener en cuenta que uno de los efectos de estos insectos es que provocan la caída temprana de los frutos afectados. Por tanto, la evaluación de las poblaciones de estos insectos, o de sus daños, debe hacerse bien cuando hayan caído todos los frutos (si solo se van a recoger bellotas del suelo), o bien tomando frutos de la copa y del suelo mediante un muestreo estratificado (las bellotas de la copa y del suelo representan sendos estratos) con asignación proporcional. En este trabajo sólo se ha considerado la primera de estas opciones; si se opta por la segunda habrá que hacer las oportunas correcciones tal como se ha comentado.

Se han considerado dos tipos de muestreo: muestreo aleatorio simple y muestreo sistemático. Para el primero de ellos, se marcaron y numeraron 500 encinas y se sortearon los árboles a muestrear mediante un programa de ordenador que genera números pseudoaleatorios. Para el segundo muestreo se sorteó sólo el primer árbol y a partir de él se muestreó cada seis pies mediante un reco-

rrido en zig-zag por la parcela. En ambos tipos de muestreo, si alguno de los árboles no había producido un número suficiente de frutos, se buscaba el inmediatamente posterior. En ambos casos, el número de encinas muestreadas fue de 30 (por lo que no es necesario realizar la corrección para poblaciones finitas), en cada una de las cuales se tomaron 100 frutos; cada una de estas muestras se individualizó en bolsas herméticas. A la vez que se realizaban los muestreos, se tomó nota del tiempo requerido para muestrear cada encina, así como el tiempo necesario para localizar el siguiente árbol.

Una vez en el laboratorio, las bellotas eran abiertas, anotándose el número de larvas que aún pudieran encontrarse en el interior de las mismas. Si las larvas habían abandonado ya el fruto se contaba el número de orificios de salida; en este caso es fácil distinguir si los daños pertenecen a una u otra especie, ya que *C. elephas* produce unos excrementos muy finos y compactos, mientras que *C. fagiglandana* produce unos excrementos menos aglomerados y en forma de pequeñas bolitas unidas mediante hilos de seda. Para simplificar la exposición, hablaremos en adelante de "larvas" para referirnos indistintamente a las larvas que se encontraban efectivamente dentro de los frutos en el momento de abrirlos y a los orificios de salida.

Para el análisis de la distribución espacial se han utilizado las dos técnicas de regresión más habituales: la Ley Potencial de Taylor y la regresión de Iwao. La primera de ellas define una relación entre la varianza (s^2) y la media (m) muestrales del tipo: $s^2=am^b$ (TAYLOR, 1961 y 1984). El coeficiente a está relacionado con la unidad de muestreo y tiene menos interés para definir el patrón de dispersión de una especie. El coeficiente b se considera constante para cada especie en un determinado ambiente y dependiente del comportamiento agregativo de la misma (TAYLOR, 1961), de modo que puede ser utilizado para caracterizar la dispersión: valores inferiores, próximos o superiores a 1 indican distribuciones uniformes, al azar o agregativas, respectivamente.

En la regresión de Iwao (IWAO, 1968) la relación entre la varianza y la media muestrales toma la forma: $s^2 = (\alpha + 1)m + (\beta - 1)m^2$. El coeficiente α es una medida del agrupamiento, de modo que si la unidad básica es el individuo $\alpha = 0$ y si la unidad básica es la colonia $\alpha > 0$; en ciertos casos, como cuando hay algún tipo de interacción repulsiva entre los individuos, α se encuentra en el intervalo $(-1, 0)$. El parámetro β toma el valor 1 en una distribución al azar, es mayor de 1 en las distribuciones agregativas y es inferior a 1 cuando la distribución es al azar (IWAO y KUNO, 1968).

Las técnicas de regresión indicadas se han utilizado asimismo para determinar el tamaño de muestra necesario para evaluar las poblaciones de cada especie, partiendo de la relación propuesta por KARANDINOS (1976) y RUESINK (1980) entre el error estándar (s/\sqrt{Tn}) y la media poblacional (m): $s/\sqrt{Tn} = E * m$, donde E es la precisión de la medida. Como valor de E se ha tomado 0,25, como sugiere SOUTHWOOD (1978) para estudios extensivos de poblaciones de artrópodos. El valor de s se ha estimado a partir de su relación con la media definida por la regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Infestación

En el muestreo aleatorio simple se encontraron frutos afectados por *C. elephas* en 28 árboles, mientras que en el muestreo sistemático se encontraron en los 30 pies muestreados. El número de árboles con frutos afectados por *C. fagiglandana* fue de 26 y 24 para los muestreos aleatorio simple y sistemático, respectivamente.

El porcentaje de frutos afectados fue del 22,8% en el muestreo aleatorio simple, del cual el 20% correspondió a frutos afectados por *C. elephas* y el 2,8% a *C. fagiglandana*. En el muestreo sistemático, el porcentaje total fue algo menor (18,6% de bellotas afectadas), lo mismo que el porcentaje de frutos

afectados por *C. elephas* (15%); en cambio para *C. fagiglandana* el porcentaje fue mayor (3,6%).

Del total de frutos recogido (3000 en cada muestreo) se ha obtenido una media de 0,293 larvas de *C. elephas* por fruto ($s^2 = 0,433$) en el muestreo aleatorio simple y una media de 0,2 larvas ($s^2 = 0,523$) en el muestreo sistemático. Por tanto, aunque ambos tipos de muestreos proporcionan una varianza mayor que la media, el muestreo aleatorio simple da una varianza proporcionalmente menor que el sistemático, teniendo en cuenta además que la media obtenida en éste último es menor.

Para *C. fagiglandana* las medias obtenidas han sido de 0,031 ($s^2 = 0,034$) y 0,039 ($s^2 = 0,194$) larvas por fruto, para los muestreos aleatorio simple y sistemático respectivamente. En este caso, ambos tipos de muestreos proporcionan medias similares; sin embargo, el muestreo sistemático resulta en una varianza más de cinco veces superior, mientras que la varianza del muestreo aleatorio es del mismo orden de magnitud que su media correspondiente.

En cualquiera de los muestreos se ha encontrado un máximo de 4 larvas de *C. elephas* en una misma bellota, mientras que de *C. fagiglandana* se han encontrado 2 larvas como máximo.

Índices de agregación

En la Tabla 1 se muestran los valores de los parámetros de la Ley Potencial de Taylor y de la regresión de Iwao obtenidos. Ambos métodos se ajustan bien a los datos obtenidos y explican entre el 86,7 y el 99,3% de la variabilidad observada, según la regresión utilizada y el método de muestreo. En todos los casos, los coeficientes de determinación para la regresión de Iwao son solo muy ligeramente mayores que los de la Ley Potencial, mientras que el error estándar es algo menor. Por tanto, aunque tiende a ajustarse mejor a los datos observados, no supone ninguna mejora significativa utilizar un método u otro.

Tabla 1.—Parámetros de la Ley Potencial de Taylor y de la regresión de Iwao obtenidos para *C. elephas* y *C. fagiglandana*, según un muestreo aleatorio simple y un muestreo sistemático

	a/α	b/β	r	S
<i>Curculio elephas</i>				
Muestreo aleatorio simple				
Ley Potencial de Taylor	1,2043	0,8649	0,9560	0,0776
Regresión de Iwao	0,5894	0,4829	0,9569	0,0767
Muestreo sistemático				
Ley Potencial de Taylor	0,8820	0,7353	0,9413	0,0597
Regresión de Iwao	0,7248	-0,4708	0,9480	0,0562
<i>Cydia fagiglandana</i>				
Muestreo aleatorio simple				
Ley Potencial de Taylor	0,7415	0,8725	0,9312	0,0122
Regresión de Iwao	0,2626	-1,5972	0,9364	0,0118
Muestreo sistemático				
Ley Potencial de Taylor	0,7359	0,9079	0,9954	0,0041
Regresión de Iwao	0,0406	-0,0617	0,9966	0,0035

El parámetro a de la Ley Potencial de Taylor obtenido para *C. elephas* indica un tipo de distribución diferente según se utilice el muestreo aleatorio simple (en este caso, indica una distribución ligeramente agregativa) o el muestreo sistemático (para el que la distribución tiende a ser uniforme). En el caso de *C. fagiglandana* los valores son muy parecidos en ambos tipos de muestreos, señalando una distribución uniforme.

Si volvemos a examinar la columna correspondiente al coeficiente de determinación de la Tabla 1 podemos observar que, en el caso de *C. elephas*, se obtiene un ajuste ligeramente mejor si utilizamos el muestreo aleatorio simple, mientras que para *C. fagiglandana* ocurre lo contrario. Esto puede deberse a que *C. elephas* tiende a mostrar un grado de agregación algo mayor, de manera que el muestreo sistemático puede no "captar" totalmente la distribución espacial de esta especie si la secuencia en que se toman las unidades de muestreo no coinciden con dicha distribución.

En cuanto al coeficiente β de la regresión de Iwao, toma en todos los casos un valor inferior a la unidad, indicando en consecuencia una distribución uniforme, independientemente del muestreo utilizado. Por su parte, el parámetro α es mayor de cero en el caso

de *C. elephas*, lo que indica que los individuos tienen cierto grado de agregación, mientras que para *C. fagiglandana* está próximo a cero, señalando por tanto que la unidad básica es el individuo.

Estos resultados están de acuerdo con ciertas particularidades de la biología de estas especies, especialmente el patrón de oviposición, uno de los factores que pueden afectar al tipo de distribución mostrado por una población, tal como señala WILSON (1994). La hembra de *C. elephas* suele poner más de un huevo en cada fruto sin verse influida por la presencia de otros inmaduros en el fruto (DESOUHANT, 1998), de manera que las larvas que eclosionan se desarrollan dentro del mismo, sin abandonarlo hasta que se acerca el momento de pupar (lo que tiene lugar en el suelo). Por el contrario, la puesta de *C. fagiglandana* se efectúa en las hojitas próximas a los frutos y son las propias larvas las que se introducen en los mismos (BONNEMAISON, 1964), pudiéndolo abandonar si ya había otra larva de su misma especie dentro de la bellota. Podemos hablar en este caso de cierto grado de repulsión entre los individuos, aunque este hecho no ha podido ser detectado mediante el parámetro α de la regresión de Iwao. En efecto, tal como se indicó anteriormente, se han encontrado frutos

con dos larvas, lo que puede haber enmascarado este comportamiento descrito en la bibliografía; sin embargo, este hecho es poco frecuente (pocas veces lo han encontrado los autores en este u otros estudios) y puede deberse simplemente a que aún no se había producido el abandono de la bellota por parte de una de las larvas.

Tamaño de muestra

En las Figs. 1 y 2 se muestra el número de frutos por árbol que se deben recoger para los dos tipos de muestreo considerados, en función de la media poblacional. En el caso de *C. fagiglandana*, como ya se ha comentado, lo normal es que sólo haya una larva por fruto,

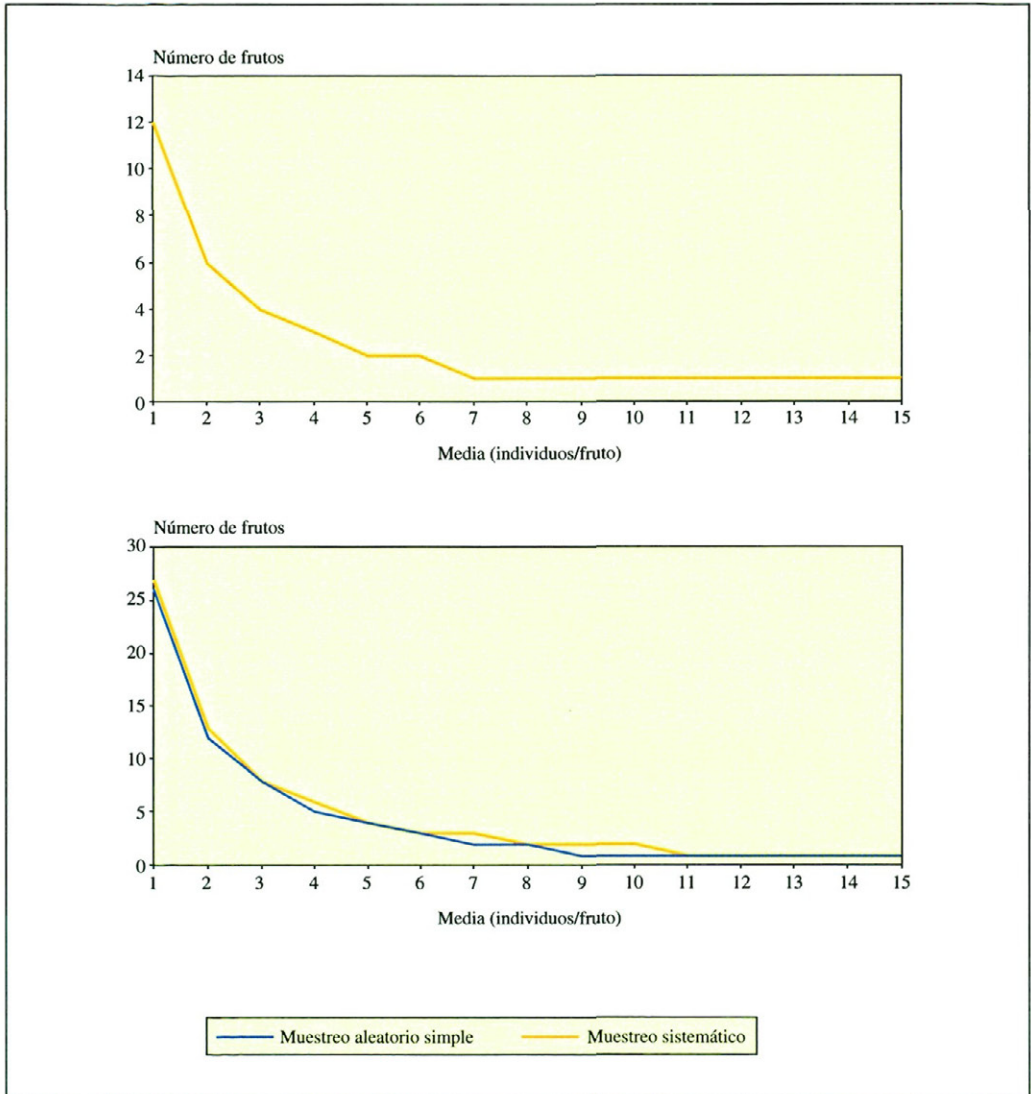


Fig. 1.—Tamaño de muestra para *C. fagiglandana*, para los muestreos aleatorio simple y sistemático, según la Ley Potencial de Taylor (izquierda) y la regresión de Iwao (derecha).

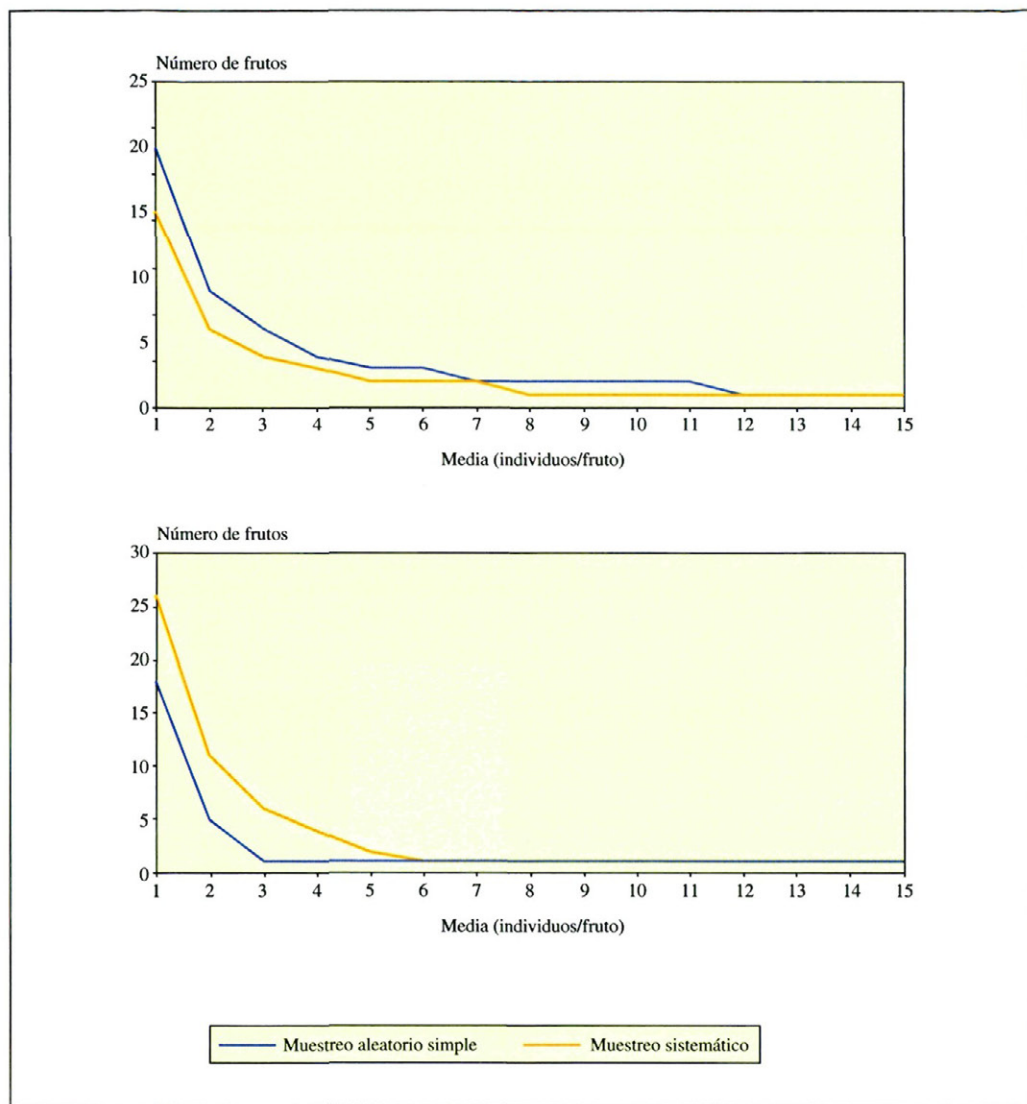


Fig. 2. Tamaño de muestra para *C. elephas*, para los muestreos aleatorio simple y sistemático, según la Ley Potencial de Taylor (izquierda) y la regresión de Iwao (derecha).

por lo que, en realidad, de la curva representada solo habría que considerar el valor correspondiente a dicha media. Para *C. elephas*, la porción de curva puede extenderse hasta valores medios mayores, dependiendo de la densidad de la zona que se esté estudiando.

En el caso de *C. elephas*, el tamaño de muestra depende tanto del tipo de muestreo

como de la regresión utilizada, de manera que se necesita tomar más frutos en el muestreo aleatorio simple que en el sistemático, si se utiliza la Ley Potencial de Taylor, y al inversa, si se utiliza la regresión de Iwao. En el muestreo sistemático, la regresión de Iwao necesita más frutos, tanto más cuanto menor sea la densidad pobla-

cional, mientras que en el muestreo aleatorio simple ocurre lo contrario. Por tanto, si la disponibilidad de recursos es limitada, sería aconsejable utilizar el muestreo sistemático y aplicar en los análisis posteriores la Ley Potencial.

El tamaño de muestra necesario para evaluar las poblaciones de *C. fagiglandana* es prácticamente el mismo, independientemente del tipo de muestreo (de hecho, al aplicar la Ley Potencial coinciden exactamente); sin embargo, la regresión de Iwao produce tamaños de muestra que duplican los obtenidos por la Ley Potencial de Taylor. Por tanto, esta última técnica supone también en este caso un ahorro importante de recursos.

Tiempo de muestreo

En el muestreo aleatorio simple el tiempo medio requerido para localizar la siguiente unidad de muestreo (pie de árbol) fue de 39.0 segundos (mínimo=4,2; máximo=108,3; varianza=850,6) y el tiempo medio necesario para muestrear cada unidad fue de 153,5 segundos (mínimo=106,5; máximo=298,9; varianza=1454,5). El tiempo medio total (localización+muestreo) fue de 192,6 segundos (mínimo=117,3; máximo=310,6; varianza=1749,1).

Para el muestreo sistemático, el tiempo medio de localización fue de 43,6 segundos (mínimo=0; máximo=113,29; varianza=587,37), mientras que el tiempo medio de muestreo fue de 159,2 segundos (mínimo=119,8; máximo=333,4; varianza=2408,5) y el tiempo medio total fue de 202,7 segundos (mínimo=145,9; máximo=403,7; varianza=3398,9).

Los tiempos medios de localización y muestreo han resultado muy similares en ambos tipos de muestreo; sin embargo, el tiempo total es algo menor en el muestreo aleatorio simple, lo que puede suponer una

ventaja si se va a muestrear un número elevado de árboles. No obstante, esta diferencia puede verse compensada por el hecho de que en el muestreo sistemático hay que recoger menos frutos por árbol en el caso de evaluar las poblaciones de *C. elephas* (para *C. fagiglandana* el número de frutos es el mismo en ambos tipos de muestreo). Obviamente, la principal dificultad a la hora de aplicar el muestreo aleatorio simple reside en numerar todos los pies que se encuentren en un área extensa, proceso que no se requiere para realizar el muestreo sistemático.

CONCLUSIONES

El problema principal a la hora de diseñar un método de muestreo es el de obtener una estima de un determinado parámetro, en este caso la media poblacional, con el menor coste, especialmente en cuanto a tiempo de muestreo y proceso de las muestras. La precisión puede ser prefijada por el investigador (por ejemplo, en este trabajo se ha considerado una precisión de 0,25), mientras que el coste en tiempo puede disminuirse tomando aquél tamaño de muestra mínimo que nos proporcione la precisión deseada.

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo podemos concluir que ambas condiciones pueden ser satisfechas aplicando la Ley Potencial de Taylor a los datos obtenidos mediante un muestreo sistemático, tanto para las poblaciones de *C. elephas* como de *C. fagiglandana*.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a D^a. Rocío Jiménez, por su ayuda en la recogida de muestras y a Silvia Naranjo, Soraya Rivero y Ángel Álvarez, por su colaboración en el procesado de las muestras.

ABSTRACT

VILLAGRÁN M., A. JIMÉNEZ, F. J. SORIA, M. E. OCETE. Muestreo aleatorio simple y muestreo sistemático de las poblaciones de *Curculio elephas* (Gyllenhal) (Col: Curculionidae) y *Cydia fagiglandana* (Zeller) (Lep: Tortricidae) en encinas. *Bol. San. Veg. Plagas*, 28: 59-66.

In this paper, a comparison between two sampling methods, aleatory and systematic, is made in order to evaluate the populations of *C. elephas* and *C. fagiglandana* in holm-oak. We analyze the dispersion with the Taylor's Power Law and the Iwao's regression and we calculate the sample size in each case. The results show that the systematic method is the most appropriate of both methods.

REFERENCIAS

- BONNEMAISON, L., 1964. Enemigos animales de las plantas cultivadas y forestales. Tomo II. Ed. de Occidente. Barcelona.
- BÜRGÉS, G. y GAL, T., 1981 a. Zur Verbreitung und Lebensweise des Kastanienrüsslers (*Curculio elephas* Gyll., Col., Curculionidae) in Ungarn. 1. Verbreitung, Schaden, Schwärmen ynd Geschlechterverhältnis. *Sonderdruck aus Bd.*, 91(4): 375-382.
- BÜRGÉS, G. y GAL, T., 1981 b. Zur Verbreitung und Lebensweise des Kastanienrüsslers (*Curculio elephas* Gyll., Col., Curculionidae) in Ungarn. 12. *Sonderdruck aus Bd.*, 92(1): 35-41.
- BÜRGÉS, G. y GAL, T., 1992. Spreading and manner of life of *Curculio elephas* Gyll. (Col. Curculionidae) in Hungary. *Med. Fac. Landbouw. Univ. Gent.*, 57/3: 613-615.
- DÉSOUHANT, E., 1998. Selection of fruits for oviposition by the chestnut weevil, *Curculio elephas*. *Ent. Exp. et Appl.*, 86: 71-78.
- GENERALITAT VALENCIANA, 1999. Experiencia sobre posibles tratamientos para el control de *Curculio* sp. (*Balaninus* sp.) en bellotas de encina. Resultados del año 1998. *Informes técnicos. Plagas y Patología Forestal*, 1/1999.
- IWAO, S., 1968. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal populations. *Res. Popul. Ecol.*, 10: 1-20.
- IWAO, S. y KUNO, E., 1968. Use of the regression of mean crowding on mean density for estimating sample size and the transformation of data for the analysis of variance. *Res. Popul. Ecol.*, 10: 210-214.
- KARANDINOS, M.G., 1976. Optimum sample size and comments on some published formulae. *Bull. Entomol. Soc. Amer.*, 22: 417-421.
- RUESINK, W.G., 1980. Introduction to sampling theory. En: *Sampling methods in soybean entomology*. M. Kogan y D.C. Herzog, ed. Springer-Verlag. New York. pp. 61-78.
- SOUTHWOOD, T.R.E., 1978. Ecological methods, with particular reference to the study of insect populations. Chapman & Hall. London.
- TAYLOR, L.R., 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature*, 189: 732-735.
- TAYLOR, L.R., 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Ann. Rev. Entomol.*, 29: 321-357.
- VÁZQUEZ, F.M.; ESPÁRRAGO, F.; LÓPEZ, J.A. y JARAQUEMADA, F., 1990. Los ataques de *Curculio elephas* Gyll. (*Balaninus elephas*) y *Carpocapsa* sp. L., sobre *Quercus rotundifolia* Lam. en Extremadura. *Bol. San. Veg. Plagas*, 16: 775-759.
- WILSON, L.T., 1994. Estimating abundance, impact, and interactions among arthropods in cotton agroecosystems. En: *Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture*. L.P. Pedigo y G.D. Buntin (ed.). CRC Press. Boca Raton.

(Recepción: 13 diciembre 2001)
(Aceptación: 19 diciembre 2001)