

Un programa en Lenguaje APL/360 para el Análisis de la Distribución Espacial de Insectos Asociados a Areas Cultivadas*

A program in Language APL/360 For the Analysis of the Spatial Pattern of Insect Populations associated to Cultivated Areas

JORGE CEPEDA

Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de Chile,
Casilla 59-D, La Serena, Chile

(Recibido el 30 de marzo de 1980)

CEPEDA, J. Un programa en lenguaje APL/360 para el análisis de la distribución espacial de insectos asociados a áreas cultivadas (A program in language APL/360 for the analysis of the spatial pattern of insect populations associated to cultivated areas). *Arch. Biol. Med. Exp.* 13: 425-437, 1980.

In this paper, a general discussion of the spatial pattern of insect populations in agroecosystems and a general review of the more usual theoretical models are included. Also, a program using canned APL functions and a subprogram is presented to facilitate the analysis of the spatial pattern of insect populations associated to cultivated areas. The insect counts were fitted by the theoretical models of Poisson (Random spatial pattern) and the negative binomial distribution (clumped spatial pattern). The goodness of fit was carried out by the square chi test. The program was evaluated in the study of seven groups of insect populations associated to the alfalfa ecosystem using 32 sampling units of 9.5 m² each.

El problema biológico

Recientes énfasis en el análisis del muestreo de poblaciones de insectos, han estado dirigidos al problema de la distribución espacial, especialmente en poblaciones de especies de interés económico (1, 2). La distribución espacial ha sido comúnmente definida como la forma o manera en que los componentes de una población se encuentran distribuidos en su hábitat. Hutchinson (3), Patil y Stiteler (4) han considerado a la distribución espacial como un "pattern" o estructura que permite caracterizar a una población y cuyo conocimiento es importante para comprender su ecología. Bajo este punto de vista, la distribución espacial es el resultado de las interacciones entre los componentes de la población y su

medio ambiente biótico y abiótico; corresponde más bien a un "steady state" que a un fenómeno de equilibrio, y finalmente, describe en términos probabilísticos la posición relativa de los componentes. Por otro lado, existen algunos aspectos adicionales a considerar: (i) el tipo de distribución espacial describe la situación encontrada en un área definida y circunscrita, muchas veces, a la superficie de un terreno cultivado: (ii) su caracterización se basa en un conjunto de muestras que pueden o no representar, con fidelidad, la real situación encontrada en el terreno y de los procesos biológicos y/o ecológicos que la condicionan.

En relación a los insectos, las interacciones entre los individuos y ciertos factores microclimáticos parecen ser de primor-

* Trabajo presentado en el Coloquio "Aplicación de Métodos Cuantitativos en Ecología de Poblaciones y Comunidades". (Santiago, 2 y 3 de agosto de 1979). Constituye parte de la tesis presentada al Department of Biology, State University of New Mexico (U.S.A.) en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al grado de Master in Sciences, 1977.

dial importancia en la determinación del tipo de distribución (5,6). Los insectos son organismos pequeños, con una gran superficie de relación con su medio ambiente; esta es aún muchas veces aumentada por la presencia de pelos y otras estructuras sensoriales repartidas por todo el cuerpo. Es de esperar, entonces, que los insectos sean más sensibles a las variaciones microclimáticas de su hábitat que otros organismos. De esta forma y, en términos comparativos, el ambiente resulta para ellos mucho más heterogéneo que lo es para organismos de mayor talla. Esto significa que si se concibe el hábitat donde una determinada especie de insecto vive, como formado por una trama de unidades espaciales dimensionadas por factores microclimáticos operacionales, estas unidades tenderán a ser más pequeñas mientras más completo y sensible sea el aparato sensorial del insecto y, en consecuencia, más complejo y heterogéneo se hace para él el medio en que vive. De lo que resulta que no todas estas unidades son igualmente favorables y atractivas para los individuos, y la forma en que están distribuidos dirige sus respuestas y condiciona el tipo de distribución espacial.

Sin embargo, además del componente microclimático, otros fenómenos biológicos han sido reseñados como importantes, a saber: (i) factores denso-dependientes (7-14); (ii) tendencias sociales y subsociales (15,9); (iii) conductas agresivas (9,16); (iv) condiciones del alimento y del hábitat (17,18); (v) hábitos de oviposición (7,19,8,20); (vi) interacciones indirectas (7,17); (vii) respuestas a feromonas (1).

De lo anterior se puede sospechar que el patrón de distribución puede tener un significado biológico para la población. Monro (16) comparó la conducta de dos poblaciones de insectos, la mosca de Queensland (*Dacus tryoni*) y la polilla del cactus (*Cactoblastis cactorum*), en relación a la utilización del alimento y los sitios de oviposición. El concluyó que una especie como *D. tryoni* que no determina la cantidad de alimento disponible para la futura generación larval, es incapaz de disponer de un uso eficiente de él y, por lo tanto, tiende a maximizarlo distribuyendo los huevos más bien uniformemente que al

azar. Por el contrario, una especie de insecto puede evitar su propia extinción limitando su número. *Cactoblastis cactorum*, por ejemplo, asegura la provisión de alimento y de sitios favorables de oviposición para las futuras generaciones distribuyendo sus huevos siguiendo un arreglo de contagio más bien que disponiéndolos al azar. Como resultado de esta estrategia, mayor número de larvas muere de inanición, pero también una mayor cantidad de plantas huéspedes escapa completamente o con una ligera infestación que la que se podría esperar si los huevos fueran puestos al azar. De esta forma, según Monro, la estrategia de *Cactoblastis* parece ser un ejemplo de conducta altruista que beneficia al grupo, impidiendo de este modo la selección de oportunistas "egg spreaders" que pondrían en peligro la población, por agotamiento del alimento y reducción de sitios favorables de oviposición. Rabinovich (21) agrega otros antecedentes sobre la importancia ecológica y evolutiva de la distribución espacial.

Aun cuando las implicaciones biológicas del tipo de arreglo espacial no están claramente comprendidas para muchas especies de insectos, mucha investigación queda por hacer en este sentido, especialmente experimental; existen algunas concomitancias prácticas al muestreo, sobre todo cuando los datos censales van a ser utilizados para obtener información demográfica. Por ejemplo, las densidades de poblaciones con distribución contagiosa tienden a ser subestimadas debido a que un número importante de individuos se encuentra formando unos pocos conglomerados, los cuales raramente se incluyen en proporción representativa en los muestreos (1). Varios autores han insistido que el arreglo espacial puede afectar la sensibilidad del análisis estadístico a emplear en la interpretación de resultados experimentales (12, 21, 23 - 26). En este sentido, quien diseña el muestreo es advertido de la conveniencia de evitar asumir normalidad en los datos censales (27).

Además, el tipo de distribución ha permitido desarrollar programas de muestreo secuencial y diseñar modelos de simulación

en estudios de dinámica de poblaciones de insectos (29,30).

En condiciones naturales, en insectos, el arreglo espacial más comúnmente encontrado es del tipo agregado o de contagio ("clumped spatial pattern"). Este ha sido definido por Cottam *et al.*, (31) como aquel tipo de distribución en el cual los individuos están formando conglomerados de diferente tamaño y densidad, de lo que resultan grandes áreas que se encuentran, total o casi totalmente, libres de individuos. Según Waters (8) este arreglo espacial resulta de las interacciones entre el ambiente, usualmente heterogéneo, y los insectos cuyas respuestas son, por lo general, específicas y dirigidas.

Descripción del método

Este trabajo describe un intento de análisis de distribución espacial de algunos grupos de poblaciones de insectos asociados al ecosistema de la alfalfa, el cual es considerado de importancia fundamental para la ecología de las poblaciones de climas áridos y semiáridos (31).

El estudio se llevó a cabo en los siguientes grupos de insectos: (i) *Lygus spp.* (Hemiptera: Miridae), adultos y ninfas separadamente; (ii) *Spissistilus spp.* (Homoptera: Membracidae), adultos; (iii) *Diabrotica spp.* (Coleoptera: Chrysomelidae), adultos; (iv) *Nabis spp.* (Hemiptera: Nabidae), adultos y ninfas; (v) *Collops spp.* (Coleoptera: Malachiidae), adultos; (vi) *Spodoptera spp.* (Lepidoptera: Noctuidae), larvas; (vii) *Colias spp.* (Lepidoptera: Pieridae).

Los muestreos se llevaron a cabo durante el verano de 1976 en dos alfalfares del valle de Mesilla (Las Cruces, NM, USA), éstos se seleccionaron por su tamaño, uniformidad de crecimiento y homogeneidad de las parcelas. Los censos se hicieron entre las 8.00 y 12.00 hrs.

El diseño básico de muestreo consistió en coleccionar los insectos desde el borde de cada parcela utilizando para ello un succionador de aire, cuya boca se ubicó a nivel de los primeros 10 cm de las plantas. El succionador se instaló en un vehículo para todo terreno, el que se desplazó a una

velocidad promedio de 10 km/hr. Gracias a un sistema hidráulico se pudo subir o bajar la boca aspiradora manteniendo de esta manera una altura constante sobre las plantas a pesar de las irregularidades del terreno.

Los insectos aspirados en esta forma se acumularon en una red entomológica dispuesta en el interior de la cabeza del succionador. En total se reunieron 32 unidades de muestra en cada alfalar analizado, en dos días de trabajo. Cada una de estas unidades consistió en un área rectangular de 30.5 m x 0.3 m (9.5 m²).

En el análisis del arreglo espacial se utilizaron los modelos de Poisson y Binomial negativa. Las probabilidades de la Distribución Binomial Negativa (DBN) se calcularon en base a las siguientes ecuaciones:

$$P(0) = \left[\frac{\hat{k}}{\hat{k} + \bar{x}} \right]^{\hat{k}}$$

$$p(x) = \left[\frac{\tau(\hat{k} + x)}{x! \tau(\hat{k})} \right] \cdot \left[\frac{\bar{x}}{\bar{x} + \hat{k}} \right] \cdot p(0)$$

donde $x = 1, 2, 3 \dots$ insectos/unidad de muestra. En esta distribución:

$$s^2 = \bar{x} + \bar{x}^2 / \hat{k}$$

La DBN tiene al menos dos premisas: (i) si los datos están formados por una mezcla de distribuciones Poisson, la distribución resultante es una DBN, (ii) si existe una real agregación, por ejemplo, si la presencia de un individuo aumenta la probabilidad de encontrar un segundo individuo en la misma unidad de muestreo, la distribución resultante es nuevamente una DBN (32). El parámetro k es considerado una medida de la agregación y representaría una propiedad intrínseca de la población estudiada (33-37). A medida que la varianza (s^2) se aproxima a la media (la agregación disminuye), $K \rightarrow \infty$, la DBN tiende a una distribución Poisson. Inversamente, a medida que la varianza se aleja de la media, $k \rightarrow 0$, la

DBN converge a la serie logarítmica. Según Stevens *et al.*, (30: (i) si k estimado es positivo y menos de 8.0, la distribución es una DBN; (ii) si k es negativo, la distribución corresponde a una binomial y (iii) si k es mayor o igual a 8.0, la distribución de la población se ajusta a una Poisson. En el presente trabajo k fue estimado por el método de momentos (33) el cual dio una eficiencia de estimación sobre el 750/o en la mayoría de los casos.

Los cálculos de las probabilidades Poisson y Binomial Negativa, frecuencias esperadas y su comparación con los datos censales obtenidos, se llevaron a cabo por medio del uso de un programa computacional escrito en APL/360, especialmente diseñado para este propósito. El algoritmo de programación se muestra en la Fig. 1, mientras que los detalles se incluyen en el apéndice.

Los resultados de los ajustes se resumen en la Tabla 1. Cada vez que se encontraron diferencias significativas con el modelo de Poisson, las frecuencias observadas resultaron satisfactoriamente descritas por la DBN; excepto en un caso (*Colias spp.*, alfalfar 1) en que ambos modelos no resultaron satisfactorios. Igualmente se encontraron diferencias entre alfalfares. Por ejemplo, el modelo de Poisson resultó satisfactorio para describir el arreglo-espacial de los adultos de *Lygus spp.* en un

alfalfar, pero no en otro. Situación equivalente se observó para *Collops spp.* y *Nabis spp.* Por otra parte, con la distribución de Poisson se obtuvo un ajuste satisfactorio

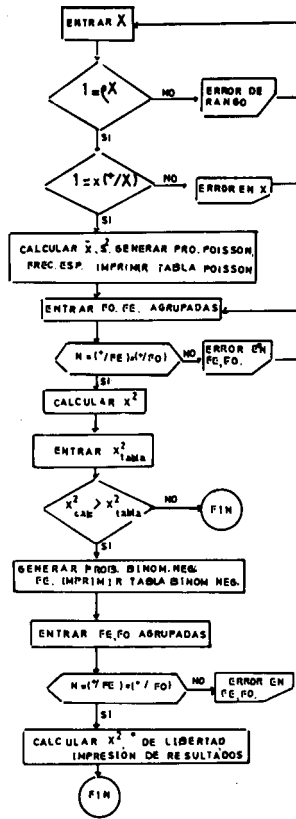


FIG. 1 ALGORITMO DE PROGRAMACION. DIAGRAMA DE FLUJO DEL ANALISIS DEL PATTERN DE DISTRIBUCION ESPACIAL DE POBLACIONES DE INSECTOS

TABLA 1

Valores de X^2 para la bondad de ajuste de arreglos espaciales observados en censos de insectos asociados a la alfalfa, utilizando los modelos de Poisson y Binomial Negativa.

	Poisson X^2 calculado		Binomial negativa X^2 calculado	
	Alfalfar 1	Alfalfar 2	Alfalfar 1	Alfalfar 2
<i>Lygus</i> (A)	11.26	79.94 ⁺⁺	---	12.29
<i>Lygus</i> (N)	54.59 ⁺⁺	119.96 ⁺⁺	7.59	10.19
<i>Spissistilus</i> (A)	32.63 ⁺⁺	---	18.47	---
<i>Nabis</i> (A)	17.09 ⁺	6.92	8.51	---
<i>Diabrotica</i> (A)	5.57	7.16	---	---
<i>Collops</i> (A)	71.09 ⁺⁺	5.77	6.91	---
<i>Spodoptera</i> (L)	30.26 ⁺⁺	91.64 ⁺⁺	13.36	13.95
<i>Colias</i> (L)	28.26 ⁺⁺	77.64 ⁺⁺	23.90 ⁺⁺	9.40

+ significativo al 50/o.

++ significativo al 10/o.

--- densidad muy baja, ajuste no realizado.

para los datos censales de la población de *Diabrotica spp.* Diferencias en la densidad de las poblaciones podrían explicar estas diferencias en distribución. A menudo, cuando la densidad es baja o en las etapas iniciales de invasión de un área o cultivo, los insectos exhiben un patrón de distribución al azar (1). Si el criterio de Stevens *et al.* (30) es seguido, cinco grupos quedarían descritos, satisfactoriamente, por la DBN en el alfalfar 1 y cuatro lo harían en el alfalfar 2. Un cuadro resumen de los resultados se muestra en la Tabla 2.

De los ocho grupos de poblaciones estudiados, sólo uno mostró un valor estimado de k mayor de 8.0, éste fue *Nabis spp.* El resto de los valores estimados de k es positivo y menor de 8.0.

Como anteriormente se ha dicho, el parámetro k es considerado una medida de dispersión. No obstante, investigaciones de terreno y teóricas han demostrado que éste es afectado por la densidad de la población, tamaño de la muestra, tamaño y forma de la unidad de muestra (8,20,30,38); Hill *et al.*, (2), por ejemplo, han mostrado para cuatro grupos de insectos que, en el ecosistema del algodón, el valor de k aumenta con el tamaño de la unidad de muestra. El menor valor se obtuvo cuando ellos consideraron como unidad a la planta misma. Por el contrario, la situación se invierte cuando la unidad muestral fue una hilera de 32.12 m.

Los resultados encontrados en este estudio sugieren que podría ser factible usar la

DBN como un modelo matemático para complementar el conocimiento del patrón de distribución de insectos asociados al ecosistema de la alfalfa. Sin embargo, los procesos biológicos y ecológicos que causan la agregación no son completamente dilucidados. Boswell y Patil (39), en una revisión sistemática de la DBN, han compilado un total de 15 formas de generarla. De ellas, muchas son aplicables como modelos que representan una amplia gama de situaciones completamente diferentes. De lo anterior se concluye que el conocimiento de la distribución estadística de los datos no es suficiente para describir adecuadamente la distribución espacial de la población. Patil y Stiteler (4), por su parte, han señalado que existen dos situaciones diferentes en el estudio de la distribución espacial de la población. En un caso, los individuos se encuentran dispuestos en unidades discretas de hábitat, por ejemplo, insectos en una hoja, flor, huésped animal. Aquí, este tipo de hábitat constituye una unidad de muestreo y proporciona una base natural para la descripción de la distribución espacial, por lo que su estudio se hace completamente manejable. En el segundo caso, los individuos se encuentran esparcidos a lo largo y ancho de un continuo. En esta situación, la ausencia de una unidad natural de muestreo requiere de la construcción de una unidad artificial, por lo que el análisis de la distribución espacial se complica por el hecho que ésta debe ser descrita en términos de esa unidad, arbitrariamente selec-

TABLA 2

Medias, varianzas y valores estimados de k para algunas poblaciones de insectos de la alfalfa

	Alfalfar 1			Alfalfar 2		
	\bar{x}	s^2	\hat{k}	\bar{x}	s^2	\hat{k}
<i>Lygus</i> (A)	11.31	27.12	---	26.66	140.01	6.27
<i>Lygus</i> (N)	9.53	42.26	2.75	24.38	329.20	1.95
<i>Spissistilus</i> (A)	11.59	94.70	5.10	---	---	---
<i>Nabis</i> (A)	8.06	14.38	10.29	---	---	---
<i>Diabrotica spp.</i> (A)	3.50	5.95	---	---	---	---
<i>Collops spp.</i> (A)	3.31	6.03	4.04	1.53	3.42	---
<i>Spodoptera spp.</i> (L)	24.88	168.20	4.31	16.13	153.50	1.89
<i>Colias spp.</i> (L)	5.47	54.32	0.61	34.44	396.60	3.36

--- valores no calculados, ajuste satisfactorio con la Distribución Poisson.

cionada como unidad de muestra. Esta es la situación encontrada en el presente estudio; sin embargo, el tipo de cultivo hace mucho más práctico el muestreo cuando se selecciona un área en lugar de la planta individual. Lo importante es seleccionar una unidad que represente un equilibrado compromiso entre los propósitos del muestreo y los costos de dicha operación.

Otros métodos alternativos

Aunque la DBN ha sido a la fecha la más comúnmente usada, numerosos otros modelos e índices se han empleado. Entre los modelos comúnmente utilizados para analizar la distribución de contagio figuran la distribución logarítmica, discreta lognormal, de Neyman tipo A, de Thomas y Polya-Aeppli. Tal como ocurre en la DBN, las distribuciones de Neyman y de Thomas son afectadas por el tamaño de la unidad de muestra. Una inadecuada selección de éste puede resultar en una distribución de frecuencias que ninguno de los dos modelos describe satisfactoriamente. Por otro lado, un ligero cambio de tamaño puede conducir a una distribución que es descrita por ambos métodos (40).

Otro tipo de modelo ha sido diseñado por Taylor (41, 42). En él se relaciona la varianza con la medida por medio de una ecuación exponencial. Para Taylor, el exponente varía ampliamente en diferentes tipos de organismos, pero permanece constante para un mismo organismo en ambientes y estados similares de su ciclo de vida, aún muestreado por diferentes métodos. Este exponente representaría, en consecuencia, un verdadero índice de agregación que describiría una propiedad intrínseca del organismo en cuestión (41-43). No obstante, datos censales de *Hypera postica* (18) y de *Aphis fabae* (26) no corroboran esta suposición.

Iwao (45) ha propuesto un método de regresión basado en el índice de Lloyd ("mean crowding index"), el que se relaciona con los valores medios de una serie de muestras. Iwao (45) e Iwao y Kuno (46) han mostrado que existe una relación lineal directa para un gran número de especies de plantas y animales, y que los parámetros de

la línea de regresión conducen a varios modelos de distribución espacial. Sin embargo, en opinión de Patil y Stiteler (4), una limitación del método estaría en el gran tamaño de la muestra que se requeriría para estimarlos con precisión. Últimamente Patil y Stiteler (4) han propuesto un método vectorial de análisis atendiendo a que los diferentes índices son equivalentes, ya sea al índice $w = G^2/\mu$ o al índice $\tau = (G^2 - \mu)/\mu^2$, proporcionando una relación unificadora entre ellos. Al término de la revisión bibliográfica de este trabajo, en la literatura entomológica no se han encontrado aplicaciones prácticas del método.

REFERENCIAS

1. SEVACHERIAN, V. *Environ. Entomol.* 1(6): 695-703. 1972.
2. HILL, B.G., R.W. MCNEW, J.H., YOUNG, W.E. RUTH. *Environ. Entomol.* 4(3): 491-494. 1975.
3. HUTCHINSON, G.E. *Readings in population and community ecology*. W.B. Saunders Co., Philadelphia, pp. 2-13, 1964.
4. PATIL, G.P., W.M. STITELER. *Res. Popul. Ecol.* 15: 238-254. 1974.
5. GATES, D.M. *Environ. Research* 3: 132-144. 1970.
6. FLITTERS, N. *Proc. Tall. Timbers Conf. Ecol. Anim. Control Habitat Manage.* 4: 21-34. 1972.
7. SALT, G. and F.S.J. HOLLICK. *J. Exp. Biol.* 1: 1-46. 1946.
8. WATERS, W.E. *J. Econ. Entomol.* 52: 1180-1184. 1959.
9. NAYLOR, A. *Ecology* 49(3): 453-464. 1959.
10. WATERS, W.E., W.R., HENSON. *For Sci.* 5(4): 297-412. 1959.
11. HARCOURT, D.G. *Can. Entomol.* 92: 517-521. 1960.
12. HARCOURT, D.G. *Can. Entomol.* 95: 813-820. 1963.
13. HARCOURT, D.G. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 58(1): 89-94. 1965.
14. LYONS, L.A. *Can. Entomol.* 96(11): 1373-1407. 1964.
15. COLE, L.C. *Ecol. Monographs* 16: 70-75. 1946.
16. MONRO, J. *J. Anim. Ecol.* 36: 531-547. 1967.
17. FORSYTHE, H.Y., G.G. GYRISCO. *J. Econ. Entomol.* 56(1): 104-107. 1963.
18. LATHEEF, M.A., B.C. PASS. *Environ. Entomol.* 3(5): 866-271. 1974.
19. MCGUIRE, J.U., T.A. BRINDLEY, T.A. BANCROFT. *Biometric* 13: 65-78. 1957.
20. HARCOURT, D.G. *Can. Entomol.* 93: 945-952. 1961.
21. RABINOVICH, J.E. *Ecología de las Poblaciones animales. Ser. Biología Monogr.* 21., Pr. Reg. Des. Cientif. Tecn. Depto. Asuntos Cientif. Sect. Gen. O.E.A., 110 págs. 1978.
22. BEALL, G. *Biometrika* 32: 243-262. 1942.
23. WADLEY, F.M. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 43: 581-586. 1950.
24. FORSYTHE, H.Y., G.G. GYRISCO. *J. Econ. Entomol.* 54(5): 859-861. 1961.
25. ROJAS, B.A. *Fit. Latinoamer.* 1(1): 27-36. 1964.

26. TAYLOR, L.R. *Ann. Appl. Biol.* 65: 181-189. 1970.
27. SHEPARD, M., W. STERLING. *Texas Agr. Expt. Sta. MP1045*, 14 pp. 1972.
28. GONZALEZ, D. *Proc. Tall. Timbers. Conf. Ecol. Anim. Control Habitat Manage* 2: 83-101. 1970.
29. SEVACHERIAN, V. *Environ. Entomol.* 1(6): 704-710. 1972.
30. STEVENS, L.M., J.V. MCGUIRE y A.L. STEINH-AUER. *Agr. Expt. Sta. Univ. of Maryland, College Park, Jan.*, MP874, 48 pp. 1976.
31. COTTAM, G., J.T. CURTIS, A.J. CATANA. *Ecology* 38: 610-622. 1957.
32. VAN DEN BOSCH, R., V.M. STERN. *Proc. Tall. Timbers Conf. Ecol. Anim. Control Habitat Manage. Bull No 1*: 47-54. 1969.
33. JENSEN, P. *Ecology* 40(3): 447-452. 1959.
34. ANSCOMBE, F.J. *Biometric* 5: 165-173. 1949.
35. BLISS, C.I. *Proc. Xth Int. Congr. Entomol.* 2: 1015-1032. 1956.
36. BLISS, C.I., R.A. FISCHER. *Biometrics* 9: 176-200. 1953.
37. BLISS, C.I., A.R.G. OWEN. *Biometrika* 5: 37-58. 1958.
38. ANDERSEN, F.S. *Proc. XIIth Int. Congr. Entomol.* P. 395. 1965.
39. BYERLY, K.F. *Ph. D. Thesis.* 165 p. Univ. of California, Riverside, 1976.
40. BOSWALL, M.T., G.P. PATIL. *Random Counts in Scientific Work.* Vol. I. The Pennsylvania State University Press. 1970.
41. PIELOU, E.C. *J. Ecol.* 45: 31-47. 1957.
42. TAYLOR, L.R. *Nature* 189: 732-735. 1961.
43. TAYLOR, L.R. *Proc. XIIth Int. Congr. Entomol.* 396-397. 1965.
44. TAYLOR, R.G. y DG. HARCOURT. *Proc. Entomol. Soc. of Ontario, Vol. 105*: 22-27. 1974.
45. IWAO, S. *Res. Popul. Ecol.* 10: 1-20. 1968.
46. IWAO, S., E. KUNO. *Res. Popul. Ecol.* 10: 210-214. 1968.

APENDICE

PROPOSICION DE PROGRAMA

1. *Manual de usuario.* Este programa analiza el tipo de distribución espacial de insectos asociados a áreas cultivadas a partir de recuentos muestrales. Los datos observados son ajustados por los modelos teóricos de Poisson y Binomial Negativa. El análisis de la bondad del ajuste es llevada a cabo con la prueba de X^2 .

Una vez escrito, el programa puede ser llamado SPATIAL PATTERN X, donde X corresponde al vector de observaciones.

El usuario recibirá del programa los siguientes valores: (1) Media y varianza muestral; (2) el máximo valor observado en X; (3) índice de agregación calculado por el método de momentos; (4) dos tablas de 3 columnas, la primera columna corresponde a los valores de 0 al máximo valor observado; la segunda, a las frecuencias esperadas

según la distribución Poisson y Binomial Negativa, y la tercera columna corresponde a las frecuencias acumuladas; (5) los valores de X^2 y los grados de libertad asociados.

El programa requerirá que el usuario entre las frecuencias observadas y separadas tal como han sido agrupadas por él con el objeto de obtener frecuencias mayores a 1.0. Estas pueden ser obtenidas de las columnas 2 y 3 de las tablas respectivas. Igualmente solicitará los valores críticos de X^2 seleccionados por el usuario.

El programa comienza describiendo los datos usando el modelo de la DP. Si hay diferencias significativas; el programa usará el modelo de la BN.

En este programa existen los siguientes controles de errores: (1) El rango de X debe ser 1 y sus elementos discretos y positivos. El programa advertirá si estas condiciones no se cumplen: (2) la suma de las frecuencias observadas y esperadas entradas por el usuario debe ser igual a $N \pm 1$, donde N es el total de observaciones. En caso contrario, el programa advertirá al usuario.

El programa tiene las siguientes limitaciones: (1) los cálculos de probabilidades estarán limitados por la capacidad de APL para resolver factoriales, (2) el programa no es totalmente independiente del usuario, ya que éste debe entrar las frecuencias después de haber sido agrupadas y (3) el usuario debe entrar los valores críticos de X^2 .

2. *Funciones y subfunciones del programa.* El programa está estructurado en base a cinco funciones principales: (1) FIRST Δ WORDS, (2) START Δ SPATIAL Δ PATTERN, (3) CALL Δ POISSON Δ FIT, (4) CALL Δ NEG Δ BINOMIAL Δ -FIT, (5) CALL Δ EXIT. La función 1 señala lo que el programa hace; la función 2 controla la entrada de los datos y la función 5 señala el fin del programa.

La función (3) CALL Δ POISSON Δ FIT lleva a cabo el ajuste usando la DP y analiza la validez del modelo. Consta de las siguientes subfunciones: (3.1) BASIC Δ STAT, la que calcula la estadística básica de los datos. Origina las siguientes variables que se usarán posteriormente: VAR y MEAN, varianza y media muestral, respectivamen-

te; índice k , $XMAX$ o máximo valor observado, (3.2) `TABLEPOIS`. Esta subfunción calcula las probabilidades de Poisson basada en `MEAN` para los valores de X de 0 a $XMAX$. Luego calcula sus frecuencias esperadas y acumulativas. Los valores calculados son entregados en una tabla de 3 por $XMAX + 1$ elementos. (3.3) `CHIDPOISSON`. Esta función, basada en la prueba de χ^2 , lleva a cabo el análisis de la validez del modelo. La función (3.3) solicitará del usuario las frecuencias observadas y esperadas, así como el valor crítico de χ^2 . Si hay diferencias significativas entre los valores observados y el modelo teórico, el programa llama a la función 4. La función 4, `CALLNEGΔBINOMIALΔFIT`, lleva a cabo la descripción de los datos basados en la DBN. Esta función consta de las siguientes subfunciones:

(4.1) `TABLEΔNEGΔBINOMIAL` y (4.2) `CHISQNB`. La subfunción (4.1) calcula las probabilidades y las frecuencias esperadas según el modelo de la DBN. Los valores obtenidos son entregados al usuario en forma de tabla de 3 por $XMAX + 1$ elementos. Del mismo modo que en la función 3, esta subfunción solicita al usuario que entre las frecuencias observadas y esperadas después de haber sido agrupadas. La subfunción (4.2) lleva a cabo el análisis de la validez del modelo binomial negativo. El programa entrega en esta parte el valor de X^2 calculado y los grados de libertad asociados.

Finalmente, el programa termina con la función `CALLΔEXIT`.

A continuación se muestra el detalle de las funciones más importantes.

FUNCIONES PRINCIPALES

1. `CALLΔEXIT`
2. `CALLΔNEGΔBINOMIALΔFIT`
3. `CALLΔPOISSONΔFIT`
4. `FIRSTΔWORDS`
5. `STARTΔSPATIALΔPATTERN`

```

▽CALLΔEXIT [□] ▽
CALLΔEXIT
[1] 'THE PROGRAM HAS FINISHED.'
[2] ▽ →0

```

```

▽CALLΔNEGΔBINOMIALΔFIT [□] ▽
CALLΔNEGΔBINOMIALΔFIT
[1] TABLEΔNEGΔBINOMIAL
[2] ' '
[3] OFNB CHISQNB EFNB
[4] ' '

```

```

▽CALLΔPOISSONΔFIT [□] ▽
▽ CALLΔPOISSONΔFIT
[1] BASICΔSTAT X
[2] TABLEPOIS XMAX
[3] ▽ OFP CHIDPOISSON EFP

```



```

▽FIRSTΔWORDS [□]▽
▽ FIRSTΔWORDS
[1] ' ' ⌘ ''
[2] ' THIS PROGRAM COMPUTES THE PATTERN OF SPATIAL'
[3] 'DISTRIBUTION OF SMALL ANIMALS IN THEIR NATURAL'
[4] 'HABITAT.'
▽
    
```

```

▽STARTΔSPATIALΔPATTERN [□]▽
▽ STARTΔSPATIALΔPATTERN
[1] " ⌘ "
[2] →IF 1 = (ρ X ≤1)
[3] →THEN ⌘ 'CONDITION RANK ERROR.'
[4] →IF 1 = x (L/X)
[5] →THEN ⌘ 'THERE IS/ARE SOME WRONG DATA IN THE INPUT.'
[6] →ELSE ⌘ 'THE PROGRAM STARTS TO COMPUTE THE SPATIAL PATTERN.'
[7] →EXIT
▽
    
```

SUBFUNCIONES
SECOND LEVEL FUNCTIONS:

1. BASICΔSTAT
2. CHIΔPOISSON
3. CHISQNB
4. ELSE (·)
5. EXIT (·)
6. IF (·)
7. NEGBIN
8. POISSON
9. REPEAT (·)
10. TABLEΔNEGΔBINOMIAL
11. TABLEPOIS
12. THEN (·)
13. UNTIL (·)

```

▽BASICΔSTAT [□]▽
▽ BASICΔSTAT X
[ 1] ⊖ IT COMPUTES XMAX, MEAN, VARIANCE AND AN INDEX OF AGGREGATION FOR
    THE VALUES OF X
[ 2] ⊖ PREVIOUSLY CHECKED BY STARTΔSPATIALΔPATTERN.
[ 3] XMAX ← ⌈X ⌘ N ← ρ X ⌘ MEAN ← (+/X) ÷ N ⌘ VAR ← (+/(X-MEAN)*2) ÷ N-1
[ 4] K ← (MEAN*2) ÷ (VAR-MEAN)
[ 5] ' ' ⌘ ' ' ⌘ ''
[ 6] 'MAXIMUM VALUE IN X : ' ; XMAX
[ 7] 'MEAN : ' ; MEAN
[ 8] 'VARIANCE : ' ; VAR
[ 9] 'INDEX OF AGGREGATION: ' ; K
[10] ' '
[11] 'TABLE POISSON BASED ON MEAN AND THE MAXIMUM VALUE IN X: '
[12] ▽ '
    
```

Nota: Las funciones marcadas con (·) corresponden a funciones de biblioteca privada del curso 'APL Programming' (C.Sc. Department, New Mexico State University, USA).

```

▽ CHIΔPOISSON [□] ▽
▽ OF CHIΔPOISSON EF; CHIS
[ 1] CHIS ← ((OF-EF)·2)÷EF ⌘ SCHI ← +/CHIS
[ 2] ' ' ⌘ ' '
[ 3] 'CALCULATED CHI SQUARE FOR THE POISSON FIT: ' ; SCHI
[ 4] 'DEGREES OF FREEDOM ASSOCIATED TO      : ' ; (ρEFP)-2
[ 5] ' ' ⌘ ' '
[ 6] 'ENTER CRITICAL CHI SQUARE VALUE.'
[ 7] CRITΔCHIΔPOISSON ← □
[ 8] → IF (SCHI < CRITΔCHIΔPOISSON)
[ 9] → THEN ⌘ ' ' ⌘ 'NO SIGNIFICATIVE DIFFERENCES HAVE BEEN FOUND.' ⌘ →
EXIT
[10] → ELSE ⌘ ' ' ⌘ 'AS CALCULATED CHI SQUARE IS LARGER THAN THE CRITICAL'
[11] 'VALUE, I WILL TRY TO FIT YOUR DATA BY THE NEGATIVE BINOMIAL'
[12] 'DISTRIBUTION.'
[13] CALLΔNEGΔBINOMIALΔFIT
▽

```

```

▽ CHISQNB [□] ▽
▽ OFNB CHISQNB EFN
[1] CHIS ← ((OFNB-EFNB)*2)÷EFNB
[2] SHIS ← +/CHIS
[3] ' ' ⌘ ' '
[4] 'CALCULATED CHI SQUARE FOR THE NEGATIVE BINOMIAL FIT: ' ; SCHI
[5] 'DEGREES OF FREEDOM ASSOCIATED TO THE NEGATIVE BINOMIAL FIT: ' ; (ρ
EFNB)-3
[6] → EXIT

```

```

▽
▽ ELSE [□] ▽
▽ L ← ELSE
[1] DUMMY ← EXIT
[2] → RESETxO = 'ELSE: NOT EXECUTABLE OUTSIDE A FUNCTION' UNLESS (ρ I
27) ≥ 2
[3] LC ← (I27) [2]
[4] → RESETxO = 'ELSE: MISPLACED' UNLESS (ΔSYMA[1] ∈ 3 4) ^ ΔLNA[1] = LC-1
[5] L ← LC + \ ΔSYMA[1] = 3
[6] ΔLNA[1] ← LC
[7] ΔSYMA[1] ← 5
[8] → O
[9] RESET: → ΔSYMA[1] ← ΔLNA[1] ← O
▽

```

```

▽ EXIT [□] ▽
▽ L → EXIT;N
[1] → 'EXIT: NOT EXECUTABLE OUTSIDE A FUNCTION' UNLESS (ρ I27) ≥
2
[2] ΔSYMA ← (N ← 2-ρI27) ↑ ΔSYMA
[3] ΔLNA ← N ↑ ΔLNA
[4] L ← O
▽

```

```

∇ IF [□] ∇
∇ L ← IF C
[ 1] → RESET x O='IF: CONDITION RANK ERROR' UNLESS 1 = ρ, C
[ 2] → RESET x O='IF: CONDITION DOMAIN ERROR' UNLESS C ∈ O 1
[ 3] → RESET x O='IF: NOT EXECUTABLE OUTSIDE A FUNCTION' UNLESS (ρ I27) ≥ 2
[ 4] DUMMY ← EXIT
[ 5] LC ← (I27) [2]
[ 6] → RESET x O='IF: MISPLACED' UNLESS LC ≠ ΔLNΔ [1]
[ 7] ΔSYMΔ [1] ← 2 - C
[ 8] ΔLNΔ [1] ← LC
[ 9] L ← λ O
[10] → O
[11] RESET: → O x f O = ρ ΔLNΔ
[12] → ΔSYMΔ [1] ← ΔLNΔ [1] ← O
∇

```

```

∇ NEGBIN [□] ∇
∇ NBP ← NEGBIN N ;R;PO;P1;P2;P3;P4;P5;NBP
[1] R ← λ N
[2] PO ← (K ÷ (K + MEAN)) * K
[3] P1 ← (MEAN ÷ (K + MEAN)) * R
[4] P2 ← ! K + R - 1
[5] P3 ← (! R) x! K - 1
[6] P5 ← PO x P1 x P4 ← P2 ÷ P3
[7] NBP ← PO, P5
∇

```

```

∇ POISSON [□] ∇
∇ P ← N POISSON K
[1] P ← (* - K) x (K * X) ÷ ! X ← O, λ N
∇

```

```

∇ REPEAT [□] ∇
∇ L ← REPEAT
[ 1] DUMMY ← EXIT
[ 2] → RESET x O='REPEAT: NOT EXECUTABLE OUTSIDE A FUNCTION' UNLESS
(ρ I27) ≥ 2
[ 3] LC ← (I27) [2]
[ 4] → SIMPLER x λ (ΔLNΔ [1] ≠ LC)
[ 5] → RESET x O='REPEAT: MISPLACED' UNLESS ~ (ΔSYMΔ [1] ∈ 1 2 9 10 11)
[ 6] → AFTERU x λ (ΔSYMΔ [1] ∈ 6 7 8)
[ 7] ⊕ SYM IS 3 OR 5 HERE
[ 8] ΔSYMΔ [1] ← ΔSYMΔ [1] + 6
[ 9] L ← λ O
[10] → O
[11] SIMPLER: L ← λ O
[12] ΔSYMΔ [1] ← 10
[13] → O x ΔLNΔ [1] ← LC
[14] AFTERU: L ← LC
[15] → ELSEU x λ (ΔSYMΔ [1] = 8)
[16] → THENU x λ (ΔSYMΔ [1] = 6)
[17] → RESET
[18] ELSEU: ΔSYMΔ [1] ← 4

```

```

[19] →Ox ΔLNΔ[1] ← LC-1
[20] THENU: ΔSYMA[1] ← 1
[21] →OxΔLNΔ[1] ← LC-1
[22] RESET: → ΔSYMA[1] ← ΔLNΔ[1] ← 0

```

▽

▽TABLEΔNEGΔBINOMIAL [□]▽

▽ TABLEΔNEGΔBINOMIAL

```

[ 1] ⊕ IT COMPUTES THE NEGATIVE BINOMIAL PROBABILITIES AND THE
[ 2] ⊕ EXPECTED FREQUENCIES BASED ON SAMPLE MEAN, XMAX AND THE INDEX OF
    AGGREGATION.'
[ 3] '' × ''
[ 4] ' TABLE NEGATIVE BINOMIAL BASED ON MEAN, XMAX AND THE INDEX OF
    AGGREGATION.'
[ 5] '
[ 6] I ← 1
[ 7] →IF 1 =(ρX≤1)
[ 8] →THEN × 'VALUE ERROR.' × CALLΔEXIT
[ 9] →ELSE × EFNB ← NxPNB ← NEG BIN XMAX
[10] →UNTIL (I>(XMAX+1) ) × SEFNB ← +/EFNB [I] × TABLENB ← (I 1), EFNB [I],
    SEFNB × (6 0 10 2 10 2) τ TABLENB × I ← I+1 × →REPEAT
[11] '' × ''
[12] 'ENTER THE OBSERVED FREQUENCIES AS POOLED. THE EXPECTED
    FREQUENCIES ARE OBTAINED FROM THE SECOND COLUMN'
[13] 'OF TABLE NEGATIVE BINOMIAL. TO POOL EXPECTED FREQUENCIES < 1,USE THE
    THIRD COLUMN.'
[14] 'THE FIRST QUAD CALLS FOR THE OBSERVED FREQUENCIES, WHILE THE'
[15] 'SECOND ONE DOES FOR THE EXPECTED.'
[16] OFNB ← □
[17] EFNB ← □
[18] →IF 1 = ( (+/OFNB) ≠ N) v 1 ≠ (1 ≧ \N-(+/EFNB) )
[19] →THEN × 'N DOES NOT MATCH WITH THE TOTAL FREQUENCIES, TRY AGAIN.'
    × → 12
[20] →ELSE × →EXIT

```

▽

▽TABLEPOIS [□]▽

▽ TABLEPOIS XMAX; I;P; SEFPX

```

[ 1] I ← 1
[ 2] →IF 1 =(ρX≤1)
[ 3] →THEN × 'VALUE ERROR.' × CALLΔEXIT
[ 4] →ELSE × EFXP ← NxP ← XMAX POISSON MEAN
[ 5] →UNTIL (I>(XMAX+1) ) × SEFP ← +/EFXP [I] × TABLEP ← (I-1), EFXP[I],
    SEFP × (6 0 10 2 10 2) τ TABLE × I+1 × →REPEAT
[ 6] '' × ''
[ 7] 'ENTER THE OBSERVED FREQUENCIES AS POOLED, THE EXPECTED
    FREQUENCIES ARE OBTAINED FROM THE SECOND COLUMN OF.'
[ 8] 'TABLE POISSON. TO POOL THE EXPECTED FREQUENCIES, USE THE THIRD
    COLUMN. THE FIRST QUAD CALLS THE.'
[ 9] 'OBSERVED FREQUENCIES, WHILE THE SECOND ONE DOES FOR THE
    EXPECTED.'

```

[10] OFP \leftarrow \square
 [11] EFP \leftarrow \square
 [12] \rightarrow IF 1 = ((+/OFP) \neq N) v 1 \neq (1 >/N-(+/EFP))
 [13] \rightarrow THEN \times 'N DOES NOT MATCH WITH THE TOTAL OF FREQUENCIES, TRY AGAIN.' \times \rightarrow 7
 [14] \rightarrow ELSE \times \rightarrow EXIT

∇

∇ THEN [\square] ∇

∇ L \leftarrow THEN; LC; DUMMY

[1] DUMMY \leftarrow EXIT
 [2] \rightarrow RESET_xO = 'THEN: NOT EXECUTABLE OUTSIDE A FUNCTION' UNLESS (ρ I27) \geq 2
 [3] LC \leftarrow (I27) [2]
 [4] \rightarrow RESET_xO = 'THEN: MISPLACED' UNLESS O $<$ ρ Δ LN Δ
 [5] \rightarrow RESET_xO = 'THEN: MISPLACED' UNLESS (Δ SYMD[1] \in 1 2) \wedge LN Δ [1] = LC - 1
 [6] Δ SYMD[1] \leftarrow 2 + Δ SYMD[1]
 [7] LN Δ [1] \leftarrow LC
 [8] L \leftarrow LC + λ Δ SYMD[1] = 4
 [9] \rightarrow O
 [10] \rightarrow O_x λ O = ρ Δ LN Δ
 [11] RESET: \rightarrow O_x λ O = ρ Δ LN Δ
 [12] \rightarrow Δ SYMD[1] \leftarrow LN Δ [1] \leftarrow O

∇

∇ UNTIL [\square] ∇

L \leftarrow UNTIL C

[1] DUMMY \leftarrow EXIT
 [2] \rightarrow RESET_xO = ' UNTIL: NOT EXECUTABLE OUTSIDE A FUNCTION' UNLESS (ρ I27) \geq 2
 [3] LC \leftarrow (I27) [2]
 [4] \rightarrow RESET_xO = 'UNTIL: CONDITION RANK ERROR' UNLESS 1 = ρ , C
 [5] \rightarrow RESET_xO = 'UNTIL: CONDITION DOMAIN ERROR' UNLESS C \in 0 1
 [6] \rightarrow SIMPLEU_x λ (LN Δ [1] \neq LC)
 [7] \rightarrow RESET_xO = 'UNTIL: MISPLACED' UNLESS \sim (Δ SYMD[1] \in 1 2 6 7 8)
 [8] \rightarrow AFTERR_x λ (Δ SYMD[1] \in 9 10 11)
 [9] \ominus SYM[1] IS 3 or 5..IF 4, ERROR
 [10] Δ SYMD[1] \leftarrow Δ SYMD[1] + 3
 [11] L \leftarrow LC + λ C
 [12] \rightarrow O
 [13] SIMPLEU: Δ SYMD[1] \leftarrow 7
 [14] LN Δ [1] \leftarrow LC
 [15] L \leftarrow LC + λ C
 [16] \rightarrow O
 [17] AFTERR: L \leftarrow LC_x λ \sim C
 [18] \rightarrow ELSE_x λ (Δ SYMD[1] = 11)
 [19] \rightarrow THEN_x λ (Δ SYMD[1] = 9)
 [20] \rightarrow RESET
 [21] ELSE_x: Δ SYMD[1] \leftarrow 4
 [22] \rightarrow O_xLN Δ [1] \leftarrow LC - 1
 [23] THEN_x: Δ SYND[1] \leftarrow 1
 [24] \rightarrow O_xLN Δ [1] \leftarrow LC - 1
 [25] RESET: \rightarrow Δ SYMD[1] \leftarrow LN Δ [1] \leftarrow O

∇

