

DISCUSIÓN DE CUATRO MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA DEFINIR EL PATRÓN ESPACIAL, EN POBLACIONES ECOLÓGICAS

Roberto Coronado Niño¹
Félix de J. Sánchez Pérez²

RESUMEN

Debido a la importancia de conocer con precisión el tipo de patrón espacial de una población, se llevó a cabo este trabajo en el rancho demostrativo "Los Angeles", que consistió en utilizar los métodos estadísticos de mayor interés, como son: la razón varianza/media, la parcela, la distribución binomial negativa y varianza de cuadrantes en bloques. Las especies de *Yucca* (*Yucca carnerosana*) y lechuguilla (*Agave lecheguilla*) se seleccionaron para este trabajo debido a su importancia económica y los tamaños de las unidades muestrales fueron de 0.25 m², 1.00 m² y 4.00 m² para lechuguilla, y 100.00 m² para yucca; esto se hizo respetando lo propuesto por Oosting (1956). En lo que respecta al tamaño de muestra se utilizó la técnica de Pieper (1978), encontrando 76 unidades de 0.25 m², 29 de 1.00 m², 29 de 4.00 m² en lechuguilla y 75 unidades de 100.00 m² en yucca.

En el método de la distribución binomial negativa se encontró que el estimador de agregación \hat{k}_3 es mucho mejor que el \hat{k}_1 por ser un estimador de mínima varianza; en lo que respecta al tamaño de la unidad muestral, de 4.00 m² resultó ser el mejor por tener un menor valor de coeficiente de variación. Por otro lado, el método de la parcela en este estudio, es considerado como el no eficiente debido a sus diferencias en definir el tipo de patrón espacial con respecto a los otros y, además, se observó que los índices se comportaron en forma homogénea en tres métodos, excepto en el método de varianza de cuadrantes en bloques, los cuales se consideran confiables para poder describir el patrón espacial.

1 y 2. M.C. Maestros-Investigadores del Depto. de Estadística, Div. de Ingeniería. UAAAN.

Palabras Clave

C frecuencia de clase, λ número de puntos por unidad de área, \hat{k}_3 estimador de agregación, l_m índice de morisita, w^* índice de Clark y Evans, I_G índice de Green, $Var(\psi)$ varianza de hill, ϵ Tamaño de bloque.

SUMMARY

Due to the importance of knowing precisely the space pattern of a population, this work was carried out in the ranch Los Angeles, in Buenavista, Saltillo, in the state of Coahuila, Mexico. It consisted in applying the statistical methods of greater importance. Among such methods were the variance/mean rate, plot, negative binominal distribution and block quadrant variance. Species *Yucca* (*Yucca carnerosana*) and lecheguilla (*Agave lecheguilla*) were selected for this work due to its economical importance, the unit sizes were 0.25 m², 1.00 m² y 4.00 m² for lecheguilla and 100 m² for yucca. This was done according to the proposal of Oosting (1956). As far as sample size is concerned the Pieper technique (1978) was used and in lecheguilla were found 76 units with 0.25 m², 29 of 1 m², 29 of 4 m²; and 75 units of 100.00 m² in yucca.

In the negative binomial distribution method it was found that the aggregation estimator \hat{k}_3 is far better than k_1 since it is a minimal variance estimator, and the sample size of 4.00 m² resulted the best because of its smaller value of the variation coefficient. On the other hand, the plot method, in this study, is considered as the non-efficient one due to its differences in defining the type of space pattern in relation to the other one. Besides the above mentioned, it was observed that indexes behaved in a homogeneous way in all but one of this methods; the block quadrant variance one. All other methods are considered reliable for describing the space pattern.

Index words

Class frequency C, point numbers by area unit λ , aggregation estimator \hat{k}_3 , morisita index l_m , Clark and Evans index w^* ; Green index I_G , Hill Variance $Var(\psi)$, block size ϵ

INTRODUCCIÓN

Por lo general, las investigaciones en ecología tienen como objetivo conocer el número total de individuos en una comunidad determinada que posean cierta característica de interés. Asimismo, el conocimiento de la tasa de mortalidad, natalidad y el efecto de las condiciones ambientales provocadas por el hombre.

Los ecólogos han reconocido que un estudio demográfico tiene la aplicabilidad en el manejo de recursos naturales renovables, factor importante en el espacio tiempo del estudio de la ecología poblacional. En el área de pastizales, es de gran importancia conocer la densidad para obtener un mejor manejo en el aspecto cuantitativo de sus componentes, por lo que es de primordial importancia determinar el patrón de distribución de la especie en estudio, para así escoger un método de parcela o de distancia, que arroje resultados de densidad de población más confiable, y de menor tiempo y recursos.

El objetivo de este trabajo consiste en presentar el fundamento matemático de los modelos estadísticos más importantes que se usan en el estudio de las distribuciones espaciales, así como la bondad de los mismos en los diferentes estudios de dispersión de especies.

Antes de entrar a caracterizar los diferentes tipos de arreglos espaciales, es necesario tener presente las condiciones de espacio habitable discontinuo y el espacio continuo por los organismos, que hacen se puedan reconocer las tres situaciones siguientes:

1. La disposición al azar. Es el arreglo más simple de organismos; es decir, el que tiene menor número de suposiciones y en el que no ocurren mecanismos espaciales de ningún tipo. Esta disposición considera que todos los puntos en un mismo espacio tienen la misma probabilidad de ser ocupados por un organismo y, además, que la presencia de un individuo en un cierto punto en el espacio, no afecta la ubicación de otro (Figura 1a.).

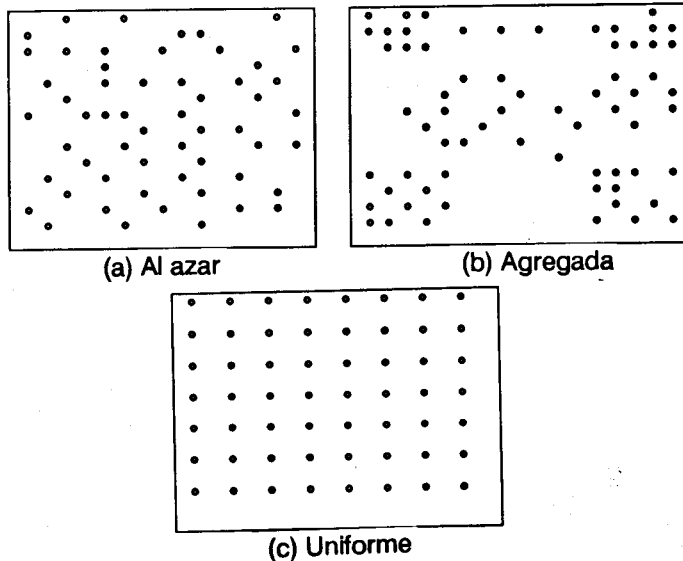


Figura 1. Diagrama de Dispersión.

Considerando las exigencias ecológicas, no es de extrañar que dicho arreglo rara vez se encuentra en condiciones naturales, y las veces en que aparece, bien podría deberse a un efecto falso de muestreo (Rabinovich, 1980).

2. La disposición agregada o contagiosa. Se presenta cuando no todos los puntos en el espacio tienen la misma probabilidad de ser ocupados por un organismo; es decir, donde de un punto a otro las condiciones y factores que afectan la supervivencia y el comportamiento de los individuos no se mantiene constante. En la gran mayoría de los casos, en organismos silvestres, los patrones de distribución de dichos organismos son agregados, o sea, que se encuentran en manchones irregulares, dispersos uno del otro (Rabinovich, 1980). (Figura 1b).
3. La disposición uniforme o regular. Se presenta cuando se toma la forma de competencia entre los individuos de la población por un cierto recurso, que a veces es el espacio, y en otras ocasiones es el alimento; es por esta razón que no se cumplen las condiciones propuestas por la disposición al azar, sin embargo, este tipo de arreglo no es muy frecuente que se presente, tanto en plantas como en animales (Franco, 1985) (Figura 1c).

Métodos que definen la distribución espacial de los Individuos e índice de dispersión

Método de la razón varianza/media

Consiste en disponer aleatoriamente un número predeterminado de unidades de muestra que por lo general consta de cuadros, cuyas dimensiones son escogidas de acuerdo con la población en la que se van a emplear; una vez hecho el conteo de las especies por cuadro, se pasaría a formular una tabla de distribución de frecuencia con la finalidad de obtener estimaciones \bar{X} (media muestral) y S^2 (varianza muestral).

Las expresiones de los estadísticos que se van a utilizar son:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^c f_i X_i}{\sum_{i=1}^c f_i}$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^c f_i X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^c f_i X_i \right)^2 / n}{n - 1}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, c$

donde:

X_i = cada uno de los valores considerados

C = número de valores a considerar

f_i = número de individuos que pertenecen a cada valor
 C

$n = \sum_{i=1}^C f_i$ = número total de individuos observados en las unidades muestrales

La regla de decisión es:

Si $S^2/\bar{X} = 1$, se presenta una distribución al azar

Si $S^2/\bar{X} < 1$, se presenta una distribución uniforme

Si $S^2/\bar{X} > 1$, se presenta una distribución agregada

Método de la parcela

En este caso, el estudio de una región es dividido en forma cuadrangular, en celdas de igual tamaño llamados cuadrantes, donde éstos son utilizados en un conteo de puntos, así como para medir distancias de cualquier punto a su vecino más cercano en un arreglo aleatorio; además, se consideran las condiciones de que cualquier punto tiene igual probabilidad de ocurrir en cualquier posición del plano, y que la posición del mismo es independiente de la posición de cualquier otro punto.

En un arreglo aleatorio puntual se puede conocer la distancia promedio del vecino cercano de la siguiente manera:

$$\bar{w} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M w_i$$

lo cual tiene una distribución normal con media $E(\bar{w})$ y varianza $\text{Var}(\bar{w})$, donde:

$$E(\bar{w}) = \frac{1}{2 \lambda^{1/2}}$$

$$\text{Var}(\bar{w}) = \frac{4 - \pi}{4M \pi \lambda}$$

La hipótesis a probar será el valor determinado por la W^* , donde el estadístico $Z_c \sim N(0,1)$, lo cual:

$$Z_c = \frac{\bar{w} - E(\bar{w})}{[\text{Var}(\bar{w})]^{1/2}}$$

El criterio de decisión es:

Si $Z_c > Z_{\alpha/2}$: se rechaza la hipótesis propuesta

Si $Z_c \leq Z_{\alpha/2}$: se acepta la hipótesis propuesta

Método de la distribución binomial negativa

Este método, como en los anteriores, consiste en dividir el área total en cuadros de igual tamaño de área; y se utiliza una tabla de números aleatorios para obtener una selección de n unidades muestrales. Este modelo probabilístico es el más comúnmente utilizado para poblaciones agregadas (Sokal y Rohlf, 1981) y para describir el arreglo espacial de la población en estudio, se basa en los siguientes pasos:

1. Formulación de la hipótesis
2. Distribución de frecuencia
3. Probabilidad de la binomial negativa
4. La frecuencia esperada
5. Prueba de bondad de ajuste de ji-cuadrada.

La expresión de este modelo está dada por:

$$P(X) = \frac{(\mu + k - 1)!}{(X!(k-1)!)} \left[\frac{\mu}{\mu + k} \right]^X \left[1 + \frac{\mu}{k} \right]^{-k}$$

donde, el parámetro μ es estimado por la media muestra (\bar{X}) y el parámetro k es estimado por \hat{k} , el cual se obtiene por métodos iterativos. En este estudio se estimó el valor de k por el método de máxima verosimilitud utilizando el siguiente modelo:

$$T_i = \sum_{x=0}^{l-1} \frac{A_x}{\hat{k}_3 + x} - n \ln \left[1 + \frac{\bar{x}}{\hat{k}_3} \right]$$

El estadístico de prueba de la χ^2 es:

$$\chi^2 = \sum_{x=0}^c [(O_x - E_x)^2 / E_x]$$

El criterio de decisión en este caso es:

Si $\chi^2 \leq \chi^2$ tabular: se acepta la hipótesis propuesta
 Si $\chi^2 > \chi^2$ tabular: se rechaza la hipótesis propuesta

Método de varianza de cuadrantes en bloques

Este método se utiliza preferentemente en aquellos patrones espaciales en que las especies son encontradas continuamente a través de una comunidad.

La forma de observar el número de individuos en la especie de interés es muestreando la comunidad, trazando un rectángulo con divisiones de cuadrados contiguos y de igual tamaño. El rectángulo de datos puede ser representado como un vector de observaciones $\vartheta = n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$, donde N^* es el número total de cuadrados observados; el patrón espacial, en este método, es interpretado gráficamente al considerar las medidas de dispersión y los tamaños de bloques.

La varianza a utilizar para tamaños de bloque (ξ) es:

$$\text{Var}(\vartheta)_{\xi} = \frac{1}{2\xi [N^* - (2\xi - 1)]} \left[\sum_{i=1}^{N^* - (2\xi - 1)} \left(\sum_{j=i}^{\xi + (i-1)} n_j - \sum_{j=\xi+i} n_j \right)^2 \right]$$

Para determinar el patrón espacial de las especies de interés, Ludwig y Reynolds (1988) interpretan los trazos de las varianzas contra los tamaños de bloques de la siguiente manera:

1. Si los individuos son dispersados al azar sobre el área de estudio, las varianzas fluctuarán en los diferentes tamaños de bloques.
2. Si los individuos son dispersados regularmente, las varianzas serán de menor sesgo y tenderán a no fluctuar en los diferentes tamaños de bloques; si llegara a presentarse la fluctuación, ésta sería mínima.

3. Si los individuos están dispersos en agregados, las varianzas tenderán a formar un pico o cresta en algún tamaño de bloque. Si la varianza de la cresta es alta y afilada, indica un patrón agregado de alta intensidad; en otras palabras, se trata de agregados diferentes, estrechos y de espacios grandes entre sí. Sin embargo, si el pico de cresta es bajo, entonces el patrón es de baja intensidad y los agregados no están bien definidos.

Índice de dispersión

Los índices de dispersión tienen su utilidad en la medición del grado de agregación en una población. En este trabajo se emplearon los siguientes índices:

1. Índice de morisita (I_m)

$$I_m = \frac{\sum_{i=1}^{N^*} n_i (n_i - 1)}{(n(n-1))} N^*$$

donde:

n_i = número de individuos de cada unidad muestral

N^* = número total de las unidades muestrales

La regla de decisión del índice I_m es:

Si $I_m = 1$, Se presenta una distribución al azar

Si $I_m < 1$, Se presenta una distribución uniforme

Si $I_m > 1$, Se presenta una distribución agregada

2. Índice de Green (I_G)

$$I_G = \frac{S^2/\bar{x} - 1}{\sum fx - 1}$$

Las condiciones de I_G son:

Si $I_G < 0$, se presenta una distribución aleatoria

Si $0 < I_G < 1$, Se presenta una distribución agregada.

3. Índice de Clark y Evans (w^*)

$$w^* = \frac{\bar{w}}{E(\bar{w})}$$

donde las condiciones de w^* son:

Si $1 < w^* < 2.1491$, se presenta una distribución uniforme

Si $w^* = 1$, se presenta una distribución al azar

Si $0 < w^* < 1$, se presenta una distribución agregada

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se llevó a cabo en el Rancho Demostrativo "Los Angeles", propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, el cual se localiza a 48 kilómetros al Sur de la Ciudad de Saltillo, con una altura que varía entre los 2,100 y 2,400 msnm.

La selección de las especies de *Yucca* (*Yucca carnerosana*) y Lechuguilla (*Agave lechuguilla*) para este estudio, se hizo considerando la importancia económica que tiene para los campesinos de la región, ya que éstos la utilizan para su alimentación y para la obtención de fibra.

Los sitios fueron escogidos de la manera más uniforme posible, mediante un proceso aleatorio, donde las parcelas que se delimitaron para el estudio siguieron el mismo proceso de rumbos y distancias. En lo que respecta al tamaño de las unidades muestrales, se hizo respetando lo propuesto por Oosting (1956): 4 m² para arbustiva y 100 m² para vegetación arbórea, sólo que en este estudio se consideraron también la de 0.25 m² y 1 m², para observar su comportamiento con respecto a las propuestas. Por fácil manejo se tomaron 100 cuadros de cada tamaño formando una cuadrícula de parcelas de 5 x 5 m., 10 x 10 m., y 20 x 20 m. en lechuguilla, y 100 x 100 m. en yucca. Para conocer el número de unidades muestrales o tamaño de muestra, se utilizó el procedimiento de Pieper (1978), considerando principalmente un muestreo del 10% de los 100 cuadros para conocer la S^2 y \bar{X} ; los tamaños encontrados fueron: 76 para una área de 0.25 m², 29 para una área de 1.0 m², y 29 para una área de 4.0 m² en lechuguilla, y 75 para una área de 100 m² en yucca; éstos fueron escogidos aleatoriamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1 se observa que la relación S^2/\bar{X} presenta valores mayores que uno, y se muestra que los valores de \hat{k}_1 encontrados por el método de momentos son siempre mayores que los \hat{k}_3 , lo cual corresponde al método de verosimilitud máxima; de allí que es siempre recomendable trabajar con los \hat{k}_3 por ser un estimador de mínima varianza. En este cuadro se observa también que existió efecto en los tamaños de 0.25 m² en lechuguilla, y 100.0 m² en yucca, como puede verse en los resultados del coeficiente de variación (C.V.), y en lo que respecta al tipo de patrón espacial, en el cuadro 2 se hace notar que solamente el método de la parcela fue diferente. En lo que corresponde a los índices, en el cuadro 3 se observa que se comportaron en forma homogénea en tres métodos, excepto en el método de varianza de cuadrantes en bloques, donde se nota que, la diferencia de pasar de dispersión aleatoria a agregada, es mínima.

Cuadro 1. Estimadores de parámetros por especie y por tamaño.

N°	Tamaño (m ²)	Especie	\bar{X}	s ²	s ² / \bar{X}	K ₁	K ₃	C.V.
72	0.25	Lechuguilla	1.388	2.241	1.613	2.263	1.800	1.079
29	1.00	Lechuguilla	6.344	14.162	2.232	5.149	1.520	0.593
29	4.00	Lechuguilla	11.633	39.205	3.370	4.908	0.802	0.538
75	100.00	Yucca	1.320	3.301	2.501	0.879	0.680	1.376

Cuadro 2. Tipo de patrón espacial definido por cada método, tamaño y especie.

Tamaño (m ²)	Especie	Razón Varianza/media	Métodos		
			Parcela	Binomial negativa	Varianza de cuadrantes en bloques
0.25	Lechuguilla	Agregada	Aleatoria	Agregada	Agregada
1.00	Lechuguilla	Agregada	Aleatoria	Aleatoria	Agregada
4.00	Lechuguilla	Agregada	Aleatoria	Agregada	Agregada
100.00	Yucca	Agregada	Aleatoria	Agregada	Agregada

Cuadro 3. Tipo de patrón espacial usando los índices por método, tamaño y especie.

Tamaño (m ²)	Especie	Razón Varianza/media (lm)	Métodos		
			Parcela (W ¹)	Binomial negativa (I _q)	Varianza de cuadrantes en bloques (lm)
0.25	Lechuguilla	1.440 Agregada	0.056 Agregada	0.006 Agregada	0.834 Aleatoria
1.00	Lechuguilla	1.201 Agregada	0.131 Agregada	0.007 Agregada	0.925 Aleatoria
4.00	Lechuguilla	1.196 Agregada	0.177 Agregada	0.007 Agregada	1.224 Agregada
100.00	Yucca	1.839 Agregada	0.972 Agregada	0.015 Agregada	1.338 Agregada

CONCLUSIONES

1. En el método de la razón varianza/media, de la varianza de cuadrantes en bloques y la binomial negativa, se obtuvieron los mismos resultados en cuanto a distribución espacial, considerándolos como los mejores.
2. Por su homogeneidad en los resultados y por ser menos laboriosos, los índices se consideran confiables para describir el patrón espacial.
3. El tamaño de la unidad muestral de 4.0 m² es considerado como el mejor por tener un coeficiente de variación (C.V) bajo.
4. El coeficiente de variación (C.V.) en yucca es alto; es recomendable probar con un tamaño mayor de 100.0 m² para tener una mejor confiabilidad.

LITERATURA CITADA

- Clark, P.J. and F.C. Evans. 1954. Distance to Nearest neighbors as a measure of spatial relationships in population. *Ecology*. 35:445-453.
- Franco, L.J. 1985. Manual de ecología. México, D.F. Ed. Trillas, 29 p.
- Green, R.H. 1966. Measurement of non-randomness in spatial distributions. *Researches population ecology* 8:1-7.
- Ludwing, J.A. and U.F. Reynolds. 1988. *Statistical ecology. A primer on methods and computing*. John Wiley and Sons. New York, 80 p.
- Oosting, H.J. 1956. *Plant communities*. W.H. Freeman and company. 18 p.
- Pieper, R.D. 1978. *Measurement techniques for herbaceous and shrubby vegetation*. Department of animal and Range Sciences. New Mexico State University, 18p.
- Rabinovich, J.E. 1980. *Introducción a la ecología de poblaciones animales*. CNEB. México, D.F. CECSA. 30 p.
- Sokal, R.R. and F.J. Rohlf. 1981. *Biometry*, 2nd ed. Freeman San Francisco, CA, 14p.