

## ECOLOGIA DE COMUNIDADES

### Tema: Métodos de ordenamiento

#### I. Método de ordenamiento simple.

Los métodos de clasificación, ya sean los clásicos de la escuela de Zurich-Montpellier o los métodos más sofisticados tales como Análisis de Asociación (19), Análisis de Información (20), etc., tratan de subdividir un conjunto de relevamientos (obtenidos por Métodos del cuadrado, líneas, puntos, cuartos, etc.) en subconjuntos más homogéneos. Su objetivo es clasificar esas unidades de vegetación porque se considera que *la vegetación está compuesta de unidades integradas, definidas y discretas que pueden ser combinadas para formar clases o tipos abstractos que son reflejo de entidades naturales en el mundo real* (6). Si esto es cierto, es decir, si las comunidades vegetales forman parte de la estructura de la vegetación y no solo parte de la estructura de un sistema de clasificación, es natural que se intente aplicar técnicas de clasificación. Si en cambio suponemos y observamos en el campo que no existen comunidades bien definidas, que existen amplias zonas de transición entre las mismas o dicho de otra manera, que *la vegetación cambia continuamente y no está diferenciada, excepto arbitrariamente, en entidades sociológicas* (6), concepto de *continuum*, la clasificación no será *natural*, aunque pueda ser útil y conveniente, por ejemplo si deseamos mapear la vegetación (10).

El concepto de *continuum* está relacionado con una serie de ideas que habían sido expresadas por distintos autores (3; 11) y que conforman lo que hoy se conoce como *teoría individualista*. Esta se define sobre la base de dos principios que se refieren a *la individualidad de las especies* y a *la continuidad de la comunidad* (16; 17). Para la escuela individualista los tipos de comunidad solo se pueden reconocer arbitrariamente, ya que son entidades extraídas subjetivamente de la variación continua de la vegetación a lo largo de un gradiente.

Una aproximación alternativa para estudiar la variación de las comunidades a lo largo de gradientes ambientales la constituyen las **técnicas de ordenamiento**. Ordenamiento es el proceso de distribución de las muestras (tipos de comunidades o especies) con relación a uno o más gradientes o ejes de variación (4; 16).

Como método para resumir los resultados de un relevamiento, el ordenamiento tiene dos grandes ventajas sobre la clasificación (10): a- evita la fijación de criterios arbitrarios para definir las clases y, b- no es necesario suponer que las distintas clases, si existe alguna, están jerárquicamente relacionadas.

La forma de elección de dichos ejes de ordenamiento da como resultado dos tipos básicamente diferentes de ordenamiento:

1- aquel en que los ejes representan el rango de variación de las magnitudes de factores ambientales medidos o estimados en las distintas unidades de muestreo bajo análisis (en nuestro caso, por ej.: en cada relevamiento). Este tipo de ordenamiento recibe el nombre de **análisis directo de gradiente u ordenamiento directo** (16);

2- aquel en que los ejes se establecen a partir de la información sobre la vegetación contenida en las unidades de muestreo (por ej.: en base a la comparación de los valores de disimilitud -distancia- entre los relevamientos, o sea diferencias existentes en la composición florística de los relevamientos. Se lo denomina **análisis indirecto de gradiente u ordenamiento comparativo** (16).

En el primer caso, la ubicación de las muestras (especies o relevamientos de comunidades) a lo largo de uno o más ejes que representan gradientes ambientales, permite apreciar si los cambios en la

vegetación son graduales o discontinuos. En el segundo tipo se supone que ese o esos ejes resultantes del ordenamiento de distancias basadas en el grado de similitud florística cuali o cuantitativa, están en relación con variables activas y selectivas del medio. Si los relevamientos se agrupan en *nubes* de puntos más o menos definidas, esto indica una gran similitud florística entre subconjuntos de los relevamientos y la presencia de tipos de comunidad o *noda* definidos como sugiere la teoría organísmica o de la comunidad unidad, y además permite ver las tendencias en la zonación vegetal. En cambio si los puntos se muestran más bien dispersos conformando una nube no isodiamétrica, estaremos en presencia de una vegetación heterogénea, no divisible en comunidades separadas, y continuamente variable, lo que coincide con los conceptos de la hipótesis individualista.

En este trabajo práctico se verá una *técnica de ordenamiento comparativo*, recomendándose la lectura de la bibliografía citada para tener mayor información sobre las posibilidades de estos métodos.

Aplicaremos dicha técnica para ordenar un conjunto de relevamientos. Primero es necesario calcular un *coeficiente de similitud* entre todos los pares de relevamientos, con los que se construye una *matriz de similitud*. Teniendo en cuenta los valores de disimilitud entre ellos, registrados en una segunda matriz, se ubican puntos que representan a los relevamientos en un sistema biaxial. Esta técnica es la utilizada por Bray & Curtis (2) y Beals (1).

Mediante la aplicación de coeficientes o índices numéricos se intenta medir objetivamente la similitud relativa entre pares de relevamientos (columnas de una tabla sociológica) siendo también aplicable a pares de especies (filas de dicha tabla), o a factores del ambiente (por ej.: suelos).

Este tipo de coeficientes u otros similares se utilizan no solo en Ecología sino también en otras disciplinas como la Taxonomía, Psicología, etc..

Los coeficientes de similitud permiten reducir la comparación de listas con datos florístico-estructurales de dos relevamientos, de a veces complicada comparación visual, a un único valor numérico o a un punto en el espacio mono, bi o raramente multidimensional empleado.

La matriz que resulta de disponer ordenadamente los coeficientes de similitud entre relevamientos (objetos) recibe el nombre de *matriz tipo "Q"* en contraposición con las matrices derivadas de calcular la similitud, asociación o correlación entre pares de especies o factores del ambiente (caracteres) que reciben el nombre de *matrices "R"*.

A partir de las matrices es posible seguir diferentes caminos para dilucidar las relaciones entre objetos o caracteres, ya que estas matrices son el sustrato básico desde el cual varias técnicas diferentes tratan de obtener relaciones. Entre las posibles técnicas se encuentran las numéricas de clasificación, métodos de ordenamiento, matrices reordenadas y métodos con grafos, dendrogramas, pleiades o plexus (7; 15; 16; 18; 19; 20).

## Desarrollo del Trabajo Práctico

Es necesario partir de un conjunto de relevamientos que pueden estar en listas independientes o pueden haberse dispuesto en una tabla sociológica bruta (Planilla 1). Con esos datos se calcula el coeficiente de similitud.

Existen numerosos coeficientes de similitud (8; 12), algunos basados solo en datos de frecuencia, densidad, cobertura, biomasa u otro atributo cuantitativo de la vegetación.

Además los atributos pueden ser expresados en forma absoluta o relativa, o en forma simplificada en un único valor de importancia. Muchos de esos coeficientes son monotónicos y varían desde *cero* (para pares de relevamientos sin nada en común) a *uno* (para pares de relevamientos con idéntica composición). En la práctica se utilizará el *coeficiente de Sorensen cuantitativo* (8; 13):

$$S_c = \frac{2 \times W}{A + B}$$

**W:** sumatoria de los valores más bajos del par de relevamientos que tiene el atributo para cada especie en ambos relevamientos.

**A:** sumatoria de todos los valores del atributo cuantitativo en el primer relevamiento.

**B:** sumatoria de todos los valores del atributo en el segundo relevamiento.

Ese coeficiente se aplicará a todos los pares posibles de relevamientos. El número total de coeficientes a calcular está establecido por:

$$\frac{N \times (N - 1)}{2}$$

**N:** número de relevamientos.

y el valor de cada uno de ellos se anotará en la cuadrícula correspondiente de la matriz (Figura 1).

El paso siguiente consiste en transformar los valores de similitud en valores de distancia o disimilitud, ya que en realidad la distancia que separa a los puntos que representan a los relevamientos en el ordenamiento, expresa más bien las diferencias que las similitudes entre censos. Para ello es necesario restar al máximo valor posible de similitud el valor del coeficiente calculado. Si bien en teoría el valor máximo del coeficiente de similitud de Sorensen para el caso de identidad total entre las muestras es 1, lo cierto es que por lo general dos muestras (repeticiones) de un mismo "stand" suelen mostrar valores de similitud que oscilan entre 0,75 y 1. Si se tienen repeticiones de un mismo "stand", se puede calcular y emplear el valor de similitud entre esos relevamientos como valor máximo (8). De todas formas esta corrección no es muy significativa. Los valores de distancia calculados mediante:

$$D = 1 - S_c$$

se disponen en la matriz de distancia (Figura 2).

El paso siguiente consiste en la selección de los extremos del primer eje de ordenamiento. Esos extremos estarán indicando la mayor componente de la variación observada en la vegetación que pueda representarse sobre un solo eje. Para lograr ese objetivo Beals (1) hizo una modificación al método original de Bray y Curtis (2) estimando que para seleccionar al primer relevamiento o "stand" de referencia que va en el primer extremo, se debe elegir a aquel que muestre la sumatoria más alta de valores de distancia. De esta forma debemos realizar la suma de todos los valores de distancia correspondientes a cada "stand", la cual se anotará en la Planilla 2. El relevamiento que muestre el valor máximo será llamado *a* y se le asigna la posición 0 sobre el eje *x*. El relevamiento que muestre el valor de distancia más alto con respecto al *a* es considerado el otro extremo del eje de ordenamiento *x*. Se le asigna el nombre de *b* y se lo ubica sobre el eje *x* a una distancia de *a* que está dada por la distancia (**a - b**) en la matriz correspondiente.

Otros autores (9; 14) han usado criterios diferentes para la selección de los extremos del eje.

El resto de los relevamientos son ubicados entre los extremos de una manera geométrica teniendo en cuenta las distancias entre los censos extremos y el relevamiento *i* que se está ubicando. Así mediante un compás apoyado en el extremo *a* y con un radio igual a la distancia entre *ai* se marca un arco de circunferencia a ambos lados del eje *x*. De manera similar apoyando en *b* y con una distancia *bi* se intercepta al arco anterior. La recta que una a las dos intersecciones cortará al eje de ordenamiento en un punto que corresponde al lugar del censo *i* sobre dicho eje.

También esta posición puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$X_{ai} = \frac{L^2 + (D_{ai})^2 - (D_{bi})^2}{2 \times L}$$

$X_{ai}$ : distancia sobre el eje  $x$  entre el extremo  $a$  y el relevamiento  $i$ .

$L = D_{ab}$ : disimilitud entre  $a$  y  $b$ .

$D_{ai}$ : disimilitud entre  $a$  e  $i$ .

$D_{bi}$ : disimilitud entre  $b$  e  $i$ .

Estos valores se registran en la Planilla 2.

Seguidamente se deben ordenar los relevamientos en un segundo eje para poder obtener una representación bidimensional que exprese mejor las relaciones de similitud. Para ello se deben elegir los relevamientos extremos del eje, y de manera tal de disponer sobre él la mayor componente de la variación restante de la vegetación. El primer relevamiento extremo sobre el eje  $y$  será aquél que está más pobremente ajustado sobre el eje de las  $x$ ; la *pobreza de ajuste* “ $e$ ” de cada relevamiento sobre el eje  $x$  se calcula (8):

$$e = \sqrt[2]{(D_{ai})^2 - (X_{ai})^2}$$

Los valores resultantes para cada especie se anotan en la Planilla 2. El relevamiento que tiene el mayor valor de  $e$  es designado  $a'$  y se le asigna una posición  $0$  sobre el eje  $y$ . El relevamiento con mayor distancia o disimilitud a  $a'$ , y ubicado a una distancia igual o inferior a  $1/10 L$  de  $a'$  sobre el eje  $x$  es denominado  $b'$  y dispuesto en el otro extremo del eje  $y$  a una distancia  $D_{a'b'}$ , que se denomina  $L'$ . En definitiva se busca un par de relevamientos que a pesar de mostrar una disposición vecina sobre el eje  $x$ , tienen poco en común, lo que se manifiesta por el valor de disimilitud entre ellos en la matriz. Por otra parte esa cercanía entre ellos, permite orientar al eje  $y$  en forma perpendicular o casi perpendicular al eje  $x$ . La ubicación del resto de los relevamientos se hace mediante la técnica geométrica ya descripta, o bien mediante la aplicación de la fórmula de Beals modificada para los nuevos extremos y

$$Y_{ai} = \frac{(L')^2 + (D_{ai})^2 - (D_{bi})^2}{2 \times L'}$$

distancias:

Los resultados obtenidos se anotan en la Planilla 2.

Conociendo las coordenadas de cada relevamiento correspondiente a cada uno de los “stands” estudiados podemos construir el ordenamiento bidimensional en la Figura 3.

El paso siguiente consiste en realizar un *test* del ordenamiento, ya que estos gráficos son solo una aproximación geométrica para la representación de los valores de disimilitud, y por lo tanto debemos comprobar cuál es la eficiencia de esa representación, o sea el grado en que ese ordenamiento explica la variación total de la vegetación. Para ello debemos comparar los valores de disimilitud entre un conjunto de pares de relevamientos elegidos al azar con los intervalos de ordenamiento que ellos muestran en el gráfico de ordenamiento. El intervalo de ordenamiento entre un par de relevamientos, se calcula mediante:

$$\text{Interv. de Ordenam.} = \sqrt[2]{(D_x)^2 + (D_y)^2}$$

$D_x$ : diferencia entre relevamientos sobre el eje  $x$ , o sea  $(X_1 - X_2)$  es decir la distancia entre los dos relevamientos sobre el eje  $x$ .

$D_y$ : diferencia entre relevamientos sobre el eje  $y$ , o sea  $(Y_1 - Y_2)$ .

La comparación entre esos intervalos y las distancias en la matriz, se hace mediante un coeficiente de correlación. Si llamamos  $X$  al intervalo de ordenamiento e  $Y$  al valor de disimilitud, el coeficiente de correlación " $r$ " se obtiene:

$$r = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{N}}{\sqrt{\left(\sum X^2 - \frac{[\sum X]^2}{N}\right) \times \left(\sum Y^2 - \frac{[\sum Y]^2}{N}\right)}}$$

Elegimos entonces 20 pares de censos mediante una tabla de números aleatorios y efectuamos el cálculo de dicho coeficiente de correlación. Luego el grado de significancia de dicho coeficiente puede conocerse mediante un *test de "t" de Student*:

$$t = \frac{r \times \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

y el valor resultante se compara con una tabla de  $t$ .

## Bibliografía

- (1) BEALS, E. 1960. **Forest Bird Communities in the Apostle Island of Wisconsin.** Wilson Bull., 72:156-181.-
- (2) BRAY, J.R. & J.T. CURTIS. 1957. **An Ordination of Upland Forest Communities of Southern Wisconsin.** Ecol. Monogr., 27:325-349.-
- (3) GLEASON, H.A. 1926. **The Individualistic Concept of the Plant Association.** Bull. Torrey Bot. Club, 53:7-26. Reimpreso parcialmente en: Readings in Ecology (E.J. Kormondy, Edit.); Prentice Hall, N. Y.-
- (4) GOODALL, D.W. 1954. **Vegetational Classification and Vegetational Continua. Pflanzensociology.** Wein, Festschr. Archinger, 1:168-182. (Citado por R.H. Whittaker).-
- (5) GREIG-SMITH, P. 1964. **Quantitative Plant Ecology.** Butterworths.-
- (6) Mc INTOSH, R.P. 1967. **The Continuum Concept of Vegetation.** Bot. Rev., 33:130-187.-
- (7) Mc INTOSH, R.P. 1973. **Matrix and Plexus Techniques.** Handbook of Vegetation Science. Part V. Ordination and Classification of Vegetation (R.H. Whittaker, Edit.). W. Junk, The Hague.-
- (8) MUELLER-DUMBOIS, D. & H. ELLEMBERG. 1974. **Aims and Methods of Vegetation Ecology.** Wiley Int. Edit.-
- (9) NEWSOME, R.D. & R.L. DIX. 1968. **The Forest of the Cypress Hills, Alberta and Saskatchewan, Canadá.** Amer. Midl. Natur., 80:118-185.-
- (10) PIELOU, E.C. 1969. **An Introduction to Mathematical Ecology.** Wiley Int. Edit.-
- (11) RAMENSKY, L.G. 1926. **Die Grundgesetze Massigkeiten in Aufbau der Vegetationsdecke.** Botan. Centralblatt N. F., 7:453-455. Reimpresión parcial en Readings in Ecology (E.J. Kormondy, Edit.). Prentice Hall, N. Y.-
- (12) SOKAL & SNEATH. 1963. **Principles of Numerical Taxonomy.** Freeman, San Francisco.-

- (13) SORENSEN. 1948. **A Method of Establishing Groups of Equal Amplitude in Plant Sociology Based on Similarity of Species, and its Application to Analyses of the Vegetation on Danish Commons.** K. Daniske Vidensk. Selsk. Biol. Skr., 5 (4):1-34.-
- (14) SWAN, J.M.A & R.L. DIX. 1966. **The Phytosociological Structure of Upland Forest at Candle Lake, Saskatchewan.** J. Ecol., 54:13-40.-
- (15) WHITTAKER, R.H. 1956. **Vegetation of the Great Smoky Mountains.** Ecol. Monogr., 22:1-44.-
- (16) WHITTAKER, R.H. 1967. **Gradient Analysis of Vegetation.** Biol. Rev., 42:207-264.-
- (17) WHITTAKER, R.H. 1970. **Communities and Ecosystems.** Macmillan Company, N. Y.-
- (18) WILLIAMS, W.T. & J.M. LAMBERT. 1959. **Multivariate Methods in Plant Ecology. I. Association Analysis in Plant Communities.** J. Ecol., 47:83-101.-
- (19) WILLIAMS, W.T. & J.M. LAMBERT. 1960. **Multivariate Methods in Plant Ecology. II. The Use of an Electronic Digital Computer for Association Analysis.** J. Ecol., 48:689-710.-
- (20) WILLIAMS, W.T. & J.M. LAMBERT. 1966. **Multivariate Methods in Plant Ecology. V. Similarity Analysis and Information Analysis.** J. Ecol., 54:425-445.-









**Figura 3:**

