

# METODOS DE ANALISIS DE COMUNIDADES VEGETALES

## METODOS DE ORDENACION

Ordenación significa arreglo de las muestras de vegetación, o de otro tipo, en relación una con otras en términos de la similitud de la composición específica y/o de los factores ambientales asociados. Los métodos de ordenación son parte del análisis de gradientes. **Estas técnicas son un grupo de métodos para la exploración y reducción de los datos, a partir de lo cual se pueden generar hipótesis.** Los métodos son esencialmente descriptivos y permite a los investigadores formular ideas sobre la estructura de las comunidades vegetales, y las posibles relaciones causales entre la variación de la vegetación y su ambiente. Dentro de la ecología vegetal, el análisis de gradientes y los métodos de ordenación son de gran utilidad para:

Resumir la información de la comunidad vegetal y brindar una idea de la naturaleza de la variación de la vegetación de un área de estudio determinada.

Examinar y comparar la distribución de especies dentro de diferentes comunidades.

Relacionar la información de la comunidad con factores ambientales.

## ANALISIS DE GRADIENTE DIRECTO E INDIRECTOS

El análisis de gradiente directo es utilizado para observar la variación de la vegetación en relación a factores ambientales, mediante el uso de variables para ordenar las muestras de vegetación. Como el nombre lo sugiere, los datos ambientales son utilizados directamente para organizar la información de la vegetación. **El término ordenación indirecta se aplican a técnicas que operan sobre el conjunto de la información de la vegetación para examinar la variación dentro de esta. Por lo tanto, se realiza independientemente de los datos ambientales.** Una segunda etapa de estos análisis es determinar la mayores fuentes de variación en la vegetación, describiendo y resumiendo al mismo tiempo. Los datos ambientales son comparados y correlacionados con el resumen de la información de la vegetación, con el propósito de detectar posibles gradientes ambientales. En este caso la interpretación es indirecta. Estos métodos se utilizan cuando los gradientes ambientales no se conocen o no son claros. Una tercera aproximación involucra un análisis separado de la información ambiental registrada de los cuadrados o cualquier tipo de unidad de muestreo. Una vez que los patrones de variación ambiental han sido analizados, se introduce la información de las especies y se analiza las posibles relaciones (ver Fig. 1).

Las ordenaciones indirectas estudian la similitud o disimilitud de la composición florística de las muestras de vegetación. La similitud o disimilitud se expresa en forma gráfica considerando uno, dos o tres dimensiones, donde cada punto representa una muestra de la vegetación o cuadrante. La distancia entre los puntos de la gráfica son una medida del grado de similitud o diferencia. Los puntos que están juntos representan composición específica similar. La mayoría de los diagramas son bidimensionales, simplemente porque estas gráficas son más fáciles de comprender que en el caso de tres dimensiones. Como regla general, los ejes de las gráficas generados por los métodos de ordenación tienen un orden descendente de importancia, el primer eje resume mayor información que el segundo, y así sucesivamente.

**Ordenación polar (PO)**, fue el primer método de ordenación indirecta utilizado. Este método se basa en una matriz que contiene la presencia-ausencia o abundancia de especies, usualmente con los cuadrados en las columnas y las especies en las filas. Se calcula una matriz de disimilitud entre todas las combinaciones de pares posibles entre los cuadrantes analizados, para ello se pueden utilizar diferentes índices. El diagrama de ordenación es luego construido geoméricamente sobre la base de la matriz de disimilitud calculada. Para ello se toman los dos cuadrantes más disimiles. Los siguientes cuadrantes son posicionados utilizando este primer eje y con la ayuda de compás (Fig. 2). La elección del segundo eje comprende una pareja de

cuadrantes que se ubiquen en el centro del primer eje pero que presente una gran disimilitud entre ellos. Los puntos se ubican en relación a las dos coordenadas, para ellos se establecen los ángulos rectos entre las coordenadas.

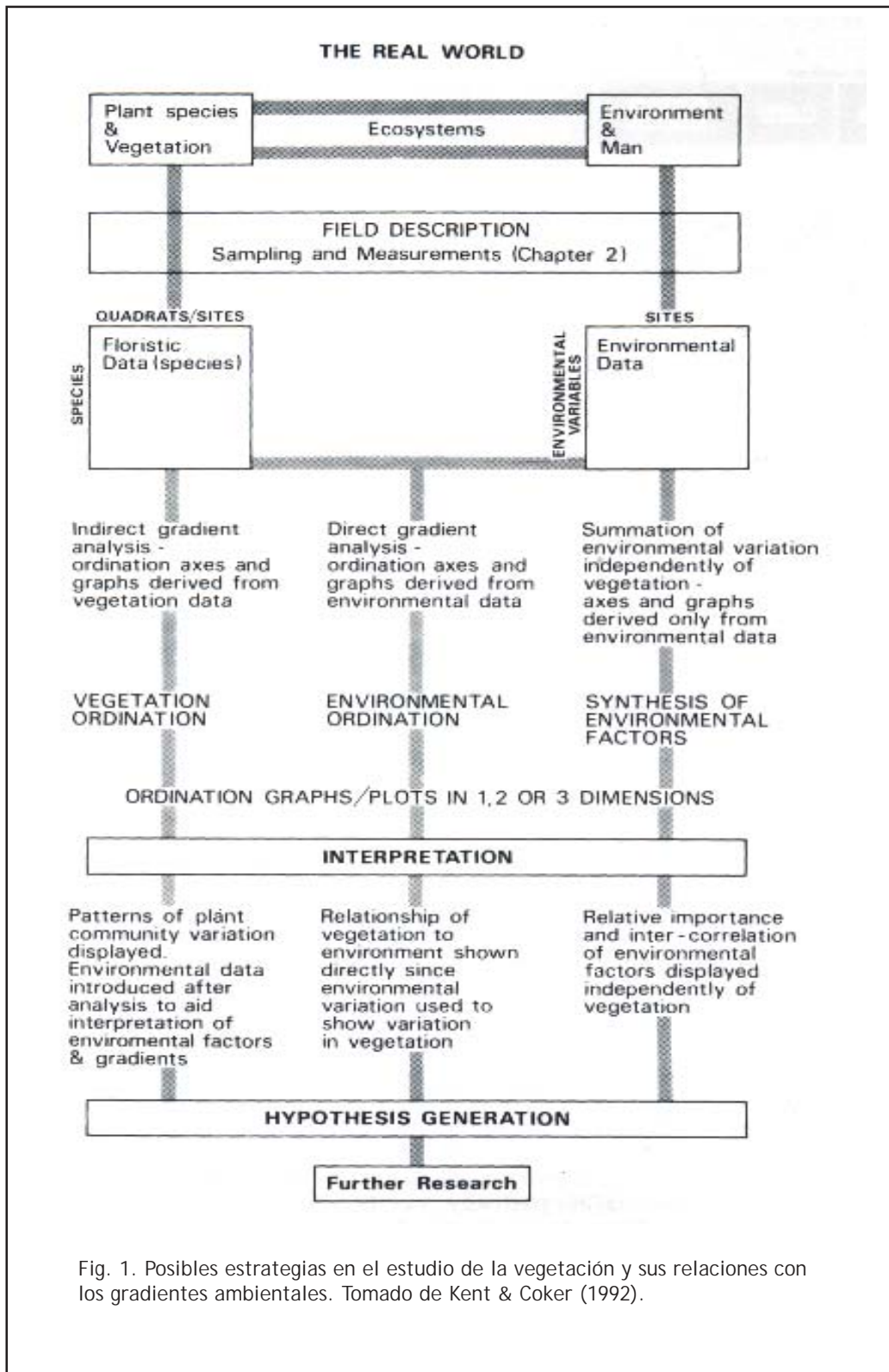
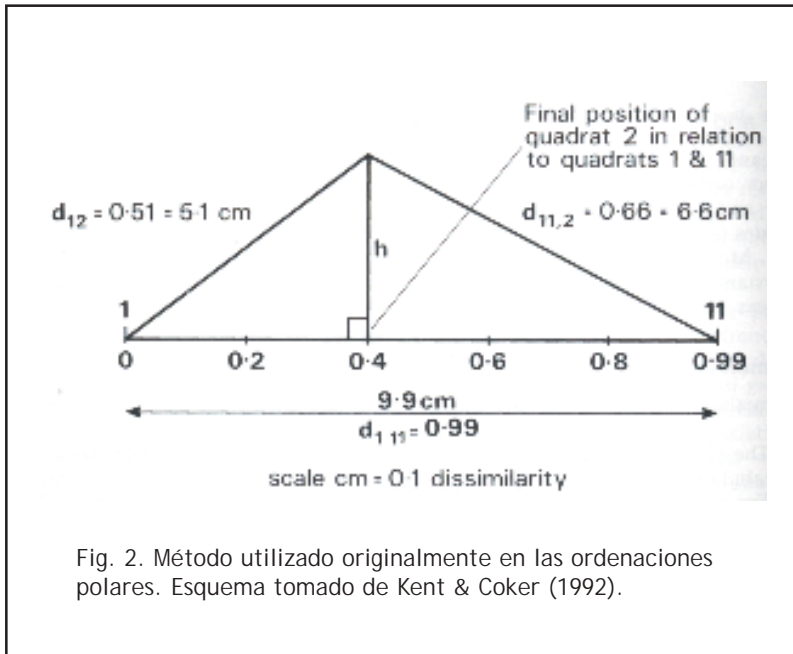


Fig. 1. Posibles estrategias en el estudio de la vegetación y sus relaciones con los gradientes ambientales. Tomado de Kent & Coker (1992).

**Componentes principales (PCA).** A pesar que el PCA no es ampliamente recomendable como método de ordenación de datos florísticos, este método es importante ya que ha sido ampliamente utilizado en el pasado. Sin embargo, el PCA ha permitido analizar datos ambientales

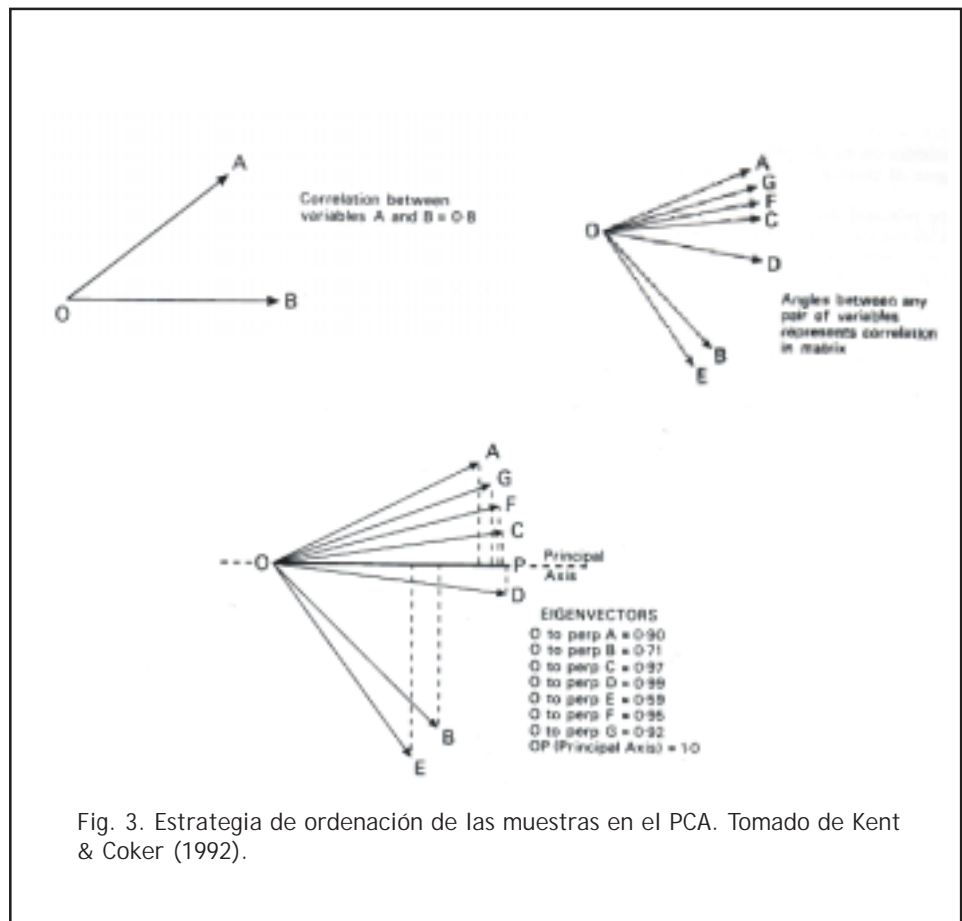
generando ordenaciones de cuadrantes basado exclusivamente en este tipo de información. El PCA fue la primera técnica de ordenación que se calcula exclusivamente sobre una matriz, y el investigador no suministra ponderaciones u otro tipo de información subjetiva. Para la mayoría de los estudiantes, el PCA se entiende mejor geoméricamente que mediante un análisis algebraico. En este tipo de análisis se calcula una matriz de similitud mediante un coeficiente de correlación, este coeficiente es expresado como el coseno de un triángulo de ángulo recto en el diagrama bi- o tridimensional (Fig. 3).



### Análisis de correspondencia y promedios recíprocos (CA/RA).

Este método es muy importante ya que brindó la base para el desarrollo de las técnicas de ordenación desde 1970. El método puede ser rápidamente comprendido a través de un ejemplo, una matriz de presencia/ausencia de plantas en un marisma de New Jersey. En primer lugar, se calcula los totales de las filas y de las columnas, el siguiente paso es darle peso a las doce especies. Estos pesos se asignan en un rango de 0-100. Para la especies

uno se asigna 0, para la especie 2 9.09, para la especie 3 18.18, y a la especie 12 el valor 100. El proceso de promedios recíprocos comienza y se repite numerosas veces para los cuadrantes y luego para las especies. La primera interacción origina la fila Q1. Ese valor se calcula de la siguiente forma  $(1 \times 0.00) + (0 \times 9.09) + \dots + (0 \times 100.0) = 127$ . Este número dividido por el número total de especies del cuadrante, esto es igual a 42.42. El resto de los valores es calculado de la misma manera. El



proceso de promedios es luego aplicado en forma inversa y se calcula multiplicando la presencia por el valor de Q1 (1x42.42) + (1x34.09).....+(1x43.64)=408.30, dividido por el número total de cuadrante para la especie 1 (10) es igual a 40.83. Luego se procede a un re-escalamiento de 0-100. El proceso de promedios recíprocos se repite nuevamente. El promedio de recíprocos se repite hasta que la cantidad de cambio que se registran en los valores de las especies o los cuadrantes es mínimo. Los valores de la columna 21(Sc) representan el primer eje de la ordenación de especies. Para el segundo eje se repite el procedimiento pero se utiliza un nuevo conjunto de valores iniciales(Tabla 1). Al igual que el PCA, CA/RA puede ser descrito en términos geométricos. Ambos métodos son similares pero difieren en la manera que los puntos son proyectados sobre los ejes.

Uno de los principales problemas de estos análisis es el efecto de arco, que se resumen que el segundo eje es la distorsión cuadrática del primer eje. El problema de distorsión continua en las otras dimensiones. El segundo problema es el efecto de compresión. Estos problemas se mejoran en el **Detrended Correspondence Analysis (DCA)** (Fig. 4).

Tabla 1. Procedimiento matemático del CA. Ejemplo tomado de Kent & Coker (1992).

Species	Quadrats												Quadrat totals (Q)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. <i>Atriplex parvula</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	10
2. <i>Distichlis spicata</i>	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	10
3. <i>Iva frutescens</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	6
4. <i>Juncus gerardii</i>	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3
5. <i>Phragmites communis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	5
6. <i>Salicornia europaea</i>	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	7
7. <i>Salicornia virginica</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
8. <i>Scirpus olneyi</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	3
9. <i>Solidago sempervirens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4
10. <i>Spartina alterniflora</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	9
11. <i>Spartina patens</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	5
12. <i>Suaeda maritima</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
Species totals (S)	3	4	5	6	6	5	7	5	7	6	7	5	
Q1	42.42	34.09	32.73	48.49	48.49	36.36	36.36	47.27	44.16	43.94	41.56	43.64	
Q2	45.75	45.92	36.74	63.95	63.95	32.48	38.26	55.67	54.60	54.52	50.42	56.89	
Q3	49.41	49.34	39.48	66.23	66.23	32.73	38.98	55.64	55.67	56.43	50.58	57.74	
Q14	53.98	51.08	50.02	67.39	67.39	41.92	32.66	20.65	21.29	27.37	17.11	10.85	
Q15	54.22	51.31	50.32	67.54	67.54	42.27	32.94	20.77	21.42	27.50	17.27	10.93	
Q20	54.54	51.62	50.74	67.75	67.75	42.75	33.33	20.95	21.59	27.67	17.49	11.05	
Q20(Sc)	76.70	71.55	70.00	100.00	100.00	55.34	39.29	17.46	18.59	29.31	11.36	0.00	

(Sc); Axis rescaled from 0-100 at the end of each iteration

Tabla 1. Continuación.

W	S1	S1 (Sc)	S2	S2 (Sc)	S3	S3 ...	S15	S15 (Sc)	S16	S16 ...	S21	S21 (Sc)
0.00	40.83	42.58	48.90	46.47	50.64	46.57 ...	41.37	46.05	41.57	46.20 ...	41.86	46.40
9.09	41.35	46.44	49.65	49.16	51.13	48.22 ...	39.69	42.57	39.89	42.71 ...	40.16	42.89
18.18	42.86	57.52	51.73	56.54	52.50	52.94 ...	21.65	5.18	21.80	5.23 ...	22.01	5.30
27.27	35.15	0.00	35.83	0.00	37.06	0.00 ...	41.53	46.40	41.84	46.76 ...	42.28	47.26
36.36	44.12	67.21	54.42	66.12	55.21	62.22 ...	19.45	0.62	19.56	0.62 ...	19.75	0.62
45.45	40.93	43.34	49.87	49.93	52.30	52.24 ...	49.99	63.92	50.19	64.06 ...	50.49	64.26
54.55	48.49	100.0	63.95	100.00	66.23	100.00 ...	67.39	100.00	67.54	100.00 ...	67.75	100.00
63.64	38.10	22.08	40.39	16.22	40.76	12.69 ...	30.56	23.66	30.82	23.93 ...	31.19	24.31
72.73	43.32	61.28	54.11	65.01	55.10	61.84 ...	19.15	0.00	19.27	0.00 ...	19.45	0.00
81.82	42.00	51.32	50.40	51.81	52.35	52.41 ...	44.57	52.69	44.76	52.81 ...	45.03	52.98
90.91	42.60	55.84	51.17	54.55	51.72	50.25 ...	20.51	2.81	20.66	2.88 ...	20.88	2.96
100.00	48.49	100.00	63.95	100.00	66.23	100.00 ...	67.39	100.00	67.54	100.00 ...	67.75	100.00

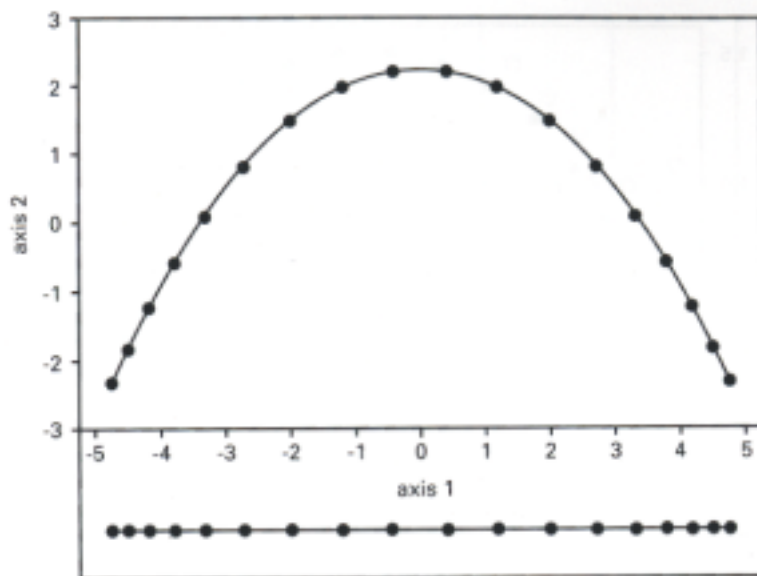


Fig. 4. Inconvenientes observados en el CA/RA, efecto de arco y distorsión del segundo eje, y compresión de la separación espacial en los extremos con respecto al medio en el primer eje. Esquema tomado de Kento & Coker (1992).

Otro método de ordenación es el Non-metric Multidimensional Scaling (MDS), es una técnica relacionada, pero utiliza un sistema de ranking a partir de la matriz de disimilitud entre las especies o los cuadrantes. El más reciente desarrollo de técnicas de ordenación es el **Análisis de Correspondencia Canónica (CCA)**. Todos los métodos de ordenación que se han visto hasta el momento se denominan indirectos ya que se analiza la información de la vegetación o de las variables ambientales por separado. La CCA difiere de la aproximación clásica ya que incorpora la correlación o la regresión entre los datos florísticos y los factores ambientales dentro del propio análisis

de ordenación. Por lo tanto la entrada de este análisis son dos matrices. El CCA es definido como un método directo de ordenación ya que es el producto al mismo tiempo de la información de la vegetación y la información de los factores ambientales. Un importante resultado de este análisis es la adición a los gráficos de especies o cuadrantes, un biplot de la ordenación de especies junto con los factores ambientales. En la Fig. 5 los puntos representan las especies individuales y las flechas representan cada variable ambiental en dirección al máximo cambio dentro del diagrama. Aquellos factores que tienen flechas largas están más correlacionadas con la ordenación, en relación a las que tienen flechas más pequeñas. La posición de la flecha con respecto al eje indica que tan correlacionado está el eje con el factor. Este análisis puede ser utilizado para analizar hipótesis, por lo cual es un análisis deductivo y no inductivo.

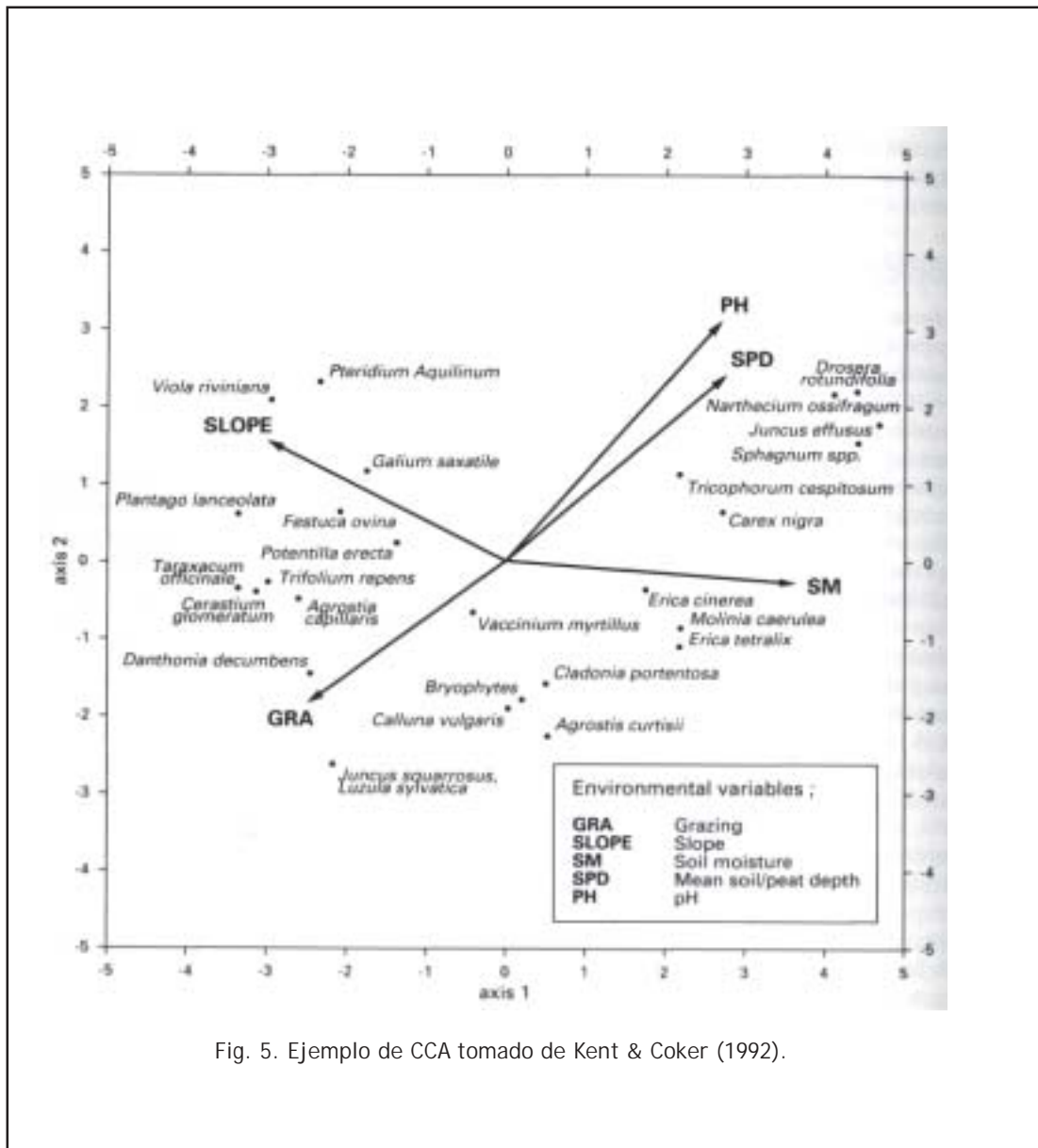


Fig. 5. Ejemplo de CCA tomado de Kent & Coker (1992).

## PROBLEMAS EN LA APLICACION DE LOS METODOS DE ORDENACION

El modelo que prevalece en la respuesta de especies frente a un factor ambiental es la curva de Gauss y la mayoría de los investigadores que utilizan estas técnicas asumen que este es el modelo más realista. Si bien este tipo de respuestas existen en la naturaleza, no son universales. La mayoría de los métodos tiene consideraciones previas en relación a la naturaleza de los datos, uno de ellos es que las especies están relacionadas linealmente una con respecto a la

otra, lo cual la mayoría de las veces no se cumple. Como consecuencia cuando se aplican estos métodos a datos reales, todos ellos producen distorsión de las verdaderas relaciones entre las especies y los cuadrantes o unidades de muestreo.

La elección del método para la ordenación es un problema sustancial tanto para investigadores como estudiantes. Actualmente, no existe un acuerdo absoluto sobre cual es el mejor método que produce la menor distorsión. Algunas experimentaciones con datos artificiales han demostrado que la menor distorsión se produce con el DCA, seguido del PO, CA/RA y luego el PCA.

#### METODO DE CLASIFICACION SUBJETIVOS

Este método en el que se basa la escuela fitosociológica comienza con una matriz donde las columnas son los cuadrantes y las filas las especies. Generalmente los valores de abundancia siguen las escalas de Braun-Blanquet y Domin. Luego de ello se calcula la constancia de las especies, la que simplemente se obtiene sumando el número de relevamientos en la cual están presentes la especie. Esta tabla se reorganiza en función de la constancia, desde alta a baja. El propósito de esto es permitir la identificación de especies diferenciales. Luego se procede a identificar estas especies diferencial, las cuales tiene constancia media a baja. Esto origina una tabla parcial, la cual es un conjunto de cuadrante con las respectivas especies diferenciales, esto originará una tabla parcial ordenada. Por último, se construye una tabla diferenciada donde se incorporan las especies acompañantes (Tabla 2 y 3).

#### METODOS DE CLASIFICACION OBJETIVOS

Los métodos de clasificación numérica, al igual que los métodos de ordenación, son técnicas para la reducción de la información y exploración. Es utilizado para encontrar un orden y un patrón en los datos. Al igual que en la ordenación, estas técnicas son utilizadas para la generación de hipótesis. Estas técnicas se inician con una matriz similar a las ya descritas, luego se calcula una matriz de disimilitud o similitud, a partir de la cual se calculan las matrices derivadas utilizando diferentes procedimientos. En función de estas matrices se construye el dendrograma.

Los análisis de ordenación y clasificación pueden ser aplicados sobre los mismos datos. Esto es conocido como análisis complementario.

#### LECTURAS RECOMENDADAS

Clarke, K.R. & R. M. Warwick. 1994. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth.

Kent, M. & P. Coker. Vegetation Description and Analysis. A Practical Approach. CRC Press, Boca Ratón.

Legendre, P. & L. Legendre. 1998. Numerical Ecology. Second English Ecology. Elsevier. Amsterdam

Tabla 2. Esquema de trabajo en fitosociología, tomado de Kent & Coker (1992).

