

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

U.A.C.P. y P. de I.C.C.H.

I. I. H. A. S.

"APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS  
EN EL ESTUDIO DE LA INTERACCIÓN  
MEDIO AMBIENTE-VEGETACIÓN, EN EL VALLE DE APATZINGÁN"

T E S I S A

QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE

ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA APLICADA

P R E S E N T A

D E L F I N O V A R G A S C H A N E S

1986

03043  
Les.  
3

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## RESUMEN

En el presente trabajo se presenta un sistema de ordenación para los datos generados por un levantamiento ecológico de especies en el Valle de Apatzingán Mich. El sistema de ordenación utilizado se llama ANALISIS DE CORRESPONDENCIAS.

Se seleccionaron 24 sitios de muestreo, dentro de los cuales se seleccionaron 40 cuadrantes de acuerdo a la metodología establecida por Iwao-Kuno (1971). En cada sitio se determinan parámetros de vegetación y de medio ambiente.

El sistema de ordenación, el análisis correspondencias, se aplica a tres matrices de datos: sitios por especies, sitios por modalidades de medio ambiente y especies por modalidades de medio ambiente. Para cada una de estas matrices se discute la salida del análisis de correspondencias y se obtiene una representación geométrica (en una o dos dimensiones) para su representación.

# CONTENIDO

	Página
Índice de Tablas	vi
Índice de Figuras	vii
<b>CAPITULO I</b>	
Introducción	1
<b>CAPITULO II</b>	
Antecedentes	5
2.1 Antecedentes en Ecología	5
2.2 Antecedentes del Análisis de Correspondencias	6
2.3 Hipótesis de Trabajo	8
<b>CAPITULO III</b>	
Metodología	
3.1 Método de Muestreo	10
3.2 Parámetros de Medición	13
3.3 Matrices de Trabajo	15
<b>CAPITULO IV</b>	
Análisis Estadístico	
4.1 Qué es el Análisis de Correspondencias	18
4.2 Matriz de Datos	18
4.3 Nubes de Puntos	20
4.4 La Estructura Métrica del Espacio	21
4.5 Ajuste de la Nubes de Puntos en un Subespacio para su representación	22
4.6 Ubicación de Elementos Suplementarios	26
4.7 Ayudas para la Interpretación	27
4.7.1 Contribuciones Absolutas y Relativas	27
4.7.2 Calidad de la Representación	30
4.7.3 Inercia Relativa	31
4.8 Ejemplo Numérico	32
<b>CAPITULO V</b>	
Resultados y Discusión	
5.1 Interpretación de Resultados	42
5.2 Matriz de Sitios por Especies	45
5.3 Matriz de Sitios por Modalidades de Medio Ambiente	54
5.4 Matriz de Especies por Modalidades de Medio Ambiente	60
<b>CAPITULO VI</b>	
Resumen y Conclusiones	
6.1 Resumen	70
6.2 Conclusiones	72
BIBLIOGRAFIA	74
APENDICES	79

## INDICE DE TABLAS

Página

Tabla 3.1	Variables de medio ambiente	14
Tabla 4.1	Descomposición de la inercia en el análisis de correspondencias para las temperaturas y abundancias.	40
Tabla 5.1	Descomposición de la inercia en el análisis de correspondencias de la tabla 1.4 (Apéndice A) para los dos primeros ejes principales. La inercia total es 2.465 y las tres inercias principales son 0.445 (18%), 0.321 (13%) y 0.239 (10%).	46
Tabla 5.2	Descomposición de la inercia en el análisis de correspondencias de la tabla 1.5 (Apéndice A) para los dos primeros ejes factoriales. La inercia total es 2.4 y las dos inercias principales son 0.329 (14%) y 0.304 (13%).	55
Tabla 5.3	Descomposición de la inercia en el análisis de correspondencias de la tabla 1.5 (Apéndice A) para los dos primeros ejes principales. La inercia total es 0.307 y las tres inercias principales son 0.101 (33%), 0.047 (15%) y 0.034 (11%).	61

	Página
Mapa 1 Localización de 24 sitios muestreados en el ciclo Primavera-Verano 1984 INIFAP, CIAPAC-CAEVA.	11
Fig 4.1 Representación geométrica del análisis de correspondencias.	19
Fig 4.2 Ordenación de las temperaturas y abundancias en el espacio factorial. $\lambda_1 = .053$ (66%), $\lambda_2 = .027$ (34%).	41
Fig 5.1 Representación bidimensional óptima mediante el análisis de correspondencias de la tabla 1.4 (Apéndice A) para las especies en el estrato INFERIOR. La representación conjunta puede consultarse en la Fig 1.1 del Apéndice A.	49
Fig 5.2 Representación bidimensional óptima mediante el análisis de correspondencias de la tabla 1.4 (Apéndice A) para las especies en el estrato MEDIO y SUPERIOR. La representación conjunta de las Figs. 5.1 y 5.2 puede consultarse en la Fig.1 del Apéndice A.	50
Fig 5.3 Puntos de la MASAS para las especies más importantes en el estrato INFERIOR para el análisis de correspondencias de la tabla 1.4 (Apéndice A). Del S1 al S10 pertenecen a Gabriel Zamora, el S11 a Nueva Italia y del S12 al S24 a La Huacana.	52
Fig 5.4 Puntos de la MASAS para las especies más importantes en el estrato MEDIO y SUPERIOR en el análisis de correspondencias de la tabla 1.4 (Apéndice A). Del S1 al S10 pertenecen a Gabriel Zamora, el S11 a Nueva Italia, del S12 al S24 a La Huacana.	53
Fig 5.5 Representación de los sitios y modalidades de medio ambiente, sobre el eje 1 a partir del análisis de correspondencias aplicado a la tabla 1.5 del Apéndice A.	59
Fig 5.6 Representación bidimensional óptima mediante el análisis de correspondencias de la tabla 1.6 Apéndice A, para las modalidades de medio ambiente. Sobreponga las Figs 5.7 y 5.8 para una mejor interpretación. Consulte la gráfica conjunta en la Fig 1.2 del Apéndice A.	65
Fig 5.7 Representación bidimensional óptima mediante el análisis de correspondencias de la tabla 1.6 (Apéndice A) para las especies en el estrato INFERIOR. La nube de modalidades de medio ambiente se representan en la Fig 5.6. Consulte la gráfica conjunta en la Fig 1.2 del Apéndice A.	66
Fig 5.8 Representación bidimensional óptima mediante el	

análisis de correspondencias de la tabla 1.6  
(Apéndice A) para las especies en el estrato MEDIO  
y SUPERIOR. La nube de modalidades de medio  
ambiente se presenta en la Fig 5.6. Consulte la  
gráfica conjunta en la Fig 1.2 del Apéndice A.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

La creciente demanda en alimentación ha obligado al ser humano a estudiar los fenómenos de la naturaleza con el fin de hacer uso más racional de los escasos recursos. Muchas áreas de la ciencia no exacta (Sicología, Sociología, Biología, ...), se han visto enriquecidas con el uso cada vez más profundo de técnicas matemáticas. Por ejemplo en Sicología clínica, la validación de cuestionarios ha permitido medir algunos aspectos de la conducta del ser humano; en Sociología rural y urbana, conocer la movilidad de la población, por medio de métodos de muestreo; en Biología un área que se ha visto enriquecida es la ecología cuantitativa.

La ecología -ciencia que estudia las relaciones entre los seres vivos y el medio ambiente-, ha cobrado gran interés en la actualidad; la ecología cuantitativa es un caso típico en el que la matemática y la estadística juegan un papel preponderante.

Un aspecto muy importante para la ecología cuantitativa, es la descripción de organismos encontrados en la naturaleza, su disposición en el espacio, así como la forma en que estos se relacionan entre sí y con el medio que les rodea.

En el Valle de Apatzingán, Mich., uno de los principales componentes de la alimentación del ganado bovino son los agostaderos naturales (\*) con especies forrajeras nativas. Un estudio ecológico de la región permite tener un conocimiento de las especies forrajeras nativas y puede ayudar a definir criterios racionales

(\*) Zona de pastizales dedicada al pastoreo de ganado



de manejo para el uso adecuado de esas áreas. Los criterios racionales pueden establecerse mediante el conocimiento del medio ambiente y su interacción con la vegetación.

El presente estudio ha surgido como producto del trabajo multidisciplinario entre el Programa de Forrajes del CIAPAC (Centro de Investigaciones Agrícolas del Pacífico Centro) y el Programa de Biometría, ambos del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias). Este se realizó en el ciclo de primavera-verano de 1984 en los municipios de Gabriel Zamora, Nueva Italia y La Huacana, en el Valle de Apatzingán Michoacán y estuvo a cargo del Ing. Javier Espinoza Aburto.

Los objetivos planteados son los siguientes:

- a) Describir el área en zonas por composición florística similar.
- b) Describir el área por condiciones de medio ambiente similar
- c) Definir las interacciones del medio ambiente con la vegetación natural.
- d) Utilizar el análisis de correspondencias como un método de ordenación de matrices grandes de datos.

En el capítulo II se hace una revisión bibliográfica tanto de los estudios realizados en el contexto de ecología, como de los antecedentes del análisis de correspondencias. En este capítulo se muestra el desarrollo que ha tenido el análisis, desde los primeros trabajos de Fisher en 1940 hasta los más recientes avances, consolidados en la escuela francesa por Benzécri en 1980.

Los métodos de muestreo tradicionales requieren que la varia-

ble de interés se distribuya normalmente (o de manera aproximada a la normal). Sin embargo cuando se trabaja con poblaciones biológicas la función de distribución no suele ser normal, sino Pison, Binomial negativa, Neyman Tipo A, Doble Pison, etc. Los métodos de muestreo para poblaciones agregadas nos permiten determinar con cierta precisión el tamaño de muestra adecuado (número de cuadrantes por sitio de muestreo). En el capítulo III se expone de manera resumida el método de muestreo para poblaciones agregadas de Iwao-Kuno (1971), el cual es utilizado en el presente trabajo. En este mismo capítulo se presentan las variables medidas en cada sitio de muestreo (variables de sustrato y de medio ambiente físico) y además se muestra la forma de construcción de las matrices de trabajo para ser analizadas mediante el método propuesto.

En el capítulo IV se presenta el método en su forma matricial, la forma de presentación se ha procurado sea lo más explícito posible; sin embargo, para el lector no especializado esta parte puede ser muy tediosa, no obstante se incluye un ejemplo numérico que es más accesible. En el apéndice B se muestra un programa de cómputo, que esencialmente utiliza la teoría establecida en este capítulo.

La presentación de resultados de matrices grandes de datos, suele estar saturada de gráficas y tablas. En el capítulo V se presentan los resultados y su discusión; se ha procurado remitir al lector a los apéndices y consulte ahí gráficas y tablas necesarias, con el fin de permitir una lectura más fluida. En este capítulo se presenta la manera de interpretar la salida de un análisis de correspondencias, la representación factorial y el significado en el contexto ecológico. En este trabajo se hace énfasis en la

aplicación del análisis de correspondencias, debe subrayarse que los aspectos ecológicos pueden verse enriquecidos pero no constituyen la parte medular de éste.

En el capítulo VI se presenta el resumen y las conclusiones.

Debo agradecer a los M. en C. Daniel Munro Olmos y Heriberto Diaz Solís por sus valiosos comentarios al capítulo VI; hago extensivo mi agradecimiento al Ing. Carlos R. Contreras Castro por construir el paquete CORRP (el cual se utiliza para el análisis de los datos del presente trabajo, ver apendice B) y al M. en C. Carlos Mejía Avila por haber puesto al punto el programa TABET (el cual fue instalado en la máquina CYBER CDC perteneciente a la SARH).

CAPITULO II  
ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes en ecología

La necesidad de establecer criterios racionales para el manejo de áreas destinadas al pastoreo, ha planteado el estudio de la composición florística y su interacción con el medio ambiente en el Valle de Apatzingón.

Espinoza (1984) ha descrito la composición florística de las superficies de agostaderos en el trópico seco, del Valle de Apatzingón, con el fin de identificar áreas con problemas fuertes de deterioro y establecer un diagnóstico preliminar para el estudio de la dinámica poblacional de la vegetación.

Harvard-Duclos (1969) y Villegas (1969), definen desde el punto de vista teórico, que para obtener un equilibrio más favorable para estimular la producción forrajera, es necesario conocer a fondo la ecología y la dinámica de la comunidad vegetal; es decir, se debe contar con estudio descriptivo sobre las especies vegetales.

Villegas (1969) y Walker (1979) consideran que el patrón de arreglo de las especies, persistencia o desaparición y comportamiento en general está regulado por el medio ambiente. Blydestein (1967), Die & Walker (1980) y Wheeler (1980), encuentran que existe un efecto del medio ambiente sobre la composición de las comunidades de plantas; aunque los autores no lo mencionan, puede considerarse que también las comunidades de plantas modifican el medio ambiente.

Nicholls y Plunknett (1974) encuentran en un estudio en Ha-

wai, que tanto los patrones de crecimiento y de distribución de especies, estuvieron afectadas por el medio ambiente, en particular por el contenido de nutrientes, profundidad de suelo, Ph y gradiente de humedad.

Por otro lado, Roberts (1980) considera que la presencia de cambios en la composición vegetal de los pastizales tropicales obedece al pastoreo al que son sometidos los agostaderos.

## 2.2. Antecedentes del análisis de correspondencias

Los principios del análisis de correspondencias fueron desarrollados por Benzécri (1964 y 1973), quien utiliza las propiedades algebraicas y geométricas de la herramienta descriptiva. Trabajos previos a este puede citarse el de Hirschfeld (1935), quien ofrece una expresión algebraica a la "correlación" entre renglones y columnas de una tabla de contingencias; de manera independiente Richardson y Kuder (1933) y Horst (1935) sugirieron ideas no matemáticas en el campo de la sicometría, este último autor acuñó el término "métodos de los promedios recíprocos".

Posteriormente Sir. Ronald A. Fisher deriva la misma teoría en forma de un análisis discriminante a partir de una tabla de contingencias aplicada a datos obtenidos sobre un grupo de niños en edad escolar en los que se registraron color de ojos y pelo (Fisher, 1940).

Guttman (1941) y Torgerson (1958, p.338), introducen la misma teoría como un método de escalamiento, en lugar del análisis de tablas de contingencias. Guttman trata el caso más general para más de dos variables categóricas.

Con los trabajos de Fisher y Guttman, puede afirmarse que se inicia la teoría del análisis de correspondencias. Durante la época de 1950 a 1960 un grupo de estadísticos japoneses encabezados por Hayashi (1950) desarrollaron ideas paralelas a las del escalamiento de Guttman.

Whittaker (1967) desarrolló un método de escalamiento en el terreno de la ecología, llamado "análisis de gradientes". Sin embargo, este análisis adolece de ciertas fallas porque el usuario debe asignar los gradientes físicos de importancia arbitraria, y por tanto, sus resultados pueden ser subjetivos. Hill (1974) afirma "un ecologista experto interpretará casi siempre los gradientes florísticos correctamente, pero un principiante cometerá acierto... el análisis de correspondencias puede ser visto como una generalización del análisis de gradiente...".

El análisis de correspondencias, en su forma geométrica, ha sido creado en Francia en un contexto diferente (lingüística). El grupo de estadísticos franceses ha sido liderado por Jean-Paul Benzécri, quien ha tenido una experiencia práctica intensa y ha encontrado una infinidad de aplicaciones en diferentes ramas de la ciencia. El método ha sido aplicado en ecología al analizar tablas de especies por sitios, Mathewy (1971), Ibañez y Seguí (1972), Hill (1973, 1974), Orlóci (1975), Greenacre y Vrba (1981); en psicología, Nishisato (1980), aplicaciones diversas como en sociología, medicina, lingüística, antropología, pueden consultarse en Escofier-Cordier (1969), Benzécri y cols. (1973), Benzécri & Benzécri (1980) y Greenacre (1984).

El método ha recibido diversos nombres: contingency table analysis por Fisher (1940), cuantificación de datos cualitativos

por Hayashi (1950), R-Q technique por Hatheway (1971), reciprocal averaging por Orlóci (1975) y en francés, l'analyse des correspondances por Benzécri (1972). El término francés lo utilizaremos en español, como análisis de correspondencias y los usaremos para denotar a un "sistema de proximidades" entre elementos de dos conjuntos, en este caso de renglones y columnas de una tabla cruzada.

### 2.3 Hipótesis de trabajo

El problema aquí planteado es en cierto modo típico en los levantamientos ecológicos, ya que el investigador, después de haber obtenido una matriz de sitios por especies, desea analizar la ordenación existente entre los individuos bajo estudio.

La forma como se pretende encontrar la ordenación entre especies a lo largo de los sitios de muestreo, es mediante el análisis de correspondencias. Por medio de este análisis estudiamos el "sistema de proximidades" entre renglones (sitios de muestreo) y columnas (especies) de una tabla de contingencias de doble entrada; en cada celda de esta tabla colocamos la densidad encontrada para la especie en el sitio de interés. Usando el enfoque geométrico del análisis podremos describir el áreas por composición florística similar. Sin embargo, para cubrir los objetivos del presente trabajo, debemos construir una tabla de incidencias de especies por variables de medio ambiente; en cada celda se coloca la densidad observada para la modalidad en la variable de medio ambiente (ver capítulo II).

Con el análisis de correspondencias podremos describir el área por condiciones similares en medio ambiente, así como las in-

Interacciones del medio ambiente y vegetación.

Las hipótesis de trabajo son:

- a) Las condiciones del medio ambiente determinan el tipo y la estructura de las comunidades vegetales.
- b) Las condiciones del medio ambiente determinan las relaciones fitosociológicas entre especies.
- c) Dentro de las superficies de agostadero existen especies subutilizadas y representan un potencial en rendimiento y calidad para la alimentación bovina.
- d) El análisis de correspondencias es una herramienta adecuada para analizar tablas de contingencia y en particular matrices de sitios por especies.



## CAPITULO III

### METODOLOGIA

#### 3.1 Método de muestreo

El área geográfica de estudio se limita a muestrear los municipios de Gabriel Zamora, Nueva Italia y La Huacana del Valle de Apatzingán (ver mapa 1); Espinoza (1984) elige estos municipios por su mayor potencial para la producción bovina y por su homogeneidad en cuanto a vegetación.

Se utiliza el método de muestreo aleatorio simple para poblaciones agregadas, propuesto por Walker (1979). En cada sitio se utilizan cuadrantes de 0.5 x 0.5m, en el estrato inferior y de 4 x 4m en los estratos medio y superior para medir la densidad de la vegetación en plantas por hectárea. En el estrato inferior se toman en cuenta sólo 27 especies y en los estratos medio y superior a 23 especies.

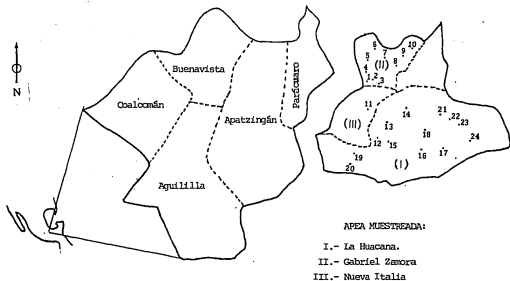
El procedimiento de muestreo para poblaciones agregadas puede resumirse en las siguientes fases:

- a) determinar cuáles especies son más importantes en la zona de estudio,
- b) elegir los sitios de exploración así como el tamaño del cuadrante, para las especies elegidas en el inciso anterior,
- c) realizar un muestreo piloto para determinar el número de cuadrantes por sitio;

los procedimientos anteriores se realizan para las especies de mayor importancia, y para éstas se siguen los siguientes pasos:

- d) determinar el índice de abigarramiento ( $m^*$ ), mediante la expresión

AREA DE INFLUENCIA DEL  
CAMPO AGRICOLA EXPERIMENTAL VALLE DE APATZINGAN



MAPA 1.- Localización de 24 sitios muestreados ciclo Primavera-Verano 1984 INIA CIAPAC CAEVA

$$m^* = m + (s^2 / m) - 1$$

donde  $m$  es la media y  $s^2$  la varianza estimadas de la muestra de los cuadrantes por sitio, este índice se calcula para cada especie,

- e) ajustar una recta de regresión de la media  $m$  vs. el índice de abigarramiento  $m^*$  para detectar el patrón de agregación,

$$m^* = a + bm$$

( $a$  tiende a cero cuando las especies constituyen el componente básico de la distribución, y mayor o menor que cero cuando existe una asociación positiva o negativa entre las especies;  $b < 1$ ,  $b = 1$  o  $b > 1$  cuando la distribución de las especies es uniforme, aleatoria o agregada, respectivamente);

es necesario obtener las gráficas de las rectas de regresión, arriba ajustadas, para elegir cuál o cuáles especies se consideran las más importantes y sobre éstas calcular el tamaño de muestra (número de cuadrantes por sitio de muestreo). Debe tomarse en cuenta que las especies que muestran una distribución agregada, por lo general reportaran un tamaño de muestra mayor. De esta manera, se procede a

- f) determinar el tamaño de muestra, bajo un esquema de muestreo aleatorio simple

$$n = ((a + 1) / m + b - 1) / d^2$$

donde  $d^2$  es la precisión deseada;

en este último paso se sugiere graficar los valores de  $n$  (en el eje vertical) contra los diferentes valores de  $m$  (en el eje horizontal), de esta manera se obtiene un gráfico y se sugiere tomar como tamaño de muestra el punto de inflexión de la curva obtenida.

Para mayores referencias consulte Iwao-Kuno (1971) y Walker (1979, p.44). Usando este método, el tamaño de muestra para el estudio es de 40 cuadrantes por sitio, con una precisión del 75%.

### 3.2 Parámetros de medición

Sobre los parámetros de vegetación Austin (1968), considera que la "densidad" o número de individuos por unidad de superficie es una medida adecuada. Espinoza (1984) plantea que "La densidad presenta ciertas ventajas cuando se le compara con otros parámetros por su fácil comprensión; en muchos estudios florísticos esta medida es la más común, permitiendo así una forma de comparación".

En el presente trabajo se utiliza la densidad media por cuadrante para cada especie en cada sitio. Los nombres de las cincuenta especies se presentan en las tablas 1.1 y 1.2 del apéndice A. En el estrato inferior se realiza el conteo para 27 especies y en los estratos medio y superior para 23 especies; las primeras se identifican por las etiquetas E1, ..., E27, y las siguientes por E28, ..., E50. Debe notarse que no todas las especies han podido ser clasificadas taxonómicamente; sin embargo, para los fines prácticos de este trabajo las clasificamos como diferentes.

De los parámetros de medio ambiente se han elegido 11 variables referentes al sustrato y 4 variables del medio ambiente físico (ver tabla 3.1), las cuales se han dispuesto en modalidades disjuntas; es decir, cada variable ha sido dispuesta en varias categorías de acuerdo a un ordenamiento previamente establecido (consultar tabla 1.3 del apéndice A). Puesto que cada categoría es exhaustiva y excluyente, la hemos llamado modalidad disjunta. Por

Tabla 3.1- Variables de Medio Ambiente.

Variables de sustrato	Modalidades	Ident.
1.- pH del suelo	5	A
2.- Porcentaje de arena	3	B
3.- Porcentaje de limo	3	C
4.- Porcentaje de arcilla	3	D
5.- Ca CO <sub>3</sub> equivalente	3	E
6.- Saturación	4	F
7.- Materia orgánica	4	G
8.- Nitrógeno total	4	H
9.- Fósforo	3	I
10.- Calcio	3	J
11.- pH del extracto de saturación	3	K
Variables del medio ambiente físico		
12.- Altura sobre el nivel del mar	3	L
13.- Pendiente	5	M
14.- Profundidad del suelo	2	N
15.- Sombreado de planta	3	D

Consultar tabla 1.3 del Apend. A, para la tabla completa.

ejemplo, la variable pH del suelo se ha identificado con la letra A y admite cinco modalidades, desde ligeramente ácido (A01), hasta fuertemente alcalino (A05).

Como puede observarse las variables de estudio son cuantitativas y al disponerlas en modalidades disjuntas se pierde información; sin embargo, en uno de los objetivos se plantea el estudio de la interacción entre medio ambiente y vegetación por lo cual resulta necesaria la construcción de tales modalidades. Los métodos que estudian la estructura de dependencia entre variables cuantitativas contra una variable categórica (llamada Análisis de discriminante), pueden ser utilizados para analizar estos datos; por ello, se considera que el análisis de correspondencias es una vía de solución al problema aquí planteado.

### 3.3 Matrices de trabajo

La matriz de sitios por especies, corresponde a los datos de vegetación. Esta matriz pone en correspondencia dos conjuntos que denotamos I, J. Los elementos que constituyen al conjunto I son los sitios y los denotamos con la letra i, y escribimos i I. De igual forma J denota al conjunto de elementos formado por las especies.

Denotemos con C a la matriz de datos de vegetación; esta contiene 24 renglones y 50 columnas. Con esta matriz se ponen en correspondencia los sitios (conjunto I) y las especies (conjunto J), con ella es posible describir las comunidades vegetales a lo largo de todos los sitios (ver tabla 1.4 del apéndice A).

Denotemos con M a la matriz de sitios por modalidades de me-

dio ambiente, esta matriz de datos contiene 24 renglones y 51 columnas (ver tabla 1.5 del apéndice A).

Adicionalmente debemos construir otra matriz que ponga en correspondencia especies y variables de medio ambiente. Denotamos con  $J, K$  a los conjuntos de especies y variables de medio ambiente, respectivamente. Puesto que cada elemento del conjunto  $K$  es una modalidad disjunta, para cada variable hay un número determinado de modalidades (por ejemplo la variable pH del suelo tiene cinco modalidades:  $A01, \dots, A05$ ).

Denotemos con  $D$  a la matriz de especies por modalidades de medio ambiente. Ilustramos la forma de construcción de esta matriz mediante un ejemplo.

Suponga que tenemos los datos, en densidades, para las especies  $E1$  y  $E2$ , registradas para las variables  $A, B$  y  $C$  dispuestas en 3, 2 y 2 modalidades disjuntas, respectivamente; las cuales se han medido en los sitios  $S1, S2$  y  $S3$ . Definimos las matrices siguientes:

$$C = \begin{matrix} & X1 & X2 \\ S1 & \begin{bmatrix} 20 & 10 \end{bmatrix} \\ S2 & \begin{bmatrix} 15 & 25 \end{bmatrix} \\ S3 & \begin{bmatrix} 30 & 10 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad M = \begin{matrix} & A01 & A02 & A03 & B01 & B02 & C01 & C02 \\ S1 & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ S2 & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ S3 & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Donde  $C$  contiene los elementos  $c(i,j)$  para el sitio  $i$ -ésimo y la especie  $j$ -ésima; por ejemplo,  $c(2,2)=25$  es la densidad de plantas de la especie  $E2$  en el sitio  $S2$ .  $M$  contiene las modalidades disjuntas,  $m(i,k)=1$  si el sitio  $i$  corresponde a la modalidad  $k$ , y  $m(i,k)=0$  si no corresponde. Para construir la matriz  $D$  haremos la siguiente multiplicación

$$D = C^T M = \begin{matrix} & \begin{matrix} A01 & A02 & A03 & B01 & B02 & C01 & C02 \end{matrix} \\ \begin{matrix} X1 \\ X2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 30 & 20 & 15 & 50 & 15 & 20 & 45 \\ 10 & 10 & 25 & 20 & 25 & 10 & 35 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Donde  $C^T$  indica la matriz transpuesta (\*) de C. El producto de  $C^T$  por M se obtiene por multiplicación entre matrices. En la matriz D están definidos los elementos  $d(j,k)$ , que es la densidad observada de la especie j en la modalidad k. Por ejemplo,  $d(1,4)=50$  es la densidad observada para la especie E1 en la modalidad B01. La matriz de especies por modalidades de medio ambiente se presenta en la tabla 1.6 del apéndice A.

La matriz C contiene 24 renglones (sitios) y 50 columnas (especies), ésta se encuentra en la tabla 1.4 del apéndice A. Por

(\*) Para transponer una matriz colocamos los renglones como columnas.

medio de la matriz C ponemos en correspondencia sitios y especies.

La matriz M contiene 24 renglones (sitios) y 51 columnas (modalidades de medio ambiente), ésta se encuentra en la tabla 1.5 del apéndice A. Por medio del análisis de correspondencias aplicado a esta matriz, podremos caracterizar los sitios de muestreo de acuerdo a las variables del sustrato y del medio ambiente físico.

La matriz D contiene 50 renglones (especies) y 51 columnas (modalidades disjuntas de las variables A, B, ..., O), ésta se encuentra en la tabla 1.6 del apéndice A. Al aplicar el análisis de correspondencias a esta matriz establecemos la asociación entre especies y variables de medio ambiente.



#### 4.1 Qué es el análisis de correspondencias

El análisis de correspondencias es una técnica fundamentalmente descriptiva multidimensional, que permite analizar variables discretas, registradas mediante tablas de contingencia o de tablas, cuyos elementos sean números positivos. Al igual que otros métodos de análisis de datos multidimensionales, éste es un método exploratorio en el sentido de que impone a los datos un mínimo de estructura en cuanto a hipótesis y modelos probabilísticos. Permite obtener representaciones geométricas que muestran las proximidades entre renglones y columnas de una tabla cruzada, como puntos en un sólo espacio con dimensión menor. Los renglones y las columnas pueden convivir en este mismo espacio para obtener una gráfica conjunta. En la figura 4.1 se muestra la matriz de datos original, la representación de los renglones y las columnas en espacios diferentes y la representación conjunta de los renglones y las columnas en un mismo espacio.

#### 4.2 Matriz de datos

Deseamos estudiar la distribución de 50 especies a lo largo de 24 sitios, para ello se cuenta la densidad de plantas por hectárea de la especie  $j$  en el sitio  $i$  que denotamos  $x(i,j)$ .

Supongamos que  $X = \{x(i,j)\}$ ,  $i=1, \dots, n$  y  $j=1, \dots, m$  es una matriz de frecuencias absolutas (densidad de plantas por hectárea) de sitios por especies, tal que las sumas por renglones y columnas son distintas de cero. Si definimos  $n$  como el número de

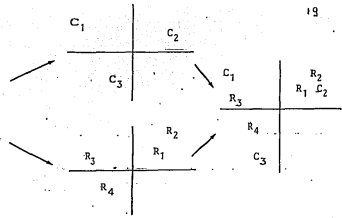


Fig. 4.1 Representación geométrica del Análisis de correspondencias:

renglones que cumplen esta condición y m al número de columnas, X es de dimensión n x m .

La matriz P se define como los elementos de X divididos entre el gran total de X. Los elementos de P son:

$$p(i,j) = x(i,j) / \sum_i \sum_j x(i,j).$$

Los elementos p(i,j) son las frecuencias relativas; las frecuencias relativas por renglón y por columna son:  $r$  y  $c$ , cuyos elementos son:

$$r(i) = \sum_j p(i,j), \quad i = 1, \dots, n$$

$$c(j) = \sum_i p(i,j), \quad j = 1, \dots, m,$$

respectivamente. Note que la suma de los elementos de P, es igual a 1.

Definimos D como la matriz diagonal cuyos elementos son r, y

describimos  $D_r = \text{diag.}(r)$ , explícitamente será

$$D_r = \begin{bmatrix} r(1) & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & r(n) \end{bmatrix}$$

analogamente  $D_c = \text{diag.}(c)$  y se escribe

$$D_c = \begin{bmatrix} c(1) & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & c(m) \end{bmatrix}$$

#### 4.3 Nubes de puntos

Los perfiles renglón son una colección de  $n$  puntos, los cuales se obtienen dividiendo  $P$  entre las sumas respectivas por renglón. Los perfiles columna se obtienen dividiendo  $P$  entre las sumas respectivas por columna. Denotamos  $\bar{\pi}_i$  y  $\bar{\pi}_j$  a los perfiles por renglón y columna respectivamente y están definidos por

$$\bar{\pi}_i = [p(i,1)/r(i), \dots, p(i,n)/r(i)] \quad \text{para } i=1, \dots, n$$

$$\bar{\pi}_j = [p(1,j)/c(j), \dots, p(n,j)/c(j)] \quad \text{para } j=1, \dots, m$$

de manera que las matrices de perfiles renglón y columna son:

$$R = D_r^{-1} P = \begin{bmatrix} \bar{\pi}_1 \\ \vdots \\ \bar{\pi}_n \end{bmatrix} \quad \text{y} \quad C = D_c^{-1} P^T = \begin{bmatrix} \bar{\pi}_1 \\ \vdots \\ \bar{\pi}_m \end{bmatrix}$$

La matriz  $R$  de dimensión  $n \times n$ , contiene los puntos que conforman la nube  $N(I)$  y está definida en el espacio  $n-1$  dimensional, porque sus coordenadas verifican la relación

$$\sum_j \frac{p(i,j)}{r(i)} = \frac{1}{r(i)} \sum_j p(i,j) = \frac{1}{r(i)} \cdot r(i) = 1$$

para cada perfil  $\bar{\pi}_i$ ,  $i=1, \dots, n$ . La matriz  $C$ , es de dimensión

$m \times n$  y contiene los puntos para la nube  $N(J)$ , la cual también está definida en el espacio  $n-1$  dimensional.

El centro de gravedad (centroide) es una generalización del concepto de media; es decir que el centro de gravedad de los perfiles  $\bar{\pi}_i$ , es como la media de la nube  $N(I)$ , pero una media donde

cada punto juega un papel proporcional a su masa  $r(i)$ . El centro de gravedad de  $N(I)$  es

$$\sum_i r(i) \bar{\pi}_i = \sum_i r(i) \frac{p(i,j)}{r(i)} = \sum_i p(i,j) = c(j)$$

$$\therefore \underline{c} = [c(1), \dots, c(m)]^T$$

En forma matricial  $\underline{c} = R^T \underline{r}$ , este vector (de  $m \times 1$ ), resulta ser la suma marginal por columnas de  $P$ .

Para la nube  $N(J)$ , el centro de gravedad es

$$\sum_j c(j) \bar{\pi}_j = \sum_j c(j) \frac{p(i,j)}{c(j)} = \sum_j p(i,j) = r(i)$$

$$\therefore \underline{r} = [r(1), \dots, r(n)]^T$$

En forma matricial  $\underline{r} = C^T \underline{c}$ , es un vector de  $n \times 1$  y es la suma marginal por renglones de  $P$ .

#### 4.4 La estructura métrica del espacio

El hecho de trabajar sobre los perfiles en las nubes de puntos  $N(I)$  y  $N(J)$ , nos conduce a dotarlos de una métrica diferente a la euclidiana. La distancia entre dos categorías por renglón,  $i$  e  $i'$ , está dada por

$$d(i, i') = (\pi_i - \pi_{i'})^T D_c^{-1} (\pi_i - \pi_{i'}) \\ = \sum_j \frac{1}{c(j)} \left[ \frac{p(i, j)}{r(i)} - \frac{p(i', j)}{r(i')} \right]^2$$

la cual llamaremos distancia Ji-cuadrada, D es la matriz diagonal de  $m \times m$ , cuyos elementos son  $c(j)$ . La estructura en el espacio de los perfiles por renglón es todavía de naturaleza euclidiana, pero con cierta ponderación sobre los ejes coordenados definida por  $D_c^{-1}$ . De manera completamente análoga, la distancia entre los perfiles  $j, j'$  está dada por

$$d(j, j') = (\tilde{\pi}_j - \tilde{\pi}_{j'})^T D_r^{-1} (\tilde{\pi}_j - \tilde{\pi}_{j'}) \\ = \sum_i \frac{1}{r(i)} \left[ \frac{p(i, j)}{c(j)} - \frac{p(i, j')}{c(j')} \right]^2$$

donde  $D_r^{-1}$  es la matriz diagonal cuyos elementos son  $r(i)$ .

#### 4.5 Ajuste de las nubes de puntos a un subespacio para su representación

Hasta ahora hemos definido dos nubes de puntos,  $N(I)$  y  $N(J)$ , las cuales están provistas de una métrica euclidiana generalizada (distancia Ji-cuadrada). Prosigue entonces identificar un subespacio en cada nube de puntos a través del cual el centroide correspondiente este lo más cercano posible a todos los puntos.

La medida de cercanía que debe ser minimizada, está definida como la suma ponderada del cuadrado de las distancias de los puntos de cada subespacio, de manera que los perfiles más cercanos a la unidad son los que ejercen la mayor importancia en la determinación de la cercanía al subespacio en cuestión (Greenacre y Vrba, 1984).

Los pasos algebraicos que conllevan a la solución del pro-

blema planteado pueden consultarse en Benzécri (1973); Lebart, et. al. (1982) o Greenacre (1984). Aquí simplemente establecemos los resultados importantes en la construcción de los ejes factoriales.

Construimos una matriz  $\bar{Q}$  tal que sus elementos sean

$$\bar{q}(i,j) = \frac{p(i,j)}{\sqrt{r(i) c(j)}}$$

Se resuelve ahora la ecuación

$$(S - \lambda I)u_k = 0$$

donde  $S = \bar{Q}^T \bar{Q}$  y  $u_k$  son los vectores propios normalizados. La solución la constituyen  $\{(\lambda_0, u_0), \dots, (\lambda_k, u_k) | k < n\}$ . La solución más grande es la solución trivial. Los valores propios  $\lambda_0, \dots, \lambda_k$  son

conocidos también como inercias principales y miden de alguna manera la dispersión (o la varianza) de esta nube de puntos.

Por otro lado, se resuelve la ecuación

$$(\hat{S} - \lambda I)\hat{u}_k = 0$$

donde  $\hat{S} = \bar{Q}\bar{Q}^T$  y  $\hat{u}_k$  cumple con la condición  $\hat{u}_k^T \hat{u}_k = 1$  y son los vectores

propios normalizados. El conjunto solución  $\{(\lambda_0, \hat{u}_0), \dots, (\lambda_k, \hat{u}_k) |$

$k < n\}$ , coincide con el conjunto anterior. Es decir, los valores propios (las inercias principales) en las dos ecuaciones anteriores son idénticos (Lebart, et.al., 1982; Greenacre, 1984).

Para construir la matriz de coordenadas para los renglones y columnas, debemos construir dos matrices,  $Q$  y  $\hat{Q}$  cuyos elementos son

$$q(i,j) = p(i,j) / \{r(i) \sqrt{c(j)}\}, \quad \hat{q}(i,j) = p(i,j) / \{c(j) \sqrt{r(i)}\}$$

Las coordenadas principales para los perfiles renglón están dadas por

$$\underbrace{F}_{n \times k} = \underbrace{Q}_{n \times m} \underbrace{U}_{m \times k}$$

donde U es la matriz formada por los vectores unitarios  $u_k$ .

Análogamente para los perfiles columna, las coordenadas principales son

$$\underbrace{G}_{m \times k} = \underbrace{\hat{Q}^T}_{m \times n} \underbrace{\hat{U}}_{n \times k}$$

Las dos matrices de coordenadas principales, F y G, están relacionadas una con otra. Los ejes principales se corresponden mediante la proyección en las dos nubes de puntos y de aquí el nombre de análisis de correspondencias. Las fórmulas de transición son: de los renglones (F) a las columnas (G)

$$G = D_c^{-1} P^T F \Lambda^{-1/2} = C F \Lambda^{-1/2}$$

$$\Leftrightarrow G \Lambda^{1/2} = D_c^{-1} P^T F = C F$$

donde  $\Lambda$  es la matriz cuyos elementos son  $\text{diag}\{\lambda_1, \dots, \lambda_k\}$ . La

transición de las columnas (G) a los renglones (F) está dada por

$$F = D_r^{-1} P G \Lambda^{-1/2} = R G \Lambda^{-1/2}$$

$$\Leftrightarrow F \Lambda^{1/2} = D_r^{-1} P G = R G$$

(Las formulas de transición anteriores son las ecuaciones que definen el análisis equivalente llamado "reciprocal averaging". Estas fórmulas implican resolver las ecuaciones características

$$(S - \lambda I) F = 0$$

$$\text{y} \quad (\hat{S} - \lambda I) G = 0$$

Nota que la estandarización utilizada aquí es  $F^T D, F=G^T D, G=1$ .

Bajo estas condiciones las coordenadas para los renglones y columnas del primer eje principal coincide con aquél del análisis de correspondencias).

Expliquemos brevemente el significado práctico de las fórmulas de transición. Para el eje  $\alpha$  las coordenadas por renglones  $F$  en términos de aquéllas por columnas  $G$  se pueden reescribir como sigue

$$f_{\alpha}(i) = \frac{1}{\sqrt{\lambda_{\alpha}}} \sum_{j=1}^m (p(i,j)/r(i)) g_{\alpha}(j)$$

En esta expresión puede reconocerse la participación de los perfiles  $\pi_j$ , cuya suma es igual a 1, por esta razón el producto  $\sum_j (p(i,j)/r(i)) g_{\alpha}(j)$  es el promedio ponderado por las coordenadas  $g_{\alpha}(j)$ ; de esta forma las coordenadas  $f_{\alpha}(i)$  estarán en el eje positivo o negativo del eje según el signo y magnitud de los elementos de  $g_{\alpha}(j)$  que correspondan a los elementos más grandes de los perfiles  $\pi_j$ . Esta es la razón fundamental por la que la nube de puntos por renglón y por columna pueden sobreponerse en el mismo eje factorial. Con ese enfoque cada punto renglón es atraído a la región de puntos columna en el que su perfil renglón sea grande y viceversa.

Además puede observarse en la fórmula de transición, que expresa a  $f_{\alpha}$  en términos de  $g_{\alpha}$ , que para toda  $\alpha$ , se tiene que  $\lambda_{\alpha} \leq 1$  (es decir, todos los valores propios son menores o iguales a 1). En efecto si existiera algún  $\lambda_{\alpha} > 1$  entonces  $1/\sqrt{\lambda_{\alpha}} < 1$  y por lo



tanto la fórmula que expresa a  $f_{\alpha}$  en términos de  $g_{\alpha}$  establecería que las coordenadas de  $f_{\alpha}$  están al interior del intervalo cubierto por  $g_{\alpha}$ ; pero al expresar  $g_{\alpha}$  en términos de  $f_{\alpha}$  expresaría la inclusión estricta inversa: ¡lo cual es imposible!.

#### 4.6 Ubicación de elementos suplementarios

Supongamos que una matriz de datos se ve enriquecida por un cierto número de columnas suplementarias. Para ubicar los nuevos perfiles, una vez que ya se han ubicado los perfiles originales, procedemos a construir las proyecciones de las columnas suplementarias. Llamemos  $x(i, j)^+$  a la  $i$ -ésima coordenada de la  $j$ -ésima columna suplementaria, su vector columna de perfiles está dado por

$$\tilde{f}_j^+ = \{x(i, j)^+ / x(j)^+\} \quad \text{para} \quad x(j)^+ = \sum_i x(i, j)^+$$

considere a  $C^+$  como la matriz formada por los vectores columna, de dimensión  $m^+ \times n$ , donde  $m^+$  denota el número de columnas suplementarias. La proyección de las columnas suplementarias está dada por

$$\underbrace{G^+}_{m^+ \times k} = \underbrace{C^+}_{m^+ \times k} \underbrace{F}_{k \times k}^{-1/2}.$$

Es decir que la proyección del  $j$ -ésimo punto sobre el eje  $\alpha$  está dada por

$$g_{\alpha}^+(j) = \frac{1}{\sqrt{\lambda_{\alpha}}} \sum_{i=1}^n (x(i, j)^+ / x(j)^+) f_{\alpha}(i).$$

Para una matriz de vectores-renglón suplementarios se tiene la relación

$$\underbrace{F^+}_{n^+ \times k} = \underbrace{R^+}_{n^+ \times k} \underbrace{G}_{k \times k}^{-1/2},$$

donde  $n^*$  indica el número de renglones suplementarios; el  $i$ -ésimo renglón suplementario está dado por

$$f_{\alpha}^*(i) = \frac{1}{\sqrt{\lambda_{\alpha}}} \sum_{j=1}^m (x(i,j)^* / x(i)^*) g_{\alpha}(j) .$$

#### 4.7 Ayudas para la interpretación

Para interpretar los ejes principales obtenidos mediante un análisis de correspondencias, debemos calcular una serie de coeficientes para cada uno de los elementos de las nubes  $N(I)$  y  $N(J)$ : Contribuciones absolutas, Contribuciones relativas, Calidad e Inercia relativa.

##### 4.7.1 Contribuciones absolutas y relativas

Las contribuciones absolutas (CTR), expresan la parte tomada por un elemento dado en la varianza "explicada" por un factor; es decir, expresan la descomposición de la inercia (en este contexto los conceptos de varianza e inercia son equivalentes).

Las contribuciones relativas (COR), o correlaciones elemento-factor, es la parte tomada por un factor en la "explicación" de la dispersión de un elemento, al centro de gravedad; es decir, muestran las correlaciones elevadas al cuadrado, de los elementos con el factor .

Mientras las contribuciones absolutas (CTR) permiten saber cuáles variables son las responsables de la construcción de un factor, las contribuciones relativas (COR) mostrarán aquellas va-

riables que son características exclusivas del factor (Lebart, Morineau y Fenelon, 1977).

Denotemos con  $CTR_{\alpha}(i)$  a las contribuciones absolutas del factor  $\alpha$  en el  $i$ -ésimo elemento para la nube  $N(I)$ , correspondiente a

los renglones;  $CTR_{\alpha}(j)$  denota las contribuciones absolutas para la nube  $N(J)$ , de las columnas. Así tenemos que

$$CTR_{\alpha}(i) = r(i) f_{\alpha}^2(i) / \lambda_{\alpha}$$

$$CTR_{\alpha}(j) = c(j) g_{\alpha}^2(j) / \lambda_{\alpha}$$

donde  $f_{\alpha}$  y  $g_{\alpha}$  son elementos del vector columna  $\alpha$  de las matrices  $F$  y  $G$ , respectivamente. Es decir, para la nube  $N(I)$ , la varianza de las coordenadas de los  $n$ -puntos, es  $\sum_i r(i) f_{\alpha}^2(i)$ , además la varianza total está estimada por el valor propio  $\lambda_{\alpha}$ , por lo tanto se tendrá  $\lambda_{\alpha} = \sum_i r(i) f_{\alpha}^2(i)$ , así la varianza explicada para el  $i$ -ésimo elemento constituye la contribución absoluta del factor.

Un razonamiento análogo se puede seguir con la nube  $N(J)$ , (ver Lebart, Morineau y Fenelon, 1982 p 316). Con esta deducción se puede observar que  $\sum_i CTR_{\alpha}(i) = 1$  para todos los ejes  $\alpha$ ; y además que  $\sum_j CTR_{\alpha}(j) = 1$  para todos los ejes  $\alpha$ .

Denotemos con  $COR_{\alpha}(i)$  a las contribuciones relativas del factor en el  $i$ -ésimo elemento en  $N(I)$ ;  $COR_{\alpha}(j)$  define las contribuciones relativas del factor  $\alpha$  en el  $j$ -ésimo elemento en la nube  $N(J)$ . Definimos

$$COR_{\alpha}(i) = f_{\alpha}^2(i) / d_m^2(i, c) ,$$

$$COR_{\alpha}(j) = g_{\alpha}^2(j) / d_n^2(j, r) ,$$

donde la distancia del  $i$ -ésimo punto al centro de gravedad  $c$  en la nube  $N(I)$  es

$$d_m^2(i,c) = \sum_j \left[ \frac{p(i,j)}{r(i)\sqrt{c(j)}} - \sqrt{c(j)} \right]^2$$

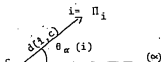
$$= \sum_j \frac{1}{c(j)} \left[ \Pi_j - c(j) \right]^2$$

para  $j=1, \dots, m$ . Para un punto  $j$  en la nube  $N(j)$ , tendremos

$$d(j,r) = \sum_i \left[ \frac{p(i,j)}{c(j)\sqrt{r(i)}} - \sqrt{r(i)} \right]^2$$

$$= \sum_i \frac{1}{r(i)} \left[ \tilde{\Pi}_j - r(i) \right]^2$$

para  $i=1, \dots, n$ . Aquí también se cumplen las condiciones  $\sum_{\alpha} \text{COR}_{\alpha}(i) = 1$ , y los ejes  $\alpha$  y  $\sum_{\alpha} \text{COR}_{\alpha}(j) = 1$  (ver Benzécri, Benzécri, 1980 p. 70). Geométricamente  $\text{COR}_{\alpha}(i)$  es el coseno cuadrado del ángulo formado por el  $i$ -ésimo elemento y el factor  $\alpha$ , respecto al centro de gravedad. Veamos la siguiente figura:



aquí  $\theta_{\alpha}(i)$  es el ángulo formado por el  $i$ -ésimo elemento y el factor  $\alpha$  y se tendrá la relación

$$\text{COR}_{\alpha}(i) = \text{Cos}^2 \{ \theta_{\alpha}(i) \}.$$

Se observa que si  $\Pi_i$  está sobre el eje  $\alpha$ ,  $\theta_{\alpha}(i) = 0$ , su coseno vale 1 y consecuentemente  $\text{COR}_{\alpha}(i) = 1$ . Si  $\Pi_i$  está muy próximo al eje  $\alpha$ ,  $\theta_{\alpha}(i)$  es muy pequeño, su coseno es ligeramente inferior a 1, pero cercano a la unidad y  $\text{COR}_{\alpha}(i)$  está muy cercano a la unidad. Si por el contrario  $\Pi_i$  es casi ortogonal al eje  $\alpha$ ,  $\theta_{\alpha}(i)$  está muy cercano a los  $90^\circ$ , su coseno cuadrado está cercano al cero y  $\text{COR}_{\alpha}(i)$  es

casi nulo. Finalmente si  $\theta_{\alpha}(i)=90^{\circ}$ ,  $COR_{\alpha}(i)=0$  y sucede cuando el punto  $\Pi_i$  es completamente ortogonal al eje  $\alpha$ . Consulte este enfoque en Benzécri y Benzécri (1980, p. 71).

En la interpretación de resultados,  $COR_{\alpha}(i)$  para los ejes  $\alpha$ , permite saber cuáles renglones están más próximos a que ejes, o equivalentemente cuáles factores explican la posición relativa de  $\Pi_i$  en relación al centro de gravedad  $\bar{x}$  (o centroide) de la nube  $N(I)$ : que es aquella  $COR_{\alpha}(i)$  más grande.

#### 4.7.2 Calidad de la representación

Después de elegir un punto determinado debemos conocer en qué medida este punto se encuentra explicado por los factores correspondientes a esos ejes. Para simplificar supongamos se tiene una nube de puntos en dimensión 3 y que esta nube se ajusta a dos ejes principales. Si un punto tiene las dos primeras contribuciones relativas muy bajas la representación de este punto en dos ejes principales carece de interés. Si por el contrario la primera contribución relativa es cercana al 1, la representación de este punto en dos ejes (o quizá con el primero) es satisfactoria. Para el caso de  $\alpha$  dimensiones la calidad de la representación se define como

$$CALD_K(i) = COR_1(i) + COR_2(i) + \dots + COR_K(i)$$

(Note que en el párrafo 4.7.3 hemos definido que  $\sum_{\alpha} COR_{\alpha}(i) = 1$ , por lo que  $CALD_K(i) = 1$ ). Por ejemplo, la calidad de la representación en dos ejes principales es  $CALD_2(i)$ .

En el capítulo V veremos que el número de factores previamente solicitados en un análisis, determina la calidad de la representación.

### 4.7.3 Inercia relativa

La inercia total (o varianza total; son términos equivalentes) de la nube  $N(I)$  en relación al centro de gravedad  $c$ , está dada por

$$IN(I) = \sum_i r(i) d_m^2(i, c)$$

de manera que la inercia relativa del elemento  $i$ -ésimo en la nube  $N(I)$ , está dada por

$$INR(i) = r(i) d_m^2(i, c) / \sum_i r(i) d_m^2(i, c).$$

Es de notarse que  $\sum_i INR(i) = 1$ . De manera análoga, la inercia relativa del  $j$ -ésimo elemento en la nube  $N(J)$ , está dada por

$$INR(j) = c(j) d_n^2(j, r) / \sum_j c(j) d_n^2(j, r).$$

Greenacre (1984) demuestra que  $IN(J) = IN(I) = \sum_{k=1}^K \lambda_k$ ; es decir, que la inercia total (o varianza total) es igual para las dos nubes.

En el capítulo V se hará uso de las ayudas a la interpretación, a fin de obtener más información del análisis de correspondencias.

## 4.8 Ejemplo Numérico

El ejemplo siguiente permite ilustrar el cálculo de las correspondencias. En este ejemplo ficticio una especie será observada en 100 sitios clasificados de acuerdo a tres categorías de abundancia y tres temperaturas: 1 (frío), 2 (templado) y 3 (caliente). La tabla de contingencia siguiente contiene el número de sitios donde se ha encontrado la especie en cada combinación de categorías. Se ha escogido una matriz de  $3 \times 3$  a fin de facilitar los cálculos tediosos al lector. Se utiliza la misma notación matricial expuesta en este capítulo.

Tabla de contingencias entre dos categorías (ejemplo ficticio).

	Especie: Rara o		muy	total renglón
	ausente (o)	abundante (+)	abundante (++)	
1	5	4	11	20
temp. 2	5	16	10	31
3	4	20	25	49
total columnas	14	40	46	100

La matriz siguiente contiene los elementos  $p(i,j)$  así como los totales marginales  $r(i)$ ,  $c(j)$

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} (o) & (+) & (++) \end{matrix} \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix} & \begin{bmatrix} .05 & .04 & .11 \\ .05 & .16 & .10 \\ .04 & .20 & .25 \end{bmatrix} \end{matrix} ; \begin{matrix} [r(i)] \\ \\ \\ \end{matrix} \begin{bmatrix} .20 \\ .31 \\ .49 \end{bmatrix}$$

$$[c(j)] = [ .14 \quad .40 \quad .46 ]$$

calculamos la matriz  $\bar{Q} = p(i,j)/\sqrt{r(i)c(j)}$

$$\bar{Q} = \begin{matrix} & \begin{matrix} (o) & (+) & (++) \end{matrix} \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix} & \begin{bmatrix} .299 & .141 & .363 \\ .240 & .454 & .265 \\ .153 & .452 & .527 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Las matrices de dispersión  $S$  y  $\hat{S}$  pueden calcularse a partir de  $\bar{Q}$

$$S = \bar{Q}^T \bar{Q} = \begin{matrix} & \begin{matrix} (1) & (2) & (3) \end{matrix} \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix} & \begin{bmatrix} .170 & .220 & .252 \\ .220 & .431 & .409 \\ .252 & .409 & .474 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

si por el contrario quisieramos basar los cálculos sobre  $\hat{S}$ , deberiamos obtener la matriz  $\hat{S} = \bar{Q} \bar{Q}^T$  entre los renglones de la tabla de contingencia.

Los valores propios de  $S$  son  $\lambda_0 = 1$ ,  $\lambda_1 = .053$  (66%) y  $\lambda_2 = .027$  (34%); el primer valor propio es igual a la unidad debido a que la



matriz  $\bar{Q}$  no fue centrada por los totales marginales  $r(i), c(j)$  y no es interpretable; si la matriz  $\bar{Q}$  fuera centrada por los totales marginales, es decir  $\bar{Q} = (p(i,j) - r(i)c(j)) / \sqrt{r(i)c(j)}$ , entonces el primer valor propio es  $\lambda_1 = 0$  y tampoco es interpretable.

Los vectores propios  $u_k$  de  $S$  que corresponden a  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ , después de la normalización, son:

$$U = \begin{matrix} & (\lambda_1) & (\lambda_2) \\ \begin{matrix} (o) \\ (+) \\ (++) \end{matrix} & \begin{bmatrix} -0.521 & 0.767 \\ 0.748 & 0.199 \\ -0.411 & -0.609 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Para calcular la matriz  $F$ , haremos uso de las matrices  $Q$  y  $\hat{Q}$ :

$$Q = \{p(i,j) / (r(i) \sqrt{c(j)})\} = \begin{matrix} & (o) & (+) & (++) \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix} & \begin{bmatrix} .669 & .316 & .811 \\ .431 & .816 & .476 \\ .218 & .645 & .752 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$\hat{Q} = \{p(i,j) / (c(j) \sqrt{r(i)})\} = \begin{matrix} & (o) & (+) & (++) \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix} & \begin{bmatrix} .799 & .224 & .535 \\ .641 & .718 & .390 \\ .408 & .714 & .776 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

La posición de los renglones de la tabla de contingencias en el espacio factorial está contenida en la matriz transformada de componentes principales

$$F = QU = \begin{matrix} & (\lambda_1) & (\lambda_2) \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix} & \begin{bmatrix} -0.444 & 0.082 \\ 0.191 & 0.204 \\ 0.060 & -0.162 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Puedemos verificar que la distancia euclidiana entre temperaturas en el espacio factorial (y por tanto entre renglones de la tabla) es:

$$d(1,2) = \sqrt{(-.444 - .191)^2 + (.082 - .204)^2} = \sqrt{.418} = .647$$

se calculan análogamente las distancias restantes y formamos la matriz simétrica de las distancias:

$$\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} & (1) & (2) & (3) \\ (1) & \left[ \begin{array}{ccc} 0 & & \\ .647 & 0 & \\ .560 & .389 & 0 \end{array} \right] \\ (2) & & & \\ (3) & & & \end{array} \end{array}$$

que son también la distancia JI-cuadrada, definida en el parágrafo 4.4, a partir de la tabla de contingencias original; por ejemplo

$$d(1,2) = \sqrt{\frac{1}{.14} \left( \frac{.05}{.20} - \frac{.05}{.31} \right)^2 + \frac{1}{.40} \left( \frac{.04}{.20} - \frac{.16}{.31} \right)^2 + \frac{1}{.46} \left( \frac{.11}{.20} - \frac{.10}{.31} \right)^2} \\ = \sqrt{.418} = .647$$

Reconocer estas propiedades de la distancia JI-cuadrada en el análisis de correspondencias, hace factible la aplicación de algún método de agrupamiento a las nubes de puntos (renglones o columnas) de una matriz de datos. Mas aún, se pueden aplicar métodos de agrupación a la matriz de factores producida por un análisis de correspondencias utilizando la distancia euclidiana.

La matriz  $\hat{U}$  de vectores propios normalizados de  $S = \hat{Q}\hat{Q}^t$  puede ser calculada a partir de  $U$  debido a la relación:

$$\hat{U} = \hat{Q} \hat{U} \hat{\Lambda}^{-1/2} = \begin{matrix} & (\lambda_1) & (\lambda_2) \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix} & \begin{bmatrix} -.866 & 0.222 \\ 0.464 & 0.689 \\ 0.185 & -.690 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

La matriz transformada G, de componentes principales es

$$G = \hat{Q}^T \hat{U} = \begin{matrix} & (\lambda_1) & (\lambda_2) \\ \begin{matrix} (o) \\ (+) \\ (++) \end{matrix} & \begin{bmatrix} -.319 & 0.338 \\ 0.271 & 0.032 \\ -.139 & -.148 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

la cual contiene las coordenadas de las abundancias (las columnas de la tabla de contingencias) en el espacio factorial. Podemos verificar que las distancias euclidianas entre las abundancias en el espacio factorial F de lugar a la matriz simétrica de distancias siguiente

$$\begin{matrix} & (o) & (+) & (++) \\ \begin{matrix} (o) \\ (+) \\ (++) \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & & \\ .656 & 0 & \\ .518 & .456 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

que nuevamente son también las distancias Ji-cuadrada entre las columnas de la tabla de contingencia original. La importancia de construir una matriz de distancias reside en poder realizar análisis de agrupamiento sobre la nube de puntos por renglón (o bien sobre la nube de puntos por columna).

El cálculo de las ayudas para la interpretación se hará más sencillo con la Tabla de Descomposición de la Inercia que se ilustra en seguida

## DESCOMPOSICION DE LA INERCIA

## EJES

	1	2	TOTAL
1	$(.20)(-.444)^2$	$(.20)(0.082)^2$	.041
TEMPERATURAS 2	$(.31)(0.191)^2$	$(.31)(0.204)^2$	.024
3	$(.49)(0.060)^2$	$(.49)(-.162)^2$	.015
TOTAL	=.0526	=.0271	IN(I)=IN(J)=.0797
(o)	$(.14)(-.319)^2$	$(.14)(0.338)^2$	.030
ABUNDANCIAS (+)	$(.40)(0.271)^2$	$(.40)(0.052)^2$	.030
(++)	$(.46)(-.139)^2$	$(.46)(-.148)^2$	.019

Las contribuciones absolutas (CTR) las calculamos de la siguiente manera, para las temperaturas:

$$CTR = \begin{matrix} & (\lambda_1) & (\lambda_2) \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix} & \left[ \begin{matrix} (.20)(-.444)^2 / .0526 & (.20)(0.082)^2 / .0271 \\ (.31)(0.191)^2 / .0526 & (.31)(0.204)^2 / .0271 \\ (.49)(0.060)^2 / .0526 & (.49)(-.162)^2 / .0271 \end{matrix} \right] \end{matrix}$$

$$CTR = \begin{matrix} & (\lambda_1) & (\lambda_2) \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix} & \left[ \begin{matrix} .751 & .049 \\ .215 & .475 \\ .034 & .476 \end{matrix} \right] \end{matrix}$$

El eje 1 se ha formado principalmente a partir de la tempera-

tura (1) y el eje 2 a partir de la temperatura (2) y (3), porque son los que tienen la mayor de las contribuciones absolutas en los ejes principales (1) y (2). Las sumas por columna son iguales a la unidad. Calculamos ahora las contribuciones absolutas para las abundancias :

$$\widehat{CTR} = \begin{matrix} & (\lambda_1) & (\lambda_2) \\ \begin{matrix} (o) \\ (+) \\ (++) \end{matrix} & \begin{bmatrix} .271 & .589 \\ .560 & .040 \\ .169 & .371 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

En este caso las abundancias responsables de la construcción del eje 1 es (+) y para el segundo es (o). Las sumas por columna también son iguales a la unidad. Las contribuciones relativas, se calculan a partir de la relación

$$COR_{\alpha}(i) = f_{\alpha}^2(i) / d_m^2(i, \zeta)$$

donde  $d(i, \zeta)$  denota la distancia del elemento  $i$  al centro de gravedad  $\zeta$ .

$$d^2(1, \zeta) = (.668 - \sqrt{.14})^2 + (.316 - \sqrt{.40})^2 + (.811 - \sqrt{.46})^2 \\ = .204$$

$$d^2(2, \zeta) = .078$$

$$d^2(3, \zeta) = .030$$

nótese que en este caso la mayor de las distancias entre el centro de gravedad y las temperaturas es la 1 (el lector puede consultar la Fig 4.2 y confirmar este hecho).

Análogamente la distancia del elemento  $j$  al centro de gravedad  $r$ , es

$$d^2(o, r) = (.799 - \sqrt{.20})^2 + (.641 - \sqrt{.31})^2 + (.408 - \sqrt{.49})^2 \\ = .216$$

$$d^2(+, r) = .076$$

$$d^2(++ , r) = .041$$

en este caso la distancia más grande entre el centro de gravedad  $r$  (o baricentro del triángulo formado por los puntos (o), (+), (++) en la Fig 4.2), es  $d(o, r)$ .

Finalmente las contribuciones relativas son:

$$\text{COR} = \begin{matrix} & (\lambda_1) & (\lambda_2) \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix} & \begin{bmatrix} -.444^2 / .204 & .082^2 / .204 \\ .191^2 / .078 & .204^2 / .078 \\ .060^2 / .030 & -.162^2 / .030 \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} .967 & .033 \\ .468 & .532 \\ .122 & .878 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

en este caso como puede observarse en el eje 1 la mayor de las contribuciones relativas es con la temperatura (1); es decir que para la nube de temperaturas el menor de los ángulos con el primer eje principal es temp(1), consulte la Fig 4.2.

Análogamente se calculan las contribuciones relativas para las abundancias

$$\widehat{\text{COR}} = \begin{matrix} & (\lambda_1) & (\lambda_2) \\ \begin{matrix} (o) \\ (+) \\ (++) \end{matrix} & \begin{bmatrix} .472 & .528 \\ .965 & .035 \\ .469 & .531 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

en este caso la mayor de las correlaciones con el eje 1 es la abundancia (+). El lector puede observar en la Fig 4.2 que el menor de los ángulos para las abundancias respecto del primer eje es (+). Los renglones de COR y  $\widehat{\text{COR}}$  suman 1, respectivamente. La suma de los renglones representa la calidad (CALD) de la representación factorial.

La inercia relativa puede calcularse con ayuda de la tabla de

Descomposición de la Inercia. Basta con observar en esta tabla que

$$\begin{aligned} \text{INR}(1) &= \{ .20 \times (-.444)^2 + (.20)(0.082)^2 \} / .0797 \\ &= .041 / .0797 = .512 \end{aligned}$$

$$\text{INR}(2) = .024 / .0797 = .303$$

$$\text{INR}(3) = .015 / .0797 = .184$$

de esta manera, la inercia relativa para las temperaturas, INR, y para las abundancias,  $\widehat{\text{INR}}$ , son:

$$\text{INR} = \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix} \begin{bmatrix} .512 \\ .303 \\ .184 \end{bmatrix} \quad \widehat{\text{INR}} = \begin{matrix} (o) \\ (+) \\ (++) \end{matrix} \begin{bmatrix} .379 \\ .383 \\ .238 \end{bmatrix}$$

la columna de INR e  $\widehat{\text{INR}}$  suma 1, respectivamente. El lector puede observar que la temperatura (1) absorbe más de la mitad de la inercia total porque es uno de los elementos más dispersos del baricentro de la nube de puntos-temperatura.

La información anterior puede resumirse como se muestra en la tabla 4.1. Nótese que en esta tabla mostramos todas las cifras multiplicadas por 1000, para una mejor apreciación de la misma.

Tabla 4.1 Descomposición de la inercia en el análisis de correspondencias para las temperaturas y abundancias.

a)-----

VALOR PROPIO	PROCENTAJE	PCT. ACUMULADO
52.577	65.987	65.987
27.102	34.013	100.000
79.679	= INERCIA TOTAL	

Tabla 4.1 (Continuación...)

b)=====

	IDENT	CALD	MASA	INR	DIST	F1	COR1	CTR1	F2	COR2	CTR2
frio (1)	1000	200	512	204	-444	967	751	82	33	49	
templ.(2)	1000	310	303	78	191	468	215	204	532	475	
cal. (3)	1000	490	184	30	60	122	34	-162	876	476	

c)=====

	IDENT	CALD	MASA	INR	DIST	F1	COR1	CTR1	F2	COR2	CTR2
ausent.(o)	1000	140	379	216	-319	472	271	338	528	589	
poco ab(+)	1000	400	383	76	271	965	560	52	35	40	
muy ab(++)	1000	460	238	41	-139	469	169	-148	531	371	

=====

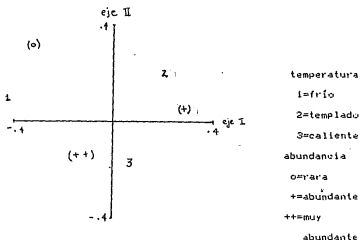


Fig 4.2 Ordenación de las temperaturas y las abundancias en el espacio factorial.  $\lambda_1 = .053$  (66%),  $\lambda_2 = .027$  (34%).



### 5.1 Interpretación de resultados

El método utilizado para el análisis de los datos es el MACRO CORRP<sup>a</sup> y está implantado en la máquina IBM 341 del Centro de Estadística y Cálculo, Chapingo Mex.. Este MACRO se basa en la teoría establecida por Greenacre (1984, p.83-98), Legendre y Legendre (1979, p. 130-143), Benzécri y Benzécri (1980) y Lebart Morineau y Fenelon (1982, p. 305-329). En el apéndice B se ilustra la manera de invocar al procedimiento, en este mismo apéndice aparece el programa. El análisis se realiza en dos partes. La primera es el tratamiento preliminar de los datos que consiste en inspeccionar el carácter de las variables: si éstas son activas o suplementarias (ver parágrafo 4.6). La segunda consiste en realizar nuevamente el análisis con los elementos activos y ubicar los elementos suplementarios.

"Las variables activas sirven para calcular un sistema de distancias entre los individuos (o lo que es lo mismo: las columnas activas sirven para calcular las distancias entre los renglones) que permitirán calcular los ejes factoriales; las variables suplementarias intervendrán una a una después de la determinación de esos ejes" Lebart, Morineau y Fenelon (1977).

(\*) Un MACRO SAS es un algoritmo que invoca procedimientos incluidos en el paquete SAS (Statistical Analysis System), el cual produce un resultado específico. En nuestro caso utilizamos fundamentalmente el PROC MATRIX.

Es recomendable que las variables activas tengan cierta homogeneidad de contenido; es decir, que conserven dentro de toda la tabla sólo aquellas variables que se relacionan con un sólo punto de vista. Las variables suplementarias ayudan a enriquecer la interpretación, ya que una posición privilegiada de una variable que no participe en el análisis y que no ha contribuido a la construcción de un eje, se puede interpretar con seguridad que tiene gran correlación con ese eje, Alvarez (1980, p. 66, 97-110).

Una vez que se realiza el análisis de correspondencias propiamente dicho, con las variables activas se estudia la tabla de valores propios, en la que figuran los porcentajes de varianza extraídos. Los valores propios son útiles en el caso del análisis factorial de correspondencias y en la medida cómo estos se aproximen a 1 indica que la representación obtenida es de buena calidad debe excluirse de cualquier interpretación el valor propio  $=1$  (ver parágrafo 4.5); esto sucede cuando el baricentro de la nube  $N(I)$  tiende a coincidir con el de la nube  $N(J)$ .

Mediante el análisis de contribuciones absolutas (CTR) podemos conocer como una variable participa en la construcción de un eje (ver parágrafo 4.7.1.); algunas contribuciones absolutas son de importancia para apoyar la eventual caracterización de un eje. Estas contribuciones absolutas si son muy fuertes (del orden del 40 al 50 % por ejemplo) son en general dudosas ya que expresan un cierto "de equilibrio de la síntesis"; es decir, si los ejes se reducen a una pocas componentes elementales la representación factorial obtenida muestra únicamente la heterogeneidad de la ta-

bla. Es recomendable cambiar el carácter de las variables activas a suplementarias cuando ocurra la situación arriba descrita, el usuario puede percatarse de este hecho observando la columna de la inercia relativa (INR); si alguno de los valores es considerablemente alto muestra evidencia del desequilibrio de síntesis en la representación geométrica.

Las contribuciones relativas (COR) pueden ser fuertes y en ese caso explicar la caracterización exclusiva del eje por una variable que puede no haber contribuido mucho a la construcción de ese eje (ver parágrafo 4.7.1.). Un eje significativo desde el punto de vista estadístico, no tiene necesariamente una interpretación; al contrario, se puede encontrar una interpretación en una dirección diagonal o con reagrupamientos simples donde los mismos ejes no tengan mucha influencia (Alvarez, 1980, p. 103-104). Para encontrar la significancia de los dos primeros ejes principales podemos consultar la Tablas de Lebart (Lebart, Morineau y Fenelon, 1982) en el apéndice B de este trabajo. La forma de operación es sencilla: si tenemos una tabla de 20 renglones y 10 columnas esperamos que el primer valor propio explique alrededor del 30 % de la inercia total y para el segundo aproximadamente 22 %, si los porcentajes observados no rebasan a los esperados, no se consideran significativos ( $P < .05$ ).

Aplicamos ahora, el análisis de correspondencias a las matrices siguientes: matriz de sitios por especies (Tabla 1.4 del apéndice A), matriz de sitios por modalidades de medio ambiente (Tabla 1.5 del apéndice A) y a la de especies por modalidades de medios ambiente (Tabla 1.6 del apéndice A). A continuación se discuten estos resultados.

## 5.2 Matriz de sitios por especies.

En el análisis de correspondencias preliminar, con la tabla 1.4 del apéndice A, se encuentra que la especie E1 absorbe una INR demasiado alta y por consiguiente puede causar deformaciones en la representación bidimensional (no se muestra la tabla de descomposición de la inercia); por este hecho se realiza un segundo análisis en el que E1 ingresa como variable suplementaria. Para calcular las coordenadas de E1 procedemos según el parágrafo 4.6.

$$g_1, g_2 = \frac{1}{\sqrt{4.45}} (-.486) = -.729$$

$$g_1, g_2 = \frac{1}{\sqrt{3.21}} (-.526) = -.928$$

En la Fig. 1.1 del apéndice A aparece el punto E1 cuyas coordenadas son (-.729, -.928) y se ubica en el tercer cuadrante, como elemento suplementario.

De acuerdo con las tablas de Lebart del apéndice A, encontramos que para una matriz de 50 x 20 ( renglones y columnas, respectivamente), se espera que la primera inercia explique un 15% y la segunda un 12% aproximadamente. En nuestro caso la primera y segunda inercia explican un 18 y 13% respectivamente (ver Tabla 5.1); por lo tanto son significativos los dos primeros ejes principales ( $P < .05$ ).

En la tabla 5.1 observamos que las INR son homogéneas tanto para las especies (a), A, como para los sitios (b); es decir, no se distinguen elementos que puedan deformar la representación de los puntos en un plano bidimensional. La CALD es ligeramente baja, debemos omitir de la graficación las especies E10, E12, E21, E25 y E37 porque no contribuyen a formar ninguno de los ejes

Tabla 5.1

Descomposición de la inercia en el análisis de correspondencias de la tabla 1.4 (Apénd. A) para los dos primeros ejes principales. La inercia total es 2.465 y las tres inercias principales son 0.445 (18%), 0.321 (13%) y 0.239 (10 %)

(a)=====

	IDENT	CALD	MASA	INR	DIST	F1	COR1	CTR1	F2	COR2	CTR2
E2	731	8	17	5168	-1168	264	25	1253	467	62	
E3	550	18	28	3933	1219	378	58	-822	172	37	
E4	642	6	6	2499	-1204	586	19	-393	62	3	
E5	160	13	9	1806	536	159	8	-82	1	0	
E6	601	37	24	1605	-508	161	21	840	440	81	
E7	333	6	5	1721	-583	197	5	-483	136	5	
E8	271	7	17	6128	-1259	259	25	271	12	2	
E9	620	16	15	2375	-1197	603	51	-201	17	2	
E10	60	95	42	1088	15	0	0	-255	60	19	
E11	352	13	15	2889	-1008	352	30	-18	0	0	
E12	50	25	15	1500	-274	50	4	7	0	0	
E13	389	4	5	3379	-729	157	4	886	232	9	
E14	214	6	5	1844	142	11	0	612	203	8	
E15	285	15	11	1931	708	259	16	-222	26	2	
E16	131	4	9	4993	-399	32	2	704	99	7	
E17	606	17	64	9366	-1222	159	57	2046	447	219	
E18	456	14	16	2888	-935	336	30	588	120	15	
E19	190	4	6	3697	-827	185	6	-139	5	0	
E20	309	45	39	2107	718	245	52	367	64	19	
E21	3	33	11	841	-36	2	0	21	1	0	
E22	246	8	10	2995	-465	72	4	-721	174	13	
E23	664	19	22	2780	-1066	408	50	-844	256	43	
E24	405	100	50	1223	395	128	35	-582	277	105	
E25	45	11	7	1498	143	14	0	-216	31	2	
E26	181	14	12	2089	484	112	8	-379	69	6	
E27	291	39	66	4153	1058	270	99	-294	21	11	
E28	86	6	4	1551	363	35	2	-36	1	0	
E29	160	8	6	1869	545	159	5	46	1	0	
E30	127	12	28	5904	-755	97	15	-418	30	6	
E31	176	50	17	832	155	29	3	349	147	19	
E32	468	9	9	2341	-708	214	11	771	254	17	
E33	266	8	8	2644	-636	153	7	-548	113	7	
E34	375	8	6	1817	826	375	12	22	0	0	
E35	546	20	56	6996	-1392	277	86	-1372	269	115	
E36	114	27	28	2585	-311	38	6	444	76	16	
E37	33	19	35	4675	376	30	6	-110	3	1	
E38	112	24	12	1203	-362	109	7	-64	3	0	
E39	270	17	35	5093	-1173	270	52	-19	0	0	
E40	256	26	19	1780	583	191	20	340	65	9	
E41	261	63	51	1985	254	32	9	675	229	89	

(Tabla 5.1 Continuación...)

IDENT	CALD	MASA	INR	DIST	F1	COR1	CTR1	F2	COR2	CTR2
E42	89	16	14	2151	167	13	1	-405	76	8
E43	103	14	18	3177	349	95	9	158	8	1
E44	188	22	26	2913	697	167	24	249	21	4
E45	278	6	7	2703	-556	114	4	-666	164	9
E46	82	7	13	4552	600	79	6	107	3	0
E47	128	9	8	2200	474	102	4	-238	26	2
E48	247	30	43	3525	929	245	58	-87	2	1
E49	343	11	20	4344	-923	196	21	-800	147	22
E50	324	13	13	2442	843	291	21	284	33	3
E1					-729			-928		

(b)

S1	222	31	41	3259	-832	213	48	170	9	3
S2	768	43	38	2187	-762	265	56	1048	503	147
S3	642	31	75	6021	-858	122	51	1769	520	299
S4	145	27	38	3502	-410	48	10	687	135	39
S5	2	31	23	1812	43	1	0	-40	1	0
S6	299	33	43	3209	-962	288	68	188	11	4
S7	308	44	49	2799	-513	94	26	-744	214	81
S8	543	24	29	2971	-864	251	40	-931	292	64
S9	243	38	35	3258	-733	238	46	-103	5	1
S10	284	28	26	2312	-575	143	21	-571	141	29
S11	85	25	32	3215	138	6	1	504	79	19
S12	169	64	38	1481	496	166	35	61	3	1
S13	195	46	24	1275	315	78	10	386	117	21
S14	270	63	39	1519	397	104	22	501	166	50
S15	190	55	51	2269	650	186	53	95	4	2
S16	97	47	48	2535	450	80	21	-206	17	6
S17	376	71	58	2028	843	350	113	-228	26	11
S18	20	55	40	1817	191	20	4	25	0	0
S19	247	54	66	3042	838	231	85	222	16	8
S20	239	48	48	2454	713	307	55	-279	32	12
S21	329	48	28	1432	483	163	25	-488	166	35
S22	549	31	31	2482	-1146	529	92	-221	20	5
S23	527	33	60	4449	-1084	264	88	-1081	263	122
S24	271	31	39	3060	636	132	28	653	139	41

Principales, ni tienen una correlación alta con ninguno de los ejes ( las COR y CTR son bajas).

En la tabla 5.1 (b) se observa que las INR son homogéneas y no hay indicios de que alguno de los sitios cause una deformación en la gráfica. Nuevamente se observa que la calidad, CALD, de la representación es ligeramente baja. Es de subrayarse que el sitio 5, perteneciente al mpio. de Gabriel Zamora, no tiene una CALD aceptable por lo que no debe graficarse. El sitio 17 tiene una CTR muy alta (113) y es el responsable de la construcción del segundo eje y además no tiene una INR alta por lo que la representación factorial es satisfactoria.

En las Figs. 5.1 y 5.2 se observa que los sitios agrupados a la izquierda de la gráfica son los de Gabriel Zamora, en el centro el sitio 11 (en Nueva Italia) y a la derecha los de La Huacana. Como puede observarse en la Fig. 5.1 hay más diversidad de especies en el estrato inferior en el mpio. de Gabriel Zamora, en tanto que en los municipios restantes, Nueva Italia y La Huacana hay más manejo de ganado (sobrepastoreo) y por lo tanto ocasiona una menor diversidad de especies en este estrato. La presión demográfica y la precipitación pluvial posiblemente influyen en la presencia de especies entre estratos: en el mpio. de Gabriel Zamora tenemos mayor diversidad de especies en el estrato inferior (Fig. 5.1) y menor diversidad en los estratos medio y superior (Fig. 5.2), sin embargo, en La Huacana tenemos menor diversidad de especies en el estrato inferior (Fig. 5.1) y mayor diversidad en los estratos medio y superior (Fig. 5.2) en suma se tiene que la vegetación es más alta y cerrada (hay mayor densidad y cobertura de área del estrato medio y superior) esto trae como conse-

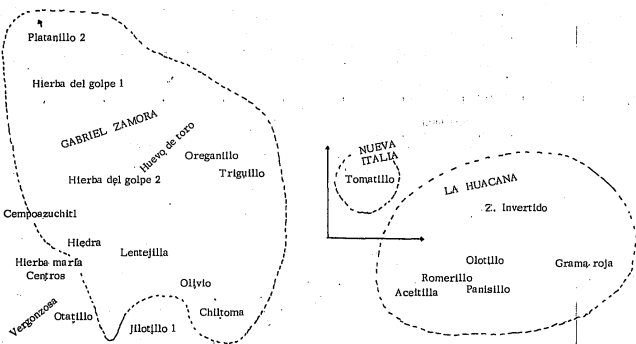


Fig. 5.1 Representación bidimensional óptima mediante el análisis de correspondencias de la Tabla 1.4 (Apénd.A) para las especies en el estrato interior. La representación conjunta puede consultarse en la Fig. 1.1 del Apéndice A.



05

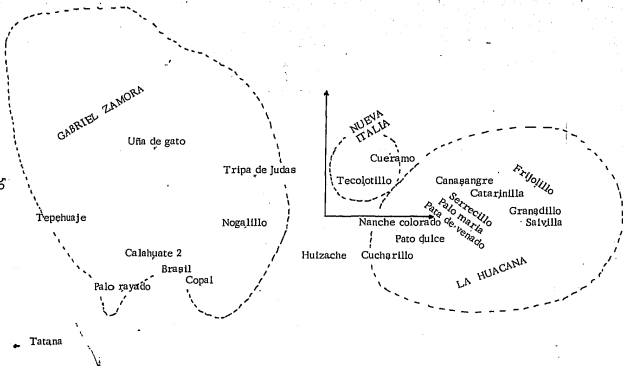


Fig. 5.2 Representación bidimensional óptima mediante el análisis de correspondencias de la Tabla 1.4 (Apéndice A) para las especies en el estrato medio superior. La representación conjunta de las Figs. 5.1 y 5.2 puede consultarse en la Fig. 1.1 (Apéndice A).

cuencia una mayor competencia con especies del estrato inferior, principalmente por la luz; bajo estas condiciones sólo unas cuantas especies pueden vivir bajo un ambiente de poca iluminación (debe considerarse que esto no es general ya que en las selvas húmedas existe poca iluminación en el estrato inferior y la diversidad es alta). Para el caso de las especies en el estrato inferior podemos localizar en la Fig. 5.1 que la mayoría de estas especies en La Huacana son gramíneas y las de Gabriel Zamora son, en general, herbáceas no gramíneas. La dominancia de herbáceas no gramíneas implica un intenso uso por el ganado que al consumir en mayor grado a las gramíneas proporciona una ventaja competitiva a las no gramíneas; se puede afirmar que el sobrepastoreo se da en mayor medida en Nueva Italia y Gabriel Zamora que en La Huacana.

Por otra parte, las masas por sitio (frecuencias relativas marginales, ver parágrafo 4.2), son mayores en aquéllos correspondientes a La Huacana, ello se traduce en mayor densidad de especies para este municipio; en tanto que para los sitios de Gabriel Zamora y Nueva Italia la densidad es baja (ver parte derecha de las Figs. 5.3 o 5.4). El ordenamiento obtenido por el análisis de correspondencias ubica a las especies con menos densidad en los sitios de Gabriel Zamora y a las de regular densidad en los municipios restantes, Nueva Italia y La Huacana, para los estratos inferior medio y superior (ver Fig. 5.3, estrato inferior y Fig. 5.4 estrato medio y superior).

Hemos afirmado en el Capítulo II que las condiciones del medio ambiente determina el tipo y la estructura de la vegetación existente en una región; por tanto ahora debemos preocuparnos por

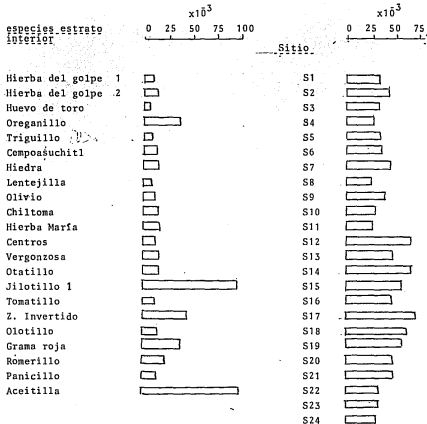


Fig. 5.3 Puntos de las MASAS para las especies más importantes en el estrato inferior para el análisis de correspondencias de la tabla 1.4 (Apénd. A). Del S1 al S10 pertenecen a Gabriel Zamora, el S11 a Nueva Italia y del S12 al S24 a La Huacana.

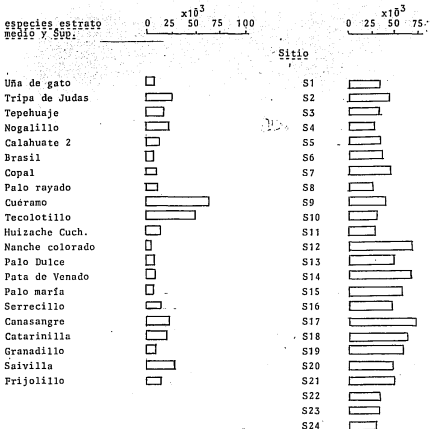


Fig. 5.4 Puntos de las MASAS, para las especies más importantes en los estratos medio y superior en el análisis de correspondencias de la Tabla 1.4 (Apénd. A). Del S1 al S10 pertenecen a Gabriel Zamora, el S11 a Nueva Italia y del S12 al S24 a La Huacana.

caracterizar a los sitios de muestreo. Una vez que conozcamos cuáles son las características del medio ambiente, más importantes podremos encontrar la interacción entre vegetación y medio ambiente.

### 5.3 Matriz de sitios por modalidades de medio ambiente.

De acuerdo a las Tablas de Lebart del apéndice B y a lo reportado en el párrafo anterior, 5.2, para una matriz de 50 x 20, esperamos que la primera inercia principal explique un 15 %. Sin embargo el porcentaje de la primera inercia es de 14 % (Tabla 5.2) y la ubica en una región crítica de rechazo ( $P < .05$ ). Para nuestros fines prácticos consideramos de interés interpretar el primer eje principal.

En la tabla 5.2 observamos las ordenadas para el primer eje principal, tanto para las (a) características del medio ambiente, como para los (b) sitios. Para nuestra discusión haremos énfasis en graficar las modalidades relacionadas con altura, pendiente, sombreado, pH, profundidad de suelo, fósforo, nitrógeno, arcilla y limo. Indicamos el incremento de cada modalidad con (+) para el nivel mas bajo, (++) para el medio y así sucesivamente hasta la categoría mas alta.

Respecto de las variables de medio ambiente hemos de notar que los sitios ubicados en la parte norte del municipio de Gabriel Zamora tienen características similares y nuevamente el sitio 23 se une al grupo previamente formado en la Fig. 5.3 (observar en la Fig. 1.1 del apéndice A, cómo este mismo sitio tiene características afines con los restantes de este municipio).

Tabla 5.2

Descomposición de la inercia en el análisis de correspondencias de la tabla 1.5 (Apéndice A) para los dos primeros ejes factoriales. La inercia total es 2.4 y las dos inercias principales son 0.329 (14%) y 0.304 (13%).

(4)=====

IDENT MASA INR DIST F1 COR1 CTR1

IDENT	MASA	INR	DIST	F1	COR1	CTR1
A01	14	22	3800	1149	347	56
A02	19	20	2429	268	30	4
A03	25	17	1667	-333	66	8
A04	6	25	11000	-2016	369	69
A05	3	27	23000	-592	15	3
B01	6	25	11000	232	5	1
B02	33	14	1000	-305	93	9
B03	28	16	1400	320	73	9
C01	6	25	11000	1415	182	34
C02	58	3	143	-114	91	2
C03	3	27	23000	-438	8	2
D01	8	24	7000	1611	371	66
D02	44	9	500	-342	234	16
D03	14	22	38000	128	4	1
E01	11	23	5000	398	32	5
E02	33	14	1000	-422	178	18
E03	22	19	2000	433	94	13
F01	17	21	3000	383	49	7
F02	14	22	3800	-526	73	12
F03	22	19	2000	25	0	0
F04	14	22	3800	27	0	0
G01	25	17	1667	395	94	12
G02	8	24	7000	-125	2	0
G03	19	20	2429	-380	60	9
G04	14	22	3800	-104	3	0
H01	3	27	23000	2278	226	44
H02	14	22	3800	234	14	2
H03	22	19	2000	627	197	27
H04	28	16	1400	-391	109	13
I01	44	9	500	426	362	24
I02	6	25	11000	-2016	369	69
I03	17	21	3000	-463	71	11
J01	6	25	11000	1392	176	33
J02	6	25	11000	1508	207	38
J03	56	5	200	-290	420	14
K01	11	23	5000	815	133	22
K02	36	13	846	157	29	3
K03	19	20	2429	-757	236	34
L01	31	15	1182	-607	312	34
L02	31	15	1182	292	72	8

(Tabla 5.2 Continuar en...)

IDENT	MASA	INR	DIST	F1	COR1	CTR1
L03	6	25	11000	1736	274	51
M01	14	22	3900	107	3	0
M02	11	23	5000	-135	4	1
M03	19	20	2429	-131	7	1
M04	11	23	5000	-912	166	28
M05	11	23	5000	1142	261	44
N02	19	20	2429	834	286	41
O01	36	13	846	-566	378	35
O02	17	21	3000	960	308	47
O03	14	22	3900	318	27	4

(b) =====

S1	42	42	2327	264	29	9
S2	42	34	1947	-102	5	1
S3	42	26	1508	-410	112	21
S4	42	31	1757	-219	27	6
S5	42	43	2487	108	5	1
S6	42	35	2009	-84	4	1
S7	42	51	2953	526	94	35
S8	42	81	4637	1466	464	272
S9	42	49	2850	704	174	63
S10	42	43	2498	894	320	101
S11	42	54	3100	157	8	3
S12	42	26	1473	189	24	5
S13	42	47	2703	-1006	375	123
S14	42	27	1567	343	75	15
S15	42	41	2381	-21	0	0
S16	42	26	1524	292	56	11
S17	42	54	3132	-340	37	15
S18	42	33	1895	-92	4	1
S19	42	74	4289	-1307	398	216
S20	42	27	1560	62	2	0
S21	42	27	1573	-463	137	27
S22	42	50	2890	251	22	8
S23	42	42	2425	604	150	46
S24	42	35	2003	333	55	14

Otro grupo de sitios puede formarse con los del sur de Gabriel Zamora y todos los de Nueva Italia y La Huacana, excepto para los sitios 13 y 19 que forma un grupo aparte (ver Fig. 5.3).

El análisis de correspondencias ha ordenado las modalidades de pH a lo largo del primer eje principal, aquí observamos que los sitios del norte de Gabriel Zamora son ligeramente ácidos o neutros ( $6.2 \leq \text{pH} < 7.2$ ), en tanto que los sitios restantes, sur de Gabriel Zamora, Nueva Italia y La Huacana son alcalinos ( $7.2 \leq \text{pH} < 8.8$ ). Es de notarse que los sitios 13 y 19 son fuertemente alcalinos ( $7.8 \leq \text{pH} < 8.3$ ).

Los sitios de Gabriel Zamora son especialmente accidentados tiene sitios con pendientes de 21 a 30° (ver el sitio 8), otros con pendientes de 6 a 15° (sitios 6, 2, 4 y 3) y con pendientes de 0 a 5° (sitios 5 y 7). Lo accidentado del terreno en los sitios de Gabriel Zamora provoca que el ganado tenga poco acceso al consumo de especies. Nueva Italia es un municipio pequeño con una alta densidad de población, un mayor número de cabezas de ganado reduce la diversidad de las especies del estrato inferior (existe sobrepastoreo) y a su vez provoca que se incremente la diversidad en el estrato medio y superior (la gente utiliza la madera de los árboles para construir cercas y otro tipo de edificaciones rurales). En La Huacana hay poca diversidad en el estrato inferior, las especies representativas son gramíneas. Posiblemente la poca diversidad se puede atribuir a la mayor cobertura y densidad de los estratos medio y superior (ocasionado por una mayor precipitación). Debido a que hay dominancia de especies gramíneas no se



puede afirmar que haya sobrepastoreo. Los sitios de Nueva Italia y La Huacana tienden a conservar una pendiente moderada, entre 6 y 15°. Existe un gradiente de altitud sobre el nivel del mar: Gabriel Zamora tiene de 380 a 900 m, Nueva Italia y La Huacana de 100 a 600 m. Podemos observar que en sitios con altitudes moderadas proliferan algunas gramíneas (Olotillo, Panisillo, Aceitilla, Grama Roja y Z. Invertido) que son características de La Huacana. En el estrato medio y superior las especies Canasangre, Catarinilla, Serrecillo, Palo María, Pata de venado, Granadillo, Saivilla, son abundantes en altitudes de 100 a 600 m.

El eje principal I ha ordenado los sitios de acuerdo al sombreado: los sitios de Gabriel Zamora son sombreados y poco sombreados, en cambio los de La Huacana son muy sombreados.

Otro aspecto muy importante de los suelos de La Huacana es que el porcentaje de arcilla es del 20 al 40 %, en tanto los de Gabriel Zamora son poco arcillosos, tienen menos del 20 %. Los suelos medianamente limosos son la característica general de los sitios en los tres municipios; sin embargo, dos sitios se destacan: el 8, por ser poco limoso ( 15%) y el 22, por ser muy limoso ( 30%) que pertenecen a Gabriel Zamora y La Huacana, respectivamente. Una conclusión es que sitios con poca pendiente y altitudes bajas tienen texturas finas (arcillosas) y viceversa, sitios con mucha pendiente y con mucha altitud presentan texturas con poca arcilla y limo (ver parte superior de la Fig. 5.5).

Una vez conociendo las características fundamentales del medio ambiente podemos estudiar la interacción que existe con la formación de comunidades vegetales. Para reforzar esta discusión hemos realizado un tercer análisis de correspondencias, ahora con

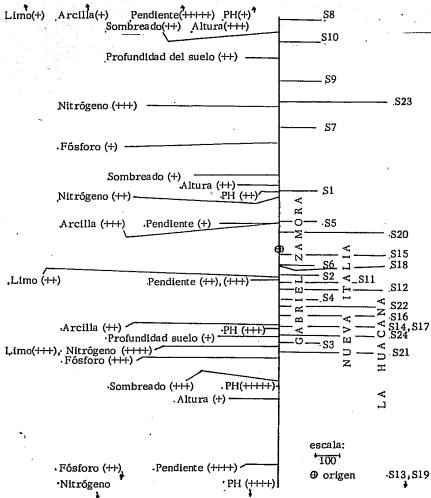


Fig. 5.5 Representación de los sitios y modalidades de medio ambiente, sobre el eje 1, a partir del análisis de correspondencias aplicado a la Tabla 1.5 del Apéndice A.

la matriz de especies por modalidades de medio ambiente, tabla 1.6 del apéndice A.

#### 3.4 Matriz de especies por modalidades de medio ambiente

Para estudiar la interacción entre la vegetación y el medio ambiente se realiza el análisis de correspondencias con la tabla 1.6 del apéndice A. De acuerdo a las tablas de Lebart, apéndice B, para una matriz de 50 x 51 se espera explicar 8 y 7% para las dos primeras inercias principales; en nuestro caso explicamos un 33 y 15% respectivamente. Es decir que se esperan resultados ampliamente satisfactorios. Aquí igualmente se encuentra que la Especie E1 absorbe una INR demasiado alta, en comparación con las inercias relativas restantes, y posiblemente cause deformaciones en la representación bidimensional (no se muestra la tabla de descomposición de la inercia). Se realiza un segundo análisis de correspondencias en el que E1 ingresa como variable suplementaria. Para calcular las coordenadas de E1 procedemos como se indica en el parágrafo 4.6,

$$g_1 = \frac{1}{\sqrt{.1064}} (-.165) = -.521$$

$$g_2 = \frac{1}{\sqrt{.0474}} (-.087) = -.402$$

En la Fig. 1.2 del apéndice A el punto E1 (-521, -402) aparece en el tercer cuadrante, como elemento suplementario. En la Fig. 5.4 podemos observar que E1 es el Jilotillo, una especie del estrato inferior, el elemento suplementario.

En la tabla 5.3 se observa que las INR son homogéneas, tanto para las (a) especies, como para (b) las modalidades de medio ambiente. La CALD se puede considerar satisfactoria; sin embargo,

Tabla 5.3

Descomposición de la inercia en el análisis de correspondencias de la tabla 1.5 (Apéndice A) para los dos primeros ejes principales. La inercia total es 0.307 y las tres inercias principales son 0.101 (33%), 0.047 (15%) y 0.034 (11%).

(a) =====

IDENT	CALD	MASA	INR	DIST	F1	COR1	CTR2	F2	COR2	CTR2
E2	193	8	11	401	-166	69	2	223	124	9
E3	636	18	44	768	-692	622	83	-104	14	4
E4	804	6	8	432	-578	772	19	118	32	2
E5	176	11	11	261	202	156	5	-72	20	1
E6	20	37	16	137	-40	12	1	33	8	1
E7	479	6	5	252	-318	402	7	139	77	3
E8	290	7	15	641	-413	266	12	123	24	2
E9	830	16	20	400	-549	752	47	177	78	10
E10	464	95	65	210	-95	43	8	-297	421	177
E11	614	13	20	475	-539	611	38	36	3	0
E12	87	25	12	146	-106	77	3	38	10	1
E13	178	4	4	341	-119	41	1	216	137	4
E14	207	6	4	175	188	201	2	31	6	0
E15	234	15	9	192	205	218	6	-56	16	1
E16	107	4	4	296	-53	9	0	171	98	3
E17	75	17	31	557	-30	2	0	201	73	14
E18	305	14	12	276	-241	210	8	162	95	8
E19	291	4	7	480	-371	286	6	-48	5	0
E20	795	45	56	384	461	553	95	304	242	88
E21	171	33	8	74	-26	9	0	109	162	8
E22	382	8	8	298	-333	371	9	56	11	1
E23	807	19	35	556	-651	763	82	157	44	10
E24	422	100	47	145	0	0	0	-247	422	129
E25	112	11	9	255	5	0	0	169	112	7
E27	722	39	72	564	351	219	48	-533	503	236
E28	158	6	3	177	34	6	0	-164	152	3
E29	276	8	8	282	279	276	6	9	0	0
E30	306	12	18	462	-376	306	17	0	0	0
E31	306	50	17	105	177	298	15	28	8	1
E32	277	9	8	244	-193	152	3	175	125	6
E33	428	8	8	324	-344	365	9	143	63	3
E34	768	8	9	335	463	639	17	208	129	7
E35	723	20	60	933	-810	704	128	133	19	7
E36	31	27	13	152	-66	29	1	18	2	0
E37	87	19	24	396	154	60	4	103	27	4
E38	479	24	9	123	-68	38	1	233	441	27
E39	565	17	34	619	-512	423	44	297	142	31
E40	392	26	20	240	302	380	23	54	12	2
E41	288	63	45	220	249	283	39	33	5	1
E42	36	16	12	234	-69	20	1	-62	16	1

Tabla 5.3 (continuación...)

IDENT	CALD	MASA	INR	DIST	F1	COR1	CTR1	F2	COR2	CTR2
E43	514	14	14	311	229	168	7	-328	346	31
E44	754	22	42	577	492	419	54	440	335	91
E45	495	6	8	390	-423	458	11	-120	37	2
E46	112	7	12	524	217	90	3	-107	22	2
E47	6	9	6	193	22	2	0	29	4	0
E48	553	30	37	374	387	401	45	238	152	36
E49	546	11	27	752	-610	494	41	197	52	9
E50	758	13	22	527	588	656	45	232	102	15
E1					-521			-402		
-----										
A01	702	11	27	746	-696	649	53	200	53	9
A02	659	17	29	522	-575	632	56	118	27	5
A03	632	27	20	227	351	541	33	-144	91	12
A04	650	7	26	1199	753	472	38	462	178	30
A05	448	5	31	2028	627	194	18	-718	254	51
B01	46	4	12	1022	82	7	0	-200	39	3
B02	325	36	10	87	57	37	1	-158	288	19
B03	370	27	16	180	-88	43	2	243	327	33
C01	147	3	14	1298	-434	145	6	-55	2	0
C02	488	61	1	7	58	468	2	-12	20	0
C03	521	2	17	2482	-1049	443	23	441	78	8
D01	700	6	35	1672	-1049	658	70	266	42	10
D02	535	47	9	57	160	450	12	70	85	5
D03	452	14	13	306	-59	11	0	-367	441	38
E01	375	10	24	773	-490	311	23	223	64	10
E02	575	36	10	85	213	536	16	-58	39	3
E03	91	21	15	227	-144	91	4	-3	0	0
F01	230	17	21	374	-181	88	6	230	142	19
F02	377	16	19	357	347	338	20	118	39	5
F03	57	22	13	188	50	13	1	-91	44	4
F04	554	12	14	363	-313	267	12	-325	287	26
G01	52	26	18	207	-73	25	1	-75	27	3
G02	91	10	16	486	185	71	3	-98	20	2
G03	464	18	23	378	239	151	10	344	313	46
G04	461	12	18	458	-365	291	16	-279	170	20
H01	610	4	36	3042	999	328	36	927	282	65
H02	123	15	17	330	-74	17	1	-187	106	11
H03	39	21	8	117	22	4	0	-64	35	2

Tabla 5.3 (Continuación...)

IDENT	CALD	MASA	INR	DIST	F1	COR1	C/R1	F2	COR2	CTR2
I01	693	42	12	86	-239	669	24	45	24	2
I02	650	7	26	1199	753	472	38	462	178	30
I03	400	18	23	382	277	201	14	-276	199	29
J01	422	4	21	1482	762	392	26	209	30	4
J02	402	4	23	1973	-891	402	29	19	0	0
J03	665	59	4	20	113	650	7	-17	15	0
K01	510	11	19	539	-290	156	9	-437	354	44
K02	279	33	16	153	-201	263	13	49	16	2
K03	597	23	25	329	421	538	41	140	59	10
L01	858	38	36	290	486	817	90	-109	41	10
L02	731	24	46	597	-606	615	87	264	116	35
L03	548	4	30	2031	-944	439	40	-470	109	21
M01	774	13	23	524	15	0	0	-637	774	115
M02	95	12	15	366	66	12	1	-174	83	8
M03	158	20	14	221	-6	0	0	186	158	15
M04	450	11	26	742	265	94	8	513	356	61
M05	282	10	19	598	-384	247	15	145	25	4
N01	515	50	6	36	67	125	2	119	390	15
N02	515	17	17	314	-198	125	7	-350	390	44
001	703	40	16	123	292	694	34	34	9	1
002	713	14	25	531	-408	314	24	-460	399	64
003	633	12	26	630	-474	356	28	418	277	46

existen elementos que tienen una CALD extremadamente baja porque ni contribuyen a formar ninguno de los ejes principales ni tiene una correlación alta con ninguno de los ejes (las COR y CTR son bajas), estos elementos deben omitirse de la graficación porque carece de importancia su interpretación. Por ello ignoramos las especies E6, E12, E36, E37, E42 y E47 así como las modalidades B01, E03, F03, G01, G02, H03, H04 y M02. En la Fig. 1.2 del apéndice A se han graficado simultáneamente las nubes para las especies y modalidades de medio ambiente; para una mejor interpretación, en la Fig. 5.6 sólo aparecen las modalidades de medio ambiente, en tanto que en las Figs. 5.7 y 5.8 se han graficado las especies en los estratos inferior y medio superior, respectivamente.

En esta discusión haremos referencia a los resultados obtenidos en los párrafos 5.2 y 5.3.

El ordenamiento producido por el análisis de correspondencias, para los datos de la tabla 1.6 (apéndice A), refuerza lo afirmado en párrafos anteriores. En las Figs. 5.7 y 5.8 se confirma que las especies, en los estratos inferior, medio y superior, tienden a agruparse de manera similar a las Figs. 5.1 y 5.2: las conclusiones que allá se obtuvieron aquí tienen vigencia. En las Figs. 5.7 y 5.8 podemos distinguir que las especies en el cuadrante II son características del municipio de Gabriel Zamora, en tanto que aquéllas de los cuadrantes I y IV son las de Nueva Italia y La Huacana; lo mismo se puede afirmar para las características de medio ambiente.

A la luz de las Figs. 5.6, 5.7 y 5.8 podemos concluir que algunas gramíneas (Z. Invertido, Olotillo, Grama roja, Romerillo,

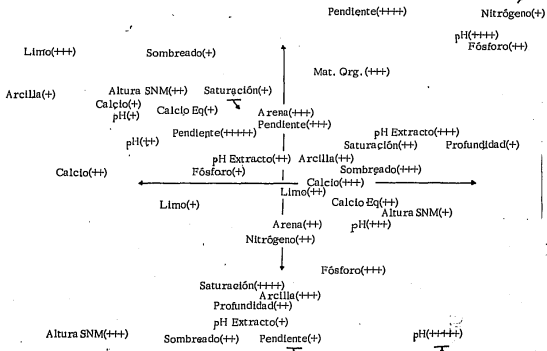


Fig. 5.6 Representación bidimensional óptima mediante al análisis de correspondencias de la Tabla 1.6 (Apéndice A) para las modalidades de medio ambiente. Sobreponga las Figs. 5.7 y 5.8 para - mejor interpretación. Consulte la gráfica conjunta en la Fig. 1.2 del Apéndice A.



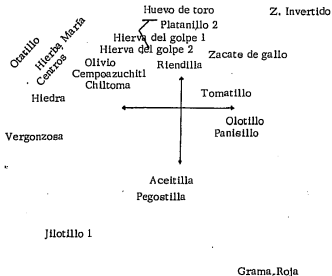


Fig. 5.7 Representación bidimensional óptima mediante el análisis de correspondencias de la Tabla 1.6 (Apéndice A) para las especies en el estrato inferior. La nube de modalidades de medio ambiente se presentan en la Fig. 5.6. Consulte la gráfica conjunta en la Fig. 1.2 del Apéndice A.

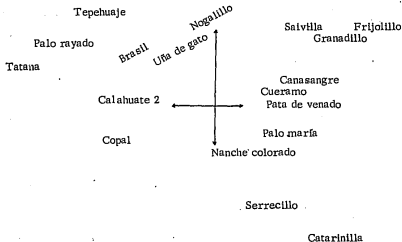


Fig. 5.8 Representación bidimensional óptima mediante el análisis de correspondencias de la Tabla 1.6 (Apéndice A) para las especies en el estrato medio y superior. La nube de modalidades de medio ambiente se presenta en la Fig. 5.6. Consulte la gráfica conjunta en la Fig. 1.2 del Apéndice A.

Aceitilla y Panicillo) tienen mayor diversidad en sitios con pH que varían entre ligeramente alcalinos y fuertemente alcalinos, cuya altura s.n.m. sea baja (de 150 a 375 m). Los terrenos donde proliferan estas gramíneas son poco profundos (de 25 a 50 cm), en pendientes semiplanas (de 6 a 15°) y lugares muy sombreados debido a la presencia de especies en el estrato medio y superior. Las características predominantes del sustrato son: suelos medianamente arenosos (25%), medianamente arcillosos (20%), medianamente limosos (del 15 al 30%), ricos en fósforo (de 15 a 26 p.p.m.) y con porcentaje de saturación medianamente alto y alto (de 55 a 75%). Estas mismas modalidades del medio ambiente son las relevantes para las especies del estrato medio y superior siguientes: Saivilla, Firjolillo, Granadillo, Canasangre, Cueraño, Pata de venado, Palo maría, Nanche colorado, Serrecillo y Catarinilla (ver Fig. 5.8).

Podemos distinguir en la Fig. 5.7 un grupo de especies en el estrato inferior que en su mayoría son herbáceas no gramíneas (Huevo de toro, Platanillo 2, Hierba del golpe 1, Hierba del golpe 2, Olivio, Riendilla, Cemposúchitl, Hiedra y Chiltóna), y otras especies (Hierba maría, Centros, Vergonzosa y Otatillo). Estas especies tienen poca diversidad (ver Fig. 5.3). Las características de medio ambiente físico, que son comunes para estas especies, son: altura s.n.m. media (de 376 a 600 m), terreno muy quebrado (21 a 30°) y poco sombreado. Las características del sustrato más relevantes, para este grupo de especies, son: suelos predominantemente ácidos o neutros ( $6.2 \leq \text{pH} < 7.2$ ), con proporciones de arena, arcilla y limo de 50 a 100%, 0 a 20% y 30 a 40%, res-

pectivamente; bajo contenido de calcio fósforo. Estas mismas modalidades del medio ambiente son las relevantes para la especie del estrato medio y superior siguientes: Tepehua 1, Palo rayado, Tatana, Brasil, Nogalillo, Uña de gato, Calahuatl 2, y Copal (ver Fig. 5.8).

## 6.1 Resumen

En el Valle de Apatzingán uno de los componentes principales de la alimentación del ganado bovino son los agostaderos naturales con especies forrajeras nativas. Un estudio ecológico puede ayudar a establecer criterios racionales para el manejo adecuado de áreas destinadas al pastoreo.

En el presente trabajo se presenta un sistema de ordenación para los datos generados por un levantamiento ecológico de especies. El sistema de ordenación usado es el análisis de correspondencias.

Para el levantamiento ecológico, se muestrearon 24 sitios, 10 corresponden al mpio. de Gabriel Zamora, 1 a Nueva Italia y 13 a La Huacana, en el Valle de Apatzingán. El método de muestreo utilizado es el de Iwao-Kuno (1971), para poblaciones agregadas. Con este método se determina que 40 cuadrantes, de 0.5 x 0.5 m para el estrato inferior y de 4 x 4 m para los estratos medio y superior, por sitio son los indicados con un 75% de precisión.

En cada sitio se determinan parámetros de vegetación -la densidad media por cuadrante de 50 especies forrajeras- y parámetros de medio ambiente -11 variables de sustrato y 4 variables de medio ambiente físico.

Se presenta el análisis de correspondencias como una técnica descriptiva multidimensional, de acuerdo al enfoque clásico de Pearson (1901): a) definir una nube de puntos en el espacio multidimensional, b) determinar una estructura métrica del espacio y c) ajustar una nube de puntos en un subespacio para su representación. Se discuten algunos de sus fundamentos y la forma de inter-

pretar un análisis de este tipo. Se proporciona al lector un ejemplo numérico sencillo para reafirmar los conceptos más importantes del análisis.

El programa utilizado para el análisis de los datos es el CORRP. De acuerdo a la salida de este programa se hace hincapié en varios aspectos: a) evaluar la significancia de las dos primeras inercias principales, mediante las Tablas de Lebart (apéndice B), b) estudiar la inercia relativa, INR, de cada uno de los elementos puestos en correspondencia, c) determinar cuáles elementos deben ser considerados como activos o suplementarios y d) evaluar las contribuciones absolutas y relativas, así como la calidad de la representación geométrica.

El sistema de ordenación, el análisis de correspondencias, se aplica a tres matrices de datos: sitios x especies, sitios x modalidades de medio ambiente y especies x modalidades de medio ambiente. Para cada una de estas matrices se discute la salida del programa CORRP y se obtiene una representación geométrica en una o dos dimensiones, para su representación. En todos los casos se observa que los sitios tienden a agruparse de acuerdo a la cercanía geográfica, así forman tres grupos de sitios: Gabriel Zamora, Nueva Italia y La Huacana. En el municipio de Gabriel Zamora se observa que hay más diversidad de especies en el estrato inferior y menos, en aquéllos del estrato medio superior; sin embargo, la diversidad es mayor en el estrato medio superior que en el inferior. En los mplos. de Nueva Italia y La Huacana se observa el caso contrario, hay más diversidad en el estrato medio superior que en el inferior. Estas relaciones fitosociológicas se originan por la presión demográfica, la influencia del medio ambiente y el manejo de ganado.

En nuestro caso hemos encontrado que el mpio. de Gabriel Zamora contiene sitios, en la muestra, muy accidentados. Lo quebrado del terreno no permite que el ganado tenga libre acceso a las especies del estrato inferior e influye en que haya mayor diversidad de especies. En este municipio la altitud sobre el nivel medio del mar tiende a ser mayor que en los de Nueva Italia y La Huacana. En lugares con altitudes moderadas, pH ligera o fuertemente alcalinos, suelos poco profundos y pendientes semiplanas, proliferan las gramíneas (Z. Invertido, Olotillo, Grama roja, Romerillo, Aceitilla y Panisillo). Algunas especies del estrato inferior, que en su mayoría son herbáceas no gramíneas, tienden a proliferar -aunque con poca diversidad- en lugares con una altitud de 300 a 600 m.s.n.m., terrenos muy quebrados y poco sombreados, suelos predominantemente ácidos o neutros y arenosos, con bajo contenido de calcio y fósforo.

## 6.2 Conclusiones.

Entre las conclusiones más importantes están:

- A. El análisis de correspondencias es útil en la ordenación de grandes tablas de datos, permite mostrar de manera gráfica las proximidades entre renglones y columnas de una tabla de contingencias.
- B. Es recomendable estudiar la tabla de descomposición de la inercia, las ayudas para la interpretación que ésta contiene, para detectar posibles elementos que deformen la representación geométrica.
- C. Es necesario comparar los resultados del análisis de correspondencias frente a otros enfoques equivalentes; por

ejemplo, "reciprocal averaging".

- 
- D. Pueden realizarse análisis de agrupamiento (usando la distancia euclidiana), a partir de las coordenadas principales de un análisis de correspondencias, siempre y cuando la representación factorial sea satisfactoria.
- E. Debe considerarse el manejo del ganado, en el levantamiento ecológico; ya que es un aspecto importante en el conocimiento de las relaciones fitosociológicas de las especies forrajeras.
- F. Debe tomarse en cuenta la historia del manejo del sitio, en su uso pecuario, forestal y agrícola, en el levantamiento ecológico.
- G. Debe tomarse en cuenta que el mpio. de Nueva Italia está representado por un sitio y para fines de inferencia esto no se considera representativo.
- H. Es posible realizar inferencias a partir de un análisis de correspondencias, bajo ciertas restricciones.



## BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, S.M. (1980). Una encuesta global en la rama agropecuaria como instrumento para la investigación. (Tesis doctoral - inédita) Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana, La Habana, Cuba, 130 pp.
- Austin, M.P. (1968). An ordination study of chalk grassland community. Journal of Ecology 56(3): 739-756.
- Benzécri, J.P. (1964). "Cour de Linguistique mathématique" (Publicación mimeografiada) Facultad de Ciencias de Rennes, -- Francia.
- Benzécri, J.P. (1972). "Sur L'analyse des tableaux binaires associés à un correspondance multiple". (Publicación mimeografiada) Lab. Stat. Math Université Pierre et Marie Curie, París.
- Benzécri, J.P. et al (1973). "L'Analyse des données", tomo 1: La Taxonomie, tomo 2: L'Analyse des correspondances". Ed Dunod París, 613 pp.
- Benzécri, J.P. & Benzécri F. (1980) "L'Analyse des correspondances: exposé élémentaire" Dunod, París.
- Blydestein, J. (1967). Tropical savana vegetation of the llanos - of Colombia. Ecology 48 (1): 1-150.

- Die, P.J. y Walker, B.H. (1980). Vegetation environment relations on sodic soil of Zimbabwe. Rhodesia Journal of Ecology 68: 589-606.
- Escofier-Cordier, B. (1965). L'Analyse des correspondances. (Tesis publicada en 1969). Cahiers du Bureau Universitaire - Recherche Operationnelle, No. 13.
- Espinoza A.J. (1984). "Estudio florístico de los agostaderos". (Mimeografiado) CIAPAC, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias SARH 103 pp.
- Fisher, R.A. (1940). The precision of discriminant functions. Ann. Eugen. Lond. 10: 422-429.
- Goldsmith, F.B. (1978). Interaction (competition) studies as step towards the synthesis of sea-cliff vegetation. Journal of Ecology, 66: 921-931.
- Greenacre, M.J. (1984). "Theory and applications of correspondence analysis". Academic Press, New York. 363 pp.
- Greenacre, M.J. y Vrba E.S. (1984). Graphical display and interpretation of antelope census data in african wildlife areas, using correspondence analysis. Ecology 65: (3): 984-997.

- Guttman, L. (1941). The cuantification of a class of atributes  
 a theory and method of scale construction.—En—"The Pre-  
 diction of Personnel Adjustment" (Horst, P., ed). pp 319-  
 348. New York.
- Harvard-Duclos, B. (1969). "Las plantas forrajeras tropicales".  
 Ed. Blume, Barcelona, España 380 pp.
- Hatheway, W.H. (1971). "Contingency-table analysis of rain fo--  
 rest vegetation" p. 271-313 en: G.P. Patil, E.C. Pielou  
 & W.E. Waters, ed. Statistical Ecology vol 3: Many  
 species populations, ecosystems and system analysis.  
 Pennsylvania State University Press, University Park and  
 London. 462 p.
- Hayashi C. (1950). On the quantification of qualitative data --  
 from the mathematical-statistical point of view. Ann.  
Inst. Statist. Math. 2: 35-47.
- Hill, H.O. (1973). Reciprocal averaging: and eigenvector method  
 of ordination. Journal of Ecology 61: 237-251.
- Hill, H.O. (1974). Correspondence analysis: a neglected multiva-  
 riate method. Appl. Statis. 23(3): 340-354.
- Hirschfeld, H.O. (1935). A connection between correlation and  
 contingency. Proc. Camb. Phil. Soc., 31: 520-524.
- Horst, P. (1935). Measuring complex attitudes. J. Social Psycholo-  
gy 6: 369-374.

- Ibañez, F. y Séguin G. (1972). Etude du cycle annuel du Zoo plancton d'Abidjan. Comparaison de plusieurs méthodes d'analyse multivariable: composantes principales, correspondances, coordonnées principales. Invest. Pesq. 36: 81-108.
- Iwao, S. y Kuno, E. (1971). "An approach to the analysis of aggregation patterns in biological populations". En statistical Ecology vol. I the Pennsylvania State Univ. Press.
- Lebart L., Morineau A., Tabard N. (1977). "Techniques de la description statistique: méthodes et logiciels pour l'analyse des grands tableaux". Ed Dunod, Paris.
- Lebart L. Morineau A., Fenélon J.P. (1982). "Traitement des données statistiques: méthodes et programmes". Ed Dunod, Paris.
- Legendre L. y Legendre P. (1979). "Ecologie Numerique: Tomo 2 La Structure des données ecologiques" Masson, les presses de L'Université du Québec.
- Nicholls, D.F. y Plucknett D.L. (1974). Relationships between some environmental factors and the distribution patterns of subtropical forage species in Hawaii. In: International grassland congress, 12th., Moscow. Proceedings. Moscow, Rusia. PP 221-233.
- Nishisato, S. (1980). "Analysis of categorical data: dual scaling and its applications". University of Toronto, Press, Toronto, Canada.

- Orl6ci L. (1975). "Multivariate analysis in vegetation research".  
 Dr-W. Junk B. W., The Hauge ix + 276 pp.
- Richardson, M. y Kuder, G. F. (1933). Making a rating scale that  
 measures. Personnel J. 12: 36-40.
- Roberts, C. R. (1980). Effects of stocking rate on tropical pas-  
 ture. Tropical grassland 14(3): 225-231.
- Torgerson, W. S. (1958). Theory and methods of scaling". New York  
 Wiley.
- Villegas, D. M. (1969). Estudio florístico y ecológico de las -  
 plantas arvenses de la parte meridional de la Cuenca. -  
 de México. And Esc. Nac. Cienc. Biol. IPN 18: 17-89. Mé-  
 xico.
- Walker, M.E. (1979). Análisis de algunas medidas de patrones es-  
 paciales. (Tesis de maestría inéd.) Inst. Invest. Mat.  
 Aplic. y Sist. UNAM. México.
- Wheeler, B. D. (1980). Plant communities of Pich-fen systems in  
 England and Wales. Journal of Ecology 68: 365.
- Whittaker, R. H. (1967). Gradient analysis of vegetation. Biol.  
Rev. 42: 207-264.

APENDICE A

Tabla 1.1	Especies en el estrato inferior	80
Tabla 1.2	Especies en el estrato medio y superior	81
Tabla 1.3	Descripción de variables del medio ambiente	82
Tabla 1.4	Matriz de sitios x especies	85
Tabla 1.5	Matriz de Sitios x modalidades de medio ambiente.	87
Tabla 1.6	Matriz de especies x modalidades de medio ambiente.	89
Fig. 1.1	Representación bidimensional óptima mediante el análisis de correspondencias de la tabla 1.4.	101
Fig. 1.2	Representación bidimensional óptima mediante el análisis de correspondencias de la tabla 1.6.	102

Tabla 1.1. Especies en el Estrato Inferior.

Etiqueta	Nombre de la Especie
E1	Jilotillo 1 ( <i>Hilaria belangeri</i> )
E2	Hierba del golpe 1 ( <i>Prunella</i> sp.)
E3	Vergonzosa ( <i>Neptunia</i> sp.)
E4	Centros
E5	Panicillo ( <i>Setaria</i> sp.)
E6	Oreganillo ( <i>Ruellia</i> sp.)
E7	Olivio ( <i>Evolvulus</i> sp.)
E8	Cemposúchitl
E9	Hierba maria
E10	Pegostilla ( <i>Desmodium</i> sp.)
E11	Hiedra ( <i>Ipomoea pulchella</i> )
E12	Pangüica ( <i>Sclerocarpus divaricatus</i> )
E13	Huevo de Toro ( <i>Tabernaemontana amigdalifolia</i> )
E14	Tomatillo ( <i>Physalis</i> )
E15	Olotillo ( <i>Tetramerium hispidum</i> )
E16	Triguillo ( <i>Panicum fasciculatum</i> )
E17	Platanillo 2
E18	Hierba del golpe 2
E19	Lentejilla ( <i>Aeschynomene</i> sp.)
E20	Z. Invertido ( <i>Boutelova aristidoides</i> )
E21	Riendilla ( <i>Elytraria imbricata</i> )
E22	Chiltoma
E23	Otatillo ( <i>Paspalum acuminatum</i> )
E24	Aceitilla ( <i>Boutelova repens</i> )
E25	Zacate gallo ( <i>Aristida</i> sp.)
E26	Romerillo 2
E27	Gramma roja ( <i>Boutelova</i> SP.)

Tabla-1.2. Especies en el Estrato Medio y Superior.

Etiqueta	Nombre de la Especie
E28	Nanche colorado
E29	Pata de venado ( <i>Bauhinia latifolia</i> )
E30	Calahuate. 2.
E31	Tecolotillo
E32	Uña de gato ( <i>Mimosa fasciculata</i> )
E33	Brasil ( <i>Haematoxylon brasileto</i> )
E34	Granadillo
E35	Tatana
E36	Tripa de judas
E37	Maca
E38	Nogalillo
E39	Tepehuaje ( <i>Lysiloma acapulcensis</i> )
E40	Canasangre ( <i>Apoplanesia paniculata</i> )
E41	Cueramo ( <i>Cordia eleagnoides</i> )
E42	Huizache cucharillo ( <i>Acacia farnesiana</i> )
E43	Serrecillo
E44	Catarnilla ( <i>Salpientus</i> sp.)
E45	Copal ( <i>Bursera excelsa</i> )
E46	Palo maría ( <i>Cordia</i> sp)
E47	Palo dulce
E48	Saivilla
E49	Palo rayado
E50	Frijolillo



Tabla 1.3. Descripción de Variables del Medio Ambiente.

## Variables de Sustrato

Variable / Descripción	Modalidad	Frecuencia
1.- pH DEL SUELO.		
De 6.2 a 6.72	A01	5
de 6.73 a 7.24	A02	7
de 7.25 a 7.76	A03	9
de 7.77 a 8.28	A04	2
de 8.29 a 8.80	A05	1
2.- PCT DE ARENA		
del 0 al 25%	B01	2
del 25.1 al 50%	B02	12
del 50.1 al 100%	B03	10
3.- PCT DE LIMO		
del 0 al 15%	C01	2
del 15.1 al 30%	C02	21
del 30.1 al 40%	C03	1
4.- PCT DE ARCILLA		
del 0 al 20%	D01	3
del 20.1 al 40%	D02	16
del 40.1 al 100%	D03	5
5.- Ca CO <sub>3</sub> EQUIV.		
de -7.06 al -4.81	E03	4
de -4.80 al -2.56	E02	12
de -2.55 al -.28	E01	8

Tabla 1.3. (Continuación).

Variable / Descripción	—Modalidad	Frecuencia
6.- PCT DE SATURACION		
de 36 a 45%	F01	6
de 45.1 a 55%	F02	5
de 55.1 a 65%	F03	8
de 65.1 a 75%	F04	5
7.- PCT DE MATERIA ORGANICA		
de 0.6 a 1.8%	G01	9
de 1.81 a 3.0%	G02	3
de 3.01 a 4.2%	G03	7
de 4.21 a 10.0%	G04	5
8.- NITROGENO TOTAL		
de .023 a .089	H01	1
de .090 a .155	H02	5
de .156 a .221	H03	8
de .222 a .600	H04	10
9.- FOSFORO (ppm)		
de 0 a 5.00	I01	16
de 5.01 a 15.50	I02	2
de 15.51 a 26.00	I03	6
10.- CALCIO (p.p.m.)		
de 200 a 400	J01	2
de 1000 a 1500	J02	2
de 1500 a 15000	J03	20

Tabla 1.3. (Continuación)

Variable / Descripción	Modalidad	Frecuencia
11.- pH DEL EXTRACTO DE SATURACION		
de 7.2 a 7.4	K01	4
de 7.41 a 7.8	K02	13
de 7.81 a 8.4	K03	7
12.- ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR		
de 150 a 375 m	L01	11
de 376 a 600 m	L02	11
de 800 a 900 m	L03	2
13.- PENDIENTE DEL TERRENO		
de 0 a 5 grados	M01	5
de 6 a 10 grados	M02	4
de 11 a 15 grados	M03	7
de 16 a 20 grados	M04	4
de 21 a 30 grados	M05	4
14.- PROFUNDIDAD DEL SUELO		
de 25 a 50 cm	N01	17
de 51 a 50 cm	N02	7
15.- SOMBREADO DE PLANTA		
Muy sombreado	O01	13
Sombreado	O02	6
Poco sombreado	O03	5

Tabla 1.4. Matriz-de-sitios-X Especies

E S P E C I E													
SITIO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13
S1	373	10	02	16	15	62	3	64	20	45	59	16	6
S2	173	55	14	8	0	180	8	32	45	31	20	14	16
S3	0	61	0	0	7	106	0	0	0	28		15	7
S4	11	14	0	0	0	28	0	0	14	50	32	76	6
S5	372	0	0	14	25	78	0	0	0	136	22	9	0
S6	0	24	0	19	17	70	0	0	37	55	25	0	19
S7	2178	0	86	7	0	0	10	10	19	494	25	19	0
S8	0	0	80	7	0	0	0	0	21	10	41	20	0
S9	0	17	22	11	0	16	10	13	72	28	45	0	0
S10	89	14	10	5	0	12	14	0	11	93	25	15	10
S11	0	0	0	0	0	26	0	0	0	48	0	0	0
S12	0	0	0	0	10	101	10	0	0	88	0	70	0
S13	0	0	0	0	12	22	11	0	0	167	0	30	0
S14	0	0	0	0	0	11	11	0	7	188	0	0	21
S15	26	0	0	0	10	30	0	0	0	271	0	33	0
S16	12	0	0	0	32	47	0	0	0	41	0	0	0
S17	45	0	0	0	98	18	0	0	0	26	0	11	0
S18	0	0	0	0	46	0	9	0	0	95	0	125	0
S19	166	0	0	0	12	6	6	0	0	32	0	0	0
S20	173	0	0	0	12	0	0	0	0	91	0	0	0
S21	61	0	0	0	0	0	0	0	0	148	0	22	0
S22	125	0	54	25	0	49	0	29	59	0	0	66	0
S23	560	0	41	17	0	0	18	0	22	35	0	13	0
S24	837	0	24	7	0	0	29	0	43	41	0	39	0
SITIO	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	
S1	15	20	20	16	0	0	0	0	0	0	0	0	
S2	16	0	10	86	69	9	6	30	11	0	0	0	
S3	7	0	5	206	37	0	28	8	0	0	0	0	
S4	0	0	30	34	0	0	0	21	0	6	0	0	
S5	26	33	0	0	0	15	0	10	11	0	53	0	
S6	0	0	0	14	71	12	0	43	0	12	0	19	
S7	0	0	0	0	6	11	0	9	11	52	108	0	
S8	0	0	0	0	33	0	0	6	6	39	138	0	
S9	0	0	6	0	0	0	0	11	0	86	46	30	
S10	0	0	0	10	12	18	0	23	0	17	179	0	
S11	0	0	0	0	11	0	0	54	0	0	30	14	
S12	20	0	0	0	0	0	84	38	0	0	306	31	
S13	21	0	10	0	28	12	49	9	0	0	25	0	
S14	22	0	0	0	5	0	230	92	9	0	0	0	
S15	12	46	0	0	0	0	21	31	0	0	64	0	
S16	0	21	0	0	0	0	19	7	0	0	235	44	
S17	0	12	0	0	0	0	124	11	0	0	472	33	
S18	0	35	0	0	14	0	243	155	41	59	0	39	
S19	13	49	0	0	0	0	252	36	0	0	10	12	
S20	0	80	21	0	0	0	7	29	0	0	177	10	
S21	0	48	0	0	0	0	0	32	29	0	388	0	
S22	0	0	0	19	15	21	0	12	0	63	0	0	
S23	0	0	0	12	11	0	0	50	45	86	44	23	
S24	0	0	0	0	9	0	0	54	26	33	83	0	

Tabla 1.4 (...Continuación)

## E S P E C I E

SITIO	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32	E33	E34	E35	E36	E37	E38
S1	0	0	7	21	63	71	15	3	1	3	26	6	3
S2	0	0	0	0	0	110	38	0	0	0	44	0	26
S3	0	0	0	0	4	12	29	0	0	0	16	4	17
S4	0	0	10	0	0	23	13	3	0	0	157	13	10
S5	0	0	22	0	30	13	0	0	0	0	52	43	0
S6	0	0	4	0	0	30	0	10	0	36	0	35	46
S7	0	0	0	0	0	0	0	8	0	64	0	0	32
S8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71	20	0	0
S9	0	0	0	0	0	27	49	12	0	0	0	0	51
S10	13	0	0	0	0	0	0	7	0	35	0	0	0
S11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0
S12	0	51	14	34	17	82	19	0	19	0	0	64	0
S13	59	21	0	17	0	153	9	0	0	0	61	0	0
S14	12	0	10	19	0	186	8	0	15	0	30	11	45
S15	28	341	13	0	0	95	14	0	13	0	29	0	0
S16	36	0	9	33	19	24	0	0	27	0	0	204	77
S17	22	389	0	46	0	36	0	0	18	0	0	0	27
S18	0	0	10	24	0	124	18	50	34	0	21	0	0
S19	0	13	0	0	0	10	0	0	49	0	0	14	71
S20	86	35	14	0	0	19	0	0	0	0	39	36	10
S21	36	78	20	0	0	126	0	19	15	0	22	0	0
S22	0	0	0	0	28	35	20	27	0	50	40	0	66
S23	14	0	0	0	0	0	0	15	0	204	31	9	31
S24	35	0	0	0	99	0	0	31	0	0	0	0	44

SITIO	E39	E40	E41	E42	E43	E44	E45	E46	E47	E48	E49	E50
S1	17	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	7	7	94	6	6	6	0	0	0	0	0	0
S3	15	20	63	0	0	14	4	6	0	0	0	0
S4	0	11	46	0	0	35	0	0	0	0	0	0
S5	0	0	0	3	42	6	10	11	38	29	0	0
S6	138	0	0	0	17	0	0	0	0	0	9	0
S7	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	11	0
S8	0	0	0	15	0	0	12	0	0	11	13	0
S9	89	0	122	23	0	19	19	0	36	0	47	0
S10	42	0	0	0	0	0	0	0	0	11	79	0
S11	18	12	245	55	8	0	0	12	0	0	0	9
S12	0	191	23	0	40	18	0	85	14	0	0	81
S13	0	13	201	0	56	33	0	0	0	19	0	58
S14	0	129	342	0	16	0	0	0	0	54	0	21
S15	0	27	38	21	121	8	0	9	0	8	0	16
S16	0	55	22	16	0	24	18	40	17	15	0	21
S17	0	27	175	0	16	14	0	0	33	43	0	21
S18	0	50	0	14	0	46	10	0	0	19	15	0
S19	0	29	80	25	0	211	10	0	22	217	11	80
S20	0	19	14	79	0	71	0	7	28	242	0	0
S21	0	9	0	54	0	18	0	0	20	39	0	0
S22	16	0	11	0	0	0	10	0	0	0	17	0
S23	11	0	0	23	0	0	11	0	0	0	23	0
S24	42	0	0	51	0	4	0	0	0	0	37	0

(Consultar tablas 1.1 y 1.2 para los nombres de las especies)

Tabla 1.5 Matriz de Sitios x Modalidades de Medio Ambiente.  
 Las Variables del Sustrato, son de la A a la K y las del Medio Ambiente Físico,  
 son de la L a la O. Consulte la Tabla 1.3 de este Anexo para el sig. de las Letras.

SITIO	Modalidades de Medio Ambiente																								
	A	A	A	A	A	B	B	B	C	C	C	D	D	D	E	E	E	F	F	F	F	G	G	G	G
S1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
S2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
S3	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
S4	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
S5	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
S6	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
S7	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
S8	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
S9	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
S10	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
S11	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
S12	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
S13	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
S14	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
S15	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
S16	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
S17	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
S18	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
S19	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
S20	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
S21	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
S22	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
S23	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
S24	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0

Tabla 1.5 (Continuación)

SITIO	Modalidades de Medio Ambiente																									
	H	H	H	H	I	I	I	J	J	J	K	K	K	L	L	L	M	M	M	M	N	N	O	O	O	
S1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
S2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
S3	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
S4	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
S5	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
S6	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
S7	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
S8	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
S9	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
S10	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
S11	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
S12	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
S13	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
S14	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
S15	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
S16	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
S17	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
S18	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
S19	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
S20	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
S21	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
S22	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
S23	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
S24	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0

Tabla 1.6 Matriz de Especies x Modalidades de Medio Ambiente

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14
A01	1099	86	150	38	0	208	70	54	192	203	140	88	26	16
A02	3608	34	263	98	103	254	45	112	157	860	131	248	25	41
A03	283	75	0	0	71	353	21	0	21	953	36	216	34	61
A04	166	0	0	0	24	35	17	0	0	199	0	30	0	34
A05	45	0	0	0	98	18	0	0	0	26	0	11	0	0
B01	372	0	0	14	25	99	0	0	0	184	22	9	0	26
B02	3618	140	178	66	156	502	69	80	210	1540	83	249	63	78
B03	1211	55	235	56	115	267	84	86	160	517	202	335	22	48
C01	0	0	80	7	0	26	9	0	21	58	41	20	0	0
C02	5076	195	279	104	296	793	144	137	290	2183	266	507	85	152
C03	125	0	54	25	0	49	0	29	59	0	0	66	0	0
D01	560	17	143	35	0	16	37	13	115	73	86	33	0	0
D02	2046	154	184	61	156	665	106	134	199	1409	149	521	66	126
D03	2595	24	86	40	140	187	10	19	56	759	72	39	19	26
E01	1570	24	65	43	29	70	47	9	102	222	25	52	19	0
E02	980	72	90	58	235	483	44	74	176	1023	96	310	16	88
E03	2651	99	258	35	32	315	62	83	92	996	186	231	50	64
F01	1582	17	87	35	90	63	66	13	137	331	45	177	0	0
F02	738	65	96	24	37	298	33	96	72	567	88	63	43	78
F03	145	113	90	31	144	359	44	18	83	517	127	237	42	48
F04	2736	0	140	46	25	148	10	39	78	826	47	116	0	26
G01	2089	41	179	56	167	256	89	86	168	488	129	164	15	35
G02	199	55	14	8	56	219	17	32	45	397	29	172	16	28
G03	166	85	80	26	48	248	37	9	65	528	70	65	47	63



Tabla 1.6 Matriz de Especies x Modalidades de Medio Ambiente (Continuación)

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14
G04	2747	14	140	46	25	145	10	39	92	828	79	192	6	26
H01	166	0	0	0	12	6	6	0	0	32	0	0	0	13
H02	1815	10	147	40	123	181	65	64	85	235	59	149	6	35
H03	300	31	112	23	100	140	42	22	104	677	111	193	10	12
H04	2920	154	154	73	61	541	40	80	181	1297	137	251	69	92
I01	4925	120	413	136	213	517	126	166	356	1416	271	347	72	79
I02	166	0	0	0	24	35	17	0	0	199	0	30	0	34
I03	110	75	0	0	59	316	10	0	14	626	36	216	13	39
J01	89	31	32	16	0	28	24	22	83	121	70	15	10	0
J02	373	10	162	23	15	62	17	64	41	55	100	36	6	15
J03	4739	154	219	97	281	778	112	80	246	2065	137	542	69	137
K01	2377	55	180	22	10	219	27	42	85	806	95	86	16	28
K02	2829	116	151	98	103	500	81	60	244	832	121	249	36	53
K03	595	24	82	16	183	149	45	64	41	603	91	258	33	71
L01	483	0	0	0	232	277	47	0	7	1195	0	291	21	88
L02	2540	195	247	122	64	591	87	156	323	542	241	263	64	64
L03	2178	0	166	14	0	0	19	10	40	504	66	39	0	0
M01	2637	0	86	21	35	138	10	10	19	1097	47	83	0	38
M02	882	17	46	18	110	63	50	13	115	262	45	80	0	21
M03	855	79	150	49	83	415	35	125	138	400	120	367	28	51
M04	178	85	0	19	68	229	6	9	37	156	29	15	26	20
M05	649	14	131	29	0	23	52	9	61	326	66	48	31	22
N01	2362	171	155	101	259	729	112	83	299	1189	157	490	69	125
N02	2839	24	258	35	37	139	41	83	71	1052	150	103	16	27
O01	1128	126	150	49	198	635	54	125	131	933	92	244	50	114

Tabla 1.6 Matriz de Especies x Modalidades de Medio Ambiente (Continuación)

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14
002	3502	14	209	40	35	124	62	19	94	1045	113	135	10	38
003	571	55	63	47	63	109	37	22	145	263	102	214	25	0

Tabla 1.6 Matriz de Especies x Modalidades de Medio Ambiente. (Continuación)

	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27
A01	0	16	96	123	27	6	124	43	180	446	30	48	0
A02	88	20	61	117	59	243	279	108	272	205	81	14	0
A03	195	56	240	53	0	389	312	38	6	1200	99	198	505
A04	49	10	0	28	12	301	45	0	0	35	12	59	34
A05	12	0	0	0	0	124	11	0	0	472	33	22	389
B01	33	0	0	11	15	0	64	11	0	83	14	0	0
B02	186	46	325	240	65	465	360	86	165	1317	62	278	864
B03	125	56	72	70	18	598	347	92	293	958	179	63	64
C01	0	0	0	44	0	0	60	6	39	168	14	0	0
C02	344	102	378	262	77	1063	699	183	356	2190	241	341	928
C03	0	0	19	15	21	0	12	0	63	0	0	0	0
D01	0	6	12	44	0	0	67	51	211	228	53	14	0
D02	299	96	371	189	60	939	577	116	183	1467	136	305	539
D03	45	0	14	88	38	124	127	22	64	663	66	22	389
E01	80	21	26	91	12	7	176	71	136	304	52	135	35
E02	244	26	105	137	57	714	398	92	208	1323	172	181	842
E03	20	55	266	93	29	342	197	26	114	731	31	25	51
F01	136	27	12	34	0	269	306	112	269	585	146	171	35
F02	115	30	102	74	9	509	189	20	0	74	12	40	354
F03	12	45	264	181	42	285	159	6	74	1120	93	94	461
F04	81	0	19	32	47	0	117	51	115	579	14	36	78

Tabla 1.6 Matriz de Especies x Modalidades de Medio Ambiente. (Continuaci6n).

	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27
G01	133	47	38	32	18	234	223	71	227	1542	171	206	475
G02	81	10	86	83	9	270	216	52	59	64	39	28	341
G03	49	15	220	185	24	559	248	15	51	203	45	71	34
G04	81	30	53	21	47	0	84	51	121	549	0	36	78
H01	49	0	0	0	0	252	36	0	0	10	12	0	13
H02	32	20	28	20	0	208	153	71	124	905	87	71	440
H03	182	27	10	70	18	290	316	47	201	869	137	163	376
H04	81	55	359	231	80	313	266	71	133	574	19	107	99
I01	180	57	157	256	86	610	589	160	452	1330	168	182	424
I02	49	10	0	28	12	301	45	0	0	35	12	59	34
I03	115	35	240	37	0	152	137	29	6	993	75	100	470
J01	0	6	10	12	18	0	34	0	103	225	30	13	0
J02	20	20	16	33	0	0	6	6	39	138	0	0	0
J03	324	76	371	276	80	1063	731	183	316	1995	225	328	928
K01	46	10	86	108	20	27	76	28	91	310	0	28	341
K02	182	32	261	166	66	138	371	111	302	1541	171	220	164
K03	116	60	50	47	12	898	324	50	65	507	84	93	423
L01	291	31	0	58	12	1029	494	79	59	1707	183	279	928
L02	53	71	397	224	75	34	262	93	308	405	72	62	0
L03	0	0	0	39	11	0	15	17	91	246	0	0	0
M01	127	0	0	17	26	21	136	51	52	643	14	64	419
M02	12	16	0	37	12	173	85	26	124	626	63	116	410
M03	135	81	155	98	30	340	285	52	128	483	80	86	86
M04	70	5	220	108	12	299	94	0	12	245	75	36	13
M05	0	0	22	61	18	230	171	60	142	361	23	39	0

Tabla 1.6 Matriz de Especificaciones x Modalidades de Medio Ambiente. (Continuación).

	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27		
N01	198	61	371	11	25	9	69	1035	619	172	350	1662	231	214	552
N02	146	41	11	16	6	2	29	28	152	17	108	696	24	127	376
001	230	66	327	17	16	5	42	299	358	49	63	1643	144	251	587
002	79	0	11	10	6	0	44	21	133	54	146	625	0	76	341
003	35	36	61	10	9	6	12	243	280	86	249	90	111	14	0

Tabla 1.6 Matriz de Especies x Modalidades de Medio Ambiente

	E28	E29	E30	E31	E32	E33	E34	E35	E36	E37	E38	E39	E40
A01	0	0	108	137	87	50	0	106	64	0	121	180	7
A02	43	45	130	273	53	113	35	357	170	93	178	182	57
A03	90	86	40	567	83	22	89	0	331	332	159	33	473
A04	0	17	0	163	0	0	49	0	61	14	71	0	42
A05	0	46	0	36	0	0	18	0	0	0	27	0	27
B01	22	0	39	13	0	0	0	0	90	43	0	18	12
B02	61	82	131	802	109	95	61	150	281	86	313	218	251
B03	50	112	108	361	114	90	130	313	255	310	243	159	343
C01	0	0	9	0	0	0	0	71	58	0	0	18	12
C02	133	194	241	1141	203	158	191	342	528	439	490	361	594
C03	0	0	28	35	20	27	0	50	40	0	66	16	0
D01	0	0	9	27	49	27	0	275	51	9	82	100	0
D02	107	148	230	1070	174	140	173	88	485	352	369	139	567
D03	26	46	39	79	0	18	18	100	90	78	105	156	39
E01	18	0	99	49	0	56	0	240	70	80	131	191	19
E02	74	120	86	753	139	108	156	50	307	261	318	130	229
E03	41	74	93	374	84	21	35	173	249	98	107	74	358
F01	33	57	118	194	67	108	61	204	91	249	213	142	124
F02	30	40	63	472	75	3	78	3	120	31	145	24	199
F03	28	97	30	336	61	20	37	142	254	116	100	195	262
F04	42	0	67	174	20	54	15	114	152	43	98	34	21
G01	44	134	198	259	83	68	65	242	96	319	243	201	299
G02	23	24	0	329	70	50	47	0	94	0	26	7	84

Tabla 1.6 Matriz de Especies x Modalidades de Medio Ambiente.

	E28	E29	E30	E31	E32	E33	E34	E35	E36	E37	E38	E39	E40
G03	14	36	13	391	37	10	64	107	165	64	179	171	203
G04	52	0	67	197	33	57	15	114	271	56	108	16	20
H01	0	0	0	10	0	0	49	0	0	14	71	0	29
H02	21	101	179	189	34	49	38	207	57	79	105	70	225
H03	46	57	28	289	81	69	74	106	147	240	138	149	163
H04	66	36	71	688	108	67	30	150	422	106	242	176	189
I01	67	110	238	651	148	163	68	463	341	140	381	380	251
I02	0	17	0	163	0	0	49	0	61	14	71	0	42
I03	66	67	40	362	75	22	74	0	224	285	104	15	373
J01	0	0	0	27	49	19	0	35	0	0	51	131	0
J02	7	21	72	71	15	3	1	74	46	6	3	17	7
J03	126	173	206	1078	159	163	190	354	580	433	502	247	599
K01	13	0	9	205	52	8	13	135	93	0	58	7	34
K02	83	67	206	368	117	121	61	325	238	395	342	371	300
K03	37	127	63	603	54	56	117	3	295	44	156	17	266
L01	90	173	36	855	59	69	190	0	240	329	230	18	561
L02	43	21	233	321	164	108	1	328	366	110	294	377	45
L03	0	0	9	0	0	8	0	135	20	0	32	0	0
M01	55	0	39	234	14	27	28	64	141	43	32	18	48
M02	0	63	99	216	49	43	18	0	61	0	122	131	40
M03	55	79	108	464	123	83	54	53	327	119	115	40	285
M04	13	33	23	76	29	10	76	36	16	257	211	153	104
M05	10	19	9	186	8	22	15	310	81	20	76	53	129
N01	99	173	206	991	194	167	177	290	474	397	511	318	541
N02	34	21	72	185	29	18	14	173	152	42	45	77	65

Tabla 1.6 Matriz de Especies x Nodalidades de Medio Ambiente

	E28	E29	E30	E31	E32	E33	E34	E35	E36	E37	E38	E39	E40
001	74	170	131	864	129	49	144	53	316	339	342	73	518
002	35	0	147	108	14	46	13	170	101	43	76	84	27
003	24	24	0	204	80	90	34	240	209	57	138	238	61



Tabla 1.6 Matriz de Especies x Modalidades de Medio Ambiente

	E41	E42	E43	E44	E45	E46	E47	E48	E49	E50
A01	216	95	6	29	31	0	36	22	176	0
A02	18	40	59	52	85	11	38	48	75	0
A03	793	225	185	188	22	159	79	358	0	148
A04	281	25	56	244	10	0	22	236	11	138
A05	175	0	16	14	0	0	33	43	0	21
B01	245	58	50	6	10	23	38	29	0	9
B02	938	211	232	168	58	22	81	405	74	116
B03	300	116	40	353	80	125	89	273	188	182
C01	245	70	8	0	12	12	0	11	13	9
C02	1227	315	314	527	126	158	208	696	232	298
C03	11	0	0	0	10	0	0	0	17	0
D01	122	61	0	19	42	0	36	11	83	0
D02	941	266	239	488	52	147	101	624	159	277
D03	420	58	83	20	54	23	71	72	20	30
E01	14	153	17	75	11	7	28	242	69	0
E02	988	217	249	385	77	72	166	389	90	205
E03	481	15	56	67	60	91	14	76	103	102
F01	158	206	0	164	58	47	81	276	122	21
F02	561	52	143	225	10	9	22	279	11	117
F03	508	15	129	114	16	91	47	84	101	160
F04	256	112	50	24	64	23	58	68	28	9
G01	363	192	56	150	48	132	128	311	186	123
G02	132	41	127	60	10	9	0	27	15	16

Tabla 1.6 Matriz de Especies x Modalidades de Medio Ambiente

	E41	E42	E43	E44	E45	E46	E47	E48	E49	E50
G03	931	95	97	258	26	18	22	301	33	168
G04	57	57	42	59	64	11	58	68	28	0
H01	80	25	0	211	10	0	22	217	11	80
H02	205	74	56	36	11	85	47	43	60	102
H03	441	223	129	168	59	68	81	306	154	46
H04	757	63	137	112	68	17	58	141	37	79
I01	1010	269	105	166	116	30	135	409	251	51
I02	281	25	56	244	10	0	22	236	11	138
I03	192	91	161	117	22	140	51	62	0	118
J01	122	23	0	19	19	0	36	11	126	0
J02	7	15	0	0	12	0	0	11	13	0
J03	1354	347	322	508	117	170	172	685	123	307
K01	132	42	127	14	56	9	0	19	24	16
K02	500	304	107	174	72	161	153	336	212	111
K03	851	39	88	339	20	0	55	352	26	180
L01	1140	264	257	443	38	153	134	656	26	307
L02	343	106	65	84	54	17	74	40	212	0
L03	0	15	0	0	56	0	0	11	24	0
M01	283	133	171	32	54	32	58	76	11	25
M02	498	74	72	70	19	0	69	62	84	79
M03	195	99	46	176	20	92	42	261	32	81
M04	165	41	17	249	32	46	39	232	20	101
M05	342	38	16	0	23	0	0	76	115	21
N01	1179	215	193	448	92	142	180	435	159	282

Tabla 1.6 Matriz de Especies x Modalidades de Medio Ambiente

	E41	E42	E43	E44	E45	E46	E47	E48	E49	E50
N02	304	170	129	79	56	28	28	272	103	25
O01	1277	235	142	409	42	150	134	629	28	291
O02	38	90	163	18	66	20	38	59	150	16
O03	168	60	17	100	40	0	36	19	94	0

$$\lambda_2 = .321$$

$$\tau_2 = 13\%$$

E17

E2

S3S2E13  
E32

E6

S4  
E16

E18

E36

E8

S6S1

E14

E41

S11S14

E31

S13

E40

E20

E50

S19

E34

 $\lambda_1 = .445$  $\tau_1 = 18\%$ 

E12

E21

S18S12

E29

S15

E48

E39

E11

E19

S9

E38

S5E28  
E87S16

E15

S17

E27

E9

S22

E4

E30

E7

E33

S10

E45

E22

S24

E22

S7

E25

E47

E26

E5

S20

E42

E24

S21

E3

E23

S23

E49

S8

E1

eje I: escala

'100'

eje II: escala

'250'

E35

Fig. 1.1 Representación bidimensional óptima mediante el análisis de correspondencias de la Tabla 1.4.



## APENDICE B

- |  |     |
|--|-----|
| 1) Instructivo para uso del MACRO CORRP.                 | 104 |
| 2) Programa para el análisis de correspondencias, CORRP. | 106 |
| 3) Tablas de Lebart.                                     | 107 |

## 1) Uso del MACRO CORRP.

El Macro CORRP, se encuentra catalogado en una biblioteca de programas grabados en el disco INIAS1, en la máquina IBM - 4341 del Centro de Estadística y Cálculo - Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

El programa espera una matriz de números positivos, de I renglones y J columnas ( $I \cdot J < 80000$ ). Cuando el usuario proporciona una matriz con números decimales, el programa los analiza como tales, aún cuando éstos aparecen impresos redondeados a enteros. Se sugiere que los nombres de los renglones vayan en el encabezado de cada renglón. Los nombres de las columnas se declaran en el formato de lectura, INPUT.

Puesto que los renglones y columnas juegan papeles análogos, el programa reconoce como renglones I a aquellos que cumplan la condición  $I > J$ , de otra manera transpone la matriz original. Ello no altera los resultados

El usuario debe especificar el número de factores que desea se impriman, mediante el parámetro  $N=x$  (donde x es un entero positivo menor que 7). La salida de resultados se reporta como en las Tablas (a), (b) y (c) del §4.8 de este trabajo.

A continuación se presenta un ejemplo usando los datos del ejemplo numérico, §4.8.

```
//Nom.Trab JOB (xxxxxxx,yyy),usuario,CLASS=F, M=640
// TIME=1,MSGLEVEL=(2,0) PW=ZZZZ D=INIAS1
// EXEC SAS
//ICP DD DSN=I.ICP,DISP=SHR,UNIT=3340,VOL=SER=INIAS1
//SYSIN DD DSN=I.MMM,DISP=SHR,UNIT=3340,VOL=SER=INIAS1
// DD *
```

```
DATA A ; N=2; INPUT H$ C1 - C3 ;
```

```
CARDS ;
```

```
H1 5 4 11
```

```
H2 5 16 10
```

```
H3 4 20 25
```

```
CORRP
```

```
/*
```

```
//
```

donde

xxxxxxx ..... Número de cuenta.

yyy ..... Número de subcuenta.

ZZZZ ..... Palabra clave asignada

**Nota:** el DATA declarado siempre debe ser A; en el INPUT el formato de lectura de nombres por renglón, siempre debe ser H\$.





3) Tablas de Lebart.

