

ESTUDIO ECOLOGICO DE LAS ZONAS CAFETALERAS DE VERACRUZ, PUEBLA, HIDALGO Y TAMAULIPAS. EVALUACION ESTADISTICA DE LOS MUESTREOS

Gerald G. Marten¹
Luis A. Sancholuz²

Resumen

Se analizan 92 muestras de vegetaciones, suelos y técnicas de cultivo en cafetales del estado de Veracruz y estados vecinos. Algunos de los componentes de manejo, tales como niveles de fertilizaciones, podas, chapeos y aplicación de pesticidas, se muestran altamente correlacionados entre sí. El conjunto de técnicas intensivas de cultivo, a su vez, está asociado con las grandes plantaciones y los mayores rendimientos de café. Los rendimientos estimados varían desde 200 kg/ha hasta 8500 kg/ha.

A pesar de la existencia de tipos discretos de suelos y clima, así como de asociaciones de árboles de sombra y de frutales intercalados, las correlaciones entre los tipos y las asociaciones fueron débiles excepto cuando las correlaciones se debían a patrones altitudinales. También se notó muy poca relación estadística entre estos factores ecológicos y los rendimientos en café.

Las únicas relaciones importantes fueron tendencias hacia bajos rendimientos en presencia de otros frutales intercalados y hacia rendimientos mayores en presencia de algunos árboles de sombra. Las plagas fueron más comunes en las plantaciones que usaban más pesticidas, y las enfermedades por hongos fueron más frecuentes en plantaciones con podas intensas.

No se pudo concluir nada firme de la relación entre la condición del suelo (erosión) y varios factores ecológicos y de manejo. Sin embargo, los datos sugieren que algunos elementos de la tecnología intensiva (fertilización) están asociadas con las mejores condiciones ecológicas y otros (podas) con las peores.

Palabras clave: cafetal, manejo agrícola, análisis estadístico multivariado, análisis de conglomerado, erosión, suelos, rendimiento.

Summary

Ninety-two coffee plantations in Veracruz and adjacent states were sampled for vegetation, soil, and cultivation techniques. Elements of cultivation techniques such as intensity of fertilization, pruning, weeding, and pesticide application were highly correlated within themselves, forming a "package" of high intensity techniques associated with both large plantations and high coffee yields. Yields ranged from 200 kg/ha to 8500 kg/ha.

Although discrete types of soils and climates and discrete associations of shade trees and intermixed fruit trees were identified, correlations between coffee variety, associated plants, soil and climate were weak, except to the extent that they were due to altitudinal patterns.

Furthermore, there was little relation between any of these ecological factors and coffee yields, except that yields tended to be lower in the presence of intermixed fruit trees. Shade trees had no such effect on yield and may in fact stimulate coffee production. Insect

¹ Actualmente en East-West Center, Environment and Policy Institute, 1777 East-West Road, Honolulu, Hawaii 968-48.

² Actualmente en Institute of Animal Resource Ecology, The University of B. C. Vancouver.

attacks were more conspicuous on plantations which used pesticides, and fungus problems were more frequent on plantations with intense pruning.

The relation of soil condition (signs of erosion) to the various ecological and management factors was inconclusive, but the data suggest that some elements of intensive technology (such as fertilization) are associated with better soil conditions and others (such as weeding) are associated with worse condition.

Key words: coffee plantations, agricultural management, erosion, soils, agricultural yield, multivariate statistical analysis, cluster analysis.

PRESENTACION

El presente trabajo se efectuó con la idea de evaluar estadísticamente los datos de los muestreos efectuados por las tres brigadas de campo del estudio ecológico de gran visión de las zonas cafetaleras de Veracruz y estados vecinos (Primera etapa) que realizó el INIREB.

Desafortunadamente, en la actualidad no contamos con métodos precisos para estudios ecológicos de grandes áreas.

Los pocos disponibles (Miranda, *et al.*, 1967)* están destinados al estudio de la vegetación natural y su dinámica hipotética.

En el caso de los agroecosistemas el problema es aún mayor, ya que se confunden dos aspectos fundamentales: el medio ambiente ecológico natural en donde se desenvuelven (clima, suelo, vegetación) y el manejo que el hombre hace de esos

el trabajo de las brigadas trató de muestrear tanto las principales zonas ecológicas como los sistemas de manejo más comunes.

Dado que los datos obtenidos en los muestreos se pueden considerar como muestras tomadas al azar, se consideró interesante tratar la información estadísticamente y ver si este tipo e intensidad de muestreo podría ser suficiente para nuestro propósito de encontrar algunos de los parámetros ecológicos y de manejo agronómico en función de la producción de café en cereza.

Es necesario indicar que el trabajo de campo no se planeó con el objeto de analizar estadísticamente los datos sino con el de tener un conocimiento general de las distintas condiciones ecológicas y de manejo en que se encuentran los cafetales en el área estudiada.

Tomando en cuenta estos dos aspectos,

Arturo Gómez-Pompa

*Miranda, F.; Gómez-Pompa, A. y Hernández X. E. 1967. Un método para la investigación ecológica de las regiones tropicales. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México, 38, Ser. Bot. (1): 101-110.

INTRODUCCION

El programa de Agroecosistemas del Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos emprendió una encuesta sobre cultivo del café en los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla y Veracruz. Los objetivos del estudio fueron:

- i) Aclarar el rango de condiciones ecológicas adecuadas para el cultivo de café,
- ii) Identificar las consecuencias ecológicas de varios sistemas de cultivo de café.

La encuesta consistió en 92 muestras, cada una tomada de un terreno considerado subjetivamente típico de los municipios muestreados. En algunos casos se tomó más de una muestra para obtener una mejor representación del municipio. Cada muestra se basó en observaciones directas del equipo de muestreo, así como en la información proporcionada al equipo por el productor.

En el presente trabajo presentamos el análisis estadístico de las 92 muestras de la encuesta. Como no podemos plantear los resultados de este análisis como finales — debido a que el muestreo fue limitado—, el propósito principal de este artículo es ilustrar algunos métodos de análisis estadístico apropiados para resumir y presentar los resultados de una encuesta de esta índole (Cooley y Lohnes 1971).

Pensamos sin embargo, que los resultados que se presentarán a continuación reflejan adecuadamente a los terrenos muestreados y demuestran el potencial de este tipo de análisis para tratar patrones ecológicos complejos en una forma comprensible y relativamente simple, inclusive con un mínimo de datos.

Tratamiento de Datos

Cada muestra contaba con 61 preguntas.

Muchas de las preguntas podían generar una variedad de respuestas; por ejemplo, ¿Qué tamaño de piedras hay en el suelo?, podía resultar en una de tres: 1 roca, 2 cantos, ó 3 gravas.

Debido a que no se pueden calcular coeficientes de correlación sobre la base de variables categóricas, para los propósitos del análisis cada variable categórica se descompuso en una variable de "presencia" o "ausencia" en el mismo ejemplo; "tamaño de piedras" se descompuso en otras tres variables: "rocas-cantos-grava".

A la presencia de rocas en una muestra se le dio valor 1. La ausencia de rocas se le dio valor 0. Las preguntas con respuestas numéricas (tales como rendimiento en kilogramos por hectárea) no sufrieron transformación alguna.

Como resultado de esta clasificación se obtuvieron 160 variables que se presentan en la Tabla 1.

Algunas preguntas no tuvieron respuesta en ninguna de las muestras; el número de muestras correspondiente a cada variable se indica en la última columna de la Tabla 1. También se calcularon medias, errores estándares, y valores máximos y mínimos de todas las variables.

En el caso de variables categóricas, el promedio en la Tabla 1 corresponde simplemente a la proporción de muestras con valor 1 en la variable citada. Todos los cálculos se realizaron utilizando el paquete estadístico BIOMED (serie P) (Dixon y Brown, 1979) en una computadora IBM 370, gentilmente cedida por la Tesorería del Estado de Veracruz.

Características de los Cafetales Muestreados

Los datos presentados en la Tabla 1 permiten hacer las siguientes observaciones: el

TABLA 1.
LISTA DE VARIABLES ORIGINALES

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>Error ST.</i>	<i>Valor menor</i>	<i>Valor mayor</i>	<i>Número de Muestras</i>
<i>Variables Ecológicas</i>					
1. Longitud	97.30	7.93	96.40	99.04	92
2. Latitud	19.59	9.40	18.37	21.30	92
3. Altitud	856.49	43.3	12.0	1670.00	91
Tipos de Vegetación					
4. Bosques de pino	0.043	0.02	0.0	1.0	92
5. Bosques de pino encino	0.043	0.02	0.0	1.0	92
6. Bosque caducifolio	0.359	0.05	0.0	1.0	92
7. Encinar	0.109	0.03	0.0	1.0	92
8. Selva baja caducifolia	0.033	0.01	0.0	1.0	92
9. Selva mediana perennifolia	0.076	0.02	0.0	1.0	92
10. Selva mediana subperennifolia	0.272	0.04	0.0	1.0	92
11. Selva alta subperennifolia	0.087	0.02	0.0	1.0	92
Tipo de Relieves					
12. Regular	0.696	0.04	0.0	1.0	92
13. Ondulado	0.163	0.03	0.0	1.0	92
14. Cóncavo	0.033	0.01	0.0	1.0	92
15. Convexo	0.076	0.02	0.0	1.0	92
16. Cóncavo-convexo	0.043	0.02	0.0	1.0	92
Localización de la Pedregosidad					
17. Pedregosidad profunda	0.659	0.05	0.0	1.0	88
18. Pedregosidad superficial	0.330	0.05	0.0	1.0	88
Tamaños de Piedras					
19. Bloques	0.389	0.05	0.0	1.0	90
20. Cantos	0.544	0.05	0.0	1.0	90
21. Gravas	0.600	0.05	0.0	1.0	90
22. Permeabilidad	2.043	0.06	0.0	3.0	92
Textura Superficial					
23. Arcilloso	0.087	0.02	0.0	1.0	92
24. Arcilla media	0.022	0.01	0.0	1.0	92
25. Migajón arcilloso	0.109	0.03	0.0	1.0	92
26. Arcillo limoso	0.120	0.03	0.0	1.0	92
27. Arcillo arenoso	0.065	0.02	0.0	1.0	92
28. Franco arcilloso	0.304	0.04	0.0	1.0	92
29. Limoso	0.011	0.01	0.0	1.0	92
30. Migajón limoso	0.011	0.01	0.0	1.0	92
31. Franco arenoso	0.033	0.01	0.0	1.0	92
32. Franco	0.217	0.04	0.0	1.0	92
Textura en Profundidad					
33. Arcilloso	0.416	0.05	0.0	1.0	89
34. Arcilla media	0.258	0.04	0.0	1.0	89
35. Migajón arcilloso	0.045	0.02	0.0	1.0	89
36. Arcillo limoso	0.056	0.02	0.0	1.0	89
37. Arcillo arenoso	0.124	0.03	0.0	1.0	89
38. Franco arcilloso	0.090	0.03	0.0	1.0	89
39. Franco	0.011	0.01	0.0	1.0	89
40. Profundidad	1.389	0.08	0.0	2.0	90
41. Porcentaje pedregosidad	22.505	2.42	0.0	85.0	89
42. pH orgánico	61.791	0.66	45.0	80.0	91
43. pH bajo orgánico	60.677	0.76	40.0	80.0	90
44. Pendiente****	36.659	3.22	0.0	120.0	91
Material Parental					
45. Roca calcárea	0.225	0.04	0.0	1.0	71
46. Aluvión	0.338	0.05	0.0	1.0	71
47. Basalto	0.070	0.03	0.0	1.0	71
48. Roca mármol	0.028	0.01	0.0	1.0	71

TABLA 1. (continuación)

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>Error ST.</i>	<i>Valor menor</i>	<i>Valor mayor</i>	<i>Numero de muestras</i>
49. Lutita	0.127	0.03	0.0	1.0	71
50. Sedimentaria	0.282	0.05	0.0	1.0	71
Variedad de Café*					
51. Arábigo	0.51	0.05	0.0	1.0	91
52. Criollo	0.41	0.05	0.0	1.0	91
53. Bourbón	0.49	0.05	0.0	1.0	91
54. Caturra	0.41	0.05	0.0	1.0	91
55. Mundo novo	0.20	0.05	0.0	1.0	91
56. Robusta	0.01	0.04	0.0	1.0	91
Variedad de Sombra*					
57. Vainillo	0.264	0.04	0.0	1.0	91
58. Chalahuite	0.648	0.50	0.0	1.0	91
59. Huizache	0.110	0.03	0.0	1.0	91
60. Jinicuil	0.176	0.04	0.0	1.0	91
61. Grevilea	0.033	0.01	0.0	1.0	91
62. Nacastle	0.022	0.01	0.0	1.0	91
63. Jonote	0.022	0.01	0.0	1.0	91
64. Hilite	0.099	0.03	0.0	1.0	91
65. Cedro	0.066	0.02	0.0	1.0	91
66. Guahumbo	0.011	0.01	0.0	1.0	91
67. Cautivo	0.033	0.01	0.0	1.0	91
68. Ceiba	0.011	0.01	0.0	1.0	91
69. Otros	0.198	0.04	0.0	1.0	91
70. No. árboles sombra hectárea	104.735	7.80	0.0	400.0	87
71. No. cafetos hectárea	1286.63	57.84	100.0	3000.0	92
Cultivos Intercalados*					
72. Plátano	0.522	0.52	0.0	1.0	92
73. Naranja	0.554	0.05	0.0	1.0	92
74. Mango	0.098	0.03	0.0	1.0	92
75. Zapote	0.076	0.02	0.0	1.0	92
76. Aguacate	0.109	0.03	0.0	1.0	92
77. Mamey	0.087	0.02	0.0	1.0	92
78. Chile	0.011	0.01	0.0	1.0	92
79. Lima	0.011	0.01	0.0	1.0	92
80. Pimienta	0.033	0.01	0.0	1.0	92
81. Guayaba	0.011	0.01	0.0	1.0	92
82. Tabaco	0.011	0.01	0.0	1.0	92
83. Otros	0.065	0.02	0.0	1.0	92
Cultivos Asociados * (fuera del Cafetal)					
84. Frijol	0.396	0.05	0.0	1.0	91
85. Maíz	0.692	0.04	0.0	1.0	91
86. Caña	0.385	0.05	0.0	1.0	91
87. Chile	0.121	0.03	0.0	1.0	91
88. Otros	0.538	0.05	0.0	1.0	91
Lluvia seca**					
89. Enero	-0.250	0.05	-1.0	1.0	88
90. Febrero	-0.420	0.05	-1.0	1.0	88
91. Marzo	-0.693	0.05	-1.0	1.0	88
92. Abril	-0.886	0.03	-1.0	1.0	88
93. Mayo	-0.472	0.08	-1.0	1.0	89
94. Junio	0.787	0.05	-1.0	1.0	89
95. Julio	0.944	0.02	-1.0	1.0	89
96. Agosto	0.807	0.05	-1.0	1.0	88
97. Septiembre	0.750	0.04	-1.0	1.0	88
98. Octubre	0.261	0.05	-1.0	1.0	88
99. Noviembre	0.068	0.04	-1.0	1.0	88
100. Diciembre	-0.057	0.04	-1.0	1.0	88
Nortes**					
101. Enero	0.417	0.05	0.0	1.0	84
102. Febrero	0.238	0.04	0.0	1.0	84

TABLA 1. (continuación)

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>Error ST.</i>	<i>Valor menor</i>	<i>Valor mayor</i>	<i>Numero de muestras</i>
103. Marzo	0.060	0.02	0.0	1.0	84
104. Abril	0.024	0.01	0.0	1.0	84
105. Mayo	0.012	0.01	0.0	1.0	84
106. Junio	0.036	0.02	0.0	1.0	84
107. Julio	0.024	0.01	0.0	1.0	84
108. Agosto	0.036	0.02	0.0	1.0	84
109. Septiembre	0.190	0.04	0.0	1.0	84
110. Octubre	0.393	0.05	0.0	1.0	84
111. Noviembre	0.500	0.05	0.0	1.0	84
112. Diciembre	0.548	0.05	0.0	1.0	84
113. Heladas**	0.571	0.05	0.0	2.0	84
114. Granizo**	0.787	0.04	0.0	1.0	80
<i>Orientación</i>					
115. Norte	0.275	0.06	0.0	1.0	51
116. Sur	0.431	0.07	0.0	1.0	51
117. Este	0.275	0.06	0.0	1.0	51
118. Oeste	0.333	0.06	0.0	1.0	51
<i>Variables de Manejo</i>					
119. Edad del café	24.271	1.94	3.0	99.0	91
120. Tiempo de uso del suelo	87.927	9.13	4.0	400.0	82
121. Superficie muestreada	2.575	0.51	0.0	25.0	87
122. Ejido	0.225	0.04	0.0	1.0	89
123. Iniciación cultivo de café	74.464	13.4866	3.0	400.0	84
<i>Plaguicidas o Insecticidas</i>					
124. Cupraxol	0.022	0.01	0.0	1.0	90
125. Gramagxone	0.033	0.01	0.0	1.0	90
126. Otros	0.155	0.05	0.0	1.0	90
127. Poda café	0.391	0.08	0.0	2.0	46
128. Poda sombra	0.409	0.08	0.0	2.0	44
129. Chapeos	1.356	0.12	0.0	4.0	59
130. Asesoramiento Técnico	0.267	0.04	0.0	1.0	90
<i>Variables Fenológicas***</i>					
131. Yemas sin actividad	0.31	0.04	0.0	1.0	88
132. Yemas en deterioro	0.22	0.04	0.0	1.0	87
133. Crecimiento inicial hojas	0.86	0.03	0.0	1.0	87
134. Follaje joven	0.83	0.03	0.0	1.0	88
135. Follaje maduro	0.99	0.01	3.0	1.0	88
136. Follaje senescente	0.68	0.04	0.0	1.0	88
137. Follaje caído	0.92	0.02	0.0	1.0	88
138. Crecimiento tallo	0.72	0.04	0.0	1.0	87
139. Tallo seco	0.25	0.03	0.0	1.0	86
140. Tallo perdido	0.27	0.03	0.0	1.0	88
141. Yema floral	0.62	0.04	0.0	1.0	88
142. Flor madura	0.26	0.04	0.0	1.0	88
143. Flores en deterioro	0.17	0.03	0.0	1.0	88
144. Frutos iniciación	0.36	0.05	0.0	1.0	87
145. Fruto maduro	0.37	0.04	0.0	1.0	87
146. Fruto viejo	0.33	0.03	0.0	1.0	86
147. Resto de fruto	0.22	0.04	0.0	1.0	88
148. Fruto caído	0.14	0.03	0.0	1.0	88
<i>Variables Dependientes</i>					
149. Plagas o enfermedades					
150. Ojo de gallo	0.284	0.04	0.0	1.0	88
151. Corrihuela	0.023	0.01	0.0	1.0	88
152. Mal de hilachas	0.068	0.02	0.0	1.0	88
153. Pudrición del tallo	0.163	0.03	0.0	1.0	88
154. Barrenador	0.091	0.03	0.0	1.0	88
155. Broca	0.045	0.02	0.0	1.0	88
156. Roya	0.023	0.01	0.0	1.0	88
157. Otros	0.341	0.05	0.0	1.0	88
158. Rendimiento	2202.562	282.0857	200.0	8500.0	39

TABLA 1. (continuación)

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>Error ST.</i>	<i>Valor menor</i>	<i>Valor mayor</i>	<i>Numero de muestras</i>
159. Edo. del suelo (% suelo protegido)	81.662	1.90	0.0	60.0	68
160. Edo. del suelo (subjeto)	1.423	0.09	0.0	3.0	71

*Véase Anexo 2

**Información del productor sobre ciclo climático anual. Los valores negativos provienen del código —1 dado al mes más seco; y +1 al más lluvioso.

***Las variables fenológicas se registraron sobre cinco plantas en cada parcela.

****Se calcula que este índice corresponde a casi el doble de los valores en porcentaje de inclinación.

promedio altitudinal de las parcelas visitadas es de 865 m.s.n.m. Los valores extremos que se encontraron son 120 y 1670 m.s.n.m. (ver Histograma 1.)

La forma de relieve más abundante, donde se encontró café, fué regular (plano inclinado o plano) y la pendiente promedio para todas las formas fué de 18%.

Lo que destaca a primera vista en las distintas variables tomadas del suelo es que tienen profundidades mayores de 1.0 m, son pedregosos, con texturas arcillosas, ligeramente ácidos y derivados de diferentes materiales parentales.

Los tipos de vegetación encontrados en las proximidades de los cafetales visitados van desde las selvas altas subperennifolias hasta los bosques de pinos. Los más comunes, sin embargo, fueron el bosque caducifolio y la selva mediana subperennifolia.

La información climática se obtuvo directamente del productor; es decir, se registraron sus observaciones de períodos de lluvias, secas, vientos, nortes, heladas y granizos. El Histograma 2 muestra los patrones resultantes de la frecuencia de observaciones de la época de lluvias y de la de secas; de allí se desprende que en el área censada, hay una tendencia de lluvias entre septiembre y diciembre, y de secas entre enero y mayo. Las heladas inciden sobre el 60% de los cafetales y los granizos sobre el 80%. Por fin, los vientos nortes son comunes entre octubre y diciembre.

Algunas características sobresalientes del manejo de las plantaciones son:

- Una edad promedio de 25 años (entre 3 y 99 años).

— Casi todos los cafetales visitados están sombreados (con un promedio de 128 árboles/ha).

— La sombra más usada es la de ingas, chalahuite, vainillo y jinicuil (Anexo 2).

— Las variedades de café usadas (por orden de importancia) fueron arábigo, criollo, bourbon, caturra y mundo novo (Anexo 2).

— El 76% de los cafetos tenían cultivos intercalados, principalmente plátano y naranja (Anexo 2).

— De los cultivos sembrados en las proximidades del café, sobresale el maíz, pero hay otros cultivos de importancia local.

— La aplicación de fertilizantes se registró en el 40% de las parcelas muestreadas.

— La aplicación de insecticidas y herbicidas se registró en 20% de las muestras.

— El rendimiento promedio obtenido fué de 2200 kg de cereza/ha. (con valores desde 200 hasta 8500 kg/ha).

Asociaciones de variables

Con el fin de componer un cuadro sintético y expresivo de la información disponible, los datos se trataron con una serie de técnicas de análisis estadístico multivariado (véase detalle en el Anexo 1).

En primer lugar, se realizó el análisis factorial de todas las variables para descubrir grupos de variables asociadas. Por falta de

datos en varias muestras, en éste análisis excluimos las variables: rendimientos, meses con vientos nortes, número de podas y de chapeos.

Como resultado de este análisis se obtuvieron treinta factores estadísticamente significativos. Algunos de ellos representan tipos de suelos, otros períodos de lluvias, variedades de café ó conjuntos de árboles de sombra, cultivos intercalados u otros cultivos asociados. Contrariamente a lo esperado, no se encontró ningún factor que reuniera variables de distinta índole (v. gr.) suelos con variedades de café, sombra y cultivos intercalados). Por lo tanto, se pudieron identificar asociaciones de suelos, de vegetación, de sombra, etc., pero no así asociaciones entre suelos y vegetación o vegetación con sombra o sombra con suelo, etc.

De los factores hallados, dos sobresalen por su interés como indicadores de:

1). *Insumos intensivos*, con las siguientes variables asociadas (en orden de importancia): fertilizantes, grandes plantaciones, suelos de textura arcillosa, insecticidas, asesoramiento técnico, variedades de café caturra y bourbón, poco follaje caído y escasa pedregosidad en el suelo.

2). *Estado fenológico*, con las siguientes variables asociadas: frutos caídos, restos de frutos, frutos viejos, follaje senescente, tallo seco, tallo perdido, fruto maduro, heladas, yemas sin actividad, yemas en deterioro, ubicación geográfica sureste, pocos frutos en iniciación, escasas flores maduras y poco follaje maduro.

La combinación de variables del factor fenológico indica una tendencia hacia un mal cuidado de la plantación, las variables fenológicas, sin embargo, son difíciles de interpretar; esto es así por que no todas las muestras se tomaron en el mismo momento, y aun cuando los datos fueran sincrónicos, la variación climática y geográfica del área representada hace que los estados fenológicos de los cafetales difieran dentro de la misma. Por todas estas razones las variables fenológicas se excluyeron de análisis subsiguientes.

Con la intención de definir más precisamente los tipos de suelos, asociaciones de plantas cultivadas, y los tipos de climas se realizaron nuevos análisis factoriales (Tabla 2). Cada uno de los análisis se hizo con un conjunto de variables particulares (suelos, sombra, cultivos intercalados, etc.). Casi todas las muestras se ajustaron a un factor solamente y por lo tanto, cada caso pudo ser asignado fácilmente a un tipo de suelo, a una asociación de sombra o a un patrón estacional de lluvia.

El siguiente paso fue evaluar los tipos resultantes del análisis factorial con el objeto de formar un número menor de grupos. Por ejemplo, se quiso agrupar cada tipo de suelo con respecto a las demás variables: ¿Son algunos de los tipos de suelos ecológicamente equivalentes, es decir, similares con respecto a otras variables no edáficas, aún cuando sean edafológicamente distintos?

La herramienta estadística utilizada para responder a este interrogante fué el análisis discriminatorio (Anexo 1). Si se imagina a cada muestra como un punto en un espacio N-dimensionado —con una dimensión para cada variable diferente de las del suelo—, el análisis discriminatorio nos provee la mejor visión, en dos dimensiones, de ese espacio N-dimensionado; asimismo, permite representar la localización de cada centroide (el centro o promedio de todas las muestras del mismo tipo edafológico) en el espacio simplificado de dos dimensiones.

En la Fig. 1a se observan tipos muy próximos unos de otros y por lo tanto, pueden ser reunidos en el mismo *tipo ecológico de Suelo* (Tabla 3). Cada tipo ecológico conlleva una gama de formas de relieve, porcentaje de pedregosidad, material parental, etc. Como cada tipo ecológico tuvo una textura característica, pueden llamarse simplemente por sus texturas. (Tabla 3).

Idéntico procedimiento (análisis discriminatorio) se trató de aplicar a las asociaciones de plantas cultivadas (cf. Tabla 2) y a las variables de vegetación natural. Las Figuras 1b, c y d muestran los resultados, y

TABLA 2. FACTORES*

INTERPRETACION DE LOS FACTORES EN EL ANALISIS SECTORIAL (SIN VARIABLES FENOLOGICOS, DE RENDIMIENTO, VIENTOS, PODAS Y CHAPEOS)**

<i>Factores de Suelos</i>	"1" :Suelos arcillosos en la profundidad, profundos, con gravas, permeables, textura migajón-arcillosa en la superficie. "2" :Textura franca en superficie y en profundidad, aluvionales, ácidos, sin relieve cóncavo. "3" :En pendientes pronunciadas, suelos poco permeables, relieves cóncavo-convexo, con cantos y textura arcillosa en superficie. "4" :Muy pedregosos, con cantos, suelos some-ros, de origen calcáreo, con textura migajosa. "5" :Textura migajosa en superficie y franca en profundidad, relieve cóncavo y de origen basáltico también cóncavo-convexo. "6" :Textura migajón-arcillosa en profundidad, de origen calcáreo y con cantos. "7" :Textura arcillosa en superficie, poco permeables, de origen sedimentario en cualquier relieve menos en cóncavo-convexo. "8" :Suelos profundos, poco permeables, con relieve cóncavo, textura limosa en superficie, y arcillo-limosa en profundidad, de origen sedimentario, y con bloques. "9" :Textura arcillo-limosa en profundidad y franca en superficie, con bloques, suelos calcáreos.
<i>Conjunto de Cultivos Intercalados</i>	1) "Sin cultivos intercalados" 2) "Plátano, naranjo" y mango 3) "Aguacate, zapote" mamey y pimienta 4) "Miscelánea" (incluyendo, lima, chile, tabaco, y guayaba).
<i>Conjunto de Variedades de Café</i>	1) "Mezcla" de bourbón, caturra y mundo novo 2) Arábigo (algo bourbon) 3) "Criollo"

* La contribución de las variables a cada factor se cita por orden de importancia. El nombre y/o número con que citará cada sector en el texto, se encuentra entre comillas.

** Para los nombres científicos de las plantas citadas ver Anexo 2.

<i>Conjunto de Sombras</i>	1) "Chalahuite" 2) "Vainillo, huizache y cautivo" 3) "Cedro, jonote" y otros 4) "Hilite" 5) "Jinicuil" 6) "Miscelánea" (incluyendo guarumbo, ceiba y nacastle).
<i>Conjunto de Cultivos Asociados</i>	1) "Sin otros cultivos" 2) "Frijol, maíz" y chile 3) "Chile" y otros 4) "Caña" y algo de maíz.
<i>Factores de Lluvia-Sequia</i>	1) "Lluvias en otoño" (de octubre a febrero). 2) "Lluvias en invierno" (enero a marzo, con secas en agosto, septiembre y mayo). 3) "Lluvias en verano" (junio-agosto, con secas en octubre). 4) "Sequías de invierno" (enero, febrero y agosto, con lluvias de abril a mayo).
<i>Factores de Vientos Nortes</i>	1) "Sin nortes". 2) "Nortes en verano" 3) "Nortes en invierno" 4) "Nortes en otoño" 5) "Nortes en primavera".

es evidente que no se distinguen nuevos grupos de café (Fig. 1b) y conjuntos de sombra (Fig. 1c). Con los tipos de vegetación natural, si bien se podrían distinguir 2 ó 3 nuevos grupos (Fig. 1d), parece arriesgado intentar una interpretación en base a las variables que subyacen a la discriminación realizada por el método (variable canónica 1, explicación en la leyenda).

TABLA 3
TIPOS ECOLOGICOS DE SUELO
(INTERPRETACIONES DE LA FIG. 1).

TIPO	FACTORES COMPRENDIDOS*
Sedimentario-arcilloso (sin piedras)	7
Franco (aluvial y basaltos)	2, 5 y 9
Calcáreo arcilloso (con piedras)	3, 6
Migajón arcilloso	1 y 4
Limoso	8

*Factores de suelos de tabla 2.

Por considerar de importancia a este tipo de información se confeccionaron tablas de contingencia de las asociaciones de plantas con el resto de las variables. Las relaciones que se encontraron más importantes se ilustran en la Tabla 4. Los conjuntos de plantas, que no se encuentran en la Tabla 4, carecen de asociaciones estadísticamente significativas con suelos ó climas.

Cabe señalar que surgieron pocas asociaciones entre conjuntos de plantas; las únicas significativas fueron: a) el conjunto de café mezcla con sombra del conjunto vainillo-huizache, b) la falta de asociación del mismo conjunto de sombra (vainillo-huizache) con el conjunto de café criollo y c) el conjunto de café arábigo con el conjunto de cultivo intercalado misceláneo.

Relaciones espaciales

A continuación se discuten los patrones espaciales de algunas de las variables o de

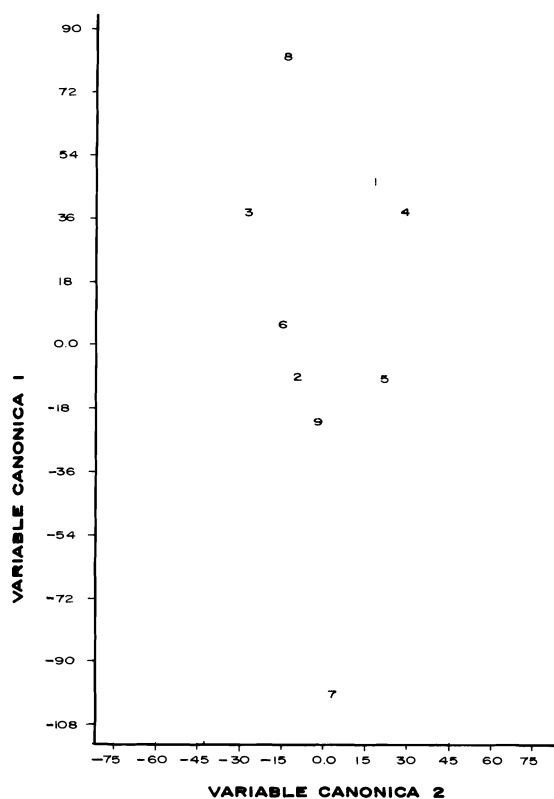


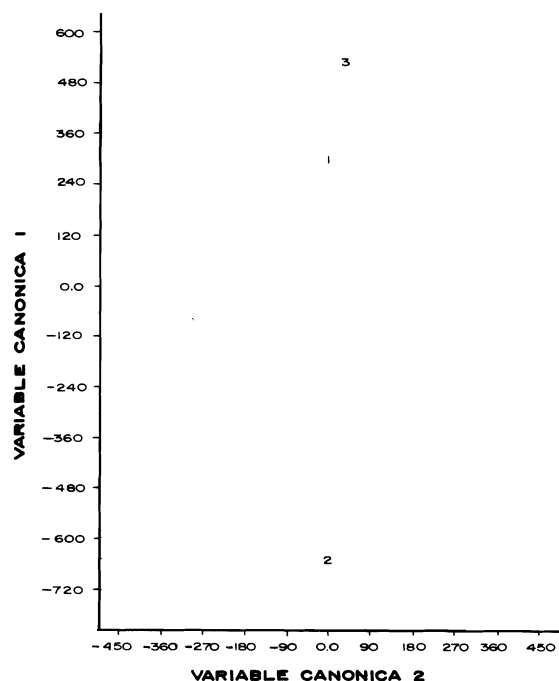
FIGURA 1. Análisis discriminatorios.

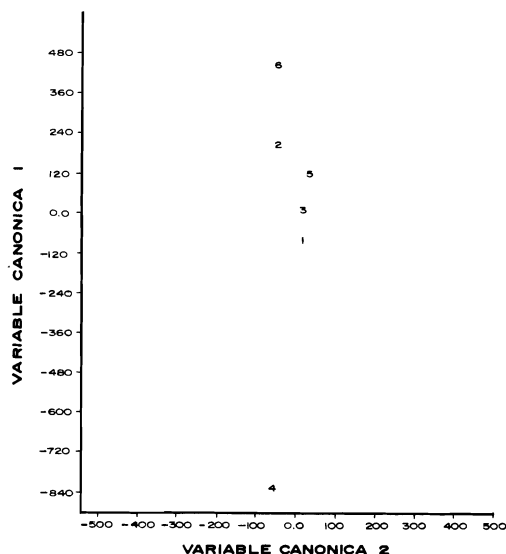
- a) Tipos de suelos donde cada número corresponde a un tipo en Tabla 2. La variable canónica 1 representa la asociación de las siguientes variables originales: Asociación positiva: inga, huizache, grevilea, hilite, arábigo, criollo, mundo novo, selva baja caducifolia, bosques caducifolios, encinares maíz, chile. Asociación negativa: pimienta, mango, caturra, bourbon, caña, pudrición del tallo, ataque de insectos.

- b) Conjuntos de café (Tabla 2), (1) mezcla, (2) arábigo, (3) criollo.

La variable canónica representa las siguientes variables. Asociadas positivamente: edad del cafetal, selva baja caducifolia, selva mediana perennifolia, relieve concavo, pudrición del tallo, lluvias en noviembre y diciembre, densidad de cafetos.

Asociadas negativamente: hilite, huizache, relieve concavo-convexo, zapote, suelos permeables con texturas limosas y migajosas, asesoramiento técnico.





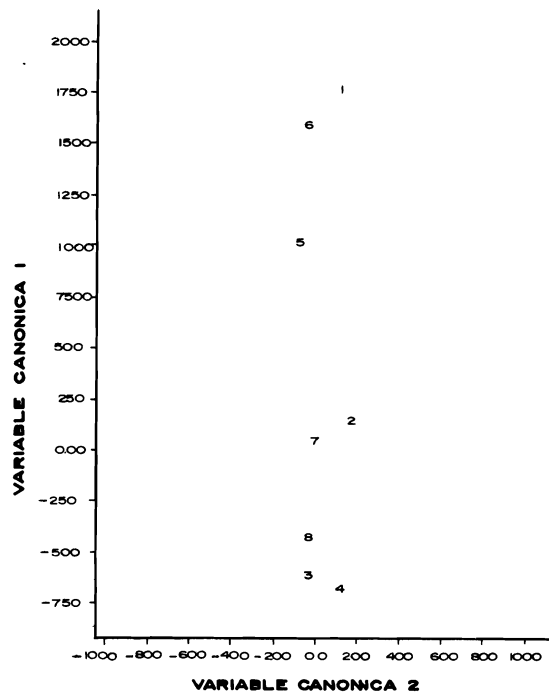
c) Conjuntos de sombra (Tabla 2); (1) chalahuite, (2) vainillo, huizache y cautivo, (3) cedro jonote, (4) hilite, (5) jinicuil, (6) miscelánea.

La variable canónica 1 representa a las siguientes variables: Asociadas positivamente: selva baja caducifolia, selva mediana perennifolia, aguacate, relieve cóncavo, ataque de insectos. Asociadas negativamente: mamey, pimienta y relieve convexo.

d) Tipos de vegetación: (1) bosque de pino, (2) bosque de pino-encino, (3) bosque caducifolio, (4) encinar, (5) selva baja caducifolia, (6) selva mediana subperennifolia, (7) selva mediana perennifolia, (8) selva alta subperennifolia.

La variable canónica 1 representa las siguientes variables: Asociadas positivamente: mango, pimienta, zapote, relieve convexo, pudrición del tallo, ataque de insectos, densidad de cafetos.

Asociadas negativamente: arábigo, criollo, aguacate, mamey, hilite, relieve cóncavo-convexo, plaguicidas, asesoramiento técnico.



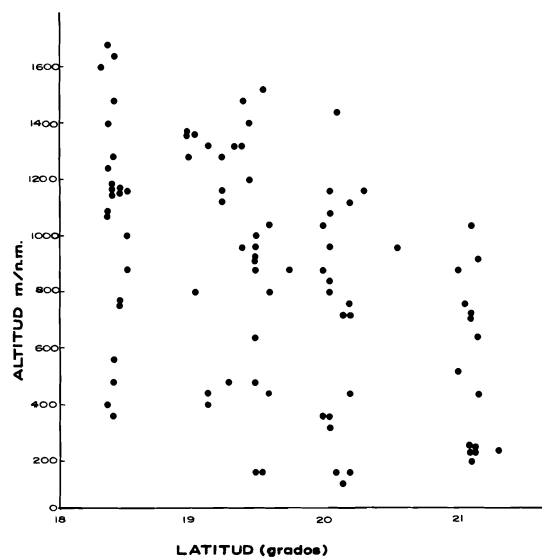


FIGURA 2. Distribución altitudinal y latitudinal de las muestras.

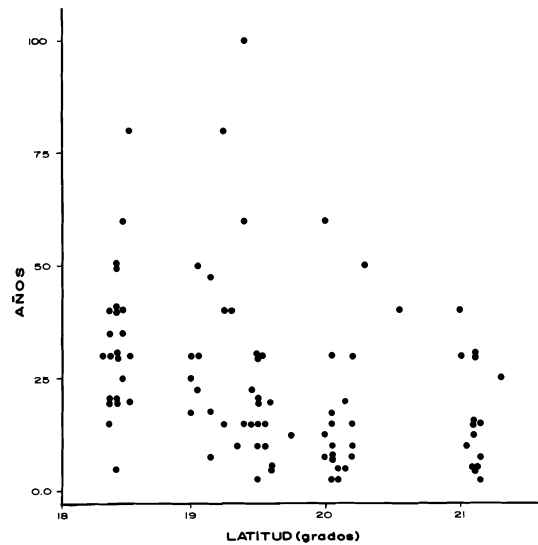


FIGURA 3. Edad de los cafetales (años) vs. latitud.

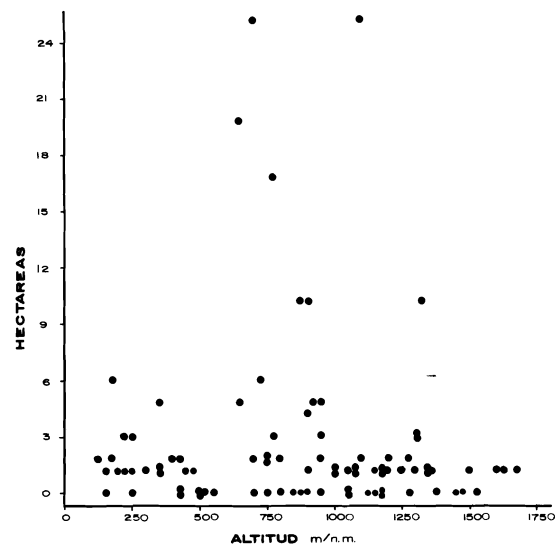
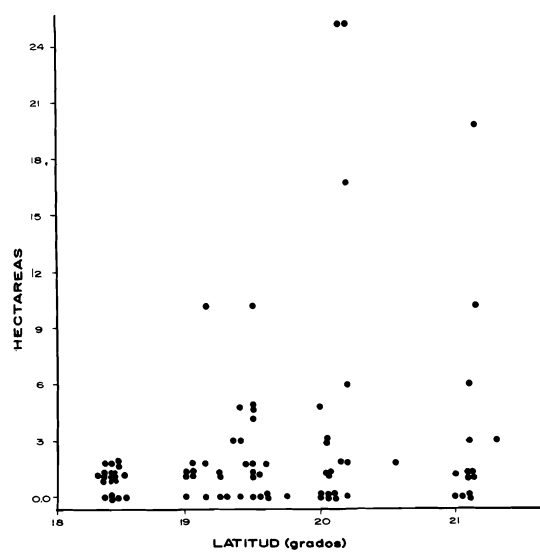


FIGURA 4. Tamaño de la plantación (has) contra a) latitud, b) altitud

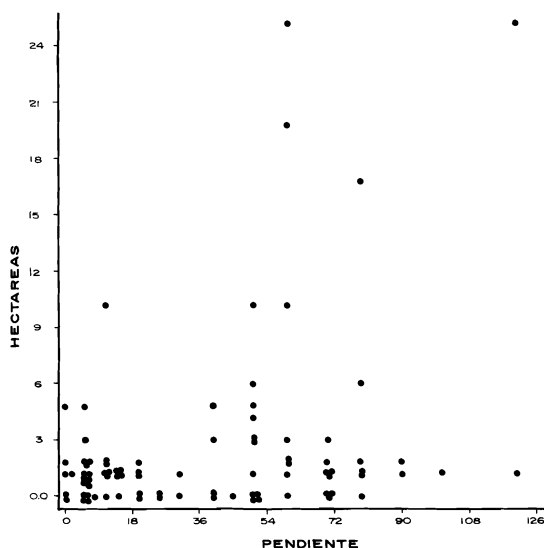


FIGURA 4c. Pendientes (Tabla 1).

los conjuntos de plantas representados en la Tabla 2.

La Figura 2 nos indica cómo varía la altitud de las plantaciones con la latitud y surge de ella que los cafetales se encuentran a menos altitud en el norte de nuestra área de estudio. En la Figura 3, vemos también, que los cafetales del norte son más jóvenes (antigüedad de la plantación) que los del sur.

En cuanto al tamaño de estos cafetales, de las Figuras 4a y 4b podemos concluir, respectivamente, que son más grandes en el norte y que en general las grandes plantaciones se encuentran alrededor del promedio altitudinal ya visto (Histograma 1). En la Fig. 4c se nota también una relación entre grandes plantaciones y pendientes altas. Estas relaciones, en conjunto, indican condiciones particulares de los cafetales en el norte (estado de Hidalgo); a saber, mayor tamaño, menor altitud y en mayores pendientes.

Los conjuntos de variedades de café se representan en la Figura 5. En la Figura 6a se representa la distribución geográfica de los conjuntos de sombra. En ella se nota que en la porción sur es netamente importante el conjunto de vainilla, mientras que en el centro lo es el conjunto chalahuite y son exclusivos del norte los conjuntos cedro-jonote y miscelánea. En la Figura 6b se presenta la distribución de estos conjuntos de sombra en cuanto a la altitud. Se puede notar que tanto jinicuil como hilité son asociaciones de árboles de más de 1000 m de altura, mientras que chalahuite no tiene ningún rango de altura especial.

Tanto las asociaciones de cultivos intercalados (Figura 7a y 7b), como las asociaciones de cultivos asociados (Figura 8) no demostraron patrones espaciales ni altitudinales de importancia.

Clasificación y Zonas

Se utilizó *análisis de conglomerados* (Anexo 1) para separar las muestras que tenían características similares. Esta técnica también proporciona las bases que explican la separación obtenida (o sea, las características utilizadas para separar).

Primero, hicimos un análisis de conglomerados con todas las variables y pudimos observar que los grupos obtenidos expresaban una zonalidad geográfica. Las variables claves para esta discriminación fueron: suelo, clima, tipos de vegetación natural y plantas cultivadas.

Luego se realizaron sendos análisis de conglomerados; uno con las variables ecológicas, lo que dio una agrupación de las muestras, y otro con solamente las variables de manejo, lo que arrojó una clasificación completamente diferente. En los primeros intentos incluimos las variaciones fenológicas, pero como tampoco evidenciaron relaciones en la clasificación, se excluyeron en el último análisis.

El análisis de conglomerados con las variables de manejo generó once grupos importantes, los que se muestran en forma de mapa (Figura 9a). Es claro que estos

TABLA 4.
ASOCIACIONES DE CONJUNTOS DE PLANTAS CON SUELOS Y CLIMA.

	FRANCO**	CALCAREO-ARCILLOSO**	MIGAJON-ARCILLOSO**	LIMOSO**	LLUVIA-INVIerno*	LLUVIA-VERANO*	LLUVIA-OTOÑO*	SECAS-INVIerno*	SIN NORTES*	NORTES-INVIerno*	RELIEVE PLANO***	DENSIDAD CAFETOS***	PENDIENTES ALTAS***	HELADAS***	SUELO PROFUNDO***	SUELO PEDREGOSO***
MEZCLA*		—				+	+				—					
CRIOLLO*	—				+		+									
ARABIGO*	+	+	—	—	+	+						—				
CHALAHUITE*	+				+								+			
VAINILLO-HUIZACHE*						+					+				+	
CEDRO-JONOTE*					+			+		—			—	—		
HILITE*						+				+				+		
JINICUIL*										+				+	+	
SOMBRA MISCELANEA*						+	+		+		+			—		
SIN INTERCALADO*							+	+								
PLATANO NARANJA*					+	+										
SIN ASOCIADOS*																+
CHILE*				+												
CAÑA*	+															

+ indica una asociación positiva y — una asociación negativa. La falta de signo indica falta de asociación significativa.

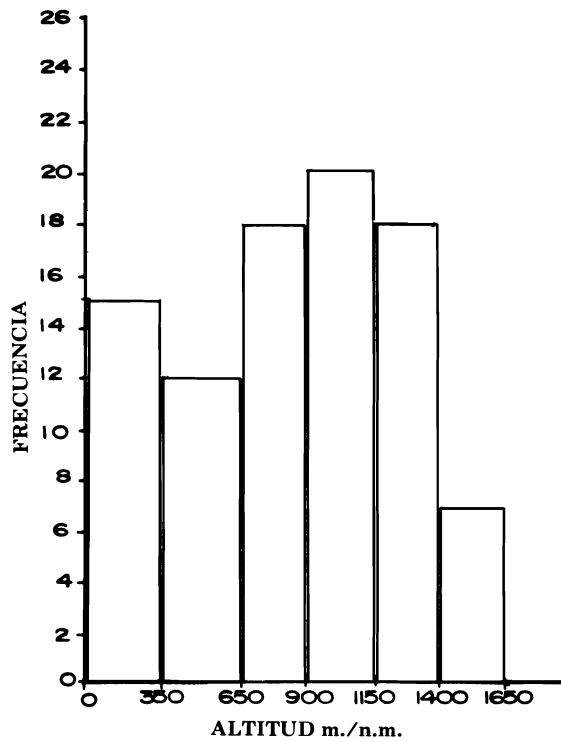
* Conjunto en Tabla 2
** Tipos de suelo en Tabla 3
*** Variables originales

grupos, con base en manejo, no muestran zonas claras. Sin embargo, es interesante señalar que los manejos más modernos (letras K, L, M y N en la Figura 9a), se concentran en tres regiones: límite de los Estados de San Luis Potosí e Hidalgo, zona de Xicotepec, Pue. y zona de Coatepec, Ver.

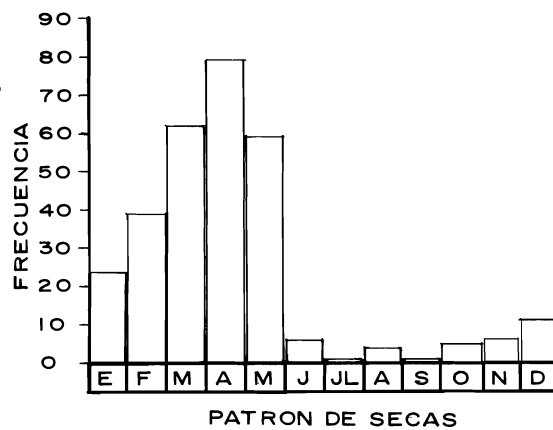
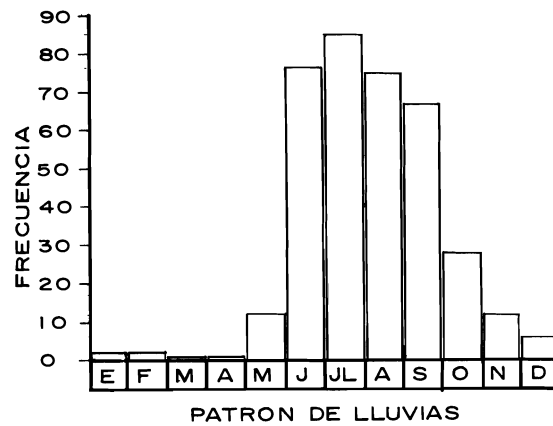
Las variables ecológicas dieron lugar a ocho grupos importantes y otros menos

importantes (basados en 3 o 4 muestras cada uno). Estos grupos que se muestran en forma de mapa en la Figura 9b, pueden ser ubicados geográficamente en cinco *zonas ecológicas* (letras en Figura 9b).

Las características más sobresalientes de las cinco zonas ecológicas son las siguientes (Ver también Anexo 3):



HISTOGRAMA 1. Altitud de las muestras obtenidas (frecuencia).



HISTOGRAMA 2. Frecuencia de los periodos de lluvia y secas.

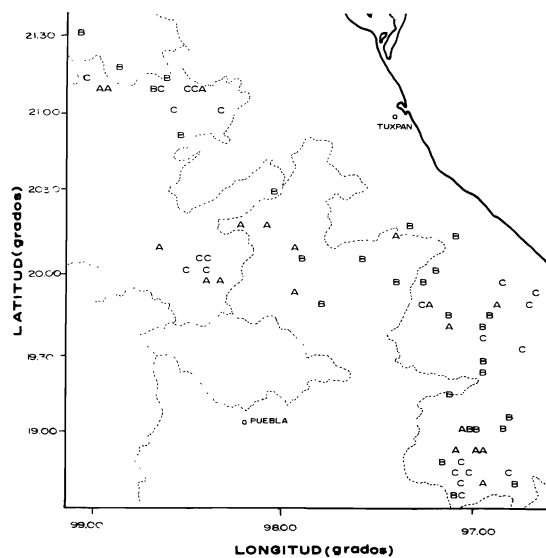


FIGURA 5. Distribución geográfica de los conjuntos de café: A = mezcla, B = arábigo y C = criollo.

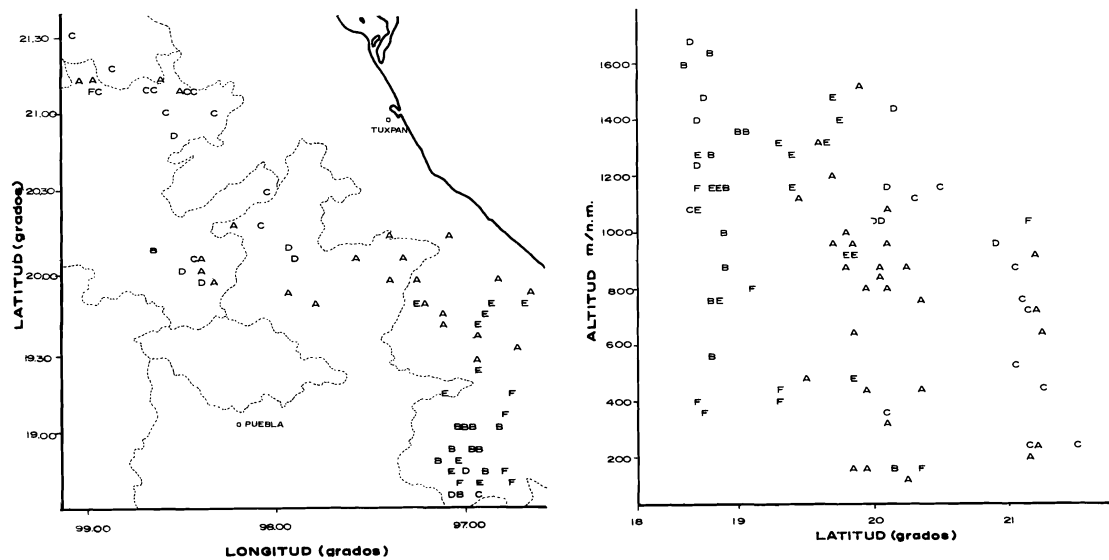


FIGURA 6. Distribución geográfica (6a) altitudinal (6b) de las asociaciones de sobra; A = chalahuite, B = vainillo, huizache y cautivo, C = cedro jonote, D = hilite, E = jinicuil y F = miscelánea

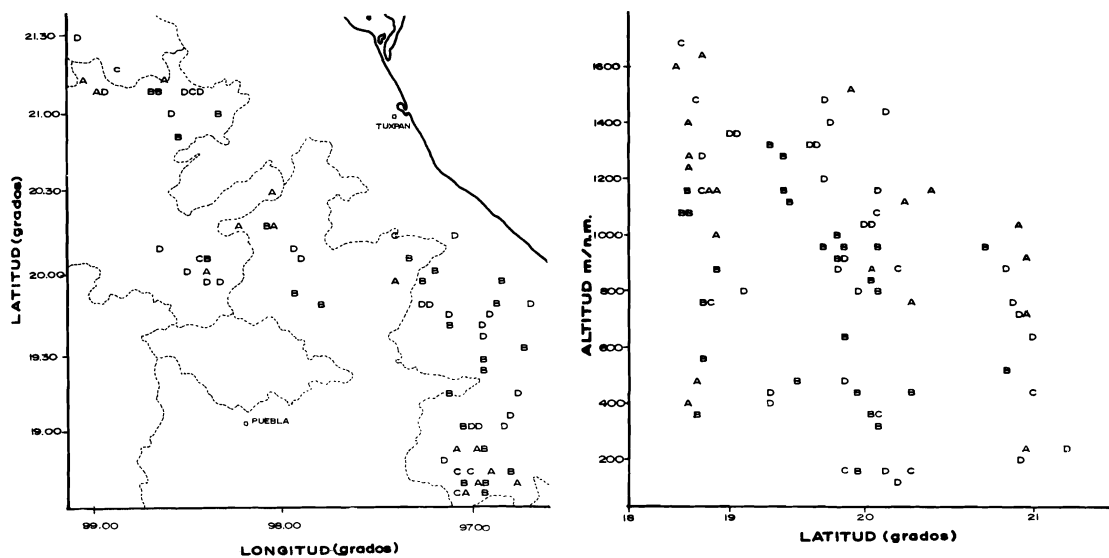


FIGURA 7. Distribución geográfica (7a) y altitudinal (7b) de los cultivos intercalados en el cafetal; A = sin cultivos intercalados, B = plátano-naranja, C = aguacate-zapote y D = miscelánea.

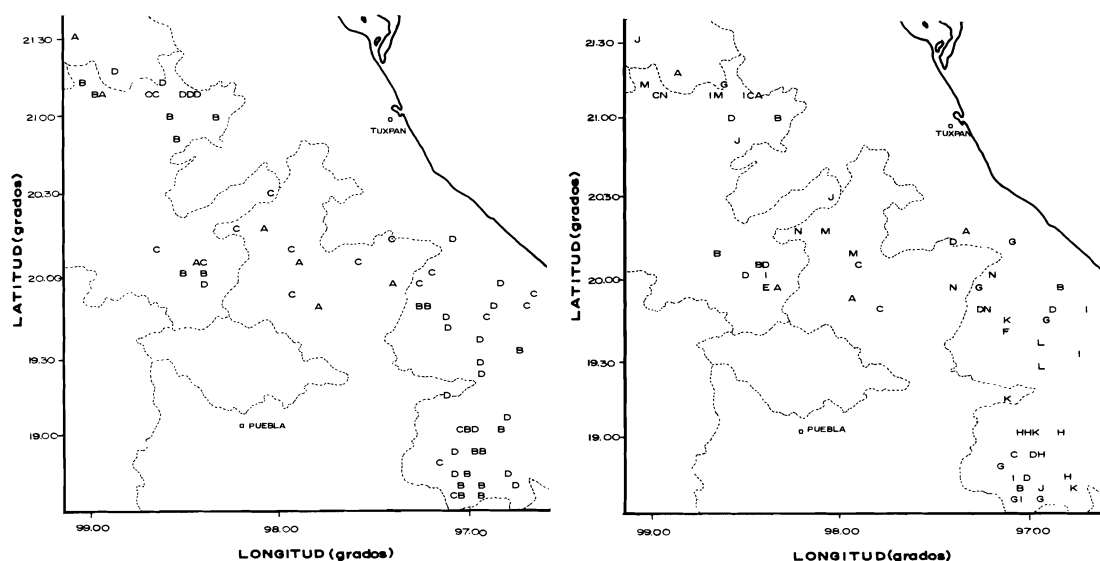


FIGURA 8. Distribución geográfica de los conjuntos de cultivos asociados al café; A = Sin otros cultivos, B = frijol, maíz, C = chile y D = caña.

- Zona 1: Predominancia de arábigo y criollo y suelos francos, con baja erosión y rendimiento bajo de café en general.
- Zona 2: Parecida a zona 1, salvo que tiene predominancia de conjunto de café mezcla (bourbón, mundo novo y caturra), heladas y rendimientos altos.
- Zona 3: Predominancia de arábigo y criollo con suelos arcillosos profundos, muchas veces mal estado del suelo y rendimientos regulares.
- Zona 4: Predominancia de café conjunto mezcla, con suelos limosos, en pendientes pronunciadas, estado del suelo y rendimientos regulares.
- Zona 5: Predominancia de arábigo en altas densidades, sin heladas, con suelos arcillosos someros, estado de suelo malo y rendimientos regulares.

Relaciones Funcionales

Con sólo tres de las variables disponibles se podrían evaluar, aunque tentativamente, los costos y beneficios de la interacción de prácticas de manejo y condiciones naturales; estas variables son rendimientos, estado del suelo y ataque de plagas (insectos y hongos).

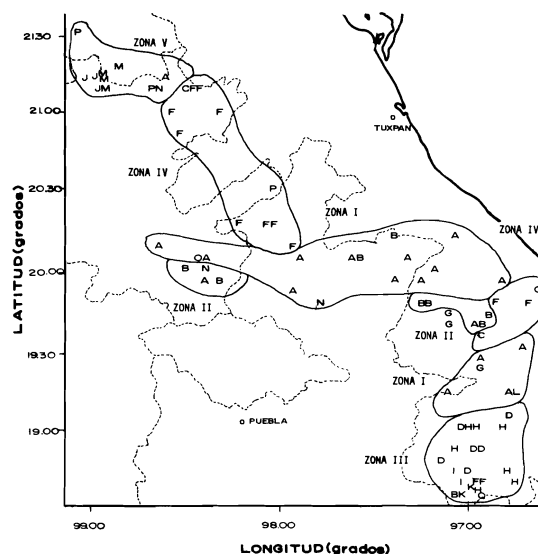


FIGURA 9. Mapa de grupos de manejo (9a) y de grupos ecológicos (9b). Cada letra corresponde a un grupo. En el caso de manejo K, L, M y N son los grupos modernos. En el caso de grupos ecológicos, A = zona 1, B = zona 2, H, I, y K = zona 3, F = zona 4, J, M y P = zona 5 (Anexo 3).

Rendimiento. Como se dijo, se obtuvieron pocos registros —39— del rendimiento de las parcelas visitadas. Sin embargo, fue posible identificar correlaciones de otras variables con rendimiento, tanto positivas

como negativas. De acuerdo con la importancia del coeficiente de correlación, las variables asociadas significativamente (95% de confianza) con rendimiento son:

Asociación Positiva		Asociación Negativa
Uso de insecticidas	(.61)	Cultivos intercalados (en especial plátano-naranja*)
Superficie parcela	(.48)	(-.25)
Frecuencia chapeos	(.48)	
Cafeto caturra	(.48)	
Densidad de cafetos	(.44)	
Uso de fertilizantes	(.43)	
Podas	(.43)	
Cafeto mundo novo	(.40)	
Cafeto bourbón	(.38)	
Asesoramiento técnico	(.35)	
Evaluación subjetiva		
Estado del suelo	(.35)	
Densidad de sombra	(.11)	

*Corresponde al conjunto de la Tabla 2.

Ya que algunas de las variables citadas, en particular las relacionadas con tecnología moderna de cultivo, se encuentran correlacionadas entre sí, es posible que algunas de ellas no tengan efecto sobre el rendimiento por sí mismas, sino que al estar correlacionadas entre ellas lo están con rendimiento en forma indirecta. A forma de ejemplo, en la Figura 10 se muestran dos de las correlaciones encontradas.

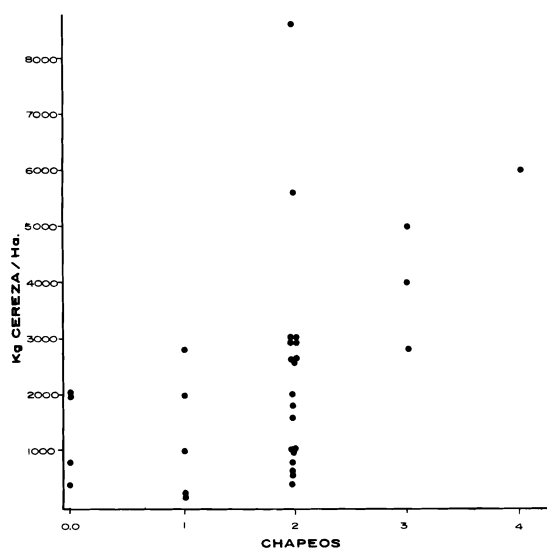
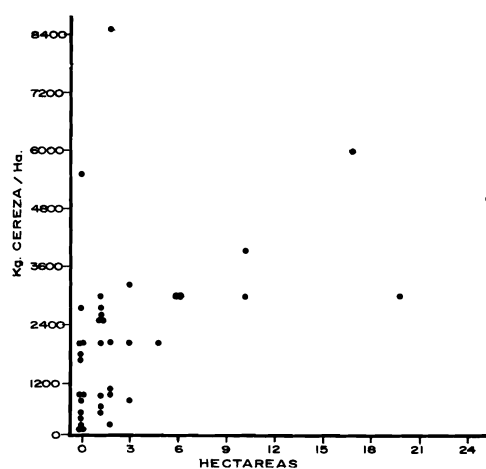
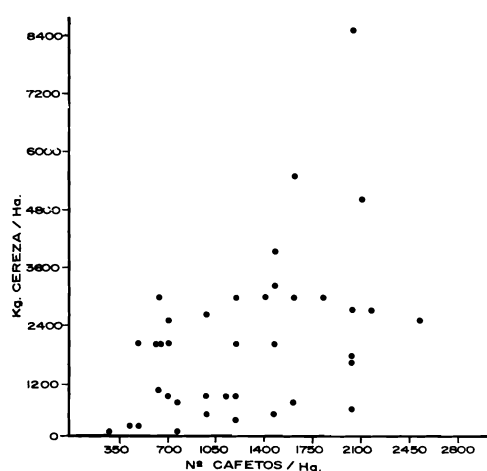


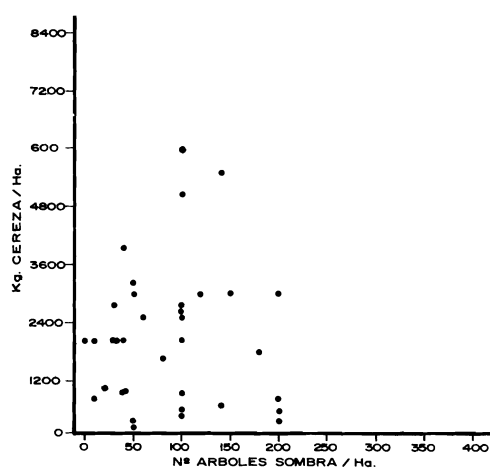
FIGURA 10. Relaciones entre variables de manejo y rendimiento. a) número de chapeos prodigados.



b) Tamaño de la parcela (Has.)



c) Densidad de cafeto



d) Densidad de sombra

Para separar el efecto de cada una de las variables sobre el rendimiento, se realizó análisis de regresión múltiple. Sin embargo el número limitado de muestras impide concluir al respecto. En definitiva, se puede hablar de un "complejo" de variables asociadas con rendimientos bajos y altos.

También es interesante, citar algunas variables cuyos valores intermedios se asociaron con rendimientos mayores. Por ejemplo, el rendimiento es mayor en alturas intermedias de aproximadamente 850 m.s.n.m. (Figura 11a) y en pendientes de 30% (Figura 11b). Aquí también vale el comentario del párrafo anterior, en el sentido que es difícil saber con seguridad si la altitud y la pendiente tienen realmente un efecto directo sobre el rendimiento. Por ejemplo, las parcelas de mayor tamaño, que tienden a concentrar las prácticas de manejo moderno, también se encuentran en altitudes y pendientes intermedias.

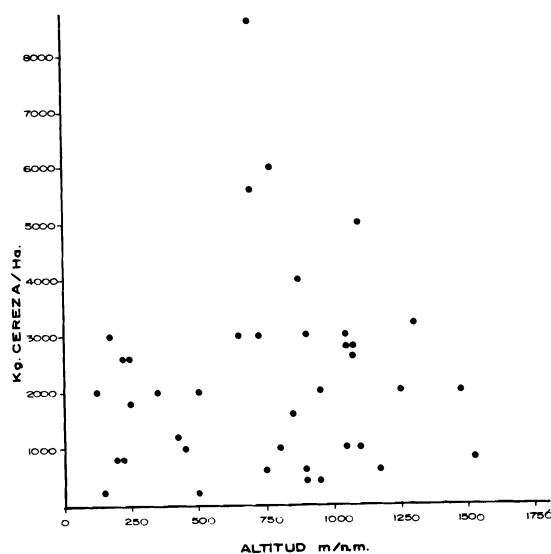
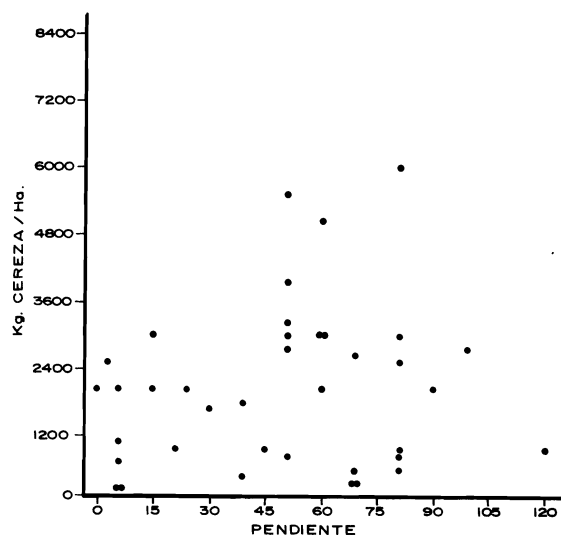


FIGURA 11. Relaciones de rendimiento con valores medios de otras variables: a) Altitud.



b) Inclínación de la parcela (índice de pendiente).

Estado del Suelo. En las parcelas muestreadas, se observó 1) el porcentaje de la superficie del suelo protegido por mantillo o cobertura herbácea, y 2) la estimación subjetiva de la compactación del suelo por pisoteo, presencia de cárcavas o estrías, las remociones o deslaves de terrenos. Para esto último se utilizó cero (ausencia de dichas indicaciones) a tres (serios indicios) como escala de referencia.

No obstante que la correlación entre las dos medidas del estado del suelo fué alta (0.63), las dos medidas a veces muestran distintas asociaciones con el resto de las variables. Por lo tanto, se utilizó correlación canónica (Anexo 1) para aprovechar al máximo las dos mediciones existentes. De esta forma se identificaron aquellas variables que tenían las más altas correlaciones con ambas medidas.

Debería recordarse también que, como en el caso de rendimiento, no se tuvieron suficientes datos para separar los efectos de las numerosas variables. O sea, la correlación de una variable con el estado del suelo es nada más una asociación y no significa, necesariamente, un efecto directo de dicha variable en la condición del suelo observada.

Las asociaciones con el estado del suelo se dieron en la siguiente forma (con todas

las correlaciones significativas al nivel de 95% de confianza).

ESTADO DEL SUELO

<i>Asociación Negativa</i>	<i>Asociación Positiva</i>
Ejidos (-.27)	Cultivos asociados
Cultivos intercalados* (-.27)	misceláneos (.37)
Texturas arcillosas (-.25)	Fertilizantes (.31)
Chapeo (-.23)	

Aunque las prácticas de manejo no parecen incidir en nuestras medidas del estado del suelo, estuvimos interesados en averiguar la relación entre el estado del suelo e insumos intensivos. O sea ¿se obtienen grandes cosechas a costo del deterioro del suelo? o ¿los cuidados intensos que se prodigan a una plantación, conducentes a un mayor rendimiento, también conservan el suelo.

Para responder a estas preguntas examinamos el factor *insumos intensivos* en cuanto a la importancia relativa de las dos medidas de estado del suelo sobre este factor. Estas fueron significativamente positivas, indicando por lo general que las plantaciones modernas tienen el suelo en mejor condición.

Plagas. Se observó una correlación negativa entre hongos y ataque de insectos y también que las variables asociadas con una y otra plaga difieren como se verá a continuación.

El ataque de insectos se asoció positivamente con la aplicación de insecticidas, con tipo de suelo migajón-arcilloso*, con la edad del cafetal, bourbón y erosión; hubo menos ataques de insectos en relación con el cultivo asociado frijol-maíz*, lluvia invernal*, sombra chalahuite, conjunto mezcla de café y la presencia de cultivos intercalados.

Los hongos estuvieron asociados con poda y chapeo, lluvias de otoño*, sombra chalahuite, pendientes pronunciadas, proximidad de encinares y grandes plantaciones.

* Corresponde al conjunto en Tabla 2.

Interpretación de los Resultados

Hay dos grupos de variables intercorrelacionadas de manejo y ecológicas (Tabla 1) y tres variables dependientes: rendimiento, estado del suelo y plagas.

Las prácticas de manejo formaron un claro grupo de variables con insumos intensivos (tales como fertilizantes, insecticidas y asesoramiento) y grandes plantaciones. Encontramos patrones definidos de manejo pero no mostraron una clara zonificación.

El manejo afecta a todas las variables dependientes y sobre todo al rendimiento. Los insumos intensivos, que se concentran en las grandes plantaciones, están asociadas con altos rendimientos. Algunas de estas prácticas de manejo, (ver fertilizantes), también se correlacionan con mejor estado del suelo, otras como las podas y chapeos se correlacionaron con incidencia de hongos o peor estado del suelo.

Las variables ecológicas no muestran grupos fuertemente asociados. Se unieron las numerosas variables edáficas en cinco tipos ecológicos de suelo organizados en torno a textura. Sin embargo, no fue posible hacer otro tanto con los cultivos, o sea unir grupos de sombra con grupos de cultivos intercalados y otros cultivos en "un solo tipo". En lugar de esto, sólo se trató de encontrar agrupaciones dentro de cada uno de los cultivos (sombra, variedades de café, intercalados, etc.) débilmente relacionados unos con otros, básicamente por límites altitudinales.

No obstante se descubrieron tendencias a las asociaciones entre las variables ecológicas (suelos, cultivos, vegetación natural, clima) y, con base en ellas se identificaron en zonas ecológicas. Las variables ecológicas se asocian con las variables dependientes, en especial con estado del suelo. Quedó evidentemente claro que la sombra no disminuye, por competencia, el rendimiento del café y por otra parte, que el rendimiento medio con cultivos intercalados fue menor que sin los mismos; por tanto, los datos sugieren un posible efecto depresivo de los cultivos intercalados en el rendimiento de café.

Agradecimientos

Los estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero se realizaron gracias a la ayuda económica que el Centro de Ecodesarrollo (CECODES) otorgó al Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB). Estos estudios están enmarcados dentro del proyecto Estrategias de Ecodesarrollo para las Zonas Cafetaleras Mexicanas que CECODES tiene bajo su responsabilidad, con el financiamiento del Instituto Mexicano del Café (INMECAFE) y el Programa Nacional de Ecología del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Los autores agradecen al Dr. Arturo Gómez-Pompa, al M. en C. Epifanio Jiménez Avila y al Biól. Wilfrido Márquez Ramírez, por la revisión del presente trabajo y sus atinadas sugerencias y hacen patente su reconocimiento a todo el personal del INIREB que participó en la encuesta.

BIBLIOGRAFIA

- COOLEY, W.W. y LOHNES P.R. 1971. Multivariate data analysis. Wiley, New York., 364 p.
- DIXON, W.J. and BROWN M.B. (ed.). 1979. Biomedical computer programs. P — series. University of California Press, Los Angeles. 626 p.
- HARTIGAN, J.A. 1972. Direct clustering of a data matrix. J. Amer. Statist. Assoc. 67: 123-129.

ANEXO 1 METODOS ESTADISTICOS

Análisis de factores

Los datos son observaciones x_{ij} de cada muestra i , en cuanto a cada variable j . El objetivo es la identificación de conjuntos de variables intercorrelacionadas.

Se distinguen 2 pasos: (1) extracción de factores de componentes principales; (2) rotación de los factores. El componente principal es un nuevo eje (o sea una transformación lineal de las variables) en el

espacio de N -dimensiones, con una dimensión para cada variable:

$$z_i = \sum_j c_j x_{ij}$$

dentro de los límites:

$$\sum_j c_j = 0 \text{ y } \sum_j c_j^2 = 1.$$

El objetivo es calcular las c_j que corresponden al eje que comprende el rango más grande de la z_i , o sea maximizar la varianza de las z_i . Así el primer componente principal captura la mayor cantidad posible de la variación de puntos correspondientes a datos en el espacio N -dimensional.

Después de extraer el primer componente principal, se puede poner otro eje perpendicular al primero. El nuevo eje se localiza de forma tal de capturar la mayor variación de los puntos (datos) alrededor del primer eje. Como los dos ejes son perpendiculares, se dice que los dos factores correspondientes son "ortogonales" o sea, las z_i de los factores tienen una correlación de cero.

El valor de z_i de cada muestra y para cada factor es el tanteo (factor score) z_{ik} . Las z_{ik} son nuevas variables que se pueden utilizar en lugar de las variables originales y tienen la ventaja de ser menos variables aunque contienen la mayor parte de la información aportada por los datos originales.

La importancia de cada variable (j) para cada factor (k) se interpreta mediante "pesos" (Factor loadings) en los factores d_{jk} , que no es más que obtener las correlaciones de las variables originales j con el factor k . Las variables que tienen pesos grandes para el mismo factor son un conjunto de variables intercorrelacionadas.

Luego, para ayudarnos en la interpretación de los factores, se hacen rotar los ejes de factores de componentes principales. Se hace la rotación de manera que los nuevos ejes (factores rotados) (s_{jk}) sean más simples en el sentido que cada variable tenga pesos grandes en unos factores y pesos

pequeños en otros factores. Hay varios criterios y métodos de rotación y el más común es la rotación de "varimax" en la cual el criterio es maximizar la varianza de s^2_{jk} . El resultado es que los factores rotados tienden a tener algunas de las variables con pesos grandes y los demás con pesos cerca de cero, o sea, hay una asociación más clara de un conjunto de variables con cada factor rotado.

Correlación Canónica

El objetivo de esta técnica es calcular solamente una correlación entre dos conjuntos de variables. Se dividen las variables en dos conjuntos y se calculan los coeficientes (c_{1j} , c_{2j}) de dos factores (un factor para cada conjunto de variables):

$$z_{1i} = \sum_j c_{1j} x_{ij}$$

$$z_{2i} = \sum_j c_{2j} x_{ij}$$

de modo que se maximice la correlación entre los tanteos de los dos factores z_{1i} y z_{2i} . Se calcula la correlación entre los dos factores y además para cada variable los pesos en el factor de su conjunto.

Se pueden extraer pares adicionales de factores ortogonales juntos con sus correlaciones, en base a la variación de los puntos de datos alrededor de los factores anteriores.

Análisis Discriminatorio

El objetivo es sacar nuevos ejes (factores) que nos den la mejor representación (la mayor separación) de conjuntos de muestras. Se supone que ya existe una partición de las muestras en dos o más conjuntos, y el objetivo es maximizar la razón de la varianza entre grupos sobre la varianza dentro de grupos, con respecto al primer factor, o sea: maximizar.

$$\sum_m (\bar{z}_m - \bar{z})^2 / \sum_{im} \sum_m (z_{im} - \bar{z}_m)^2 \quad \text{donde:}$$

$\bar{z}_m$ = el promedio de conjunto m .

$\bar{z}$ = el promedio de todas las z_{im} .

Este factor se llama la "variable canónica" en Figura 1.

Se puede sacar un segundo factor ortogonal (basado en la variación alrededor del primer factor), utilizando el mismo criterio. La gráfica de los tanteos de los casos con respecto a los dos factores nos da el mejor retrato en dos dimensiones de las posiciones relativas de los conjuntos en el espacio N-dimensional. Los pesos de las variables en los dos factores nos dan la base de la separación de los conjuntos.

Se pueden extraer más factores discriminitorios si se desea.

Análisis de Regresión Múltiple

El objetivo es predecir la variable dependiente (y), en base a las variables independientes (x).

$$y_i = a + \sum_b b_j x_{ij}$$

Los coeficientes de regresión (b_j) nos dan el efecto de cada variable independientemente de los efectos de todas las otras variables, o sea, el efecto de una variable si todas las otras permanecen fijas.

Análisis de Conglomerados

(Cluster Analysis)

El objetivo es identificar conjuntos de muestras que tienen las mismas características. Utilizamos un método que forma conglomerados de muestras y variables simultáneamente. Este método tiene la ventaja de indicar claramente la base en la cual se clasifican los conglomerados de muestras. Se encuentra en detalle en Hartigan (1972).

ANEXO 2

LISTA BOTANICA

Variedades de Café

<i>Nombres vulgares</i>	<i>Nombres científicos</i>
Arábigo	<i>Coffea arabica</i> var. <i>arabica</i>
Arágibo (sinónimo)	<i>Coffea arabica</i> var. <i>typica</i>
Criollo	<i>Coffea arabica</i>
Bourbon	<i>Coffea arabica</i> var. <i>bourbon</i>
Caturra	<i>Coffea arabica</i> var. <i>caturra</i>
Mundo novo	<i>Coffea arabica</i> var. <i>mundus novo</i>
Robusta	<i>Coffea canephora</i>
Robusta (sinónimo)	<i>Coffea robusta</i>

Variedades de Sombra

Vainillo	<i>Inga</i> sp.
Chalahuite	<i>Inga edulis</i>
Chalahuite	<i>Inga vera</i>
Jinicuil	<i>Inga jinicuil</i>
Jinicuil	<i>Inga paterno</i>
Huizache	<i>Acacia pennatula</i>
Grevilea	<i>Grevillea robusta</i>
Nacastle	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Jonote	<i>Heliocarpus donnell-smithii</i>
Hilite	<i>Alnus jorullensis</i>
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>
Guarumbo	<i>Cecropia obtusifolia</i>
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>
Cautivo	<i>Ampelocera hottlei</i>

Cultivos intercalados

Plátano	<i>Musa paradisiaca</i>
Naranja (naranja agria)	<i>Citrus aurantium</i>
Naranja (naranja dulce)	<i>Citrus sinensis</i>
Mango	<i>Mangifera indica</i>
Zapote	<i>Diospiros digyna</i>
Aguacate	<i>Persea americana</i>
Mamey	<i>Pouteria sapota</i>
Chile	<i>Capsicum annum</i>
Lima	<i>Citrus limetta</i>
Pimienta	<i>Pimienta dioica</i>
Guayaba	<i>Psidium guajaba</i>
Tabaco	<i>Nicotiana tabacum</i>
Chicozapote	<i>Manilkara sapota</i>

Cultivos Asociados

Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>
Maíz	<i>Zea mays</i>
Caña	<i>Sacharum officinarum</i>
Chile	<i>Capsicum annum</i>

ANEXO 3.

DESCRIPCION DE LAS ZONAS ECOLÓGICAS

Convenciones

Se utiliza la convención de que los tipos de suelos correspondientes a Tabla 3 y los conjuntos de plantas y tipos de clima (lluvias y nortes) correspondientes a la Tabla 2 se marcan con asterisco*. Los no denotados con asteriscos, corresponden a las variables originales presentadas en la Tabla 1. Las letras entre paréntesis después de cada zona corresponden al código en la Figura 9b, indicando que cada punto queda comprendido en la descripción general pero puede tener pequeñas diferencias con respecto al patrón.

Zona 1 (A)

Suelos ligeramente ácidos, con dominancia de tipo franco*, sin piedras, variando de someros a profundos y en diferentes pendientes o inclinaciones del terreno. Lluvias predominantes en invierno*, la densidad de sombra baja; cultivos asociados chile* y caña*. Rendimientos desde bajos a intermedios, buen estado del suelo.

a) Partes bajas: en selvas medianas subperennifolias, sin heladas, con café arábigo* pero también algunos suelos limosos* con café criollo*. Sombra dominante chalahuite y cultivos intercalados plátano-naranja*.

b) Partes altas: en bosque caducifolio, con heladas y algunos suelos calcáreo-arcillos*. Predominancia de arábigo*, hilite o jinicuil como sombra y miscelánea* de cultivos intercalados.

Zona 2 (B)

Suelo y clima similar a la Zona 1 con las siguientes excepciones: pH neutrales, pendientes intermedias y heladas en todos los casos: la densidad de café cercana al promedio; sombra como en (1) pero mostrando más variación. Predominan cultivos inter-

calados miscelánea* y frijol-maíz* como cultivos asociados. Altos rendimientos y buen estado del suelo.

a) Partes intermedias: en encinares, café mezcla*.

b) Partes altas: bosque caducifolio y arábigo*.

Zona 3 (D y H)

Suelos profundos sin piedras. pH neutro y pendientes suaves. Dominan las selvas subperennifolias, sequías de invierno* con heladas frecuentes y mal estado del suelo.

a) Partes bajas: suelo tipo franco*, lluvias de otoño*, y nortes otoño*, café arábigo* y sombra-miscelánea*, sin cultivos intercalados y caña* asociada afuera.

b) Partes intermedias: suelos migajón-arcilloso*, lluvia de verano* y nortes de invierno*, café mezcla* (algo de arábigo*), sombra fundamentalmente vainillo-huizache*, cultivos intercalados plátano-naranja*, (algo de miscelánea*), y todos los tipos de cultivos asociados.

c) Partes altas: lluvias y nortes y variedad de café lo mismo que (a), suelos migajón-arcilloso*, sombra vainillo-huizache*, cultivos intercalados misceláneos y cultivos asociados frijol-maíz*.

La siguiente variación (I.K.) también se encuentra en las partes altas de la zona 3. Suelos profundos con pH neutro y pendientes suaves, algo pedregosos. Nortes en invierno* y heladas frecuentes.

a) Partes altas: en pinares (también bosque caducifolio y selva subperennifolia), todos los tipos de lluvia, suelos migajón-arcillosos*. Café criollo*, densidad de sombra (jinicuil) promedio, aguacate-zapote* como intercalados. (También presenta sombra miscelánea* con plátano-naranja* y misceláneos* como intercalados).

b) Partes muy altas: suelos limosos*, bosque caducifolio, sequías de invierno, bajas densidades de chalahuite, vainilla-

huizache* o hilite como sombra, sin cultivos intercalados* y con frijol-maíz* como asociados.

Zona 4 (F)

Pendientes pronunciadas, suelos limosos* (o migajón-arcillosos*), sin piedras en el suelo y pH neutro. Lluvias otoño* con nortes en invierno* y nortes en primavera*. Café mezcla* (con densidades promedios), la densidad de la sombra alta, cultivos asociados frijol-maíz*.

a) Partes bajas: en selvas altas subperennifolias. Sombra cedro-jonote* y cultivos intercalados miscelánea*.

b) Partes altas: bosque caducifolio (también encinares) con plátano-naranja* como cultivos intercalados y sombra a base de hilite y jinicuil.

Zona 5 (J, M y P)

Suelos someros, pedregosos, ácidos y migajón-arcilloso*, en pendientes pronun-

ciadas a intermedias. Sin nortes, sin heladas, con densidades de café altas, rendimientos promedios y mal estado del suelo.

a) Partes intermedias (sur): selva mediana perennifolia, en variedades de patrones de lluvia, con café arábigo*, sombra de cedro-jonote* y chalahuite, intercalados miscelánea* y aguacate-zapote*, sin cultivos asociados (aunque algunos frijol-maíz*).

b) Partes altas (sur): encinares y bosques caducifolios con lluvias en otoño*, café mezcla* y criollo*, sombra miscelánea* y chalahuite, sin intercalados y con cultivos asociados frijol-maíz*.

c) Partes bajas (norte): en selva mediana subperennifolia, con sequía de invierno*, café arábigo*, sombra cedro-jonote*, cultivos intercalados plátano-naranja* y miscelánea*.

d) Partes altas (norte): bosque caducifolio, lluvia, café y sombra igual que en c) pero sin cultivos intercalados.