

Caracterización y clasificación de suelos con fines productivos en Córdoba, Veracruz, México

Francisco Bautista Zúñiga*
Hilda Rivas Solórzano**
Carmen Durán de Bazúa***
Gerardo Palacio****

Recibido: mayo 12, 1998
Aceptado en versión final: junio 19, 1998

Resumen. Se realizó un estudio de los suelos de la zona cañera de Córdoba, Veracruz, con el fin de realizar una clasificación numérica y otra según la FAO. Por la clasificación numérica se encontraron dos grupos de suelos y sus propiedades de agrupamiento. Mediante regresiones lineales se seleccionaron las propiedades distintivas del suelo: pH, porcentaje de arcillas, densidad real y precipitación pluvial. Un mapa de suelos con mayor detalle realizado con estas propiedades, sería poco costoso y muy útil en la práctica, por la relación con la retención de fosfatos, toxicidad por aluminio, retención de humedad y condiciones de óxido-reducción. De acuerdo con la nomenclatura FAO se encuentran suelos de las unidades acrisol, lixisol, fluvisol y cambisol; los dos primeros no habían sido reportados.

Palabras clave: Mapa de suelos; propiedades del suelo; caña de azúcar, Veracruz, México; análisis estadístico multivariado; análisis de conglomerados.

Summary. The epipedons of soils for sugarcane cultivation from Córdoba, Veracruz, Mexico, were analyzed, ordered and classified using multivariate statistical procedures. Soils were also classified according to FAO nomenclature. Two groups of soils and their diagnostic properties were found. With lineal regressions we selected the diagnostic soil properties that are easy to analyze, as: pH, clay percent, real density, and water rain (in mm). The drawing to soil maps at large scale with these soil properties would be an easy, less expensive and useful way to identify the areas susceptible for the application of waste on soil, also for amendments for sugarcane crops, for example, phosphate fixation, Al toxicity, water retention, redox conditions, among others ones. The mayor soil groups are: acrisol, lixisol, fluvisol and cambisol. Acrisol and lixisol are reported for the first time for this geographical region.

Key words: Multivariate statistical analysis, principal component analysis, cluster analysis, soil maps, soil properties, Mexico, sugarcane.

INTRODUCCIÓN

El estado de Veracruz es el más importante productor nacional de azúcar. En él se localizan 14 ingenios azucareros, se cosechan alrededor de 197 822 ha, de las cuales se obtienen 1 201 564 t de azúcar que constituyen 35.8% del total nacional (Rodríguez, 1994). En el municipio Atoyac en Córdoba, Veracruz, se localizan alrededor de 30 000 ha de cultivo de caña. No existen reportes sobre los suelos en los que se cultiva la caña. La carta edafológica (INEGI, 1984) indica la presencia de una asociación de suelos vertisol crómico-vertisol pélico- cambisol vértico- fluvisol eútrico; sin

embargo, para la planeación del manejo agrícola con el fin de aumentar la producción de azúcar y para la adecuada disposición de los desechos sólidos y líquidos producidos por los ingenios azucareros se requiere conocer la ubicación espacial de los suelos, sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como los procesos pedogénicos. El alto costo de los estudios pedogénicos (Zinck, 1990; Martínez y Ortíz, 1992; Rangel y García, 1994) ocasiona que las prácticas de manejo agrícola del suelo se realicen sin el conocimiento de los procesos que operan y sin un cabal conocimiento de las propiedades químicas y físicas, lo cual origina problemas de degradación edáfica; uso

* Autor para correspondencia: Facultad de Ciencias, UNAM, México;
Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales, FMVZ

** UADY, Apdo. Postal 28, Cordemex, 97110, Mérida, Yucatán, México.

*** Facultad de Ciencias e Instituto de Geografía, UNAM, México.

**** Facultad de Química, UNAM, México.

***** EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche, México.

excesivo de insumos agrícolas, y deficiente disposición de desechos que pueden llegar a generar problemas de contaminación. Ante la necesidad de aumentar la producción agrícola, disminuir la contaminación ambiental por la generación y aplicación de desechos en los campos cañeros, y reutilizar los desechos, se hace necesario realizar un diagnóstico de los suelos, así como diseñar una metodología que disminuya los costos del estudio del suelo, además, se puede combinar el enfoque productivo y el pedogénico para entender con mayor profundidad los procesos que se presentan en el suelo teniendo presente su manejo. En la búsqueda de las propiedades "clave" que ayuden a distinguir un suelo de otro, el análisis multivariado es una herramienta que sirve para relacionar variables y establecer su importancia jerárquica en la variabilidad, lo que permite realizar interpretaciones que no se alcanzan con métodos estadísticos univariados. También es posible establecer grupos similares para estudios descriptivos y detectar relaciones entre suelos con base en los valores de sus propiedades (Jongerman *et al.*, 1987). Los objetivos del trabajo son realizar un diagnóstico de los suelos cañeros del municipio Atoyac en Córdoba, Veracruz, e identificar las propiedades y procesos más importantes del suelo que pudieran funcionar para identificarlos de manera rápida y sencilla, con el fin de realizar cartografía de suelos que sea útil en el manejo del ecosistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona en estudio

El municipio Atoyac se encuentra a 20 km al noreste de la ciudad de Córdoba en el estado de Veracruz, entre los 18° 55' y 18° 45' de LN y los 96° 40' y 96° 52' LO.

La zona en estudio y de cultivo de la caña de azúcar se encuentra en una llanura aluvial que está rodeada por la sierra Atoyac que tiene una pendiente de 1.44% con orientación noroeste suroeste. El clima, junto con la topografía, son los factores formadores de suelo que pueden ser utilizados para la identificación y localización de los diversos suelos de la región, debido a que los otros factores formadores como la geología del lugar, la vegetación y tiempo, no varían.

Levantamiento de suelos y clasificación de los perfiles (FAO)

El levantamiento de suelos se realizó con base en dos estrategias: el conocimiento de los productores y el análisis de la información generada por INEGI (1984) que consiste en mapas (geológico, edafológico, vegetación y uso actual, efectos climáticos, aguas superficiales en escala 1:250 000 y topográfico 1:50 000) y fotografías aéreas (escala 1:20 000) con lo cual se identificaron las unidades geomorfológicas.

Se seleccionaron nueve sitios para la realización de siete perfiles, dos pozos y numerosas barrenaciones. Se clasificaron los suelos de acuerdo con la nomenclatura FAO (Spaargaren, 1994) y se identificaron los procesos pedogénicos.

Análisis de las muestras

Las muestras de suelo se secaron al aire y se tamizaron con una malla de 2 mm, las propiedades analizadas fueron: densidad real, porosidad, textura por Bouyoucos, retención de humedad a 0.3 atmósferas (Blake, 1976), pH y conductividad eléctrica relación 1:2.5 suelo:agua, capacidad de intercambio de cationes con cloruro de bario y con acetato de amonio (Houba, 1988), cationes intercambiables con acetato de amonio (Houba, 1988), saturación de bases y carbono orgánico con dicromato de potasio (Walkley y Black, en Jackson, 1979), fijación de fosfatos con ácido oxálico (Blakemore y Searle, 1981) y fósforo (Houba, 1988). Se realizaron análisis de difracción y fluorescencia de rayos X en dos suelos con un difractómetro Philips PW-1050 y con un espectrómetro secuencial Siemens SRS 3000 automatizado.

Ordenación y clasificación numérica de los sitios

Con el fin de realizar una ordenación y clasificación numérica de los datos, se creó una matriz de nueve propiedades de los sitios (profundidad, pH, capacidad de intercambio de cationes (CIC), carbono orgánico, porcentaje de arcilla y capacidad de campo (CC) y con la precipitación pluvial de cada sitio, por nueve suelos. Se aplicaron técnicas de ordenación y clasificación (Webster y Oliver, 1990). La ordenación se realizó con el método de componentes principales (Afifi y Clark, 1990). Para realizar este análisis la matriz se centró y estandarizó. Se aplicó el análisis de similitud, seguido de un análisis de conglomerados "clusters" (Jongerman *et al.*, 1987). Una vez detectadas las propiedades "clave", se realizaron correlaciones simples entre ellas y otras propiedades con el fin de identificar aquéllas que por su sencillez fueran las más apropiadas para utilizar en un diagnóstico rápido.

RESULTADOS

La morfopedología

La morfología del Valle Atoyac corresponde a una llanura aluvial de pie de monte. Es una planicie inclinada que se extiende al pie de sistemas montañosos y serranías que rodean a la ciudad de Córdoba, Veracruz, y que ha sido formada por la sedimentación de corrientes de agua que emergen de los terrenos elevados hacia las zonas más bajas y abiertas. La dispersión combinada de materiales diluviales y fluviales origina superficies niveladas en donde los materiales se depositan en capas o estratos delgados dispuestos en

forma caótica al pie de las serranías y con un claro sorteamiento en las áreas propiamente fluviales.

Dentro de la llanura aluvial de pie de monte se pueden delimitar dos unidades geomórficas caracterizadas por diferentes ritmos sucesivos de acumulación y por los condicionamientos fisicogeográficos regionales y locales. Estas unidades fueron nombradas: llanura aluvial de pie de monte alta y llanura aluvial de pie de monte baja. Son alta y baja según la ocurrencia temporal en el ritmo de acumulación sucesiva de abanicos superpuestos, su variabilidad altitudinal y su clima regional y local.

La llanura baja está compuesta por materiales extendidos en una primera avanzada de acumulación originando una planicie suavemente inclinada que gradualmente se confunde con la llanura contigua. Sobre ésta, una segunda acumulación alcanza, por una actividad fluvial y deluvial más reciente y activa, mayores niveles altitudinales.

Una vez diferenciadas estas dos grandes unidades, hacia su interior se pueden reconocer dos subunidades por su posición relativa con respecto a los principales aportes de sedimentos; éstos son la porción proximal o cercana al ápice o punto de dispersión de sedimentos y pie de monte inmediato a las serranías, y la porción distal o alejada de los principales aportes de sedimentos compuesta por los cuerpos y las bases de la coalescencia de varios abanicos aluviales. Al mismo tiempo, ambas porciones distales coinciden con la regularidad climática impuesta por la isoyeta de 1 400 mm en la época de lluvias (mayo-octubre) como frontera de humedad. Como condición adicional las áreas cercanas a las serranías son colectoras naturales de la humedad condensada por altitud existiendo, por tanto, zonas con cantidades adicionales de agua (Figura 1).

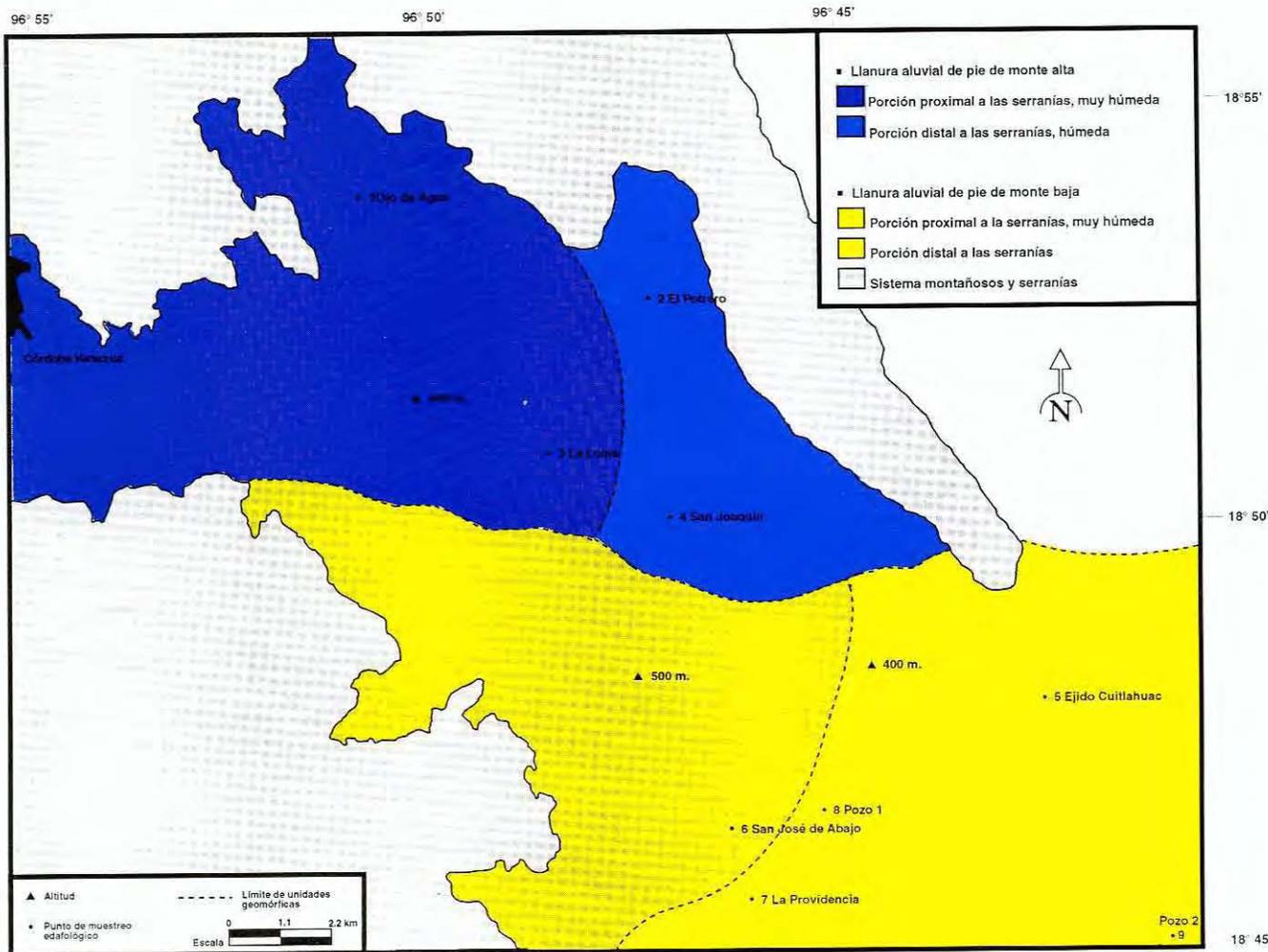


Figura 1. Morfopedología del Valle de Atoyac.

Cada subunidad tiene asociados procesos morfo-dinámicos determinados principalmente por los efectos de la meteorización física y química impuesta en primera instancia por el clima regional y cuyos efectos participan en el conjunto de los procesos pedogenéticos

primarios que originan la diferenciación de los suelos. A continuación se describen los suelos de cada una de las subunidades geomórficas con sus correspondientes perfiles y sus principales características (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Principales características de los horizontes de los suelos

Localidad	H	Profun.	pH	CIC BaCl ₂	CIC AcNH ₄	SB	CC	C org.	Limos	Arcilla	textura
		cm		c(+)mol/kg		%	%	%	%	%	
Ojo de Agua	Ap	0-20	4.48	14.0	4.09	35	41	4.37	27	44	Arcilla
	Ap	20-28	4.88	10.2	3.51	35	38	1.49	32	45	Arcilla
	Bt	28-36	5.20	4.2	9.29	35	35	2.48	19	50	Arcilla
	Bt	36-50	5.36	4.2	13.57	35	36	1.38	15	65	Arcilla
La Loma	Ap	0-21	4.91	27.2	4.73	79	37	1.66	16	73	Arcilla
		21-36	4.90	13.0	4.74	80	38	3.31	18	77	Arcilla
		36-60	5.13	3.6	4.14	80	43	2.05	16	49	Arcilla
San José de Abajo	Ap	0-20	4.50	ND	15.12	ND	39	2.66	20	50	Arcilla
	B	20-40	4.60	ND	9.20	ND	40	0.74	12	54	Arcilla
	C	40-60	4.50	ND	9.83	ND	40	0.38	10	56	Arcilla
La Providencia	Ap	0-16	5.40	ND	14.38	ND	25	3.52	30	22	Franco
	Ap	16-27	5.20	ND	17.55	ND	27	3.16	30	26	Franco
	Bt	27-47	5.30	ND		ND	37		30	46	Arcilla
	C	47-80	5.1	ND	9.41	ND	36	0.49	23	44	Arcilla
San Joaquín	Ap	0-36	5.76	8.6	16.79	80	33	3.75	28	35	Migajón arcilloso
	Bt	36-60	6.40	6.4	21.15	80	37	1.87	20	41	Migajón arcilloso
Cuitláhuac	Ap	0-21	6.62	20.0	17.18	95	28	3.73	18	35	Arcillo arenoso
	Bw	21-33	6.81	10.2	15.27	95	28	2.94	18	37	Migajón arcilloso
	C	33-64	6.99	3.0	17.83	95	35	2.10	26	35	Migajón arcilloso
El Potrero	Ap	0-30	6.16	30.2	25.45	80	32	3.78	28	46	Arcilla
	Ap	30-44	6.45	31.0	24.11	80	36	3.30	44	32	Franco arcilloso
	Bt	44-60	6.83	27.2	17.03	80	32	1.94	32	38	Franco arcilloso
	Bt	60-110	6.95	21.8	12.90	80	34	1.31	20	47	Arcilla
Pozo 1	Ap	0-25	6.1	ND	18.27	ND	15	7.26	22	8	Migajón arenoso
Pozo 2	Ap	0-25	5.5	ND	12.05	ND	22	2.42	28	18	Migajón arenoso

H = horizonte, Profun = profundidad, C org = carbono orgánico, CIC = capacidad de intercambio de cationes, SB = saturación de bases, ND = no determinado y CC = capacidad de campo.

LLANURA ALUVIAL DE PIE DE MONTE ALTA, PORCIÓN PROXIMAL A LAS SERRANÍAS, MUY HÚMEDA

Ojo de Agua

Las evidencias que se tienen para clasificar como acrisol al suelo de la localidad Ojo de Agua son: presencia de un horizonte Bt, acidez, baja capacidad de intercambio de cationes y saturación de bases mayor de 50%. Además, como en todos los horizontes hay más de 1% de materia orgánica, se le clasifica como acrisol húmico. El análisis de difracción de rayos X revela la presencia de halloysita como principal aluminosilicato, así como la presencia de hematita y bohemita.

Los procesos que se identifican por su morfología y el análisis físico y químico son: fuerte lixiviación de cationes intercambiables, intemperismo intenso y deficiencia del drenaje interno en la parte baja del perfil. Este suelo se localiza en la parte norte de la zona en estudio (**Figura 2**). Este suelo no ha sido regado con aguas residuales, pero ha recibido aplicaciones de cachaza. En cuanto a las cuestiones agrícolas, este suelo presenta diversos problemas: fijación de fósforo; bajas cantidades de calcio, magnesio y potasio; problemas por el aluminio intercambiable (toxicidad y disminución de la CIC); condiciones reductoras en la parte baja del perfil; y compactación. En términos productivos este suelo se considera como marginal.

La Loma

En la localidad La Loma, el perfil se clasifica como acrisol. Este suelo presenta horizonte Bt, pH = 4.9, baja CIC. Las cantidades de arcillas son altas en los tres horizontes (entre 49 y 77%). La CIC se encuentra fuertemente disminuida por el aluminio intercambiable. Este suelo no ha sido regado con aguas residuales pero ha recibido aplicaciones de cachaza. Presenta compactación; acidez; bajas cantidades de potasio, calcio y magnesio; disminución de la CIC por Fe y Al intercambiables; y fijación de fósforo (23.3%). Es considerado como suelo de baja calidad agrícola.

LLANURA ALUVIAL DE PIE DE MONTE ALTA, PORCIÓN DISTAL A LAS SERRANÍAS, HÚMEDA

El Potrero

Se clasifica como fluvisol vértico por distribución irregular del tamaño de partículas, sin alteración en los estratos a 25 cm de profundidad, las grietas profundas que presenta, alta capacidad de intercambio de cationes y potencial de hidrógeno cercano a la neutralidad. El análisis de difracción de rayos X revela la predominancia de halloysita.

Este suelo se encuentra en la parte plana del terreno y no muestra compactación. Ha sido regado con aguas residuales y recibido aplicaciones de cachaza. No presenta problemas de salinidad, ni de compactación. Este suelo está considerado por los productores como de alta calidad agrícola.

San Joaquín

Es un lixisol por horizonte Bt, CIC de 16.8 c(+)/mol/kg y alta saturación de bases (bien provisto de calcio y magnesio, pero con cantidades bajas de potasio). En la superficie es pedregoso, gravoso, con 3.75% de MO y pH ácido (5.8). Presenta condiciones reductoras en la parte baja del perfil y está muy compacto, lo cual es un factor limitativo del crecimiento radical de la caña de azúcar. Ha recibido aplicaciones de cachaza. Se utiliza riego de aguas fluviales pero no aguas residuales del ingenio. Considerado por los productores como de mediana calidad agrícola.

LLANURA ALUVIAL DE PIE DE MONTE BAJA, PORCIÓN PROXIMAL A LAS SERRANÍAS, MUY HÚMEDA

San José de Abajo

Es un acrisol. La capacidad de intercambio de cationes en la superficie es de 15 c(+)/mol/kg y en los horizontes subsuperficiales de 9.8 c(+)/mol/kg. Los valores de pH son muy ácidos (4.5). No muestra el horizonte Bt debido a labores agrícolas. Los tres horizontes se clasifican como arcilla.

Las arcillas aumentan con la profundidad, al igual que la capacidad de campo. En este suelo el drenaje es deficiente por la compactación de los horizontes subsuperficiales, se identifican condiciones reductoras en la parte baja del perfil. Los porcentajes de materia orgánica son de 2.6 a 0.38%. El suelo se localiza sobre superficies de lomeríos poco inclinados y parcialmente decapitados. No ha recibido aplicación de vinaza. Los productores lo consideran de baja calidad.

LLANURA ALUVIAL DE PIE DE MONTE BAJA, PORCIÓN DISTAL A LAS SERRANÍAS, HÚMEDA

Ejido Cuitláhuac

Es un cambisol, con un horizonte Bw. En la superficie es pedregoso, gravoso, CIC de 17 c(+)/mol/kg, saturación de bases arriba de 80%, altas cantidades de MO (3.7%) y pH de 6.4 a 6.99. Presenta compactación en los horizontes subsuperficiales. Este suelo ha sido regado con aguas residuales de los ingenios; no muestra problemas de salinidad; y es considerado como marginal. La retención de fosfatos se incrementa con la profundidad, al

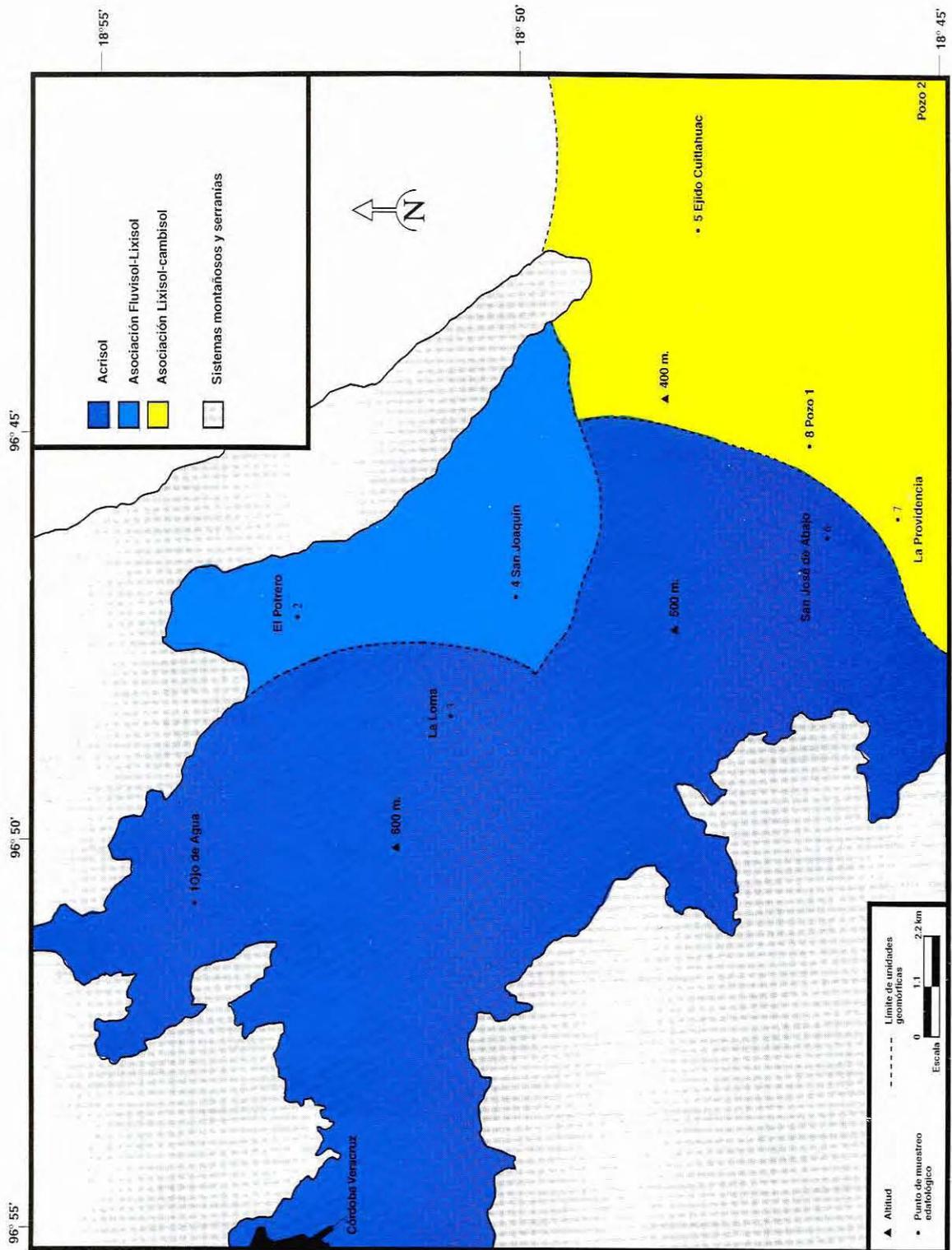


Figura 2. Mapa de suelos del Valle de Atoyac.

igual que el aluminio; la capacidad de campo aumenta con la profundidad y se relaciona con la disminución del porcentaje de arenas. Este suelo ha recibido aguas residuales, riego y es considerado como de baja calidad.

La Providencia

Es un lixisol. Presenta un horizonte Bt, CIC (17.55 a 14.38 c(+)/mol/kg), saturación de bases mayor de 50%, valores de pH de 5.4. La estructura es granular en el horizonte superficial y de bloques angulares en los subsuperficiales; drenaje deficiente en la parte baja del perfil; y el porcentaje de materia orgánica es de 3.52 a 0.38%. La capacidad de campo aumenta en los horizontes subsuperficiales y la cantidad relativa de arenas disminuye. De manera general puede decirse que se presentan problemas por acidez, drenaje y compactación. Este suelo ha recibido aplicaciones de cachaza y se considera como de mediana calidad.

Pozos 1 y 2

Los pozos 1 y 2 tienen su origen en los sedimentos arcillosos sobre los aluviones de los arroyos que surcan la planicie de monte. Se han desarrollado sobre tepetates en superficies ligeramente onduladas.

De manera general y en relación con todos los perfiles descritos, la identificación de las unidades de suelos se dificulta porque tienen cerca de un siglo de labores agrícolas en las que han recibido aguas residuales y/o cachaza, han desarrollado el piso de arado y los horizontes superficiales han sido mezclados; por esta razón se han perdido algunas de sus propiedades características.

LA ORDENACIÓN Y CLASIFICACIÓN NUMÉRICA DE LOS SITIOS

Ordenación

Los cuatro primeros componentes principales explican un 92.7% de la variación (**Cuadro 2**). Con los valores propios de las propiedades de los sitios (**Cuadro 3**) se calculó la variación explicada para cada propiedad (**Cuadro 4**), utilizando la siguiente fórmula (Pla, 1986 en López *et al.*, 1992):

$$r(jk) = |l(jk) * \lambda(k)|^{1/2,2}$$

donde:

$r(jk)$ = variación explicada,

$l(jk)$ = valor propio de cada propiedad del sitio para un componente dado.

$\lambda(k)$ = valor propio de cada componente.

Ejemplo: variación explicada para pH= $|0.455 * 3.916|^{1/2,2} = 0.81$.

El primer componente se encuentra asociado con el pH y CIC explicando la variación en 81 y 82% respectivamente, por lo que estas propiedades del suelo son las más importantes para la distinción entre sitios. Considerando el segundo componente, las propiedades que mejor explican la variación entre sitios son: precipitación pluvial (97%); CIC (93%); arcilla (92%) y pH (83%). El carbono, limos y fósforo fueron las propiedades explicadas por los componentes 3 y 4 y por tanto, las que menos explican la variación.

Cuadro 2. Valores propios para cada componente con el valor porcentual de la varianza explicada

Componente	Valores propios	Porcentaje del total	Porcentaje acumulativo
1	3.916	43.5	43.5
2	1.977	22.0	65.5
3	1.402	15.6	81.1
4	1.046	11.6	92.7

Cuadro 3. "Valores propios"¹ de las propiedades de los sitios en los dos ejes del análisis de componentes principales

Propiedad	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
Profundidad	0.32	- 0.36	0.06	0.48
pH	0.46	- 0.10	- 0.05	- 0.30
CIC	0.46	- 0.24	0.005	0.02
C	0.30	0.36	- 0.42	0.19
Arcilla	- 0.32	- 0.51	- 0.16	0.3
pp	- 0.37	0.47	0.03	0.08
CC	- 0.37	- 0.36	- 0.008	0.32
Limos	0.14	0.24	0.47	0.64
Fósforo	0.02	- 0.05	0.76	- 0.34

CLASIFICACIÓN NUMÉRICA

Por el análisis de conglomerados se identifican dos grupos con un 54% de similitud. El primero de ellos presenta al interior 61% de similitud el otro 64%. El

primero contiene a los sitios que reciben menor cantidad de precipitación pluvial, contrario a lo que sucede en el segundo grupo con los sitios localizados en la zona que recibe mayor cantidad de agua de lluvia (**Cuadro 5**).

Cuadro 4. Proporción de la variación explicada para cada propiedad de los sitios por cada componente

Propiedad	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Variación explicada acumulada (%)
Profundidad	0.40	0.25	0.01	0.24	90
pH	0.81	0.02	0.00	0.10	93
CIC	0.82	0.11	0.00	0.00	93
C	0.35	0.26	0.25	0.04	90
Arcilla	0.41	0.51	0.03	0.00	96
pp	0.53	0.44	0.00	0.01	98
CC	0.53	0.26	0.00	0.11	90
Limos	0.07	0.12	0.31	0.43	93
Fósforo	0.002	0.01	0.80	0.12	93

Cuadro 5. Agrupación de suelos por pares

Nodos	Grupo 1	Grupo 2	Similaridad	Número de suelos por grupo
1	San José	Ojo de Agua	0.84	2
2	El Potrero	San Joaquín	0.83	2
3	Nodo 2	Cuitláhuac	0.75	3
4	Nodo 1	Providencia	0.73	3
5	Nodo 4	La Loma	0.67	4
6	Nodo 3	Pozo 2	0.64	4
7	Nodo 6	Pozo 1	0.61	5
8	Nodo 5	Nodo 7	0.54	9

¹ Eigenectores.

El primer nodo está compuesto por los sitios San José de Abajo y Ojo de Agua que se encuentran dentro de la isoyeta de mayor precipitación, son los suelos más semejantes (84%) aun cuando no son los más cercanos entre sí. A este nodo se les asocia, posteriormente, La Providencia y La Loma.

El segundo nodo, que presenta un 83.6%, está compuesto por El Potrero y San Joaquín que se encuentran cerca y aun cuando su epipedón es parecido, difieren en otros aspectos, siendo el primero más profundo y menos compacto que el segundo, entre otros. A este nodo se asocian el Ejido Cuitláhuac, Pozo 1 y Pozo 2.

Los sitios que menor similitud presentan con los dos grupos formados son los Pozos 1 y 2 y La Loma. Esto puede deberse a que se encuentran cerca de los ríos y han perdido parcialmente el horizonte A.

CORRELACIONES SIMPLES

Teóricamente se conoce que los suelos que reciben mayor precipitación pluvial presentan pH ácidos y arcillas de menor capacidad de intercambio de cationes, por lo que la relación entre precipitación pluvial y la capacidad de intercambio de cationes se presenta matemáticamente de acuerdo con la ecuación:

$$y = -1.435x + 38.62 \quad (r = 0.56)$$

donde:

y = CIC en c (+)mol/kg,

x = mm de precipitación pluvial/100.

El valor de la relación (r) es bajo debido, probablemente, a las sustancias húmicas de los suelos o a que algunos suelos reciben agua de riego que contiene iones, disminuyendo de esa manera la pérdida de bases y la degradación mineral (Bohn *et al.*, 1993). Por la escasa relación entre la CIC y la pp los mapas de efectos climáticos no son del todo confiables para identificar las zonas más intemperizadas.

La ecuación que describe la relación entre la precipitación pluvial y el pH también es inversamente proporcional:

$$y = -0.2311x + 9.4211 \quad (r = 0.80)$$

donde:

y = pH,

x = mm de precipitación pluvial/100.

El coeficiente de regresión (r) indica que la relación entre variables se presenta como se esperaba de manera teórica, ya que es sabido que el lavado de bases de los minerales aumenta la acidez del suelo (Bohn *et al.*, 1993).

La relación entre el pH y la CIC alcanza valores de $r=0.55$, pero si no se tiene en cuenta el dato del epipedón San José la relación aumenta, lo cual sugiere que pudiera existir alguna interferencia en la medición de la CIC. El modelo se describe por la siguiente ecuación:

$$y = 0.084x + 4.43 \quad (r = 0.85).$$

La capacidad de campo es directamente proporcional al porcentaje de arcilla y el modelo lo explica con suficiencia.

$$y = 0.037x + 1.66 \quad (r = 0.84)$$

donde :

y = porcentaje de arcilla,

x = porcentaje de agua a CC/ 10.

Por las observaciones de campo puede decirse que los suelos con altos contenidos de arcilla presentan condiciones reductoras en los horizontes subsuperficiales, principalmente en los suelos de mayor acidez.

La capacidad de intercambio de cationes es directamente proporcional a la densidad real:

$$y = 0.006x + 2.65 \quad (r = 0.91)$$

donde

y = densidad real en g/mL,

x = CIC en c (+)mol/kg.

La importancia de esta relación radica en la posibilidad de estimar un parámetro que se puede considerar "barato" (densidad real) en tiempo de realización, reactivos utilizados y especialización del técnico analista en comparación del análisis "caro" de capacidad de intercambio de cationes.

No es común encontrar una relación lineal entre estas características edáficas; sin embargo, en este caso la predominancia de las arcillas en todos los suelos ocasiona que la densidad real se encuentre dominada por esta fracción que varía ampliamente y que presenta características muy diferentes, que se muestran más claramente por la CIC. La densidad real es una propiedad distintiva de los minerales de arcilla cuando en los suelos domina la fracción de arena o

limos y aunque es la misma roca madre, la densidad real permanece con escasa variación.

Los contenidos de carbono orgánico no presentan correlación con las demás propiedades medidas, debido a que las cantidades en el suelo dependen del manejo más que de los procesos pedogénicos.

DISCUSIÓN

En el municipio Atoyac no se habían identificado las unidades acrisol y lixisol, tal vez porque se localizan en la zona de pie de monte aledaña a la isoyeta de 1 700 mm.

En el acrisol y lixisol el cultivo de la caña es de temporal, por su localización en las partes más altas, como la localidad Ojo de Agua o muy alejadas de la zona de riego como La Loma, por esta situación no han sido regados con agua residual aun cuando han recibido aplicaciones de cachaza. Estos suelos son los de menor calidad agrícola por la toxicidad por aluminio, acidez, baja capacidad de retención de nutrimentos y la compactación que presentan. Otra característica de estos suelos ácidos es la presencia de altos contenidos de arcilla.

El análisis de ordenación y clasificación numérica de los sitios permitió identificar las propiedades clave con las cuales podrían realizarse mapas de los epipedones de mayor detalle de utilidad agrícola con el que podrían identificarse las limitantes químicas y físicas más importantes, así como para la disposición de los desechos del ingenio. Las propiedades clave son: pH, CIC, CC, DR, arcilla y precipitación.

La realización de mapas a nivel de parcela que fueran rápidos y baratos, podrían realizarse con datos de pH, DR y textura. Con estas propiedades se podrían estimar capacidad de intercambiar cationes con DR; drenaje interno con textura; fijación de fósforo con pH; reservas minerales con textura; riesgo de erosión con textura, entre otras. En términos de manejo, la realización de mapas con las características antes mencionadas servirían para: a) aplicación de enmiendas y estimación de las cantidades a aplicar, por ejemplo cal, vinaza, cachaza y otras; b) fertilización, y c) siembra de distintas variedades o cultivares, entre otras.

La selección de las propiedades de los suelos utilizadas en el ordenamiento y clasificación numérica de los sitios debe realizarse con cuidado y tratando de incluir las propiedades distintivas más importantes. En este estudio se clasificaron dentro del mismo grupo y con un nivel de similitud alto (83%) a dos suelos con morfología diferente: El Potrero (fluvisol) y Ejido Cuitláhuac (cambisol) debido a que en el análisis de componentes principales no se incluyeron propiedades

como profundidad total del suelo, compactación y pedregosidad, entre otras. Dentro de ese mismo grupo se incorpora al perfil San Joaquín (lixisol), los suelos se encuentran localizados entre las isoyetas 1 200 y 1 400 mm de precipitación pluvial. Este grupo de suelos es de menor acidez, la CIC es mayor y presenta mayor contenido de bases. Los pozos 1 y 2 se unen a este grupo, sin embargo, el porcentaje de similitud es muy bajo. Ambos pozos se localizan casi sobre las isoyetas de 1 700 y 1 400 mm de pp en los pozos 1 y 2, respectivamente.

El análisis de clasificación numérica por conglomerados concuerda con las isoyetas del mapa de efectos climáticos mayo-octubre; en la cual los perfiles Ojo de agua, San José de Abajo y La Providencia se encuentran en un grupo localizados entre las isoyetas de 1 700 y 2 000 mm de precipitación pluvial (**Figura 3**). A este grupo se le une el perfil La Loma localizado entre los 1 400 y 1 700 mm de pp. Este grupo se caracteriza por ser el de menor calidad agrícola por la toxicidad por aluminio, acidez, baja capacidad de retención de nutrimentos, compactación y altos contenidos de arcilla.

La realización del análisis del perfil permite identificar procesos que en el análisis del epipedón no se observan, por ejemplo, las condiciones reductoras en la parte baja del perfil y la compactación de los horizontes subsuperficiales. Es por esto que, en la medida de lo posible, debe estudiarse el perfil al menos con análisis rápidos de campo y observaciones visuales de los procesos (motas negras y rojas de los óxidos de manganeso y hierro, respectivamente, en el caso de las condiciones reductoras, entre otras).

Por la clasificación FAO de los suelos pueden formarse tres grupos: a) suelos ácidos de la unidad acrisol que son los de menor calidad agrícola debido a la toxicidad por aluminio, acidez, baja capacidad de retención de nutrimentos, compactación y altos contenidos de arcilla. b) Los suelos de la unidad lixisol, con pH entre 5 y 6 que se encuentran en las localidades La Providencia y San Joaquín, presentan CIC con valores entre 14 y 17 c(+)mol/kg en el horizonte Ap; y texturas medias. c) El grupo de los suelos menos ácidos se encuentra en las localidades Ejido Cuitláhuac y El Potrero, donde la CIC es mayor, alcanzando valores de 25 c(+)mol/kg.

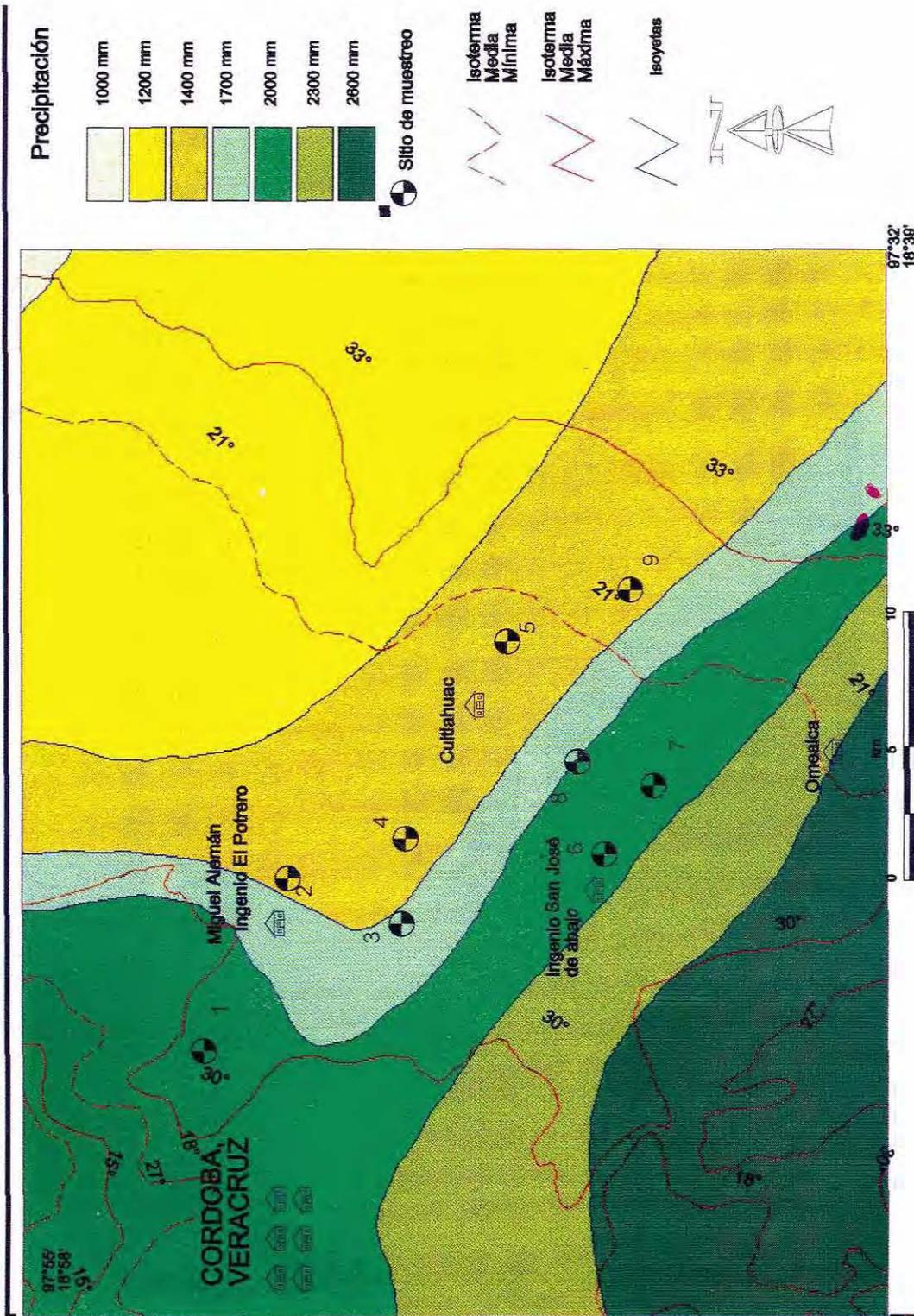


Figura 3. Localización de los sitios de muestreo e isoyetas mayo a octubre. 1. Ojo de Agua; 2. El Potrero; 3. La Loma; 4. San Joaquín; 5. Ejido Cuitláhuac; 6. San José de Abajo; 7. La Providencia; 8. Pozo 1; 9. Pozo 2. Fuente: INEGI.

La formación de los grupos de suelos, con base en la nomenclatura FAO, indica que el clima y la cercanía a las serranías son los factores formadores de suelo que influyen, de manera determinante, en la morfología del perfil.

Por la naturaleza de la agrupación numérica de los sitios, donde únicamente es considerado el epipedón, es difícil la comparación con los otros grupos formados con base en la nomenclatura FAO como también lo encuentra Martínez y Ortíz (1992).

La información proporcionada por los campesinos no coincidió con la encontrada técnicamente, debido a que se esperaba un mayor número de diferencias entre suelos; sin embargo, es posible que por el tamaño de la escala no se reflejen las diferencias que los productores observan, o que las propiedades de los suelos que fueron utilizadas en el diagnóstico no sean lo suficientemente sensibles para detectar las diferencias (López *et al.*, 1992). Se recomienda considerar propiedades como la profundidad, compactación y pedregosidad, entre otras, en la comparación de clasificaciones numéricas, campesinas y técnicas se requiere.

En el diagnóstico de suelos a escala pequeña son de primordial importancia los mapas geomorfológicos para trazar los límites, muy por encima del análisis fisiográfico (Tricart y Kilian, 1982). En ese sentido este trabajo es un acercamiento al conocimiento de los suelos del municipio Atoyac; sin embargo, cuando el objetivo del levantamiento de suelos radica en el conocimiento detallado, a nivel parcela, es de suma

importancia reconocer e incorporar el conocimiento campesino de los suelos (Licona *et al.*, 1992) pero a la vez, es necesario identificar las propiedades del suelo que pudieran ser distintivas, como en este caso. En este estudio al igual que en López *et al.* (1992); Rangel y García (1994); Theocharopoulos *et al.* (1997), los métodos multivariados han sido una herramienta de gran utilidad en el conocimiento de las propiedades distintivas de los suelos.

CONCLUSIONES

En el municipio Atoyac se encuentran suelos de las unidades fluvisol vértico, acrisol húmico, lixisol y cambisol.

Los principales procesos edáficos detectados fueron alto intemperismo (suelos ácidos), reducción fuerte en la parte baja de casi todos los perfiles (excepto en el fluvisol); inversión del perfil en el fluvisol vértico; compactación en casi todos los perfiles, excepto en el fluvisol; y fijación de fósforo en los suelos ácidos (acrisol y lixisol).

La propiedades distintivas fueron pH, CIC, CC, DR, arcilla y precipitación. Todas ellas de bajo costo.

AGRADECIMIENTOS

A las Dras. Teresa Reyna y Lourdes Villers por la asesoría. A la M. en C. Margarita Gutiérrez por el apoyo técnico. Al Dr. Bernard Triompe y Dra. Isabel Sohn por la revisión del manuscrito.

REFERENCIAS

- ☞ Affi y Clark (1990), *Computer aided multivariate methods analysis*, Chapman, Nueva York, EUA.
- ☞ Blake, G. (1976), "Particle density. Methods of soil analysis", *Agronomy, No 9. Part I. American Society of Agronomy*, Madison, Wisconsin, EUA.
- ☞ Blakemore, L. y P. Searle (1981), "Methods for chemical analysis of soil", *N.Z. Soil Bur. Sci. Rep. 10ª. Soil Bureau, Lower Hutt, Nueva Zelanda*.
- ☞ Bohn, H., B. Mcneal y G. O'Connor (1993), *Química del suelo*, Limusa, México.
- ☞ Houba, V. (1988), *Soil and plant analysis*, 4ª edición Syllabi Wao, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Holanda.
- ☞ INEGI (1984), Carta Edafológica, Veracruz E14-3. Escala 1:250 000.
- ☞ Jackson, M. (1970), *Análisis químico de suelos*, Omega, Barcelona, España.
- ☞ Jongerman, R. H., C. J. Ter-Braak y O.F. van Tongeren (1987), *Data analysis in community and landscape ecology*, Pudoc, Wageningen, The Netherlands, 297 pp.
- ☞ Legendre, L. y P. Legendre (1983), *Numerical ecology*, Elsevier Scientific Publishing Company, The Netherlands, 419 p.
- ☞ Licona, A., C. A. Ortiz Solorio, D. Pájaro Huertas y R. Ortega Paczaka (1992), "Utilidad de las clases de tierras campesinas en el análisis de la técnica de producción agrícola en ejidos del centro de Veracruz, México", *Agrociencias*, 3(4): 107-118.
- ☞ López Hernández, J. R., C. A. Ortiz Solorio, E. Ojeda Trejo y M. E. Ramírez Guzmán (1992), "Definición de las cualidades de la tierra en el ejido San Salvador Atenco", *Agrociencia*, 3(4): 69-89.
- ☞ Martínez, J. y C. Ortiz (1992), "Cartografía campesina de tierras de villa de Hidalgo, Zacatecas y su conservación con la carta edafológica de INEGI", *Terra*, 10(2): 140-150.
- ☞ Rodríguez, R. (1994), *El cultivo de la caña de azúcar en México*, Trujillo, México.
- ☞ Rangel, L. y A. García (1994), "Multivariate prediction of values of soil properties at unsampled sites by means of matrix cokriging", *Symposium ID-15. Soil data needs for expressing land qualities at different scales 289-290*. 15º Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, Acapulco, México.
- ☞ Spaargaren, O. C. (1994), *World reference base for soil resources*, ISSS-ISSRIC-FAO.
- ☞ Theocharopoulos S., P. Petrakis y A. Trikatsoula (1997), "Multivariate analysis of soil grid data as a soil classification and mapping tool: the case study of a homogeneous plain in Vagia, Viotia, Greece", *Geoderma*, 77(1): 63-79.
- ☞ Tricart, J y J. Killian (1982), *La eco-geografía y la ordenación del medio natural*, Anagrama, Barcelona, España.
- ☞ Webster, R. y M. A. Oliver (1990), *Statistical methods in soil and land resource survey*, Oxford University Press. Oxford, UK.
- ☞ Zinck, J. A. (1990), *Soil survey epistemology of a vital discipline*, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC), The Netherlands, 40 p.