



Terra Latinoamericana

E-ISSN: 2395-8030

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo,  
A.C.  
México

Alcalá de Jesús, María; Ortiz Solorio, Carlos A.; Gutiérrez Castorena, Ma. del Carmen  
Clasificación de los suelos de la Meseta Tarasca, Michoacán  
Terra Latinoamericana, vol. 19, núm. 3, julio-septiembre, 2001, pp. 227-239  
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.  
Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57319304>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# CLASIFICACION DE LOS SUELOS DE LA MESETA TARASCA, MICHOACAN

## Soil Classification in the Meseta Tarasca, Michoacan

María Alcalá de Jesús<sup>1</sup>, Carlos A. Ortiz Solorio<sup>1</sup> y Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena<sup>1</sup>

### RESUMEN

En la Meseta Tarasca, estado de Michoacán, la mayoría de los suelos que la integran se han clasificado como Andisoles. Sin embargo, dicha clasificación se realizó con datos faltantes, es decir, sin contar con los requisitos que debe cumplir un Andisol, lo que conduce a una clasificación errónea. Además, actualmente, los sistemas de clasificación requieren de información específica como el régimen de humedad del suelo, aunque es un dato difícil de obtener por la falta de datos climáticos confiables. Los objetivos de la presente investigación fueron: evaluar el régimen de humedad del suelo de acuerdo con la relación precipitación/temperatura y generar la información requerida para la clasificación con los sistemas más recientes de 14 suelos de la Meseta Tarasca, Mich. y compararlos con la clasificación reportada por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). La relación precipitación/temperatura de 63.3 y la isoyeta de 1060 mm determinaron los regímenes de humedad ústico y údico en la zona de estudio. Con la Taxonomía de Suelos de los Estados Unidos se identificaron un Entisol y 13 Andisols, éstos se subdividieron en Vitrandes, Ustandes y Udands que a nivel Suborden presentan características diferentes de importancia en su manejo o transferencia. Con la Leyenda FAO-UNESCO-ISRIC se clasificó un Fluvisol y 13 Andosoles, y con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) tres Fluvisoles y 11 Andosoles. Estas clasificaciones no son comparables con la del INEGI porque los requisitos son diferentes. De la reclasificación de suelos con la FAO-UNESCO (1970) y su comparación con la del INEGI, sólo cinco son Andosoles y el resto pertenece a otras unidades, debido a que el INEGI clasifica con datos faltantes.

<sup>1</sup>Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, México. (moreli12@hotmail.com)

Recibido: Septiembre de 2000. Aceptado: Mayo de 2001.  
Publicado en Terra 19: 227-239.

*Palabras clave:* Andisoles, régimen de humedad.

### SUMMARY

The majority of soils from the Meseta Tarasca in the state of Michoacan have been classified as Andisols. However, the classification was performed without the requirements that an Andisol should meet, hence, concluding in an erroneous classification. Currently, classification systems require specific information such as moisture regime, but this is difficult to obtain because there is no reliable climate information. The objectives of this research were to evaluate soil moisture regime according to the precipitation/temperature ratio to generate the required information for the classification of 14 soils in the Meseta Tarasca by comparing the current system with the classification reported by INEGI (National Institute of Statistics, Geography and Information). The precipitation/temperature ratio of 63.3 and the precipitation line of 1060 mm, determined ustic and udic moisture regimes in the study zone. Using the Soil Taxonomy of the United States Department of Agriculture, an Entisol and 13 Andisols were identified; afterwards they were subdivided into Vitrandes, Ustandes and Udands, that showed different important characteristics for management and transference at a Suborder level. Using the acronyms FAO-UNESCO-ISRIC, one Fluvisol and 13 Andosols, and with the World Reference Base for Soil Resources (WRB), three Fluvisols and 11 Andosols were classified. These classifications are not comparable with that of INEGI, due to differences in requirements. According to FAO-UNESCO (1970) soil classification and its comparison with that of INEGI, there are only five Andosols and the rest belongs to other units, because INEGI's classification lacks some data.

*Index words:* Andisols, moisture regime.

## INTRODUCCION

Los Andisoles son suelos que presentan propiedades ándicas resultantes de la presencia de cantidades significativas de materiales amorfos, los cuales consisten de minerales de un orden de rango corto como el alófano, imogolita, ferrihidrita, complejos de aluminio-humus o cantidades específicas de vidrio volcánico (Parfitt y Clayden, 1991; Soil Survey Staff, 1999). Estos suelos se forman durante el intemperismo de tefras y materiales con vidrio volcánico (Soil Survey Staff, 1999), presentan un horizonte A oscuro de gran espesor, son friables con alto contenido de materia orgánica, tienen baja densidad aparente y alta capacidad de retención de agua (Ishizuka y Black, 1977).

En México, a lo largo del Eje Neovolcánico, se localizan vastas regiones constituidas por depósitos de cenizas volcánicas (Aguilera, 1963), donde se han realizado algunos trabajos sobre clasificación de suelos. Aguilera (1961), Cortés (1966), Vallejo y Aguilera (1969) y Valera (1993) reportaron Andisoles.

En la Meseta Tarasca se ha identificado a los suelos de "Ando" desde los sesenta; Aguilera (1961) y Cervantes (1965) reportaron suelos de tres Grandes Grupos del Orden Inceptisol (Durandcept, Ochrandcept y Umbrandcept) y aunque éstos corresponden a la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos no lo mencionaron y, además, no mostraron evidencias de los parámetros utilizados en la clasificación; Cervantes (1965) clasificó cinco suelos en tres Grandes Grupos del Orden Intrazonal, por comparación con el sistema de Nueva Zelanda, sin mencionar los datos requeridos. Por otra parte, al caracterizar física, química y mineralógicamente a tres perfiles de suelos, Guajardo (1967) también se refirió a los suelos de Ando, sin haberlos clasificado. La mayoría de estos trabajos dan información parcial y cuando se recurre a la cita, existen dudas sobre qué procedimiento utilizaron para clasificarlos como Andisoles.

En trabajos más recientes, de acuerdo con la FAO-UNESCO-ISRIC (1988), Cabrera (1992) y Gudiño (1992) reportaron Andosoles. DETENAL (1979) los ubicó en tres Subunidades: Andosol ócrico, Andosol húmico y Andosol vítrico. Estos autores, no cumplieron estrictamente con la información requerida, es decir, clasificaron con datos faltantes, en

especial de laboratorio; además, la información con la que contaron pierde confiabilidad al utilizar técnicas analíticas diferentes a las requeridas en la taxonomía, lo que originó una falsa clasificación de suelos (Ortiz y Ortiz, 1990). De modo que existe la incertidumbre de que sean Andisoles o sólo se trate de suelos pertenecientes a otros grupos, los cuales cuenten con algunas propiedades ándicas.

Para clasificar a nivel de Suborden y de Gran Grupo en la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 1999) se requiere el edafoclima a través del régimen de humedad del suelo (RH). A escala internacional, los Andisoles con RH údico representan 75% de la base de datos; en cambio, los del RH ústico son poco comunes y se dispone de poca información sobre su distribución (Parfitt y Clayden, 1991). A diferencia de la Taxonomía de Suelos de Estados Unidos, tanto FAO-UNESCO-ISRIC (1988) como la WRB (FAO-ISRIC-SICS, 1998) no consideran el RH en la definición de unidades de suelos a pesar de ser importante para interpretar a los suelos en relación con su uso y manejo. Esto se debe a la dificultad que existe en muchas partes del mundo para disponer de datos climáticos fiables y, en algunos casos, a la falta de observatorios meteorológicos. Por esta razón, se han desarrollado modelos de simulación para estimar el RH (Porta *et al.*, 1999).

En México, se han hecho intentos para estimar el RH: Van Wambeke (1987) utilizó el modelo matemático Newhall con datos de varias estaciones climáticas del país; algunos puntos caen dentro del estado de Michoacán, pero ninguno corresponde a la zona de estudio, además de ser muy general por tratarse de una zona amplia. Valera (1993) utilizó el método de Thornthwaite, en el estado de Puebla, y Ortiz y Pájaro (1991) propusieron la relación Precipitación/ Temperatura (P/T); sin embargo, estas propuestas no se han probado ni comprobado. Ante el requerimiento de contar con el RH y el antecedente de no haber utilizado este dato en los suelos clasificados de la Meseta Tarasca (Aguilera, 1961, 1965; Cervantes, 1965; Guajardo, 1967; Cabrera, 1992; Gudiño, 1992), se siguió una estrategia diferente a estos autores, tomando como punto de partida a las variables P/T propuestas por Ortiz y Pájaro (1991).

Con el tiempo, los sistemas de clasificación han sufrido modificaciones y, actualmente, los usados en México son obsoletos, lo cual demanda su actualización en la clasificación de suelos. La presente investigación tuvo como objetivos: evaluar el

régimen de humedad del suelo de acuerdo con la relación precipitación/temperatura y generar la información requerida para la clasificación de 14 suelos de la Meseta Tarasca, Mich., con los sistemas más recientes y compararlos con la clasificación reportada por la DETENAL (1979) y la DGG (1983).

## MATERIALES Y METODOS

### Caracterización de la Zona de Estudio

La zona de estudio se localiza en la Meseta Tarasca, estado de Michoacán, entre los paralelos 19°15' y 19°50' de latitud norte y 101°15' y 102°25' de longitud oeste (Figura 1).

La Meseta Tarasca se encuentra a una altitud promedio de 2700 m, se caracteriza por un vulcanismo reciente (Plioceno-cuaternario) de productos

piroclásticos con una composición de basalto, andesita y riolita, resaltando grandes cantidades de olivino como mineral característico (INEGI, 1985).

El clima que domina es templado y en algunas áreas es semifrío. El templado es semicálido (A)C(m)(w) y húmedo C(m)(w) así como semifrío húmedo C(E)(m)(w) y subhúmedo C(E)(w2)(w). Con una temperatura media anual que varía de 11 a 18 °C y precipitaciones desde 800 a más de 1500 mm anuales (DIGETENAL, 1985). La vegetación es 40% bosque de pino (*Pinus patula*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. oocarpa*, *P. leiophylla* y *P. michoacana*), el cual se explota por su madera y resina, y 9% de bosque de encino (*Quercus crassipes* y *Q. laurena*). El uso agrícola es de temporal, principalmente; sin embargo, hay pequeñas zonas con riego (INEGI, 1985).



Figura 1. Localización de la Meseta Tarasca, estado de Michoacán.

## Selección de Sitios de Muestreo

Se seleccionaron 14 sitios de muestreo, tomando como referencia a las áreas que el INEGI reporta como Andosoles y que los productores reconocen como Tierras de "Tupuri" y de "Polvilla". En estas áreas, y con base en la carta de isoyetas (DIGETENAL, 1985, actualmente INEGI), se distribuyeron los sitios entre 800 a más de 1500 mm. Doce sitios se localizan en la Meseta Tarasca y dos perfiles (el cinco y seis) en los municipios de Huajúmbaro y Zinapécuaro, Mich., seleccionados para apoyar al trabajo (Figura 2).

## Trabajo de Campo

Los perfiles se describieron morfológicamente con base en el manual de Cuanalo (1990). Se muestreó por horizontes hasta una profundidad de 1.5 m y se colectaron muestras alteradas de suelos para el análisis de laboratorio.

## Clasificación de Suelos

Para clasificar a los suelos se requiere de una serie de requisitos, como son:

**Régimen de humedad.** Se seleccionaron 45 estaciones climatológicas del estado de Michoacán (SARH, 1988), de las cuales ninguna corresponde a los sitios de muestreo y, dado que para éstos no existen estaciones, los datos de precipitación se obtuvieron por extrapolación entre las isoyetas

reportadas por el INEGI (1981) y los datos de temperatura, a partir de una regresión lineal, con datos de las estaciones climáticas registradas por la SARH (1988).

Tomando como punto de partida a las variables P/T, propuestas por Ortiz y Pájaro (1991), se agruparon aquellos datos según la relación P/T (valores menores que o iguales a 50 corresponden a un régimen de humedad ústico y mayores que éste, a un údico). La modificación de este método consistió en someter a un análisis discriminante los resultados de la relación P/T, con el fin de establecer los límites de clase que definieron a los nuevos regímenes de humedad en la zona de estudio.

**Trabajo de laboratorio.** Las muestras colectadas se secaron a temperatura ambiente y se pasaron por un tamiz de 2 mm de diámetro. Los métodos analíticos utilizados con fines de clasificación se describieron en Van Reeuwijk (ISRIC, 1995) y se determinaron con peso de suelo secado al aire: color, humedad en condiciones de campo, reacción del suelo (pH) (en agua, relación 1:2.5), textura, carbonatos totales, carbono orgánico, bases intercambiables, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y fósforo soluble en ácido cítrico.

Las propiedades ándicas de los suelos se determinaron por la densidad aparente (Dap), a una retención de humedad de 33 kPa, con el método de la parafina (Soil Survey Investigation, 1992). El porcentaje de partículas de 0.02 a 2.0 mm de diámetro (fracción

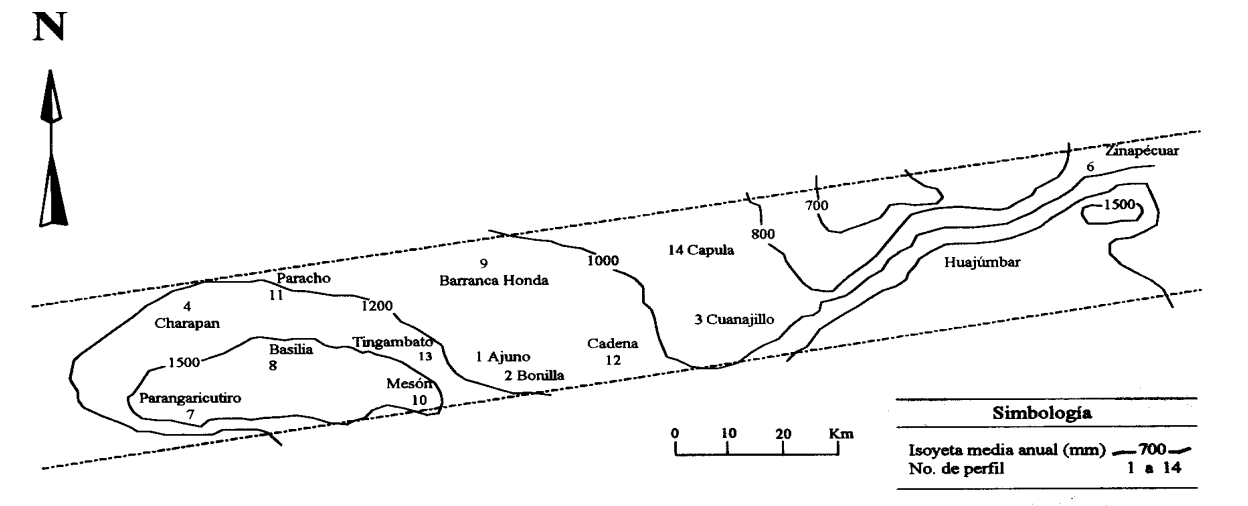


Figura 2. Localización de los perfiles de la Meseta Tarasca.

arenosa más limo grueso) se determinó a partir de la textura, por el método de la pipeta; de la fracción de minerales ligeros (0.047 a 2 mm de diámetro) montada en porta objetos, se cuantificó del total de granos al vidrio volcánico, tomando como base 100 (Moreno, 1985). La retención de fósforo se estimó por el método de Blakemore *et al.* (1987) y el aluminio y el hierro amorfos se extrajeron con oxalato ácido (Mehra y Jackson, 1960). El alófono se calculó de acuerdo con Mizota y Van Reeuwijk (1989) y Parfitt y Clayden (1991).

Para clasificar a nivel de suborden, se determinó la retención de humedad del suelo a 1500 kPa con el método de la membrana de presión, en muestras de suelo secado al aire y con humedad de campo (Soil Survey Investigation, 1992).

Los suelos se clasificaron de acuerdo con Soil Survey Staff (1999), con la Leyenda revisada del Mapa Mundial de Suelos (FAO-UNESCO-ISRIC, 1988), con la Leyenda original (FAO-UNESCO, 1970) y con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (FAO-ISRIC-SICS, 1998). También se revisaron las unidades de suelos publicadas en las Cartas Edafológicas por DETENAL (1979) y la DGG (1983), actualmente el INEGI.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Régimen de Humedad de los Suelos

En el Cuadro 1 se muestran dos funciones (F) generadas para determinar el régimen de humedad del suelo (RH): en la primera (F1), se consideró a la precipitación (P) y en la segunda (F2), a la relación precipitación/temperatura (P/T).

El límite de clase (1.20) indica que la precipitación que separa a los RH es de 1060 mm y el límite de clase (1.63) señala que la relación P/T es 63.3, valores menores que o iguales a éste pertenecen al RH ústico y los mayores al RH údico.

**Cuadro 1. Análisis discriminante y regímenes de humedad (RH) de los suelos.**

Modelo	CC	LC	RH ústico	RH údico
F1 = 0.00766(P) - 6.91431	0.752	1.20	< 1060 mm	≥ 1060 mm
F2 = 0.1014(P/T) - 4.79576	0.839	1.63	≤ 63.3	> 63.3

P = Precipitación. T = Temperatura. CC = Correlación canónica. LC = Límites de clase.

La isoyeta de 1060 mm diferenció la distribución de los suelos estudiados en la Meseta Tarasca, la mayoría presentan un RH údico y los Perfiles 3, 6, 9 y 14 un RH ústico (Cuadro 2). Estos últimos perfiles, excepto el seis, permiten contribuir al conocimiento al corroborar que sí es posible la formación de Andisoles en un RH ústico.

El régimen de humedad ha permitido distribuir a los suelos de la Meseta Tarasca en ústico y údico, y fuera del ámbito de esta zona; Rodríguez (1999) utilizó el RH publicado por Van Wambeke (1987), quien reportó un Typic haplustand; sin embargo, no presentó datos de precipitación para comparar las condiciones de humedad con los suelos estudiados. Valera (1993) estableció dos RH del suelo con base en el sistema de Thornthwaite, los valores menores que 800 mm corresponden al régimen de humedad ústico y los mayores que o iguales a 1200 mm, al údico. Sin embargo, 800 mm es diferente a 1060 mm, valor generado en el presente trabajo, lo cual indica que, de haber utilizado el criterio de Valera (1993) en los suelos estudiados, todos serían údicos; es decir, suelos de climas húmedos con una distribución regular de lluvia en todo el año (Porta *et al.*, 1999). Esta situación no se presenta en toda la Meseta; por consiguiente, la propuesta de este autor no sería funcional para los suelos del presente estudio.

La relación P/T de Ortiz y Pájaro (1991) difiere de la generada en el presente trabajo, 50 contra 63.3. Si este criterio se hubiera utilizado en la Meseta, 12 suelos serían údicos y dos ústicos; sin embargo, se obtuvieron cuatro ústicos en áreas con limitaciones de agua y con disposición de ésta por el suelo sólo en períodos de lluvia correspondientes al ambiente reportado para un suelo con RH ústico (Porta *et al.*, 1999). Los resultados obtenidos en el presente estudio son específicos para la Meseta Tarasca, por lo cual se propone y recomienda utilizar la relación P/T modificada en este trabajo en zonas donde no exista información sobre el régimen de humedad, por ajustarse más a las condiciones ambientales reales.

**Cuadro 2. Sitios de muestreo en relación con las isoyetas y los regímenes de humedad.**

Isoyeta	Perfil	P	T	P/T	RH
mm		mm	°C		
800 a 1000	6	850	18.5	46.0	ústico
	3	925	18.5	50.0	ústico
	14	936	18.5	50.6	ústico
1000 a 1060	9	1027	18.4	55.8	ústico
1060 a 1200	12	1140	17.7	64.4	údico
	5	1173	16.5	71.1	údico
	2	1175	18.2	64.5	údico
1200 a 1500	1	1189	18.5	64.3	údico
	11	1233	17.9	68.9	údico
	4	1265	15.0	84.3	údico
> 1500	13	1400	18.5	75.7	údico
	7	1500	17.5	85.7	údico
	8	1500	19.5	76.9	údico
	10	1523	20.8	73.2	údico

P = Precipitación. T = Temperatura ambiental + 2.5 °C. RH = Régimen de humedad del suelo.

## Morfología

En general, la morfología de los suelos estudiados es semejante entre sí y con las mismas características a las reportadas por autores como Mizota y Van Reeuwijk (1989), Ping *et al.* (1989), Takahashi *et al.* (1989) y Rodríguez (1999) y, en algunos casos, Valera (1993), por sus colores pardo oscuro en húmedo y pardo a pardo amarillento oscuro en seco, con value en húmedo <3 y chroma entre 2 y 4. Dentro de los primeros 50 cm se presenta una estructura grumosa, sola o combinada con la granular por la alta actividad biológica, y cambia a poliédrica subangular con la profundidad. En todos los casos, la consistencia es friable aun cuando en la superficie puede ser muy friable y en la profundidad firme. El color oscuro de los horizontes, la estructura granular y la consistencia de friable a muy friable son el reflejo de la descomposición y acumulación de la materia orgánica (Ping *et al.*, 1989). Egawa (1977) mencionó que es común encontrar estructura granular en las capas superficiales de los Andisoles y los agregados mayores que 0.25 mm de diámetro son estables en agua, lo que implica buena agregación y permeabilidad. En los primeros 30 cm de espesor en los suelos agrícolas estudiados hay abundantes raíces y, en los de bosque y pastizal, éstas son extremadamente abundantes, todas son delgadas y finas, y disminuyen con la profundidad. Existen numerosos poros de varios tamaños en todo el espesor

que son comunes en los Andisoles. Según Egawa (1977), los poros en este tipo de suelos pueden presentar valores >69% y una capilaridad >14%, además, existe una estrecha relación entre la estructura granular y la porosidad, las cuales dan al suelo una permeabilidad rápida. Aproximadamente 50% de los suelos son ligeramente pedregosos (1 a 5%) y los demás pedregosos (5 a 20%) con diferentes tamaños (gravas y piedras pequeñas), lo cual afirma la presencia de discontinuidades litológicas en todos los perfiles, algunas de ellas desde los 20 cm por las constantes emisiones de piroclastos en la zona.

## Propiedades Físicas

El Cuadro 3 muestra los datos de las propiedades físicas y químicas, hasta un espesor de 60 cm. La mayoría de los suelos (65%) son de textura franco limosa y en el resto varía de franco limosa a arena francosa. La franco limosa le da al suelo untuosidad y es ocasionada por materiales amorfos producto del intemperismo del vidrio volcánico (Ping *et al.*, 1988), principalmente de alófono (Ping *et al.*, 1989). Las propiedades tixotrópicas son un fenómeno característico de los Andisoles y se manifiestan, también, por la untuosidad del suelo y el desprendimiento de agua; este fenómeno se presentó en grado moderado en los horizontes más profundos de los suelos estudiados.

La densidad aparente (Dap)  $\leq 0.9 \text{ g cm}^{-3}$  en los Andisoles se atribuye al desarrollo de microagregados estables con alta porosidad (Shoji *et al.*, 1996) y, de manera parcial, al alto contenido de humus (Shoji *et al.*, 1985) y la fase sólida ocupa sólo 20 a 30% de su volumen; sin embargo, aunque la mayoría de los suelos estudiados presentan estas características, la Dap es  $>1.0 \text{ g cm}^{-3}$ , valor que no corresponde a un criterio para señalar la presencia de propiedades ándicas. Ping *et al.* (1989) mencionaron que Dap  $>0.9 \text{ g cm}^{-3}$  se presentan en suelos de cenizas recientes. Por otra parte, si los valores de la Dap de los suelos estudiados son erróneos, éstos son el resultado por cambiar la técnica analítica, es decir, la parafina por la resina Saran; o bien, si los resultados son correctos, se deben a la gran cantidad de ceniza volcánica y vidrio volcánico inalterado que aún se presenta en los suelos.

**Cuadro 3. Principales propiedades de los suelos estudiados.**

Horizonte genético	espesor	Textura				Rh		pH 1:2.5	MO	CIC	SB	RF	Al	Fe	Al+½Fe	VV	Alof
		A	L	R	Dap	secado	húmedo										
<i>Perfil 1</i>	cm	%	%	%	g cm <sup>-3</sup>	%	%	%	cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	%	%	%	%	%	%	%	
A	0-9	39	48	12	1.0	34	40	6.0	5.7	36	55	95	3.9	1.4	4.6	10	13
A	9-35	21	65	14	1.2	35	40	6.4	3.2	40	30	95	4.5	3.7	6.4	18	17
AC	35-55	20	63	17	<1.0	47	85	6.8	2.0	42	43	96	5.4	3.6	7.2	12	26
2AC	55-75	30	55	15	<1.0	44	71	6.8	2.0	47	31	94	3.7	2.5	5.0	23	13
<i>Perfil 2</i>																	
Ap	0-7	39	49	13	1.2	31	35	6.2	6.3	43	49	95	3.3	1.9	4.3	64	13
Ap	7-34	27	61	12	1.2	32	34	6.0	5.0	53	39	82	4.1	4.4	6.3	85	16
A	34-56	27	62	11	1.3	32	34	6.1	4.5	74	30	85	3.9	3.3	5.6	63	16
2A	56-82	33	53	14	1.3	31	35	6.6	6.8	75	38	95	3.0	1.2	3.6	52	12
<i>Perfil 3</i>																	
Ap	0-11	29	60	11	1.4	21	nd	5.8	6.7	36	53	86	2.8	1.1	3.3	68	10
Ap	11-30	11	76	13	1.2	25	27	6.6	5.1	51	53	87	3.6	1.5	4.4	58	12
2A1	30-58	14	73	13	1.2	28	34	6.3	1.8	44	76	89	3.5	1.5	4.3	71	12
<i>Perfil 4</i>																	
A	0-6	55	40	5	1.2	22	26	6.2	6.7	30	43	95	4.1	2.9	5.6	22	16
A	6-29	31	62	7	1.1	21	25	5.6	4.9	32	31	90	4.5	3.7	6.4	7	18
2A1	29-49	23	70	8	1.2	29	39	6.1	5.5	75	13	99	5.6	1.4	6.3	25	22
2A2	49-70	29	62	9	<1.0	33	47	6.4	4.3	65	9	98	5.8	5.2	8.4	45	23
<i>Perfil 5</i>																	
A	0-6	57	37	6	1.0	20	nd	5.6	5.8	58	26	75	1.8	0.8	2.2	27	7
A	6-37	46	46	7	1.4	12	15	5.4	3.0	52	18	82	2.8	0.9	3.3	52	11
A	37-67	42	50	8	1.4	14	21	6.0	1.5	35	31	46	3.3	1.2	3.9	40	13
<i>Perfil 6</i>																	
Ap	0-30	79	14	7	1.4	4	nd	4.9	1.5	13	48	13	nd	nd	nd	nd	nd
C	30-43	77	16	7	1.3	nd	nd	5.2	0.7	22	29	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2C	43-55	74	20	6	1.4	5	nd	5.6	0.4	15	39	13	nd	nd	nd	nd	nd
3C	55-85	58	35	7	1.6	nd	nd	6.6	0.4	19	41	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<i>Perfil 7</i>																	
A	0-20	44	54	2	1.2	17	nd	6.0	5.1	25	40	83	3.9	4.4	6.0	9	17
2AC	20-35	74	25	1	1.4	8	9	6.6	1.3	19	35	76	1.8	2.0	3.0	30	9
3C	35-45	90	9	1	1.3	2	4	6.5	0.4	12	51	5	0.4	0.6	1.0	11	3
4A	45-60	25	72	4	1.1	23	30	6.5	4.1	39	19	98	5.5	5.5	8.0	11	19
<i>Perfil 8</i>																	
A	0-3	63	34	3	1.1	19	nd	6.4	6.0	24	77	69	2.7	2.4	4.0	15	10
A	3-22	51	46	4	1.3	15	nd	5.9	4.7	24	56	71	3.4	3.5	5.0	10	12
2C	22-63	49	47	4	1.4	14	14	6.2	4.0	21	45	71	4.0	2.2	5.0	5	14
<i>Perfil 9</i>																	
Ap	0-23	18	63	19	1.2	28	nd	6.6	9.6	55	64	64	2.6	2.0	4.0	27	10
ABt	23-50	16	58	26	1.2	29	31	6.7	2.1	65	49	73	2.4	3.5	4.0	41	10
Btw	50-78	22	47	31	1.1	30	33	6.4	0.5	45	66	79	2.0	3.8	4.0	53	8
<i>Perfil 10</i>																	
A	0-3	58	37	5	1.3	22	nd	6.2	3.6	30	66	90	3.1	2.2	4.0	40	12
A	3-30	36	56	8	1.2	22	nd	5.9	2.1	43	41	84	2.7	1.6	4.0	73	11
A	30-44	39	55	5	1.4	22	24	6.2	1.4	32	58	91	2.9	1.8	4.0	63	12
2A	44-70	33	56	11	1.1	24	29	6.9	2.1	41	53	81	2.7	1.9	4.0	79	11
<i>Perfil 11</i>																	
Ap	0-15	66	28	5	1.4	17	nd	5.9	2.2	39	30	53	1.9	3.3	4.0	46	8
Ap	15-25	45	49	6	1.3	18	21	6.2	2.0	39	41	51	2.4	5.0	5.0	46	10
A/C	25-44	48	47	5	1.3	17	21	6.0	1.1	31	71	55	1.9	4.7	4.0	36	8
2A	44-80	44	51	5	1.3	21	23	6.0	0.5	46	33	73	2.3	4.0	4.0	30	9
<i>Perfil 12</i>																	
Ap	0-2	37	54	9	1.4	19	nd	6.6	4.9	55	30	67	3.0	1.0	3.0	50	12
Ap	2-23	27	62	12	1.4	19	nd	6.2	4.0	63	22	62	4.4	2.4	6.0	46	18
A	23-40	37	53	10	1.4	21	nd	6.5	2.9	43	27	69	4.1	1.6	5.0	51	16
2A	40-68	24	66	10	1.3	21	26	6.5	2.4	44	45	57	3.2	1.8	4.0	48	13
<i>Perfil 13</i>																	
A	0-6	36	58	6	1.1	32	nd	6.9	6.9	63	37	92	3.4	1.2	4.0	41	14
A	6-25	18	78	4	1.1	32	33	5.8	4.9	48	28	98	5.1	3.2	7.0	61	20
A	25-48	29	63	7	1.1	36	54	5.6	3.5	41	53	98	3.4	2.7	5.0	68	14
2A	48-82	46	53	1	1.2	52	68	5.6	2.4	45	36	101	6.4	2.1	7.0	96	26
<i>Perfil 14</i>																	
Ap	0-25	34	55	11	1.5	13	nd	5.3	3.4	53	39	29	2.3	2.9	4.0	6	8
A	25-55	31	56	12	1.4	14	18	5.5	3.1	45	44	32	2.1	3.1	4.0	6	7
2C	55-75	38	51	11	1.4	17	19	6.1	5.1	41	57	42	1.6	3.1	3.0	9	7

A = arena. L = limo. R = arcilla. Dap = densidad aparente. Rh = retención de humedad a 1500 kPa. MO = materia orgánica. CIC = capacidad de intercambio catiónico. SB = saturación de bases. RF = retención de fósforo. VV = vidrio volcánico. Al = aluminio. Fe = hierro. Alof = alófono. nd = no determinada.

En la mayoría de los trabajos realizados en México en donde se clasifica a los Andisoles (Alvarez, 1982; Cabrera, 1992; Gudiño, 1992; Valera, 1993; Rodríguez, 1999) la Dap no se realiza a capacidad de campo (33 kPa) con resina Saran, sin embargo, se ha determinado por otros métodos; por ejemplo, con cilindro y excavación en campo, mediante probeta, con terrones secados al aire y con humedad de campo o aun a 33 KPa, como en el caso de Hidalgo *et al.* (1986); no obstante, se ha impregnado al suelo con parafina. Lo más relevante de esto es que, en algunos trabajos, donde la Dap ha resultado  $<0.9 \text{ g cm}^{-3}$ , sin importar el método, se ha considerado que cumple como una propiedad ándica, lo cual carece de rigor científico. Ante esta situación, y con el antecedente de que en México se utiliza el método de la parafina, se debería realizar un trabajo de calibración entre éste y el de la resina Saran.

La retención de humedad del suelo a 1500 kPa (Rh) en suelo seco fue de 24% (13 a 40) y en húmedo de 28% (14 a 59); estos valores son moderados con respecto a Rh  $>100\%$  de suelos con propiedades hídras y alta tixotropía, las cuales son propiedades relacionadas directamente con los coloides de materiales no cristalinos (Shoji *et al.*, 1996). Esto explica que, en los suelos estudiados, el fenómeno de la tixotropía se manifestó en forma parcial por tener Rh moderados. La Rh en suelo seco disminuye con respecto a la del suelo no seco, debido a la existencia de materiales amorfos que ocasionan cambios irreversibles en las propiedades físicas (Ping *et al.*, 1989).

Para clasificar a nivel de Suborden, es importante el régimen de humedad del suelo; sin embargo, los Andisoles clasificados no cuentan con este dato y aún así se han reportado casos hasta nivel de Gran Grupo (Valera, 1993) y de Subgrupo (Rodríguez, 1999), lo cual pone en duda la clasificación de los suelos, ya que si alguno de éstos cumple con la Rh, se clasificaría como Vitrand y en el caso de omitir el requisito, como Udands o Ustands. Los Rh de los suelos estudiados son semejantes a los reportados por Ping *et al.* (1988) y Shoji *et al.* (1988).

### Propiedades Químicas

La clasificación de las propiedades químicas se basa en el OGCEUM (2000) y su interpretación es la siguiente: debido a los constantes depósitos

piroclásticos, el contenido de materia orgánica (MO) decrece en forma irregular con la profundidad, de media a muy baja (9.6 a 0.4%) y los valores más altos, en su mayoría, se localizan en los primeros 10 cm y, en menor proporción, a los 30 cm. La acumulación de la MO es aportada por la vegetación que estos suelos soportan (pastizal, forestal y zonas de cultivo). La reacción de los suelos (pH) es de acidez fuerte a neutra (4.9 a 6.9) y los suelos de acidez moderada (6.3) predominan. En la mayoría de los horizontes superficiales, la MO influye en el pH con acidez moderada (5.3 a 6.2) y después de 60 cm de profundidad, incrementa hasta 6.9; sin embargo, no siempre los horizontes con más MO son los más ácidos. Wada (1989) señaló que reacciones del suelo de 4.0 a 6.5 se originan, principalmente, de la MO y, en pH de 5.0 a 7.0 se presentan el alófano y la imogolita, característicos de los Andisoles, por lo cual, los suelos estudiados son alofánicos y semejantes a los reportados por Takahashi *et al.* (1989).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es muy alta ( $>40$  a  $75 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) en 52% de los horizontes y, en los demás, es de baja a alta ( $12$  a  $<40 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ), valores que se presentan, tanto en pH muy ácido como en pH neutro ( $<5.5$  a  $6.9$ ); por esto, no existe una relación directa entre la CIC y el pH, quizá por las propiedades anfotéricas de los Andisoles (cargas positivas y negativas) que dependen del pH (Egawa, 1977). Los valores de la CIC son semejantes a los reportados por Lulli y Bidini (1980), Wada *et al.* (1986) y Mizota y Van Reeuwijk (1989).

La saturación de bases (SB) promedio es 42% y varía de 13 a 77%. En igual cantidad de horizontes (25%) se presenta una SB  $<50\%$  en pH  $<6.0$  y una SB  $>50\%$  en pH de 6.1 a 6.9. Wada (1985) señaló que a pH más ácido, la SB es menor porque su carga negativa es más pequeña con el decremento del pH, es decir, los sitios de intercambio de cationes tienen más afinidad por los protones.

Se presenta un alto contenido de materiales no cristalinos como el Alo y Feo (aluminio y hierro extraídos con oxalato ácido), el Alo (1.6 a 6.4%) y el Feo (0.8 a 5.5%); su formación y la acumulación de MO son procesos dominantes en la mayoría de los Andisoles originados de ejetas volcánicas (Shoji *et al.*, 1993). Estos valores son similares a los reportados por Mizota y Van Reeuwijk (1989). Cuando existe Alo  $\geq 2.0\%$  es equivalente a 8.0% de alófano (Parfitt y Clayden, 1991) y, en promedio, se presenta 13% de

alófano (3 a 26%). En 57% de los horizontes, el Alo y el pH se relacionan inversamente.

La retención de fósforo (RF) en 50% de los suelos es >33%, pero <85% y en los demás ≥85%, excepto en el Perfil 6, resultados similares a los reportados por Nezeyimana (1997) y Nezeyimana *et al.* (1997). La RF >85% es una propiedad de los Andisoles y tiene relación directa con el Alo activo (Shoji *et al.*, 1985); esta relación se presenta en los Perfiles 1, 7, 8 y 13; es decir, al aumentar el Alo, el pH es más ácido y el fósforo menos soluble. Wada (1985) señaló que el alófano influye en la RF por tener un comportamiento ácido débil.

Todos los horizontes muestran que el material parental es de ceniza volcánica y, en la mayoría, está dominado por vidrio volcánico pardo básico (VV), denominado Sideromelane (Soil Survey Investigation, 1992). El VV (40% en promedio) se presenta en un intervalo amplio (5 a 95%) el cual aumenta y disminuye de manera irregular con la profundidad. Estos valores son comparables con los reportados por Ping *et al.* (1988). En 57% de los horizontes, el Alo y en 49% el Feo se relacionan en forma inversa con el VV. De acuerdo con Shoji *et al.* (1996), el VV muestra resistencia química al intemperismo y los primeros productos liberados son el Al y Fe activos, por lo cual la concentración de éstos es inversa a los procesos de intemperismo del VV.

### Clasificación de Suelos

**Taxonomía de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.** Los porcentajes de los suelos, a los cuales se hace referencia en este párrafo, tienen como base a los 14 perfiles que representan 100%. Primero se designaron los epipedones que, en general, se localizaron dentro de los 30 cm y corresponden al horizonte Ap en suelos cultivados o al A en suelos forestales y de pastizal. Estos suelos no presentan horizontes de diagnóstico subsuperficiales. En la zona se presentan tres epipedones: ócrico (79%), mólico (14%) y úmbrico (7%), y las características de diagnóstico fueron las propiedades ándicas. El ócrico y el mólico se presentaron en suelos, tanto en el régimen de humedad (RH) ústico como el údico, y el úmbrico sólo en el údico.

Los suelos se clasificaron en dos Ordenes (Cuadro 4; Figura 3): un Entisol y 13 Andisols. El Entisol

**Cuadro 4. Clasificación de suelos de acuerdo con Soil Survey Staff (1999).**

Perfil	Orden	Suborden	Gran Grupo	Subgrupo		
14	Andisol	Vitrand	Ustivitrant	Typic Ustivitrant		
8			Udivitrant	Humic Udivitrant		
5				Typic Udivitrant		
9			Ustand	Haplustand	Humic Haplustand	
3					Typic Haplustand	
7			Udand	Hapludand	Vitric Hapludand	
1					Hydric Hapludand	
2,					Eutric Hapludand	
4, 10,					Typic Hapludand	
11, 12,						
13						
6			Entisol	Fluvent	Ustifluent	Mollic ustifluent

(Perfil 6) se clasifica en el Suborden Fluvent por no reunir las características de un Andisol y se localiza en el municipio de Zinapécuaro, Mich. (Figura 2).

Los Andisols se subdividieron, por sus RH, en tres Subórdenes: Vitrands (23%), caracterizados por su baja retención de humedad a 1500 kPa (Rh), Udands (62%) y Ustands (15%).

Los Humic se caracterizan por la presencia de un epipedón mólico y los Vitric e Hydric se definen por la Rh. El Vitric presenta características relacionadas con el Suborden Vitrands; sin embargo, no se clasificó en este Suborden por no cumplir con la Rh en el espesor requerido. Los Eutric se identificaron por una alta saturación de bases extractables y los Typic son suelos simples que se caracterizan sólo por sus propiedades ándicas.

Aunque la mayoría de los suelos son Andisoles, el hecho de clasificar a niveles jerárquicos bajos, permite identificar diferentes propiedades físicas y químicas importantes en su fertilidad (Parfitt y Clayden, 1991; Shoji *et al.*, 1996), motivo por el cual, su manejo o transferencia no debe generalizarse. Por ejemplo, los Andisoles con características vítricas muestran baja productividad como resultado de la baja capacidad de retención de nutrientes y de agua, pero la disponibilidad de fósforo, en general, es adecuada.

Los Andisoles eútricos se caracterizan por una reacción del suelo neutra a ligeramente ácida, son ricos en bases y tienen alto potencial de fertilidad. Los Andisoles con alta capacidad de retención de fósforo (≥90%) requieren gran cantidad de fertilizantes fosfatados para mejorar la deficiencia de fósforo en las plantas (Shoji *et al.*, 1996).

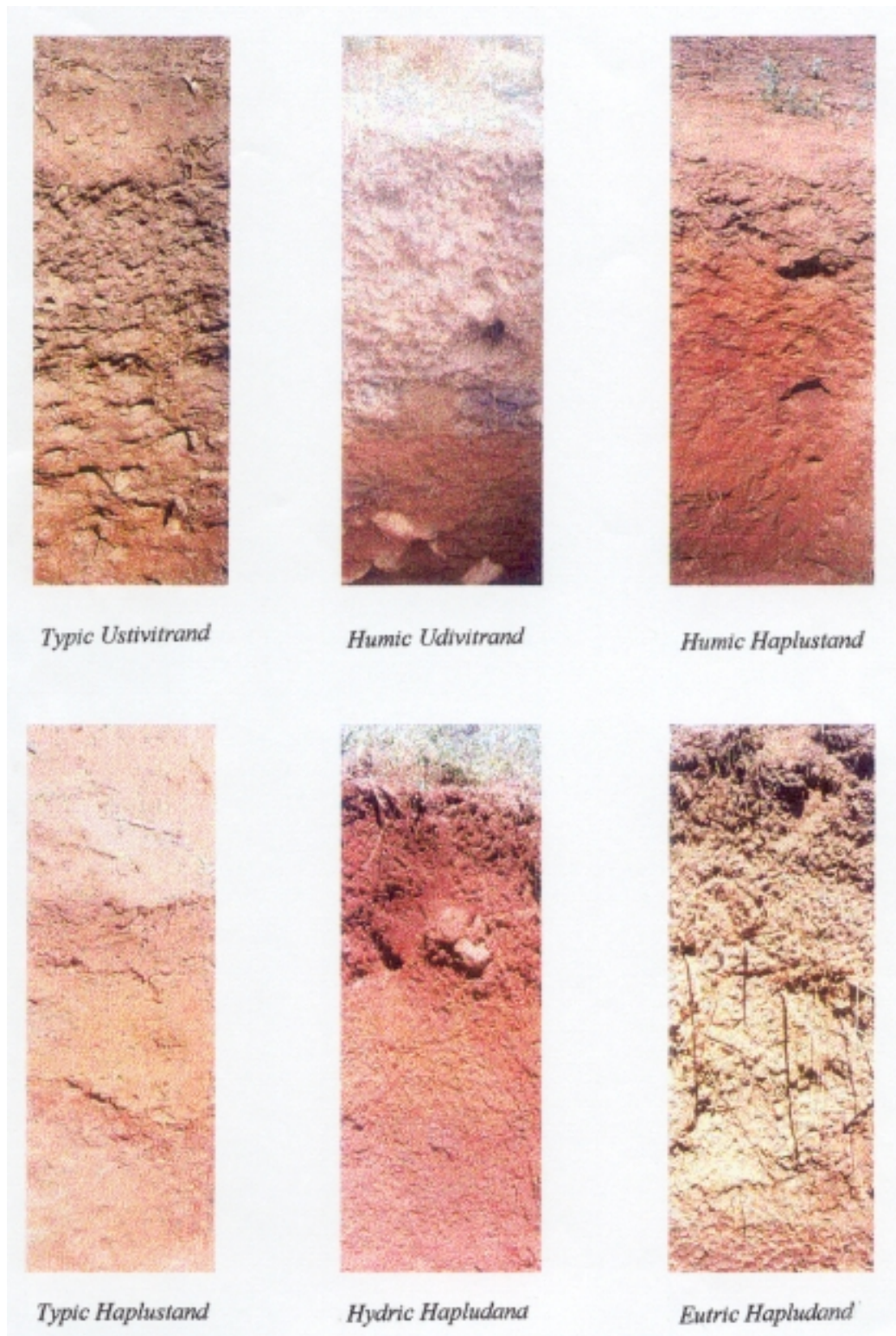


Figura 3. Clasificación taxonómica de Andisols de la Meseta Tarasca.

**Cuadro 5. Clasificación de suelos con la Leyenda del Mapa Mundial de Suelos y con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo.**

Unidad	Perfiles FAO-ISRIC-SICS (1998)	Subunidad	Perfiles FAO-UNESCO-ISRIC (1988)	Subunidad	Perfiles FAO-UNESCO (1970)	Perfiles DETENAL (1979) DGG (1983)
ANvi	1, 2, 3, 4, 5	ANh	1, 2, 3, 7, 10, 12, 13, 14	To	1, 2, 3, 10, 13	1, 3, 7, 14
	7, 9, 10, 11	ANz	5, 8, 11	Th		4, 8, 9, 10, 11, 12, 13
	12, 13	ANu	4	Tv		5, 6
		ANm	9	Ao		2
FLdy	8, 14	FLd	6	Rd	4, 5, 7, 8	
FLar	6			Jd	6, 9, 11, 12, 14	

ANh = Andosol háplico. ANz = Andosol vítrico. ANu = Andosol úmbrico. ANm = Andosol mólico. To = Andosol ócrico. Th = Andosol húmico. Tv = Andosol vítrico. Ao = Acrisol órtico. Rd = Regosol dístrico. Jd y FLd = Fluvisol dístrico. ANvi = Andosol vítrico. FLdy = fluvisol dístrico. FLar = Fluvisol arénico.

**Leyenda FAO-UNESCO, FAO-ISRIC-SICS y Sistema de clasificación WRB.** Se presenta la clasificación de los suelos en el Cuadro 5, de acuerdo con la Leyenda del Mapa Mundial de Suelos (1970, 1988) y con la WRB (1998). Con la Leyenda del Mapa Mundial, los horizontes superficiales que ocurren son: el A ócrico, el A mólico y el A úmbrico, sin ningún otro horizonte de diagnóstico. En su versión original, los suelos se clasificaron a nivel de Subunidad: cinco Andosoles ócricos (To), cinco Fluvisoles dístricos (Jd) y cuatro Regosoles dístricos (Rd). Con la versión 1988 de la Leyenda, se clasificaron 13 Andosoles y un Fluvisol. Los Andosoles se dividieron en cuatro Subunidades: ocho háplicos (ANh), tres vítricos (ANz) y, en menor proporción, un mólico (ANm) y un úmbrico (ANu), y el Fluvisol es dístrico (FLd). Con la WRB, los horizontes son: vítrico, ócrico y úmbrico; 11 perfiles son Andosoles vítricos (ANvi) y tres son Fluvisoles: dos dístricos (FLdy) y uno arénico (FLar).

De acuerdo con las modificaciones que sufrió la leyenda, los Andosoles ócricos (To) y Andosoles húmicos (Th) equivalen a los Andosoles háplicos (ANh) y Andosoles úmbricos (Th), respectivamente, de la versión original. Con la versión 1988, la clasificación de suelos incrementó el número de perfiles clasificados como Andosoles, debido al cambio que hubo en el "Complejo de intercambio dominado por material amorfo", sustituido por el de "Propiedades ándicas".

En la WRB, la Unidad (segunda categoría) corresponde a la Subunidad de la FAO-UNESCO-ISRIC (1988). Con la WRB disminuyó el número de Andosoles clasificados y el número de unidades se reduce a una, lo cual se debe al cambio que hubo de propiedades ándicas por un horizonte vítrico o un ándico. El horizonte ándico de la WRB es similar al

primer requisito de las propiedades ándicas de la Leyenda FAO-UNESCO-ISRIC (1988); sin embargo, el horizonte vítrico sólo se incluye en una de varias opciones que ofrecían las propiedades ándicas, motivo que limita la posibilidad de incluir a los suelos que presenten tanto propiedades ándicas como vítricas.

**INEGI.** Para la zona de estudio, 13 de las Unidades de suelos publicadas en las cartas edafológicas por DETENAL (1979) y DGG (1983) corresponden a Andosoles (T) y una a un Acrisol (A). A nivel de Subunidad son: siete húmicos, cuatro ócricos, dos vítricos y un Acrisol órtico.

De 14 perfiles, el INEGI reporta 13 Andosoles y un Acrisol (Perfil 2); en cambio, en el presente estudio y, según la FAO-UNESCO (1970), sólo clasifica a cinco Andosoles y, al resto, Regosoles y Fluvisoles, por no cumplir con los requerimientos de los Andosoles. Al clasificar a los suelos con la Leyenda original, ésta requiere contar con la Dap y un complejo de intercambio dominado por materiales amorfos o con  $\geq 60\%$  de vidrio volcánico en el suelo, información que en las cartas del INEGI no se da a conocer. A partir del presente estudio, puede apreciarse que el INEGI clasifica a los suelos con poco rigor científico, por lo tanto, no puede establecerse una comparación; en primer lugar, porque los suelos reportados en las cartas edafológicas se presentan en asociación con otros suelos y no se indican sus porcentajes de ocurrencia, además de no presentar los datos de laboratorio que avalan su clasificación.

## CONCLUSIONES

- La relación precipitación/temperatura de 63.3 y la isoyeta de 1060 determinaron la distribución de los

suelos en los RH údico y ústico. Se contribuye al conocimiento de Andisoles con un RH ústico.

- Con la Taxonomía de Suelos, se identificaron un Entisol y 13 Andisols, éstos se subdividieron en Vitrandis, Ustandis y Udands en donde influyó el régimen de humedad del suelo y el material parental. A nivel Suborden presentan características diferentes que son de importancia en su manejo o transferencia.

- La clasificación con la Taxonomía de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la FAO-UNESCO-ISRIC (1988) y la WRB no pueden compararse con la clasificación de los suelos reportada por el INEGI, debido a que los requerimientos para clasificar son diferentes. Aunque el INEGI clasifica con la FAO-UNESCO (1970), al reclasificar a los suelos con esta última, sólo cinco cumplen con todos los requisitos y el resto pertenece a otras unidades, debido a que clasifica con datos faltantes.

### AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al M.C. Jorge Alvarado López, sus correcciones y sugerencias.

### LITERATURA CITADA

- Aguilera H., N. 1961. Génesis y clasificación de algunos suelos de la Meseta Tarasca, Mich., México. Folleto técnico 1. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Aguilera H., N. 1963. Algunas consideraciones, características, génesis y clasificación de los suelos de Ando. pp. 233-247. *In:* Memorias del 1er Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México, DF.
- Aguilera H., N. 1965. Suelos de ando: Génesis, morfología y su clasificación. Serie de Investigación 6. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Alvarez V., V.H. 1982. Efecto de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfatos en la evaluación del fósforo disponible, de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca, Michoacán. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Blackemore, L.C., P.L. Searle y B.K. Daly. 1987. Methods for chemical analysis of soils. NZ Soil Bureau Sci. Rep. 80. Soil Bureau, Lower Hutt, New Zealand.
- Cabrera A., M.A. 1992. Clasificación y caracterización al norte del río Grande de Morelia, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.
- Cervantes R., L.G. 1965. Génesis y clasificación de algunos suelos de la Meseta Tarasca, Michoacán. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Cortés L., A. 1966. Estudio pedológico de la zona oriental del Iztaccíhuatl en suelos derivados de rocas y cenizas volcánicas andesíticas. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Cuanalo C., H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelos en el campo. 3a ed. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- DETENAL (Dirección de Estadística del Territorio Nacional). 1979. Cartas Edafológicas E 14A14 Zinapécuaro, E 14A22 Pátzcuaro y E 14A24 Tzitzio. Escala 1:50 000. México.
- DGG (Dirección General de Geografía). 1983. Cartas Edafológicas E 14A21 Cherán, E 14A31 Taretan, E 13B29 Paracho. Escala 1:50 000 y E 133 Colima. Escala 1:250 000. México.
- DIGETENAL (Dirección de Geografía y Estadística del Territorio Nacional). 1985. Carta Estatal de Climas de Michoacán. México, DF.
- Egawa, T. 1977. Properties of soils derived from volcanic ash. pp. 11-64. *In:* Y. Ishizuka y C.A. Black (ed.). Soils derived from volcanic ash in Japan. Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT). México, DF.
- FAO-ISRIC-SICS. 1998. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports 84. FAO. Rome.
- FAO-UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 1970. Clave de unidades de suelos para el mapa de suelos del mundo. Proyecto FAO/UNESCO. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección General de Estudios. Dirección de Agrología. México, DF.
- FAO-UNESCO-ISRIC (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos). 1988. Mapa mundial de suelos. Leyenda Revisada. Traducción al español de T. Carballas, F. Macías, F. Díaz-Fierros, M. Carballas y J. A. Fernández-Urrutia. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos 60. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- Guajardo V., R. 1967. Caracterización de algunos suelos de Ando de la Sierra Tarasca. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Gudiño C., M.A. 1992. Caracterización física y química de los suelos de la microcuenca "Chiquimitío", municipio de Morelia, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Hidalgo M., C., J.D. Etchevers B. y B. Martínez H. 1986. Determinación de la densidad aparente en suelos de Ando. *Terra* 4: 3-9.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1981. Carta estatal de Michoacán. Fenómenos climatológicos. Precipitación media anual. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, DF.
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1985. Síntesis geográfica del estado de

- Michoacán. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, DF.
- Ishizuka, Y. y C.A. Black. 1977. Soils derived from volcanic ash in Japan. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México, DF.
- ISRIC (Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos). 1995. Procedimientos para análisis de suelos. pp. 1-145. *In*: L.P. van Reeuwijk (ed.). Procedures for soil analysis. M.C. Gutiérrez C., C.A. Tavarez E. y C.A. Ortiz S. (trans.). Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Lulli, C. y D. Bidini. 1980. A climosequence of soils from tuffs on slopes of an extinct volcano in southern Italy. *Geoderma* 24: 129-142.
- Mehra, O.P. y M.L. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soil and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals* 5: 317-327.
- Mizota, C. y L.P. van Reeuwijk. 1989. Clay mineralogy and chemistry of soils formed in volcanic material in diverse climatic regions. *Soil Monograph* 2. Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos. Wageningen, The Netherlands.
- Moreno, C. 1985. Mineralogía de las arenas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah., México.
- Nezeyimana, E. 1997. A toposequence of soils derived from volcanic materials in Rwanda: Morphological, chemical and physical properties. *Soil Sci.* 162: 351-360.
- Nezeyimana, E., T.J. Bicki y P.A. Agbu. 1997. An assessment of colloidal constituents and clay mineralogy of soils derived from volcanic material along a toposequence in Rwanda. *Soil Sci.* 162: 361-371.
- OGCEUM (Organo del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos). 2000. Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000. Tomo DLXV No. 12: 7-74. Diario Oficial de la Federación. México, DF.
- Ortiz S., C.A. y D. Pájaro H. 1991. Introducción a la Taxonomía de Suelos versión 1990. Colección manuales. Colegio de Postgraduados. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Montecillo, Méx.
- Ortiz V., B. y C.A. Ortiz S. 1990. Edafología. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Parfitt, R.L. y B. Clayden. 1991. Andisols: The development of a new order in Soil Taxonomy. *Geoderma* 49: 181-198.
- Ping, C.L., S. Shoji y T. Ito. 1988. Properties and classification of three volcanic ash-derived pedons from Allutian Islands and Alaska Peninsula, Alaska. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 455-462.
- Ping, C.L., S. Shoji, T. Ito, T. Takahashi y J.P. Moore. 1989. Characteristics and classification of volcanic-ash-derived soils in Alaska. *Soil Sci.* 148: 8-28.
- Porta C., J., M. López-Acevedo R. y C. Roquero de L. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2a ed. Mundi-Prensa, España.
- Rodríguez T., S.A. 1999. Procesos de intemperismo en tepetates y su influencia en la formación de suelos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1988. Normales climatológicas (1941-1970). 2a ed. México, DF.
- Shoji, S., M. Nanzio y R.A. Dahlgren. 1993. Volcanic ash soils. Genesis, properties, and utilization. *Dev. Soil Sci.* 21. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Shoji, S., M. Nanzio, R.A. Dahlgren y P. Quantin. 1996. Evaluation and proposed revisions of criteria for Andosols in the World Reference Base for Soil Resources. *Soil Sci.* 161: 605-615.
- Shoji, S., T. Ito, M. Saigusa e I. Yamada. 1985. Properties of nonallophanic Andisols from Japan. *Soil Sci.* 148: 264-277.
- Shoji, S., T. Takahashi, T. Ito y C.L. Ping. 1988. Properties and classification of selected volcanic ash soils from Kenai Peninsula, Alaska. *Soil Sci.* 145: 395-413.
- Soil Survey Investigation. 1992. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Report 42. United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service. National Soil Survey Center. Washington, DC.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Agriculture Handbook 436. Washington, DC.
- Takahashi, T., S. Shoji y A. Sato. 1989. Clayed Spodosols and Andisols showing a biosequential relation from Shimokita Peninsula, Northeastern Japan. *Soil Sci.* 148: 204-217.
- Valera P., M.A. 1993. Físicoquímica y mineralogía de Andosoles de la región de Teziutlán, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de México. México, DF.
- Vallejo G., E. y N. Aguilera H. 1969. Génesis de suelos del volcán Popocatepetl. pp. 92-106. *In*: Memorias del Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México, DF.
- Van Wambeke, A. 1987. Soil moisture and temperature regimes of Central America Caribbean, Mexico. Soil Management Support Services. Soil Cons. Serv. US Department of Agriculture. Tech. Monog. 16. Cornell University.
- Wada, K. 1985. The distinctive properties of Andosols. *Adv. Soil. Sci.* 2: 173-229.
- Wada, K. 1989. Allophane and imogolite. pp. 1051-1087. *In*: J.B. Dixon and S.B. Weed (eds.). Minerals in soil environment. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Am. Book Ser. 1. Madison WI, USA.
- Wada, K., Y. Kakuto y H. Ikawa. 1986. Clay minerals, humus complexes, and classification of four "Andepts" of Maui, Hawaii. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1007-1013.