

**LAS CONDICIONES REGIONALES DE DESARROLLO DE LOS TEPETATES
EN LA ZONA XALAPA-COATEPEC, VERACRUZ, MEXICO**
Localización, Condiciones Ambientales y Características Generales

**Regional Conditions of "Tepetates" Development in the Xalapa-Coatepec Region,
Veracruz, Mexico**
Localization, Environmental and General Characteristics

Jean-Pierre Rossignol ¹, Adolfo Campos C. ² y Paul Quantin ³

¹ ENITHP, Angers, Francia.

² Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., México.

³ ORSTOM, Bondy, Francia.

Palabras clave: México, Suelos volcánicos endurecidos, Tepetate, Duripán, Fragipán, Suelo ferralítico, Andosol, Vertisol, Génesis, Geomorfología, Alófana, Sílice, Hierro, Aluminio.

Key words: Mexico, Indurated volcanic soils, Tepetate, Duripan, Fragipan, Ferrallitic soil, Andosol, Vertisol, Genesis, Geomorphology, Alophane, Silice, Iron, Aluminium.

RESUMEN

La cartografía morfoedafológica de la zona cafetalera de Xalapa-Coatepec permitió poner en evidencia una secuencia topoclimática de los suelos que fue estudiada desde 4,000 m hasta 500 m de altitud. Esta diferencia de altitud crea fuertes variaciones de clima que pasan del frío y húmedo (3,500 m) al subtropical húmedo sin estación seca (1,500 m) y después al tropical contrastado con cinco o seis meses secos.

A lo largo del transecto se localizan varios tipos de suelos, desarrollados sobre cenizas volcánicas y flujos piroclásticos, que se relacionan con clima y altitud:

- Primero, entre 3,500 y 1,500 m, en clima húmedo, se ubican Andosoles húmicos, desaturados, a menudo melánicos, a veces perhidratados, ligeramente ácidos, que presentan un complejo de materia orgánica - alófana muy estable.

- Después, entre 1,500 y 900 m de altitud, en clima subtropical con dos o tres meses secos, aparecen suelos ferralíticos a haloisitas (10 Å), arcillosos, desaturados, con características "redóxicas", con fragipanes a la base del solum.

- En clima tropical con cinco o seis meses secos, se encuentran tepetates, endurecidos por sílice, que contienen haloisitas a 7 Å y nódulos ferromangánicos. Vertisoles "degradados" se yuxtaponen a los tepetates.

En la parte alta, las alófanas presentan enlaces fuertes con la materia orgánica. Ellas, por acción del clima y del tiempo se transforman en haloisitas (10 Å) que, ellas mismas, por deshidratación, dan haloisitas (7 Å). El hierro se concentra en los suelos ferralíticos en los horizontes "redóxicos". La sílice liberada por alteración se deposita en los duripanes (tepetates) bajo acción del clima caliente y contrastado.

SUMMARY

The morphopedological cartography of the Xalapa-Coatepec coffee plantation area, showed a soil topoclimatic sequence studied from 4,000 to 500 m of altitude. The strong difference in altitude, creates high climatic variations that went from a cold and humid climate (3,500 m) to a humid subtropical one without dry season (1,500 m) and to a tropical climate with 5 or 6 dry months.

Several types of soils are located along the transect, developed on volcanic ashes and pyroclastic flows, which are related to the climate and the altitude:

- First, between 3,500 and 1,500 m, in humid climate there are humic, unsaturated Andosols, often melanic, occasionally perhydric, lightly acid, which present a very stable organic matter-allophane complex.

- Second, between 1,500 and 900 m of altitude, in subtropical climate with 2 or 3 dry months, there are ferrallitic soils with halloysite (10 Å), clayey, unsaturated, with "redoxic" characteristics, with fragipan at solum base.

- In tropical climate with 5 or 6 dry months, "tepetates" are found, cemented by silica and containing halloysite (7 Å) and ferromanganic nodules. Degraded Vertisols are juxtaposed to tepetates.

In the highlands, the allophanes presents strong relationships with the organic matter, which, under climate and time actions are transformed into halloysite (10 Å) which, in their turn, yield halloysite (7 Å) because of deshydration. Iron is concentrated in redoxic horizons of ferrallitic soils. Free silica, by alteration, is deposited in the duripans (tepetates) due to the effects of a warm climate.

RESUME

La cartographie morphopédologique de la zone cafétière de Xalapa-Coatepec a permis de mettre en évidence une séquence topoclimatique

de sols depuis 4 000 m à 500 m d'altitude. Ces fortes différences d'altitude créent de fortes variations de climat qui passe du froid et humide (3 500 m) au subtropical humide sans saison sèche (1 500 m) puis au climat tropical contrasté avec 5 à 6 mois secs.

Le long du transect, différents types de sols ont été localisés. Ils se sont développés sur des cendres volcaniques et des flux pyroclastiques, en relation avec le climat et l'altitude:

- Premièrement, entre 3 500 et 1 500 m, en climat humide, on trouve des Andosols humiques, souvent mélaniques, parfois perhydratés, légèrement acides, présentant un complexe matière organique-allophane très stable.

- Ensuite, entre 1 500 et 900 m d'altitude, en climat subtropical avec 2 à 3 mois secs, apparaissent les sols ferrallitiques à halloysites (10 Å), argileux, désaturés, avec des caractéristiques "rédoxiques", et fragipans à la base du solum.

- En climat tropical avec 5 à 6 mois secs, on rencontre les tepetates, durcis par la silice. Ces sols contiennent des halloysites (7 Å) et des nodules ferromanganiques. Des vertisols dégradés se juxtaposent aux tepetates.

Dans la partie haute de la zone étudiée, les allophanes présentent de fortes liaisons avec la matière organique. Ils se transforment sous l'action du climat et du temps, en halloysites (10 Å) qui elles-même, par déshydratation donnent des halloysites (7 Å). Le fer se concentre dans les sols ferrallitiques dans les horizons "rédoxiques". La silice libérée par altération se dépose dans des duripans (tepetates) sous l'action du climat chaud et contrasté.

INTRODUCCION

Los tepetates de la región de Xalapa-Coatepec forman parte de una secuencia topoclimática a lo largo de la vertiente este del eje neovolcánico que atraviesa México de oeste a este. Esta vertiente baja hacia el golfo de México. La zona estudiada se extiende de 4,000 m a 500 m de altitud.

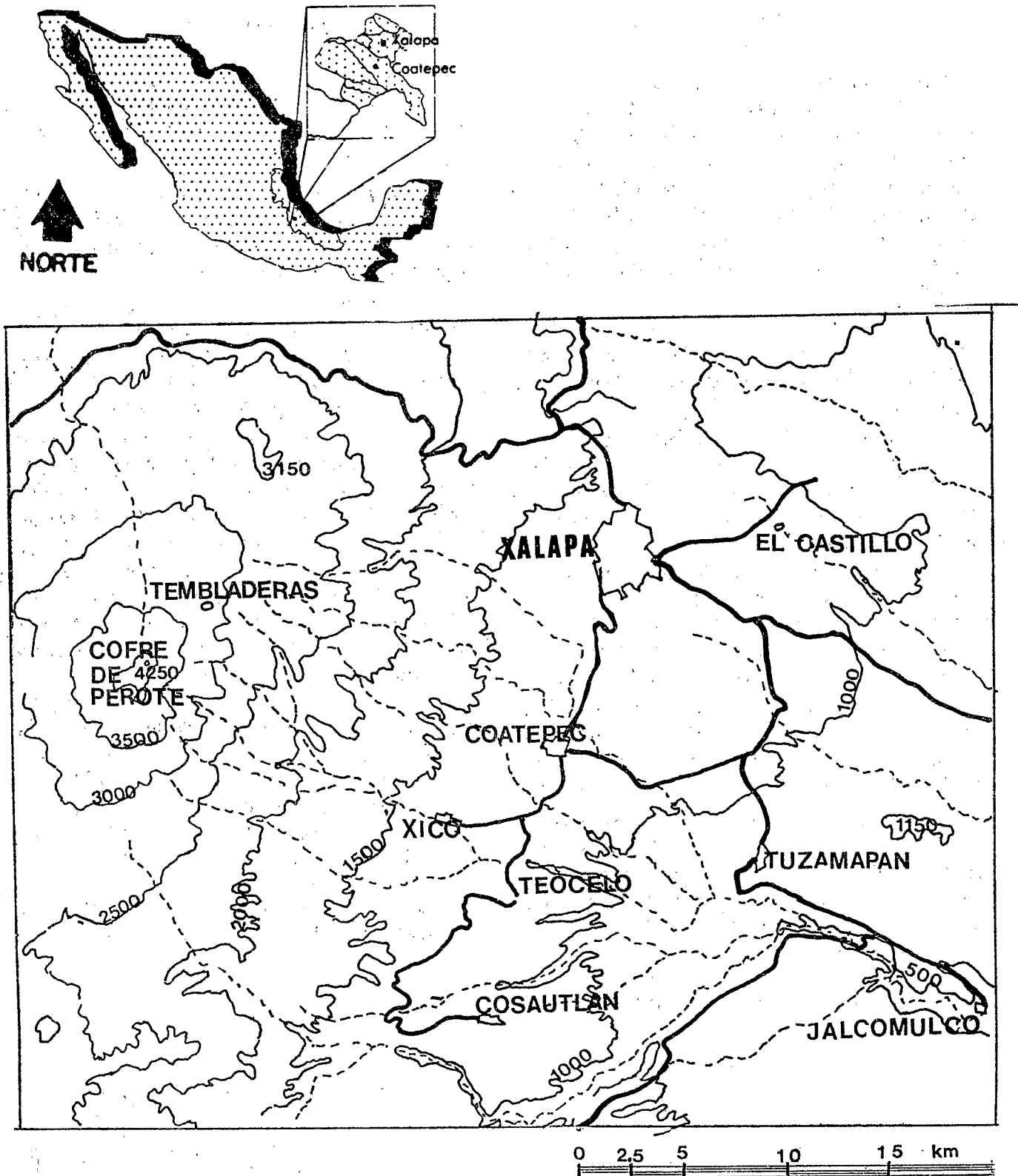


Figura 1. Ubicación de la zona Xalapa- Coatepec, Veracruz, México.

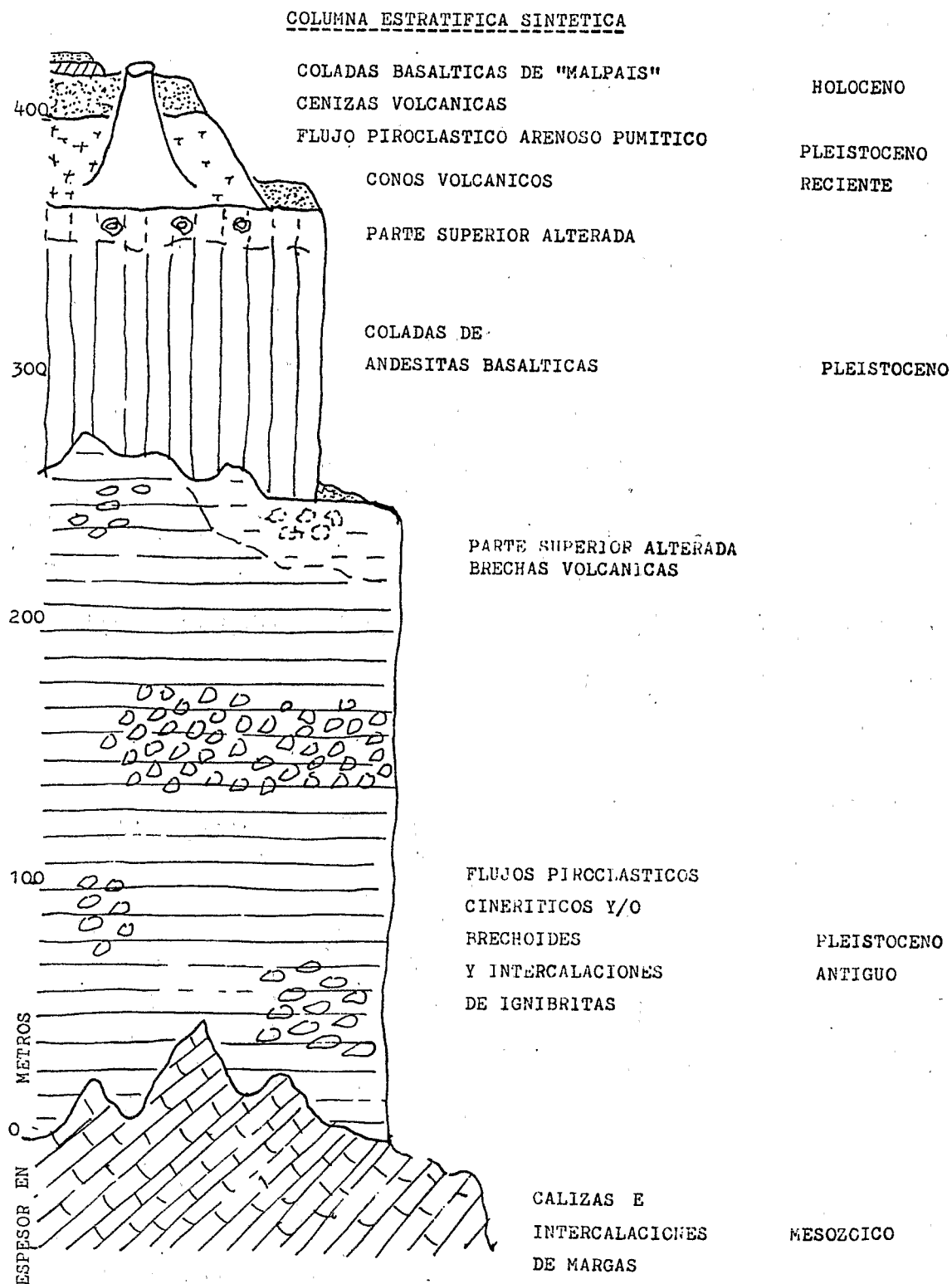


Figura 2. Columna estratigráfica sintética.

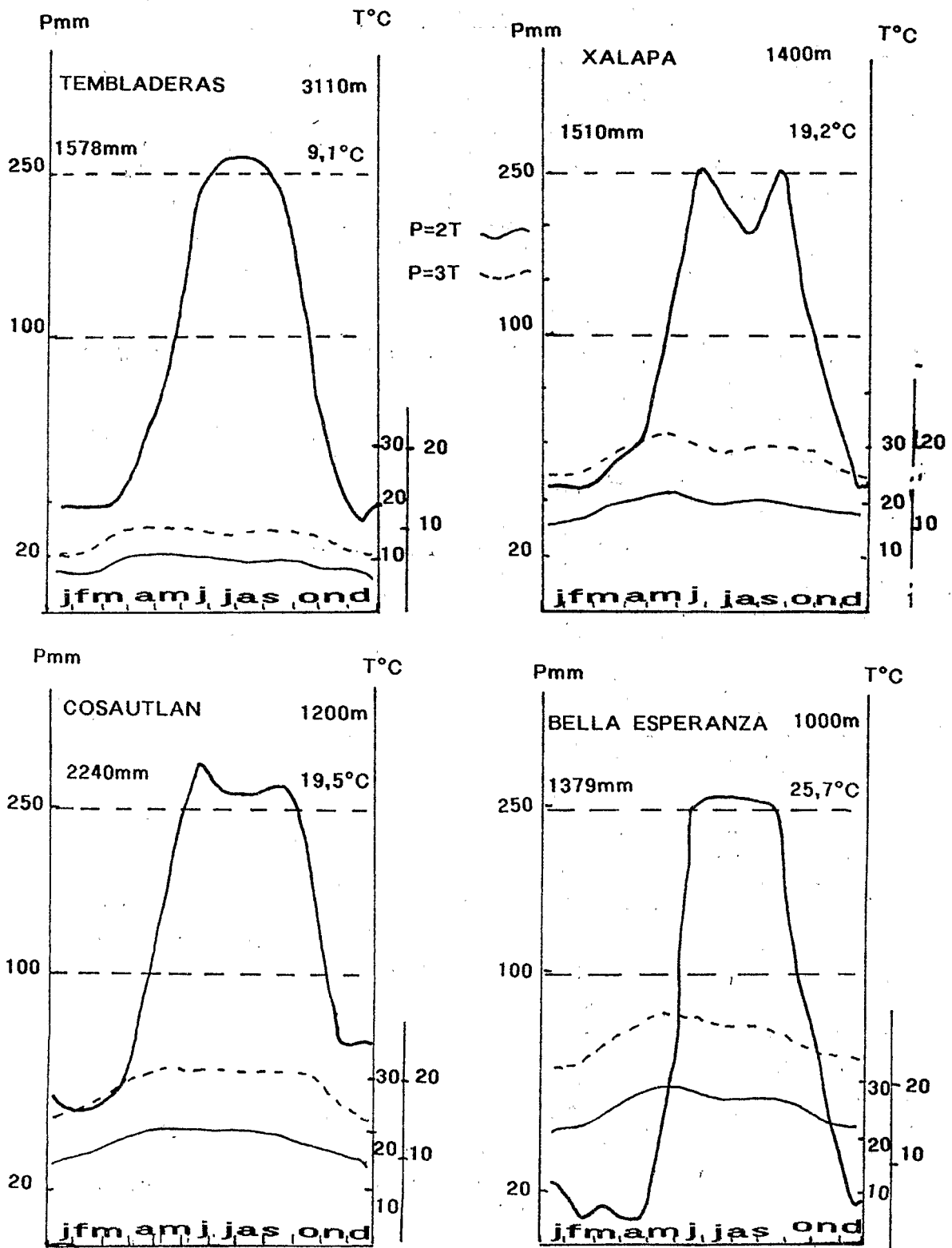
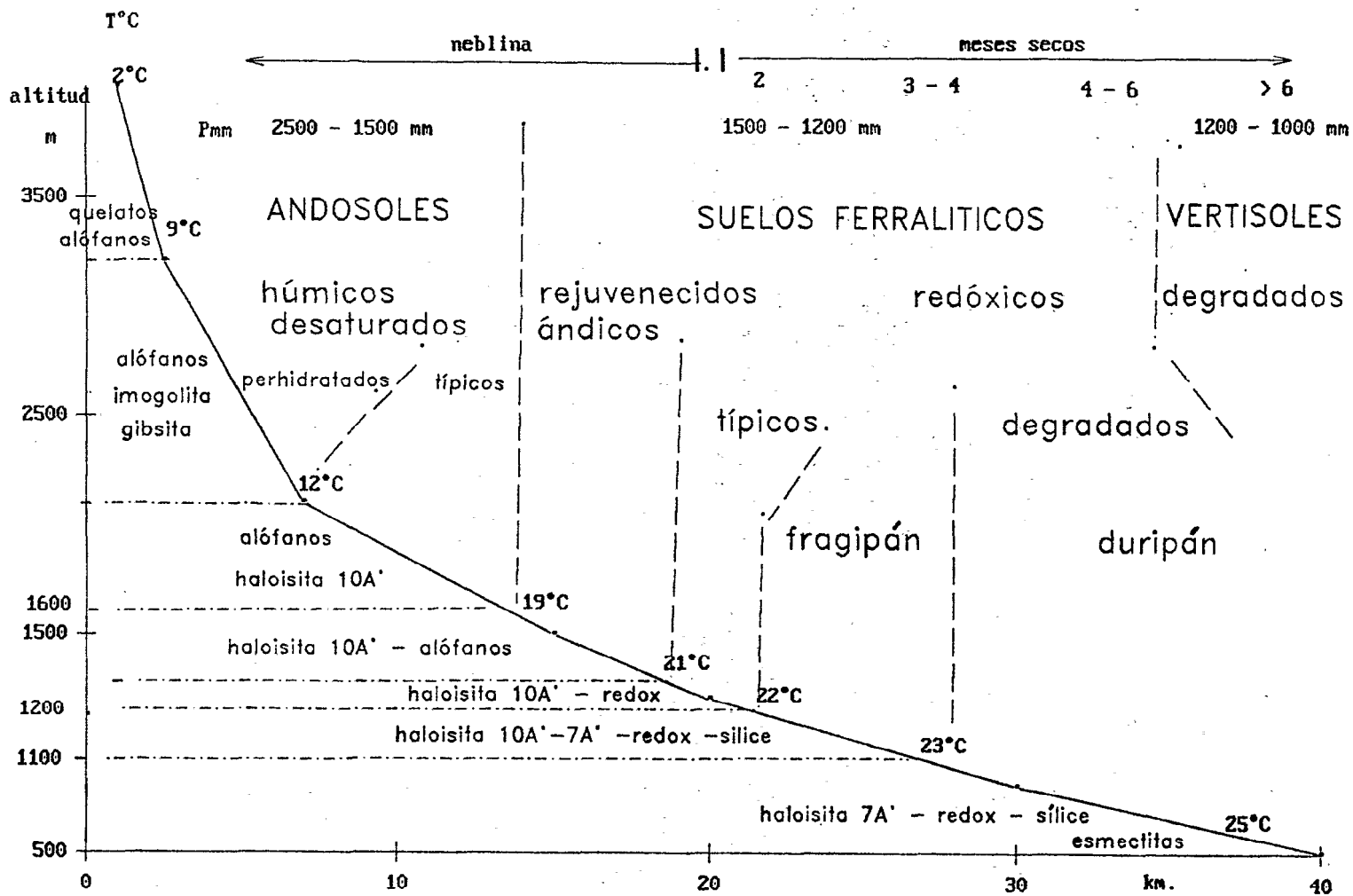


Figura 3. Diagramas ombrotérmicos de la zona Xalapa - Coatepec.

Figura 4. Secuencia topoclimática de los suelos de la zona Xalapa-Coatepec, Veracruz, México.



Se hizo una cartografía morfoedafológica entre 1984 y 1987 (Rossignol et al, 1987) que cubrió 1,000 km². Los diferentes componentes de cada unidad de paisaje fueron descritos: fisiografía y relieve, litología, geomorfología, edafología, uso agrícola, factores limitantes a las producciones agrícolas y mejoramientos posibles.

Los tepetates son ubicados en la parte baja de la secuencia topoclimática.

CONDICIONES AMBIENTALES

Fisiografía

La región está dominada por el Cofre de Perote, el cual culmina a 4,200 m de altitud. Una zona de montaña se extiende hasta 1500 m con pendientes fuertes y una fuerte disección del paisaje; después sigue una zona ondulada ("planézes") y de colinas, con pendientes generales suaves pero recortada por barrancas profundas; ésta se extiende entre 1,500 m y 400 m de altitud (Fig. 1).

Litología

Los materiales volcánicos predominan a lo largo del transecto y se depositaron durante el Cuaternario: coladas volcánicas, flujos piroclásticos. Los productos más recientes son cenizas volcánicas y flujos piroclásticos de tipo riolíticos. Capas poco espesas de cenizas volcánicas fueron depositadas regularmente en la última época del Cuaternario (Holoceno) y han recubierto una gran parte de la región (Fig. 2).

Los suelos se desarrollaron principalmente sobre las cenizas volcánicas y flujos piroclásticos.

Climatología

A lo largo de la vertiente existe una gradiente climática importante. En las zonas altas, el clima es frío y húmedo (3,000 m) con periodos de

neblina (estación de Tembladeras). En la parte mediana, alrededor de 1,500 m, el clima es subtropical húmedo sin estación seca o con una estación seca de uno o dos meses (estaciones de Cosautlan y Xalapa). En la parte baja, es un clima tropical contrastado con cuatro o seis meses secos (estación de Bella Esperanza).

Los diagramas ombrotérmicos de Gaussean muestran las variaciones de los climas (Fig. 3).

Vegetación y Cultivos

El grado climático es al origen de las sucesiones de las vegetaciones naturales y de los cultivos; así, de arriba hacia abajo, se encuentran primeramente pinares y cultivos de papas (2,400-3,000 m), después bosques de encinos y de liquidámbar, ganadería, cultivos de maíz y de frutos templados (1,500-2,400 m), luego selva caducifolia y cultivos de café y maíz (800-1,500 m), al final está la selva tropical baja, cultivos de caña de azúcar, maíz y frutas tropicales (< 800 m).

La Secuencia Topoclimática de los Suelos

Los diferentes tipos de suelos se distribuyen a lo largo de la vertiente según los climas y las altitudes (Fig. 4).

a) Entre 3,500 y 1,500 m de altitud, en clima húmedo frío y templado se localizan los andosoles húmicos a menudo melánicos, a veces perhidratados, ligeramente ácidos, desaturados, sueltos, con estructura granular fina ("fluffy"), poroso, con un complejo materia orgánica-alófana muy estable.

b) Entre 1,600 y 900 m están los suelos ferralíticos con halosita (10 Å), en clima subtropical con uno o dos meses de estación seca; éstos son suelos arcillosos, desaturados, con numerosas caras relucientes, con una porosidad débil, y estructura poliédrica fina. En la base del solum aparecen horizontes "redóxicos", los cuales se intensifican con el alargamiento de la estación seca y suben hacia la superficie del

suelo. Contienen nódulos ferro-mangánicos. A la base del solum, se constituyen horizontes de fragipán que presentan una red de vetas grises dibujando polígonos de 20 cm de ancho. Estos horizontes aparecen entre 1,100 y 900 m de altitud.

c) Abajo de 1,100 m, en clima tropical con cinco o seis meses de estación seca, los tepetates aparecen; los horizontes superficiales son "redóxicos", ricos en nódulos ferro-mangánicos, de textura limosa; las arcillas son haloisitas a 7 Å. El duripán subyacente está duro, cementado por la sílice, con una estructura poligonal.

En la parte baja de la secuencia topoclimática aparecen vertisoles degradados, yuxtapuestos a los tepetates.

LOS TEPETATES DE LA REGION DE XALAPA-COATEPEC

Condiciones Ambientales

El paisaje de la zona tepetatosá está compuesto de mesetas planas o ligeramente onduladas ("planézes") fuertemente disectadas por barrancas profundas. Los suelos con tepetates están localizados sobre las pendientes suaves de las colinas y las partes planas de las mesetas, así como sobre laderas fuertes de las colinas.

El substrato de la mayor parte de la zona tepetatosá está constituido de varios flujos piroclásticos ácidos de tipos riolíticos, que pueden contener bloques y piedras andesíticos. Un manto delgado de cenizas volcánicas ha cubierto la mayor parte de la zona. Ellas no se observan en el terreno, pero se detectan gracias a los análisis totales de muestras de suelos, como se detalla más adelante. En algunos sitios como en Monte Blanco y en Las Trancas, el substrato de los tepetates está constituido de una colada de andesita o de basalto.

Los tepetates se desarrollan en la zona de clima tropical cálido con larga estación seca de cinco o seis meses. La temperatura media anual es superior a 23°C, las precipitaciones entre 1,000 mm y 1,400 mm. En la estación climática

de Bella Esperanza las precipitaciones medias anuales son de 1,379 mm, la evapotranspiración calculada según el método de Thornthwaite es de 1,572 mm. El déficit hídrico anual, teniendo en cuenta una reserva de agua de 100 mm, es de 533 mm y el excedente de 311 mm.

Características Morfológicas de los Suelos

El suelo más representativo de la zona tepetatosá se describe a continuación; presenta dos variantes debido a su variación de la profundidad arriba del tepetate:

- en la primera, el suelo es superficial de menos de 40 cm, el segundo horizonte es a menudo discontinuo y el primer horizonte puede descansar directamente sobre el tepetate;

- en la segunda, el suelo es de profundidad media, entre 40 y 60 cm, el segundo horizonte tiene un espesor entre 20 y 40 cm.

Descripción:

0 - 20 cm : A1 -de color gris oscuro a pardo oscuro, textura limosa al tacto, estructura poliédrica poco neta, medianamente poroso; la parte inferior puede contener algunas manchas grises y ocre de óxido-reducción y nódulos ferro-mangánicos.

20 -20 / 50 cm: Eg, Sg -de espesor variable, algunos cm a 40 cm, textura limoso-arcillosa al tacto, de color pardo grisáceo, estructura poliédrica fina, medianamente poroso, numerosas manchas grises y ocre de óxidoreducción y nódulos ferro-mangánicos.

20 / 50 cm y más: tepetate -de color gris claro a pardo claro, generalmente duro, pero a veces débilmente duro, con estructura poligonal de 20 cm de largo y 50 cm de ancho, porosidad poco importante en forma de cavidades, vacuolas, vesículas y poros; las paredes de los vacíos están recubiertas por capas de sílice, algunas veces coloreadas por el hierro: es un horizonte de duripán.

Las variaciones conciernen el espesor del segundo horizonte que a veces no existe (las dos variantes). El hidromorfismo del suelo puede ser fuerte en caso de profundidad reducida o de

presencia de un tepetate duro y poco poroso. Un horizonte fino de algunos milímetros, emblanquecido, puede aparecer entre los horizontes dos y tres, entre suelo y tepetate.

Características analíticas

Los datos analíticos de los horizontes son los siguientes:

a) Granulometría: el suelo tiene de 20 a 30% de arcilla, 40 a 55% de limo y 15 a 30% de arena. El segundo horizonte puede tener hasta 40% de arcilla.

b) Materia orgánica: su tasa varía de 2 a 3% en la superficie, pero puede alcanzar hasta 6%. En el segundo horizonte pasa a menos de 1%.

c) El pH H₂O es ácido en superficie (4.4), moderadamente ácido abajo (5.7).

d) Capacidad de intercambio catiónico: la CIC es de 15 a 20 meq/100 g de suelo; la saturación en cationes alcalinos y alcalinotérreos es baja, entre 15 y 30 %. La repartición de los cationes sobre el complejo arcillo-húmico se presenta en el Cuadro 2.

Los cationes se encuentran en escasa cantidad. Se puede decir que la concentración en fósforo es baja: de 4 ppm (P₂O₅) a trazas en el horizonte de superficie. Así, la fertilidad química es débil.

Cuadro 1. Granulometría y materia orgánica.

Hor. Prof. cm	Granulometría					M.O. Hum.	
	A.	L	F	LG	aF.	aG	105°C
	%						
Ap 0-5	29.8	25.4	17.6	24.5	2.7	3.99	3.19
ByA 5-24	30.8	25.1	15.5	23.6	4.9	1.51	4.60
Eg 24-50	21.1	31.6	15.4	26.8	5.1	0.54	6.95
Cm 50-56	19.3	37.8	14.6	24.4	3.8	0.37	6.95

Análisis INIREB.

Cuadro 2. Repartición de Ca, Mg y K en el complejo arcillo-húmico.

Elementos	Ca	Mg	K
	meq/100 g		
Horizonte de superficie	3.9 - 1.1	2.5 - 0.4	0.4 - 0.2
Segundo horizonte	1.8	1.5 - 1.0	0.1 - 0.04

Características Mineralógicas

Los diagramas de Rayos X. de la fracción inferior a 2 μ m dan los resultados siguientes (Cuadro 3) en un solum (n° 63, ubicado cerca de El Castillo Chico, 1,150 m).

La arcilla presente es la haloisita de 7 Å y los minerales más abundantes son la cristobalita y después el cuarzo.

Cuadro 3. Presencia relativa de minerales en la fracción < 2 μ m.

Horizontes	Haloisita 7Å	Hematita	Cristobalita	Cuarzo
A: 5-20 cm	++	+	++++	++
Eg: 20-50 cm	++	tr	++++	++
Cm: 50 cm	++	+	+++	+

tr = trazas ++ = mediano ++++ = muy abundante
+ = un poco +++ = abundante

Geoquímica

El análisis triácido de la "tierra fina" (fracción inferior a 2 mm) permite precisar la composición mineralógica (Cuadros 4 y siguientes).

La proporción de residuo indica que el suelo contiene cerca de 30% de minerales insolubles. El porcentaje disminuye con la profundidad de 29.5 a 25.3%.

Cuadro 4. Resultados del análisis triácido de la fracción < 2 μ m.

Horiz. Residuo	Composición del residuo			
	%	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ mol.	Fe ₂ O ₃	Q + Cr F + Fm %
A	29.5	16.7	1.2	69 31
Eg	22.0	24.4	0.9	88 22
Cm	25.3	30.5	0.7	89 21

Soluble	Composición del soluble	
	%	mol.
A	68.4	2.54
Eg	77.2	2.90
Cm	74.4	2.63

Q: cuarzo F: feldespatos
Cr: cristobalita Fm: ferro-magnesianos

Cuadros 5a, 5b y 5c. Datos analíticos.

Hor.	pH			C	N	C/N	Complejo adsorbente					Sat.	P
	H ₂ O	KCl	NaF				CIC	Ca	Mg	K	Na		
				%	%	meq/100 g						%	ppm
Ap	4.30	4.14	8.44	2.32	0.26	8.9	18.0	2.70	0.18	0.2	0.41	19.4	3.91
ByA	4.32	4.20	8.89	0.88	0.12	7.3	17.1	2.35	0.15	0.15	0.37	17.7	3.6
Eg	4.23	3.81	8.74	0.31	0.04	7.8	18.3	2.13	0.17	0.16	0.49	16.1	tr.
Cm	4.20	3.73	8.07	0.21	0.03	7.2	22.9	1.86	0.28	0.21	1.04	14.8	tr.

Análisis INIREB.

Hor.	Pérdida 1000 C	Residuo total	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂
													Al ₂ O ₃
%													
ByA	10.2	29.5	24.6	2.51	0.35	0.12	0.009	0.003	0.36	0.14	0.62	0.74	
Eg	9.65	22.1	19.4	1.35	0.20	0.09	0.005	0.002	0.18	0.04	0.34	0.41	
Cm	9.5	25.3	22.8	1.26	1.26	0.09	0.005	0.003	0.17	0.03	0.33	0.55	

Análisis ORSTOM.

Hor.	Soluble total	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	SiO ₂
												R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
%													
ByA	59.9	27.0	18.0	11.7	2.30	0.03	0.04	0.12	0.31	0.05	0.33	1.79	2.54
Eg	68.1	33.3	19.5	12.0	2.40	0.03	0.01	0.06	0.35	0.03	0.34	2.08	2.90
Cm	64.6	30.6	19.7	11.3	2.30	0.03	0.01	0.07	0.40	0.03	0.21	1.92	2.63

Análisis ORSTOM.

Además, con la composición química del residuo se evaluaron los tipos de minerales: aproximadamente contiene 70% de minerales silíceos, cristobalita y cuarzo, y 30% de feldspatos y de ferro-magnesianos.

Este último porcentaje disminuye hacia la profundidad de 31 a 21. Al contrario el porcentaje de minerales silíceos aumenta de 70 a 88. Esto demuestra el hecho que existen más minerales alterables en la superficie del suelo que en la profundidad. Entonces, el suelo fue rejuvenecido por un aporte delgado de cenizas.

La composición química del producto de alteración (soluble en triácido) muestra una proporción elevada de óxidos de hierro (15 a 17% de la fracción soluble) y en el mismo sentido de óxidos de titanio (7.5%). El valor SiO₂/Al₂O₃ molar es elevado (2.5 - 2.9) y no corresponde a la composición de una haloisita (valor del orden de 2). Existe entonces una parte de "sílice soluble" que no entra en el mineral de haloisita. Es probable que una parte del "hierro soluble" sea un constituyente del mineral arcilloso; en efecto

el valor SiO₂/Al₂O₃+Fe₂O₃ molar es de 1.8 a 2; otra parte constituye la hematita. Así, se puede decir que una parte de la "sílice soluble" es presente como sílice libre de tamaño pequeño, mal cristalizada o en forma de cristobalita.

PROBLEMAS AGRONOMICOS

La estabilidad estructural del suelo es débil, lo que permite una destrucción de los agregados y la transportación de los elementos. Una costra de "batidez" se forma a la superficie del suelo aumentando los procesos de escurrimiento superficial. La cubierta vegetal raquílica e incompleta no protege el suelo de la acción del escurrimiento superficial. Es una zona donde se desarrolla la erosión difusa y laminar así que en cárcavas. Es una zona frágil; un tapiz vegetal completo todo el año sería un factor de disminución del riesgo de erosión. El pastoreo y el pisoteo de los animales aumentan estos riesgos mientras que los cultivos como el café o la caña de azúcar preservan el

suelo en la medida en que se pueda cultivarlos en curvas de nivel o en bandas alternativas y regarlos.

CONCLUSIONES

El régimen hídrico de estos suelos presenta dos periodos: el primero en invierno y primavera, durante el cual la reserva de agua está agotada; el segundo en verano donde en el suelo existe un exceso de agua que no puede evacuarse verticalmente por la presencia del tepetate, y que circula lenta y lateralmente en los horizontes a lo largo de la pendiente (escurrimiento hipodérmico); los horizontes redóxicos son la consecuencia de estos procesos; se observa un blanqueado del suelo o de ciertos horizontes, en los cuales se producen procesos de degradación de las arcillas en medio ácido. La sílice así liberada,

se deposita en el tepetate. Otra fuente importante de sílice proviene de la alteración intensa de los vidrios riolíticos, ricos en sodio y que se encuentran en la parte superior del suelo.

La mineralogía del suelo es característica de la ferralitización con la mezcla de haloisita (7 Å) y de óxidos de hierro (hematita). Es una evolución similar a la de los suelos ferralíticos ubicados bajo un clima más húmedo con estación seca corta donde se observa presencia de haloisita 10 Å y de goetita (Quantin y Geissert, 1988) Pero un clima contrastado con estación seca larga es el origen de los procesos de deshidratación de las haloisitas y de los óxidos de hierro.

Estos suelos son frágiles y los procesos de degradación y erosión pueden rápidamente disminuir la fertilidad. Es necesario desarrollar métodos de conservación de estos suelos.

LITERATURA CITADA

CAMPOS, A. y J.P. ROSSIGNOL. 1987. Dinámica de la erosión en una unidad morfoedafológica sobre tepetates en el municipio de Cosautlan, pp. 85-92. In: J.F. RUIZ F. (ed). Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH, Depto. Suelos, México. 222 p.

GEISSERT, D., J.P. ROSSIGNOL (Coord.), A. CAMPOS, R. GUTIERREZ y N. BARRERA. 1987. La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales, conceptos y primeras aplicaciones en México. INIREB-ORSTOM, Xalapa, Ver.

KILIAN, J. 1972. Les inventaires morphopédologiques. Conceptions. Application au développement agricole. L'agronomie tropicale, XXVII (9): 930-938.

QUANTIN, P. y D. GEISSERT. 1988. Características químicas y mineralógicas de un andosol y de un suelo ferralítico de Xalapa, Veracruz, México. INIREB, Xalapa, Ver., México. 24 p.

ROSSIGNOL, J.P., D. GEISSERT, A. CAMPOS y J. KILIAN. 1987. Mapa morfoedafológico del área Xalapa-Coatepec, 1/75.000. ORSTOM-INIREB, Xalapa, Ver., México.

ROSSIGNOL, J.P. 1987. Mapa de capacidad de uso, 1/75.000. ORSTOM-INIREB, Xalapa, Ver., Méx.

ROSSIGNOL, J.P. y D. GEISSERT. 1987. Mapa de recursos en tierra, 1/75.000. ORSTOM-INIREB, Xalapa, Ver. México.

ROSSIGNOL, J.P., A. CAMPOS, F. MARTINEZ y L. ESCRIBANO. 1987. Mapa morfoedafológico del área de Limones, 1/3000, Documento interno, ORSTOM-UACH-INIREB, Xalapa, Ver., México.

ROSSIGNOL, J.P. y A. CAMPOS. 1987. Los tepetates de la zona centro de Veracruz, pp. 38-49. In: J.F. RUIZ F. (ed). Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH, Depto. Suelos, México. 222 p.

ROSSIGNOL, J.P. 1987. Morfoedafología del área Xalapa-Coatepec, perfiles de suelos: descripciones y resultados analíticos, documento interno INIREB-ORSTOM, Xalapa, Ver. 55 p.

ROSSIGNOL, J.P., A. CAMPOS, D. GEISSERT y P. QUANTIN. 1988. Morfoedafología del área Xalapa-Coatepec, Veracruz, y sus aplicaciones a los usos agrícola, pecuario y forestal; informe explicativo preliminar de los mapas morfoedafológicos de recursos en tierras y de capacidades de uso al 1/75.000. Doc. int. INIREB-ORSTOM-ENITHP, Xalapa, Ver.