

Paul Quantin

Daniel Geissert

per. de Ho

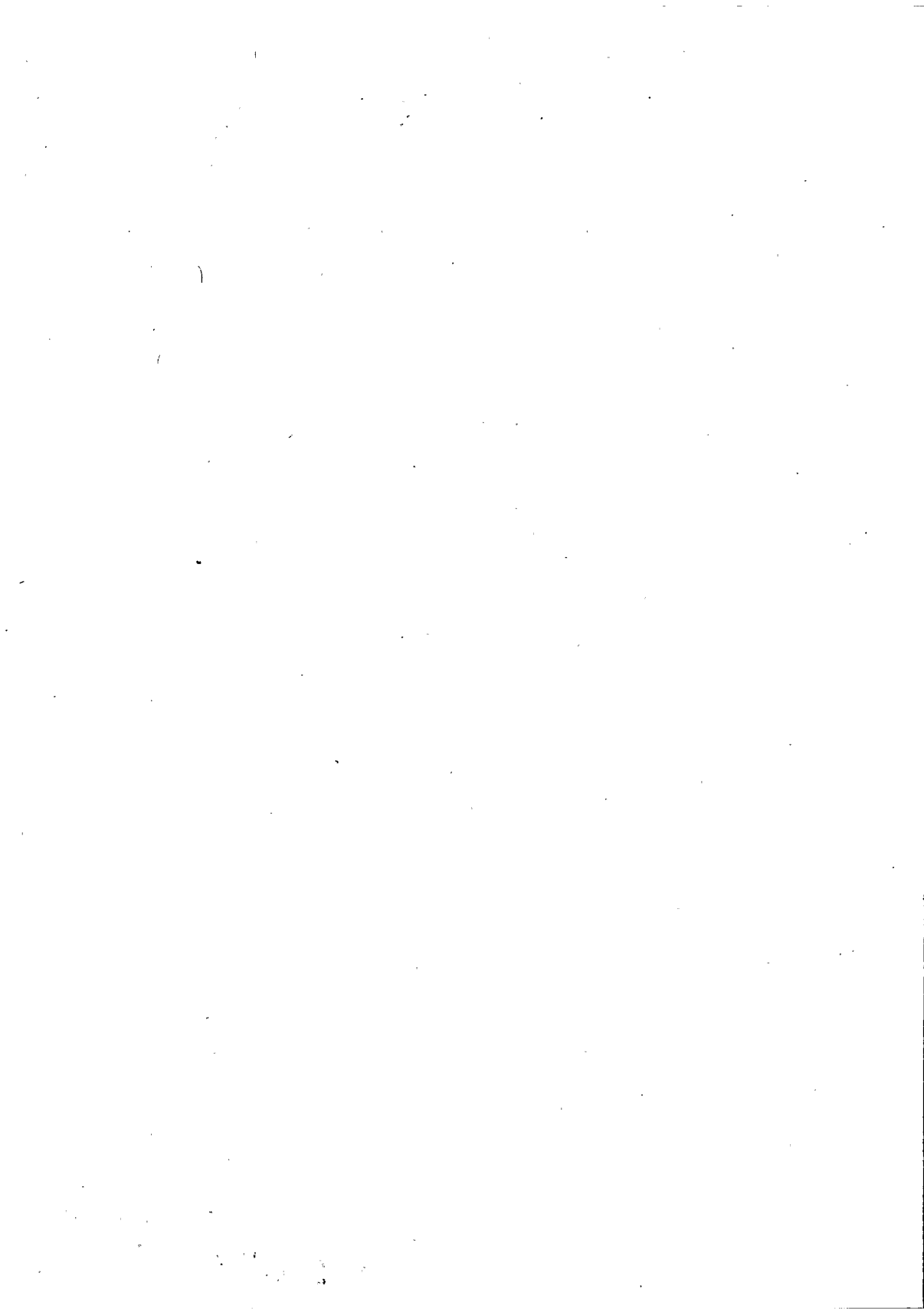
**CARACTERISTICAS QUIMICAS Y
MINERALOGICAS DE UN ANDOSOL
Y DE UN SUELO FERRALITICO
DE XALAPA, VERACRUZ, MEXICO**



Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: B * 9484 Ex: 1



CARACTERISTICAS QUIMICAS Y MINERALOGICAS DE UN ANDOSOL Y DE UN SUELO FERRALITICO DE XALAPA, VERACRUZ, MEXICO.

Paul Quantin (1) Daniel Geissert (2)

Introducción

En mayo de 1982, dentro del marco de la misión al volcán El Chichón, Chiapas (Quantin, 1982), se realizó una observación de los suelos de la zona cafetalera de Xalapa, con miras a la preparación de un programa de colaboración INIREB-ORSTOM, para el estudio morfoedafológico de dicha zona.

El análisis preliminar comprende los perfiles de un andosol y de un suelo ferralítico, frecuentes en los alrededores de Xalapa. Se analizaron en el laboratorio del ORSTOM dos muestras promedio del horizonte superior de cada uno de los dos tipos de suelos, para constituir estándares de referencia en el laboratorio del INIREB.

Condiciones ambientales

La región de Xalapa, está situada alrededor de los 19°30' N y 90°W. Se extiende entre el Cofre de Perote, volcán que culmina a 4,282 m al oeste y la llanura costera de Veracruz al este (fig.1). La zona de estudio, cercana a Xalapa, está situada sobre laderas suavemente inclinadas (planeze), entre 1500 y 1000 mts. de altitud, y está constituida por formaciones volcánicas esencialmente del Cuaternario,

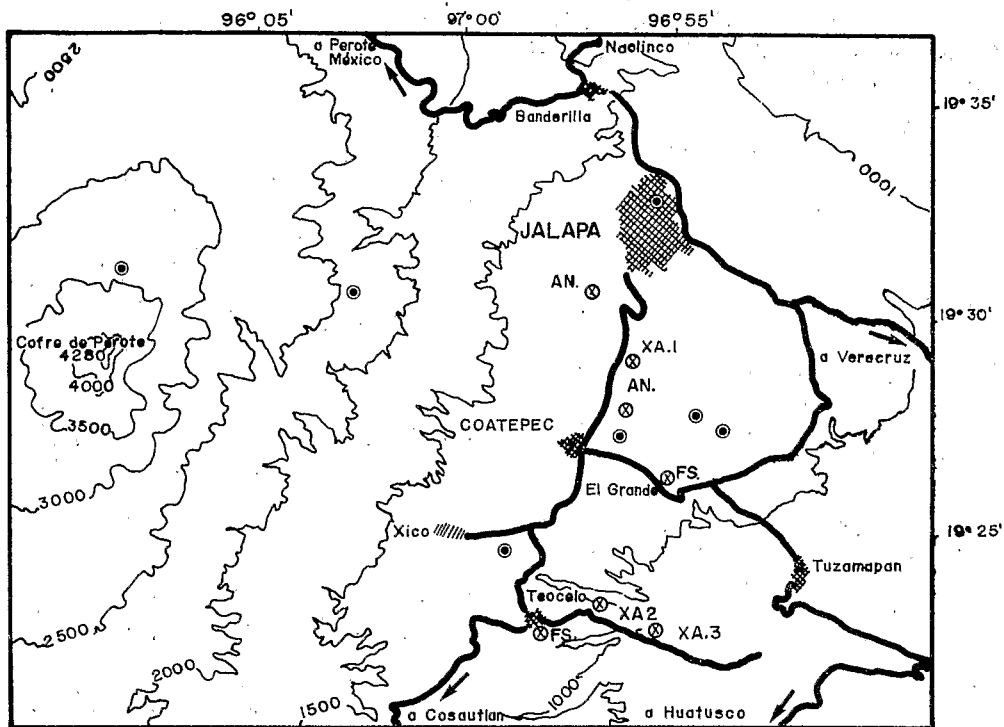
rejuvenecidas en superficie por depósitos de cenizas del Holoceno.

El clima es de tipo subtropical húmedo (temp. media anual entre 17°C y 20°C y precipitación anual de 1700 mm a 2200 mm aproximadamente), encontrándose en las zonas bajas (1000-1200m) una estación seca anual muy corta (abril a mayo) y en las altas (1200-1500 m) un déficit hídrico ocasional, sin periodicidad bien definida (Geissert, 1985). También se caracteriza por la frecuencia de las nubladas, hasta de 280 días al año. La vegetación natural corresponde al bosque caducifolio, rico en epifitas. El cultivo de predilección es el café (*Coffea arabica* L.) bajo el sistema tradicional de sombra. (Arriaga, 1985).

Los suelos andosoles se ubican en altitud y próximos a conos volcánicos recientes. Al disminuir la altura, aparecen los rojos arcillosos, ferralíticos, que en un primer tiempo fueron considerados como fersialíticos, mismos que en zonas más bajas presentan un horizonte endurecido y silicificado, llamado localmente tepetate y que aparece a menudo en la superficie, después de la erosión del suelo. Este hecho marca una transición hacia planosoles (Aguilera, 1969; Loran, 1976; Quantin, 1982; Rossignol et al., 1985; Roulleau et al., 1985)

Los planezes están constituidos, de la base a la superficie, por coladas de basalto andesítico del Pleistoceno inferior y medio, por anchas y espesas coladas piroclásticas riolíticas del pleistoceno medio y superior, y finalmen-

1 ORSTOM: Institut Français de Recherche Scientifique Pour le Développement en Coopération, 70 Route D'Aulnay, 93140 Bondy, Francia
2 INIREB: Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Apartado Postal 63,91000 Xalapa, Ver., México.



- Conos volcánicos monogenéticos
- ⊗ XA. Perfil de suelo
- ⊗ AN o FS. muestra de suelo estandar

ESCALA 1:250 000

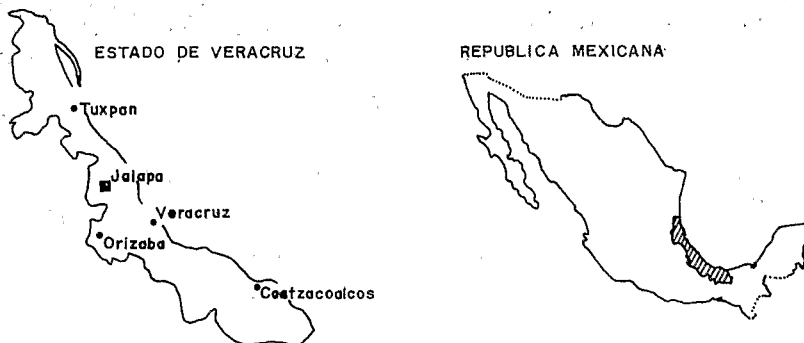


Figura 1 Localización de la región de Jalapa, Ver.

te, por cineritas estratificadas (alternativamente rio-dacíticas y basálticas) y por escasas coladas basálticas del Pleistoceno superior y del Holoceno.

Petrografía de las formaciones superficiales:

En este estudio preliminar se analizaron una muestra de lava (difracción de rayos X y microscopía óptica) y algunas cineritas estratificadas (difracción R.X); sólo se describen las coladas piroclásticas.

1. Lava. Se trata de una muestra de colada reciente tomada cerca de Teocelo, a la base del Pleistoceno superior. Su composición es la siguiente:

Fenocristales: 40-50% de la masa, sobre todo anchas plagioclasas y abundantes piroxenos pequeños (augita). Entre las plagioclasas predomina la labradorita con un poco de andesina. Las formas zonificadas de la labradorita están muy corroídas y las no zonificadas, poco alteradas. La augita está poco alterada.

Matriz vítrea: 50-60% de la masa, es oscura, vesicular, muy rica en microlitos de plagioclasas e incluye algunas espinelas.

Esta lava es probablemente una labradorita, basalto rico en labradorita.

2. Cineritas. Se trata de diversas capas de cenizas sobrepuestas, observadas en un suelo al sur de Xalapa, cerca del río Sordo (perfil XA.1). Sólo se determinaron los minerales residuales, inalterados (Tabla 1).

La evidente presencia del cuarzo, de la cristobalina y del sanidino sugiere una composición parecida a la de las riocacitas: su ausencia por el contrario, que se trata de cenizas menos silíceas. Este análisis demasiado sucinto muestra que hubo sobreposición de cenizas de composición alternativamente "ácida" (riocacitas) y "básica".

3. Coladas piroclásticas. Se trata de coladas no clasificadas, de color muy claro, algunas pumíticas, otras con bloques de lava basáltica, a menudo cementadas y endurecidas, y en otras ocasiones deleznable. Algunas de ellas presentan pómez lenticular ("flammé") y se asemejan a las ignimbritas; su composición se parece a la de las riocacitas. Dichas coladas piroclásticas, en ocasiones están asociadas con coladas de lava riolítica y cubiertas por las cineritas estratificadas descritas anteriormente.

TABLA 1. MINEROLOGIA DE LAS ARENAS DE CINERITAS ALTERADAS

		C	Cr	Fp	Sa	Af	Pi
XA11	40-50 cm	+	+	+	+		t
XA12	160-170 cm	t	t	t	+		
XA13	220-230 cm	e		t	t		
XA14	290-310 cm	+	+	e	e		

A continuación, se describen los perfiles del andosol y del suelo ferráltico.

I. Andosol

1. Descripción. El perfil estudiado XA.1 fue observado cerca del río Sordo, sobre la nueva carretera de Xalapa a Coatepec.

Posición: al borde de un "planeze" incidido por el río Sordo; pendiente aproximada de 20%; altitud de 1350 m aproximadamente.

Material original: Cineritas estratificadas de 5m de espesor, sobre una colada piroclástica blanca no consolidada.

Vegetación: Barbecho herbáceo y arbustivo.

Perfil en cm:

0 a 20 A₁₁ Café-gris oscuro (7.5 YR 2/2, húmedo); limoso y humífero; estructura grumosa fina, muy deleznable; densidad aparente baja; raíces densas; prueba NaF " + " (Fiel-des y Perrot, 1966).

20 a 35 A₁₂ Café oscuro (7.5 YR 4/3 húmedo); moteado limoso y menos humífero; estructura en granos finos y redondeados, muy deleznable; muy baja densidad aparente, raíces densas.

30 a 55 (B) Café (7.5 YR 5/5, húmedo; 10 YR 6/4 seco); limoso ligeramente arcilloso; estructura poliédrica subangular más desarrollada y menos deleznable ligeramente plástico; prueba NaF " + " (débil y lenta).

55 a 85 II A₁₁ Café muy oscuro casi negro (7.5 YR 3/1 húmedo); limoso y muy humífero; estructura continua, microporosa, deleznable; densidad aparente baja; enraizamiento irregular; prueba NaF " + " (muy débil y lenta).

85 a 100 II A₂ Café oscuro (7.5 YR 3/2 húmedo); más limoso; estructura más desarrollada, poliédrica subangular deleznable.

100 a 110-115 II (B) Café oscuro (7.5 YR 4/2 húmedo); limo-arcilloso; estructura poliédrica aún más desarrollada; ligeramente plástico; pocas raíces, límite ondulado; prueba NaF " + ".

115 a 200 III B Café (7.5 YR 5/5 húmedo, 10 YR 7.5/4. seco); moteado; arcilloso-limoso; estructura poliédrica angular fina con cohesión bastante fuerte; raíces dispersas; prueba NaF " + " (lenta).

200 a 245 IV C Capa de cenizas pumáticas ligeramente alteradas blanca y café claro, sin clasificación y sin consolidación; muy pocas raíces; prueba NaF " + " (muy lenta).

245 a 350 V B Café (7.5 YR 5/4 húmedo, 7.5 YR 6.5/4 seco); arcilloso-limoso; estructura prismática fina y mediana, cohesión fuerte; plástico; sin raíces; prueba NaF " + + " (N.B. Dicha estructura se debe probablemente a la colada piroclástica que cubrió este paleosuelo).

Muestras:

XA.11. Horizonte (B), 40 a 50 cm.

XA.12. Horizonte III B, 160 a 170 cm

XA.13. Horizonte IV C, 220 a 230 cm

XA.14. Horizonte V B, 290 a 310 cm

Se tomaron dos muestras agronómicas promedio, del horizonte superficial del suelo (bajo cafetales), a dos profundidades y en dos parcelas vecinas; dichas muestras sirven de referencia al laboratorio de suelos del INIREB bajo los números ANDO A: 0-15 cm. y ANDO B: 30-50 cm

2. *Mineralogía (Tabla 2)*. El análisis mineralógico se obtuvo mediante difracción de rayos X sobre polvo de suelo y sobre la fracción $< 2\mu\text{m}$ (polvo con orientación normal y posteriormente calentado a 105°C y a 490°C , o glicolado); microscopía Electrónica de transmisión (MET) sobre la fracción $< 2\mu\text{m}$; observación de los granos de arena con lupa binocular. El análisis químico "triácido" (Tabs. 6 y 7) permitió estimar la cantidad aproximada de minerales primarios residuales, tales como los silíceos (cuarzo y cristobalita) y los productos secundarios.

Los resultados fueron:

- La parte superior del suelo (XA.11 y AN. A), que corresponde a las cenizas más recientes y que tiene propiedades de andosol, contiene por lo menos 25% de minerales primarios, del cual la mitad corresponde al cuarzo y a la cristobalita, y el resto a feldspatos alcalinos, oligoclasa y sanidino, así como a trazas de hornblenda, de piroxeno y de vidrio. El producto de alteración está constituido sobre todo por alófono (microesférico) y por gel de hidróxidos (Al, Fe); pero también contiene un poco de haloisita de 10 Å, muy pequeña, en forma de microesferas y ocasionalmente de tubos, así como trazas de gibsita (1 a 2%), de goetita mal cristalizada y de ópalo (fitolitos).

- Todos los horizontes subyacentes, incluyendo la cinerita blanca (IVC), están más alterados y son muy ricos en haloisita de 10 Å. Esta se presenta sobre todo en forma de microesferas, pero también como glomérulos y tubos irregulares. Se encuentra un poco de alófono y de gel de hidróxidos; la gibsita desaparece en las capas profundas y la goetita aparece claramente en el paleosuelo café arcilloso a los 3 metros de profundidad. Se observan ínfimas trazas de arcilla 2:1, esmectita o vermiculita hidroxialuminosa. La porción de cuarzo y de cristobalita crece fuertemente en el paleosuelo VB, mientras que los feldspatos permanecen casi totalmente alterados. Se

trata de una cinerita más silícea de origen, parecida a la del suelo de superficie.

3. *Propiedades físicas (Tabla 3)*. La parte superior del suelo presenta las siguientes propiedades:

- Textura limo-arcillo-arenosa muy húmida (16%) en el horizonte A₁₁, pero mucho menos (1.5%) en el horizonte (B).

- Capacidad de retención en agua (a pF 3) elevada, de 50% en A₁₁ a 40% en (B), considerando que dicha medida fue realizada en el suelo secado al aire. El valor real de la capacidad de retención del suelo húmedo, puede alcanzar 70 a 80% en A₁₁ y 60 a 70% en (B), considerando el efecto de deshidratación irreversible. La reserva de agua "util" para plantas o cultivos es probablemente superior a 10% del peso de suelo seco.

- Buena estabilidad estructural aun después de la desecación al aire (N.B. para el cálculo del índice de Hénin y considerando la mala dispersión del alófono, conviene usar el resultado de arena gruesa obtenido después de agitación ultrasónica).

4. *Propiedades químicas (Tabla 4 y 5)*.

- El pH es ligeramente ácido en el horizonte superior que corresponde al andosol: 6.5 a 6.7 en el A₁₁ y de 6.1 a 6.3 en el (B); y más ácido en los paleosuelos: de 5.3 a 5.5. Esta diferencia manifiesta el contraste entre el andosol de superficie, rico en alófono (con cargas variables) y los paleosuelos, ricos en minerales arcillosos (con cargas permanentes). Sin embargo, la fuerte diferencia entre pH (H₂O) y pH (KCl) en todo el perfil, indica que existen en todos los horizontes importantes cargas permanentes, debido a los ácidos orgánicos cerca de la superficie o las arcillas más en profundidad.

TABLA 2. COMPOSICION MINERALOGICA DEL ANDOSOL Y DEL SUELO FERRALITICO

Suelo/Horizonte		Minerales primarios						Minerales secundarios					
		C, Cr,	Fp	Sa	Af	Pi	Vi	Al	Op	Ht	ESm-Vt	Gi	Go
Andosol													
AN.A	A ₁	+ +	+	+	t	e	t	+++	t	+		t	e
AN.B	(B)	+	t	t	e		t	+	t	+++		t	e
XA.11	(B)	+ +	+	+	t	e	t	+++		+	e	t	e
XA.12	III B	+	t	+				+		+++		t	e
XA.13	IV C	t	t	+				+		+++	t	e	
XA.14	V B	+	e	e				+		+++	t		+
Ferralítico													
FS.A	A ₁	+ +	+	+	t	e	t	+		m ++	t		e
FS.B	(B)	+	t	t	e		e	t		+++	t		t
XA.21	(B)	+	t	t			e	t		+++	e	e	t

C, Cr: cuarzo y cristobalita

Pi: piroxeno

Op: ópalo,

Gi: gibsitita

Fp: feldespato plagioclasa,

Vi: vidrio

Ht: haloisita 10 Å, m: a 7 Å;

Go: goetitita

Sa: sanidino Af: anfíbola

Al: alófono y gel de hidróxidos,

ESm-Vt: esmectita y vermiculita ó 10-14 ESm-Vt

+++ abundante,

++ mediano,

+ poco,

t: trazas,

e: trazas ínfimas.

TABLA 3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL ANDOSOL (ESTANDAR).

Suelo No.	A N D O	
Muestra No.	AN. A	AN. B
Profundidad, cm	0 - 15	30 - 50
Horizonte	A ₁ †	(B)
Textura	en % suelo	
en 10 ⁻² del suelo seco		
Arcilla 0 a 2 μm	30.1	33.0
Limo fino 2 a 20 μm	22.8	28.1
Limo grueso 20 a 50 μm	7.7	10.8
Arena fina 50 a 200 μm	12.2	16.0
Arena gruesa 200 a 2000 μm	1.4	1.4
H ₂ O ⁻ (a 105°C)	9.6	9.2
Materia orgánica	16.3	1.5
Relación Suelo - Agua	en % Suelo	
Capacidad de retención		
	4.2	38.7
	34.1	34.1
p ^F (1)	3.0	50.9
	40.3	40.3
	Δ 3.0 / 4.2	12.2
	6.2	6.2
Inestabilidad estructural		
índice de Hénin (2)		
normal IS ₁	0.16	1.21
ultra-sonido IS ₂	0.14	0.35
granulométrico IS ₃	0.14	0.23
Relación Limo fino/arcilla	0.76	0.85
Densidad real	2.07	2.34

(1) medición sobre el suelo secado al aire

(2) IS₁ método normal de cálculo

IS₂ arena gruesa (Ag) obtenida después de agitación ultra-sónica

IS₃ Ag obtenida después de dispersión granulométrica.

TABLA 4. PROPIEDADES QUIMICAS DEL ANDOSOL (PERFIL XA. 1)

Suelo No.	XA. 1 (andosol)				
Muestra No.	XA. 11	XA. 12	XA. 13	XA. 14	
Profundidad, cm.	40 - 50	160-170	220-230	290-310	
Horizonte	(B)	III B	IV C	V B	
pH	relación suelo/agua 1/2.5				
H ₂ O	6.7	6.3	5.3	5.5	
KCl N	5.1	3.6	3.4	4.1	
NaF (2 minutos)	10.2	9.2	9.4	9.6	
Materia Orgánica	en ‰ suelo secado al aire				
C (mét. C.H.N.)	19.91	2.12	1.3	3.71	
N (mét.)	1.65	0.19	TRAZAS	0.30	
C/N	12.0	11.2	—	12.6	
COMPLEJO DE ADSORCION	en me/100 g suelo secado al aire				
con 10 g de suelo y	Ca ++	2.22	3.40	1.19	1.60
150 ml. de:	Mg ++	0.45	1.45	0.80	1.60
CH ₃ COO(NH ₄) M ⁱ pH7	K +	0.12	2.84	1.41	0.57
	Na +	0.06	0.52	0.31	0.32
	Suma	2.85	8.21	3.71	4.09
C.I.C.T. (Ca) a pH 7.0		22.30	14.60	8.80	17.10
100 B.I./C.I.C.T. = ‰ SB		12.8	56.2	42.1	23.9
H ₂ O ⁻ (a 105°C) ‰ suelo seco		21.9	12.7	9.2	12.4

TABLA 5. PROPIEDADES QUIMICAS DEL ANDOSOL (ESTANDAR)

Suelo No.	A N D O	
Muestra No.	AN. A	AN. B
Profundidad, cm	0 - 15	30 - 50
Horizonte	A 11	(B)
pH	Suelo/agua 1/2.5	
H ₂ O	6.5	6.1
KCl N	4.7	4.8
NaF (2 Min.)	10.5	10.1
Materia Orgánica	en ‰ suelo seco	
C (mét. C. H. N.)	84.0	8.91
N (mét. C. H. N.)	6.09	0.78
C/N	13.8	11.4
Complejo de adsorción	en me/100g suelo seco	
con 20g de suelo	Ca ++	3.00
y 150 ml. de:	Mg ++	1.05
CH ₃ COO(NH ₄) M pH7	K ⁺	0.85
	Na+	0.63
	Suma	5.53
C.I.C.T. (Ca) a pH 7.0	39.5	27.0
100 B.I./C.I.C.T. = ‰ SB	18.7	20.5
Al ³⁺ (KCl, N)	1.05	0.47
H ⁺ (KCl N)	0.20	0.16
Fertilidad	en ‰ suelo seco	
Total NO ₃ H (13N)	1.10	0.32
P ₂ O ₅ Asimil, OLSEN	0.038	< 0.005
" OLSEN-DABIN	0.182	0.070
" BRAY II	0.005	< 0.005
S total (Coulombímetro) (1)	0.420	0.156
Cationes de Reserva	en me/100g suelo seco	
Método	Ca ++	5.52
NO ₃ H (13N)	Mg ++	11.90
(15 ml/0.4 g suelo)	K ⁺	2.48
C y N Total	Na+	3.03
Otros métodos	en ‰ suelo seco	
C Anne	94.3	8.34
C Walkley-Black	95.0	8.40
C Coulombímetro	94.8	9.14
N Kjeldahl (color).	7.27	0.87
C/N Anne/Kjeldahl	13.0	9.6
C/N Walkley-Black	13.1	9.6
C/N Coulombímetro	13.0	10.5
H ₂ O suelo seco aire ‰	10.71	11.96

(1) método de combustión del carbono y azufre total con medida de la corriente eléctrica usada para la titulación.

TABLA 6. COMPOSICION QUIMICA DEL ANDOSOL (ESTANDAR)

Suelo No. Muestra No. Profundidad, cm Horizonte	A N D O			A N D O		
	AN. A 0 - 15 A ₁₁			AN. B 30 - 50 (B)		
Fracción analizada < 2 mm en % suelo seco 105°C extracto:	Triácido	Resíduo	Global	Triácido	Resíduo	Global
Pérdida total por calcinación (1000°C)	28.00		28.00	14.10		14.10
Resíduo total:	24.15			16.65		
SiO ₂ "Silicato" "total"	19.55	18.75	38.30	30.60	12.86	43.46
Al ₂ O ₃	19.25	2.41	21.66	27.50	1.73	29.23
Fe total como Fe ₂ O ₃	6.40	0.48	6.88	8.30	0.34	8.64
Ti O ₂	0.91	0.03	0.94	1.20	0.03	1.23
Mn O ₂	0.105	0.015	0.12	0.09	0.01	0.10
P ₂ O ₅	0.12			0.04		
SO ₃	0.12			0.04		
CaO	0.41	0.60	1.01	0.20	0.43	0.63
MgO	0.38	0.58	0.96	0.36	0.43	0.79
K ₂ O	0.17	0.52	0.69	0.13	0.33	0.46
Na ₂ O	0.34	0.77	1.11	0.23	0.49	0.72
Total	99.90	24.15		99.44	16.65	
SiO ₂ /R ₂ O ₃ Rel. mol.	1.42			1.58		
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ Rel. mol.	1.72	13.23	3.00	1.88	12.64	2.53
H ₂ O en % suelo seco aire	10.71			11.96		
Fe ₂ O ₃ "libre" (DEB)%	4.35			5.25		

TABLA 7a. COMPOSICION QUIMICA DEL ANDOSOL (PERFIL XA. 1).

Suelo No. Muestra No. Profundidad, cm Horizonte	XA.1 XA.11 40-50 (B)			XA.1 XA. 12 160-170 III B		
Fracción analizada en % suelo seco 105°C extracto:	Triácido	Resíduo	Global	Triácido	Resíduo	Global
Pérdida total por calcinación (1000°C)	18.60		18.60	13.30		13.30
Resíduo total:	23.75			5.50		
SiO ₂ "Silicato" "total"	22.90	18.87	41.77	37.35	4.46	41.81
Al ₂ O ₃	26.00	2.38	28.38	32.25	0.52	32.77
Fe total como Fe ₂ O ₃	6.30	0.37	6.67	9.00	0.06	9.06
Ti O ₂	0.87	0.04	0.91	1.40	0.05	1.45
Mn O ₂	0.087	0.02	0.107	0.046	0.000	0.046
CaO	0.31	0.41	0.72	0.18	0.12	0.30
MgO	0.28	0.37	0.65	0.22	0.02	0.24
K ₂ O	0.16	0.57	0.73	0.18	0.09	0.27
Na ₂ O	0.27	0.72	0.99	0.16	0.18	0.34
Total	99.527	23.75		99.586	5.50	
SiO ₂ /R ₂ O ₃ Rel. mol.	1.29			1.66		
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ Rel. mol.	1.49	13.5	2.50	1.96	14.6	2.17
H ₂ O en % suelo seco aire	21.88			12.70		

TABLA 7b. COMPOSICION QUIMICA DEL ANDOSOL COMPLETO (PERFIL XA. 1, CONTINUACION).

Suelo No. Muestra No. Profundidad, cm Horizonte	XA.1 XA.13 220-230 IV C			XA.1 XA. 14 290-310 V B		
Fracción analizada en % suelo seco 105°C extracto:	Triácido	Resíduo	Global	Triácido	Resíduo	Global
Pérdida total por calcinación (1000°C)	11.55		11.55	13.70		13.70
Resíduo total:	23.40			6.80		
SiO ₂ "Silicato" "total"	32.70	18.19	50.89	36.75	6.17	42.92
Al ₂ O ₃	28.25	2.78	31.03	30.75	0.26	31.01
Fe total como Fe ₂ O ₃	3.45	0.26	3.71	9.60	0.02	9.62
Ti O ₂	0.35	0.04	0.39	1.40	0.03	1.43
MnO ₂ : N ó MnO: P	0.024	0.010	0.034	0.028	0.000	0.028
CaO	0.17	0.16	0.33	0.14	0.08	0.22
MgO	0.09	0.03	0.12	0.32	0.02	0.34
K ₂ O	0.13	0.99	1.12	0.16	0.08	0.24
N ₂ O	0.25	0.94	1.19	0.17	0.14	0.31
Total	100.36	23.40	100.36	99.82	6.80	99.82
SiO ₂ /R ₂ O ₃ Rel. mol.	1.82			1.69		
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ Rel. mol.	1.96	11.1	2.79	2.02	40.3	2.35
H ₂ O en % suelo seco aire	9.21			12.36		

- El pH (NaF) indica la reacción de intercambio entre el aluminio del alófono y/o los hidróxidos no cristalinos. Dicha reacción es más fuerte (10.2-10.5) en el andosol que en los paleosuelos arcillosos. Sin embargo, los valores de 9.4 a 9.6 observados en los paleosuelos sugieren la presencia de alófono o de alúmina no cristalizada, aun en la profundidad del suelo.

- La relación C/N presenta valores moderados, de 12 a 13 en el horizonte A₁₁, de 10 a 11 en el (B) y de 12 en el paleosuelo. Esto indica una buena mineralización y humificación de la materia orgánica. La acumulación de humus está restringida al horizonte húmifero cerca de la superficie, donde la provisión de carbono y de nitrógeno orgánico es muy elevada.

- La capacidad de intercambio catiónico CIC (a pH7) es elevada en el Andosol: cerca de 40 me/100g en A₁ y de 22 a 27 me en (B); luego disminuye rápidamente en los paleosuelos: de 9 a 17 me/100g. Nuevamente, el contraste existente entre el suelo húmifero con alófono y los suelos arcillosos con haloisita.

- La capacidad de intercambio catiónico CIC (a pH7) es elevada en el andosol: cerca de 40 me/100g en A₁ y de 22 a 27 me en (B); luego disminuye rápidamente en los paleosuelos: de 9 a 17 me/100g. Nuevamente, el contraste existente entre el suelo húmifero con alófono y los suelos arcillosos con haloisita.

- El porcentaje de saturación en bases (a pH7) es bajo en el andosol, de 13 a 20% de la CIC en aparente contradicción con el pH (H₂O) ligeramente ácido; en los paleosuelos arcillosos dicho porcentaje es más elevado. En el andosol, ésto se explica por la importancia de las cargas variables del alófono, dependientes del pH. La C.I.C. que corresponde al pH del suelo, es probablemente dos veces mayor y por lo tanto, el porcentaje de saturación en bases dos veces

más elevado que lo indica la medición realizada a pH7. La cantidad de Al intercambiable es baja (< 1me/100g).

- Fertilidad. Los cationes Ca, Mg y K necesarios a las plantas, están presentes en cantidad suficiente y equilibrada tanto en forma intercambiable como "de reserva". No hay que temer una toxicidad aluminica.

La provisión de nitrógeno total, esencialmente orgánico, es muy elevada; sin embargo se ignora cual es la proporción de nitrógeno rápidamente mineralizable y disponible para las plantas.

La provisión de fósforo y de azufre es mediana en el horizonte húmifero y más bien baja en el horizonte (B). En el primer horizonte, el fósforo se encuentra a razón de 2/3 partes en forma orgánica, y de 1/3 parte fuertemente fijado por el alófono y los hidróxidos de aluminio. Por dicha razón, los valores de P "asimilable" obtenidos por tres métodos diferentes son bastante bajos, y por tanto, habría que esperar una deficiencia en fósforo (y tal vez en azufre).

5. *Geoquímica*. El análisis químico "triácido" muestra, por el valor del residuo, que el suelo contiene una parte importante de minerales primarios residuales: de 20 a 25% en el andosol y sólo de 6 a 7% en los paleosuelos arcillosos (horizontes III y VB).

En el andosol y a partir de la composición del residuo, el cálculo muestra que cerca de la mitad procede de aluminosilicatos alcalinos (ricos en K, Na) y la otra mitad, de minerales silíceos (cuarzo, cristobalita). Lo mismo sucede en la capa de ceniza semi-alterada (horizonte IVC). Por el contrario, en los paleosuelos arcillosos, el residuo está constituido en su mayor parte por sílice, habiendo sólo trazas de aluminosilicatos alcalinos. Esto indica que el andosol es todavía un suelo joven en proceso de alteración.

Difiriendo de la ceniza volcánica inicial, el producto de alteración (soluble por triácido) se ve muy enriquecido en aluminio, hierro y titanio, ocurriendo entonces la ferrilitización. La relación molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ es inferior a 2 en el andosol (1.5 a 1.8), lo que corresponde bien a una mezcla de alófano y de un poco de gibsita. Al contrario, esta relación es igual a 2 en todos los paleosuelos cuya arcilla está constituida esencialmente por haloisita. La mayor parte del hierro se encuentra en forma de oxihidróxido "libre" (método DEB), sin embargo, cerca de la tercera parte permanece probablemente incluida dentro de los silicatos (arcilla ferríferas, etc...).

El rejuvenecimiento de los suelos por cenizas volcánicas, que tuvo como consecuencia la sobreposición andosol-paleosuelo, ha favorecido la génesis de la haloisita. En efecto, la intensa alteración de los vidrios volcánicos produjo soluciones ricas en sílice y en cationes, las que ocasionaron probablemente una re-silicificación y una recarga en cationes del suelo subyacente.

II. Suelo Ferralítico

1. *Descripción.* El perfil estudiado (XA.2) fue observado cerca de Teocelo, al sur de Xalapa.

Posición: "planeze" con pendiente débil de 5% aprox. y altitud aproximada de 1160m.

Material original: Cineritas estratificadas cubriendo una colada piroclástica consolidada, con bloques redondeados de labradorita.

Vegetación: Pradera

Perfil en cm:

0 a 25-30 A₁ Café muy oscuro (7.5 YR 3/2 húmedo); arcilloso, ligeramente limoso, humífero; estructura poliédrica sub-angular

mediana, fuerte cohesión; permeable, raíces muy densas en los cinco primeros centímetros, luego más espaciadas; prueba NaF " + " (muy débil y lenta).

30 a 70-80 (B)₁ Café rojizo oscuro (7.5 YR 4/4 húmedo, 7.5 YR 6/4 seco), moteado de negro en la superficie de los agregados (ferro-manganos); muy arcilloso, poco humífero; estructura poliédrica angular mediana y gruesa, con fuerte cohesión; macro-agregados con caras relucientes y con estrías finas (cutanes de tensión) indicando un carácter vértico muy discreto; raíces esparcidas.

80 a 120 (B)₂ Café, moteado de color herrumbre y negro (pseudo-gley por hidromorfía estacional); arcillo-arenoso, con trazas de minerales (+) alterados (feldespatos) aparentes; estructura poliédrica gruesa, con tendencia a prismática y caras relucientes.

> 120 C Moteado, muy alterado y argilizado, rico en minerales aparentes más o menos alterados; estructura continua y friable.

Muestras: XA.21, horizonte (B)₁, 50 a 60 cm

Muestras agronómicas estándares: FS.A., de 0 a 15 cm y FS.B., de 30 a 50 cm

2. Mineralogía (Tabla 2).

- Los minerales primarios residuales se encuentran todavía en proporción importante, con cerca de 35% en la parte superior del suelo (FS.A) Se trata sobre todo de cuarzo y cristobalita por una parte y de feldespatos alcalinos de tipo sanidino y oligoclasas por otra (según difracción de r.X y composición química, Tabla 10); también hay trazas de anfíbola (hornblenda), de piroxeno y de vidrio síliceo. Esto indica un rejuvenecimiento del suelo por cenizas de composición riodácítica, puesto que en profundidad (XA.21), la proporción de minerales residuales disminuye fuertemente: sólo queda el 7% aproxima-

damente, compuesto sobre todo por minerales silíceos poco alterables, cuarzo y cristobalita (según difr. de r.X y composición química, Tabla 11). La disminución del cuarzo muestra que el material original de la capa profunda del suelo era menos silíceo que el de superficie.

- Los productos de alteración comprenden sobre todo haloisita y un poco de goetita mal cristalizada, sin embargo existe una diferencia muy clara entre el horizonte humífero y el horizonte (B).

Además de la haloisita que predomina y de la goetita mal cristalizada, el horizonte humífero contiene un poco de alófano micro-esférico, así como trazas de ópalo y de una arcilla 2:1 mal cristalizada, de tipo esmectita-vermiculita-hidroxi-aluminosa. La haloisita está parcialmente deshidratada (máximos de 10 y 7.35 Å) y se presenta en proporción igual en forma de microesferas y de tubos irregulares.

En el horizonte (B), la haloisita predomina ampliamente y la goetita parece estar mejor cristalizada; sólo permanecen ínfimas trazas de alófano de esmectita hidro-aluminosa, así como de gibsita; la haloisita está a 10 Å (hidratada) y sin embargo predomina la forma tubular sobre la esférica.

3. Propiedades físicas (Tabla 8).

- La textura es arcillosa en la totalidad del perfil. El aumento del porcentaje de arcilla en el horizonte (B) y al contrario, el aumento de arenas en el horizonte A, no significa necesariamente que hubo iluviación de arcilla. El análisis químico y mineralógico indicó que se trata de un rejuvenecimiento superficial del suelo por cenizas volcánicas. La relación limo fino/arcilla, con valor de 0.33 en (B) y de 0.47 en A, indica también un estado juvenil de alteración.

- La capacidad de retención en agua (cerca de 30% a pF3) es moderada para un suelo tan arcillosos; la reserva de agua "útil" (pF3-pF4.2) es probablemente superior a los valores medidos de 4 a 5% de peso de suelo seco; es posible que se trate de un efecto de deshidratación irreversible.

- La estabilidad estructural, que corresponde a un índice de Hénin de 0.3 a 0.4, es excelente.

4. Propiedades químicas (Tabla 9)

- El pH es ligeramente ácido (6.1) en el horizonte humífero y casi neutro (6.9) en el horizonte (B). La diferencia entre pH (H₂O) y pH (KCl) aumenta de A₁ hacia (B), marcando así el aumento de cargas permanentes ligadas a la haloisita.

- El pH NaF aumenta en profundidad, en relación con la disminución de ácidos húmicos. La reacción con valor entre 9 y 9.4 en el horizonte (B) se debe probablemente a la presencia de hidróxidos de Al no cristalinos y de un poco de alófano. Los ácidos orgánicos compensan parcialmente esta reacción en el horizonte A₁.

- La cantidad de carbono orgánico disminuye con la profundidad. La relación C/N, de cerca de 12 en el horizonte A₁ y de 9 en el (B), indica una buena mineralización de la materia orgánica. No hay acumulación de humus como en el caso del andosol.

- La capacidad de intercambio catiónico (a pH7), moderada en comparación con el andosol, es de 14 a 17 me/100g en el horizonte (B), que corresponde a 20-25 me/100g de arcilla, valor compatible con el de la haloisita.

- El porcentaje de saturación en bases (a pH7) es elevado en todo el perfil: cerca de 50% en el horizonte A y de 80% en el (B). El aumento de las bases en profundidad parece

TABLA 8. PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO FERRALITICO (ESTANDAR)

Suelo No.	FS	
Muestra No.	A	B
Profundidad, cm	0 - 15	30 - 50
Horizonte	A ₁₁	(B)
Textura		
en 10 ⁻² del suelo seco	en % suelo	
Arcilla 0 a 2 μm	44.5	62.2
Limo fino 2 a 20 μm	20.7	20.8
Limo grueso 20 a 50 μm	6.8	4.0
Arena fina 50 a 200 μm	12.0	7.3
Arena gruesa 200 a 2000 μm	6.1	1.3
H ₂ O ⁻ (a 105°C)	4.3	3.3
Materia orgánica	4.7	1.1
Relación Suelo - Agua		
Capacidad de retención	en % Suelo	
	4.2	20.7
pF (1)	3.0	25.8
	Δ3.0 / 4.2	5.1
		27.9
		31.6
		3.7
Inestabilidad estructural		
índice de Hénin (2)		
normal	IS ₁	0.45
ultra-sonido	IS ₂	0.44
granulométrico	IS ₃	0.43
Relación Limo fino/arcilla	0.47	0.33
Densidad real	2.52	2.55

(1) medición sobre el suelo secado al aire

(2) IS₁ método normal de cálculo

IS₂ arena gruesa (Ag) obtenida después de agitación ultra-sónica

IS₃ Ag obtenida después de dispersión granulométrica.

TABLA 9. PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO FERRALITICO

Suelo No. Muestra No. Profundidad, cm Horizonte	F. S.		XA. 2
	FS.A 0 - 15 A ₁	FS.B 30 - 50 (B)	XA.21 50 - 60 (B)
pH	relación suelo/agua 1/2.5		
H ₂ O	6.1	6.9	6.9
KCl, N	4.8	4.9	5.2
NaF (2 min.)	8.4	9.0	9.4
Materia Orgánica	en ‰ suelo seco		
C (mét. C. H. N.)	27.5	6.23	3.49
N (mét. C. H. N.)	2.21	0.68	0.40
C/N ₁	12.4	9.1	8.7
Complejo de Adsorción con 20 g de suelo y 150 ml de:	en me/100 g suelo seco		
Ca ⁺⁺	6.75	5.15	10.18
Mg ⁺⁺	1.20	1.60	2.21
CH ₃ COO (NH ₄)Mph7	K ⁺	0.86	0.78
	Na ⁺	0.07	0.20
	Suma	8.88	7.73
C.I.C.T. (Ca) a pH 7.0	18.5	14.0	17.2
100 BI/CICT = ‰ SB	48.0	55.2	80.9
Al ³⁺ (KCl, N)	0.23	0.23	
H ⁺ (KCl, N)	0.0	0.0	
Fertilidad	en ‰ suelo seco		
Total NO ₃ H (13N)	1.95	1.17	
P ₂ O ₅	Asimil. OLSEN	0.035	0.014
	" OLSEN-DABIN	0.112	0.101
	" BRAY II	0.039	0.015
S total Coulombímetro	0.552	0.241	
Cationes de Reserva	en me/100g suelo seco		
Método	Ca ⁺⁺	12.12	7.95
HNO ₃ (13N)	Mg ⁺⁺	16.86	15.37
	K ⁺	4.22	4.86
	Na ⁺	2.94	3.09
C y N total	en ‰ suelo seco		
Otros métodos			
C Anne	27.4	5.12	
C Walkley - Black	27.0	4.93	
C Coulombímetro	27.7	5.93	
N Kjeldahl	2.40	0.81	
C/N Anne/Kjeldahl	11.4	6.3	
C/N Walkley-Black	11.2	6.1	
C/N Coulombímetro	11.5	7.3	
H ₂ O suelo seco aire ‰	3.69	6.55	12.10

TABLA 10. COMPOSICION QUIMICA DEL SUELO FERRALITICO (ESTANDAR).

Suelo No. Muestra No. Profundidad, cm Horizonte	FS			FS		
	FS. A 0 - 15 A ₁			FS. B 30 - 50 (B)		
Fracción analizada < 2 mm en % suelo seco 105°C extracto:	Triácido	Resíduo	Global	Triácido	Resíduo	Global
Pérdida total por calcinación (1000°C)	12.75		12.75	11.70		11.70
Resíduo total:	34.55			19.55		
SiO ₂ "Silicato" "total"	21.05	27.46	48.51	30.10	15.46	45.56
Al ₂ O ₃	16.75	3.86	20.61	24.75	2.18	26.93
Fe total como Fe ₂ O ₃	10.50	0.30	10.80	10.20	0.14	10.34
Ti O ₂	1.90	0.05	1.95	1.62	0.04	1.66
MnO ₂	0.53	0.007	0.54	0.49	0.002	0.49
P ₂ O ₅	0.20			0.19		
SO ₃	0.11			0.05		
CaO	0.39	0.67	1.06	0.33	0.47	0.80
MgO	0.46	0.24	0.70	0.45	0.11	0.56
K ₂ O	0.25	0.89	1.05	0.25	0.49	0.74
Na ₂ O	0.30	1.16	1.46	0.21	0.66	0.87
Total	99.74	34.55		99.89	19.55	
SiO ₂ /R ₂ O ₃ Rel. mol.	1.52			1.63		
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ Rel. mol.	2.13	12.1	4.00	2.06	12.06	2.88
H ₂ O en % suelo seco aire	3.69			6.55		
Fe ₂ O ₃ "libre" (DEB) %	6.0			6.0		

TABLA 11. COMPOSICION QUIMICA DEL SUELO FERRALITICO
(PERFIL XA. 2)

Suelo No.	XA. 2		
Muestra No.	XA. 21		
Profundidad, cm	50 - 60		
Horizonte	(B)		
Fracción analizada \leq 2 mm en % suelo seco a 105°C			
extracto:	Triácido	Resíduo	Global
Pérdida total por calcinación (1000°C)	13.70		13.70
Resíduo total:	6.90		
SiO ₂ "Silicato" "total"	36.85	5.93	42.78
Al ₂ O ₃	31.75	0.44	32.19
Fe total como Fe ₂ O ₃	8.65	0.03	8.68
TiO ₂	1.13	0.03	1.16
Mn O ₂	0.082	0.000	0.08
P ₂ O ₅			
SO ₃			
CaO	0.43	0.13	0.56
MgO	0.22	0.03	0.25
K ₂ O	0.13	0.07	0.20
Na ₂ O	0.21	0.24	0.45
Total	100.05	6.90	100.05
SiO ₂ /R ₂ O ₃ Rel. mol.	1.67		
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ Rel. mol.	1.97	22.9	2.26
H ₂ O en % suelo seco aire	12.10		

ser consecuencia del rejuvenecimiento del suelo por las cenizas depositadas en superficie. La cantidad de Al intercambiable es evidentemente muy baja (0.2 me/100g).

- Fertilidad. Los cationes Ca, Mg y K, se encuentran en cantidad elevada y equilibrada, tanto en forma intercambiable como de "reserva". No debe temerse ninguna deficiencia.

La provisión de nitrógeno total es medianamente elevada en el horizonte húmico (2.2%) y la de fósforo y de azufre es mediana en la totalidad del suelo; sin embargo, los valores de P "asimilable" obtenidos por tres métodos, son bajos, por lo que se debe preveer un deficiencia en este elemento (y probablemente en S). Este suelo presenta aparentemente una importante capacidad de retención del fósforo, misma que se tendría que medir.

5. Geoquímica (Tabla 10 y 11).

El análisis químico "triácido" permite precisar la composición mineralógica.

a) La proporción de residuo indica que el suelo contiene cerca de 35% de minerales primarios insolubles en el horizonte húmico y solamente 7% en el horizonte (B) (No. XA.21). Además, con la composición química del residuo se evaluó la mineralogía: en el horizonte húmico, el residuo mineral comprende aproximadamente 14% de minerales silíceos, cuarzo y cristobalita, 20% de feldespatos alcalinos, sanidino y oligoclasa y solo trazas de minerales ferro-magnesianos; y en el (B), 4.5% de cuarzo y cristobalita, 2% de feldespatos alcalinos y trazas de otros minerales.

Esto ilustra la importante diferencia que existe entre la parte superficial y la base del suelo, tanto en la intensidad de la alteración mineral, menos avanzada en el horizonte A y casi terminada en el (B), como en la compo-

sición probable del material original, más silíceo arriba. Entonces el suelo fue rejuvenecido por un aporte de cenizas.

b) La composición química del producto de alteración (soluble en triácido) es significativa de esta evolución. La ferralitización se afirma en el horizonte (B) (No. XA.21), por el valor $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2 \text{O}_3$ mol. igual a 1.97 y por una proporción elevada de óxidos de hierro y de titanio. Esto corresponde bien a la composición de una mezcla de haloisita que predomina y de goetita, con sólo trazas de gibsita y de una arcilla 2:1. Al contrario, la menor alteración de las cenizas en el horizonte húmico se traduce por una ligera elevación de la relación molar $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2 \text{O}_3$ alrededor de 2.13, concomitante con un aumento de las arcillas 2:1.

En la totalidad del suelo, el hierro está presente de 55 a 60% en forma de oxihidróxido "libre", según el método D.E.B.

Conclusión

Las primeras observaciones y análisis de los suelos de la región de Xalapa muestran que existe una verdadera topo-climatosecuencia edafológica sobre "pláncas" volcánicas. De las alturas hacia abajo, los andosoles se cambian por suelos ferralíticos rejuvenecidos, mismos que tal vez inicialmente ferralíticos, pero degradados y con duripan silicificado (Quantin, 1986).

En este estudio preliminar, sólo se analizaron los andosoles y los suelos ferralíticos de los alrededores de Xalapa.

Las características propias de los andosoles, sólo se desarrollaron en la parte superior del suelo, derivada de los últimos depósitos de cenizas volcánicas; y están constituidos, además de los abundantes ácidos húmicos, por alófano (microesférico), gel de hidróxidos (Al, Fe) y por un poco de gibsita. En profun-

didad, hay una sucesión a paleosuelos arcillosos con haloisita (10 \AA), cuya composición es muy parecida a las de los ferralíticos de la región.

Los andosoles pueden ser clasificados como sigue (CPCS, 1967 y 1972): andosol con perfil diferenciado, desaturado ($S/T < 50\%$), con horizonte A_1 crómico, derivado de cenizas río-dacíticas recientes. Cubren paleosuelos pardo-ándicos y ferralíticos medianamente desaturados, derivados de cineritas volcánicas. En la Soil Taxonomy (USDA, 1975), corresponden a Typic-Dystrandeps.

Los suelos ferralíticos son arcillosos, constituidos principalmente por haloisita (de 10 y 7.3 \AA) y goetita mal cristalizada. En superficie, están ligeramente rejuvenecidos y contienen además un poco de alófono y arcilla 2:1 (esmectita-vermiculita hidroxí-aluminosa) mal cristalizada. Son suelos clasificados (CPCS, 1967) como ferralíticos, débilmente desaturados y rejuvenecidos por aportes eólicos de cenizas volcánicas río-dacíticas. El horizonte (B) del suelo original procede de cenizas volcánicas.

En la Soil Taxonomy (USDA, 1975), podrían clasificarse de dos maneras, tomando en cuenta su epipedón de carácter mixto, mólico y ándico, y si se acepta o no que el horizonte B es argílico (según el gradiente de arcilla).

- B/argílico: andeptic-oxic Argiudoll (CIC en B $< 24 \text{ me}/100\text{g}$ de arcilla).

- B/cámbico: andic Haplumbrept

Se observa que la secuencia, tanto lateral, de la parte alta hacia la baja, como vertical, de arriba hacia abajo del perfil, se caracteriza por los siguientes procesos: un aumento del porcentaje de saturación en bases, una mejor formación y cristalización de las arcillas, y de

los oxihidróxidos de hierro. Esto se explica de la siguiente manera:

a) En el andosol, la rápida alteración de los vidrios volcánicos y su desilicificación produce la formación de alófono y de gibsita en la parte superior del perfil, y en consecuencia, las soluciones resultantes ricas en sílice y en cationes, provocan la resilicificación y la recarga de cationes del suelo subyacente, lo que es una condición muy favorable a la génesis de haloisita.

b) En el suelo ferralítico, el rejuvenecimiento superficial y la consecuente alteración, produjeron en un clima menos húmedo, la aparición de un poco de arcilla 2:1 cerca de la superficie y la recarga en cationes del paleosuelo en profundidad.

Además parece que las soluciones ricas en sílice contribuyen lateralmente, en la zona baja y cuyo clima es más seco, a la formación de un duripan silicificado. Este hecho merece ser verificado.

La fertilidad de los andosoles está restringida sobre todo por la fuerte retención del fósforo por causa del alófono y por una disponibilidad reducida del nitrógeno y del azufre para las plantas, a pesar de una provisión importante en estos elementos.

*

*

*

Agradecimientos.

Por la excelente colaboración, nuestro más caluroso agradecimiento a los responsables y personal de los laboratorios del ORSTOM (Bondy), en química y en física de suelos, mineralogía de las arcillas y espectroquímica.

Bibliografía

- AGUILERA, H.N. 1969. Geographic distribution and characteristics of volcanic ash soils in Mexico. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. *Turrialba*. 6: 3-12.
- ARRIAGA C.R. 1985. Tipos de vegetación y uso del suelo. Area Xalapa-Coatepec. In Marchal J-Y. y Palma R. "Análisis gráfico de un espacio regional: Veracruz", cap. 3: 123-127. INIREB-ORSTOM, Xalapa, Ver.
- C.P.C.S. 1967. Classification des sols. Commission de Pédologie et de cartographie des sols. *Labo Géol. Pédol., ENSA-Grignon.*, 87 p.
- C.P.C.S., Groupe de travail Andosols. 1972. Proposition de classification des andosols. *Cahiers ORSTOM, Série Pedol., X, 3: 302-303.*
- FIELDS, M. y PERROTT, K.W. 1966. The nature of allophane in soils: 3. Rapid field and laboratory test for allophane. *New Zeal. J. Sc.*, 9: 623-629.
- GEISSERT D. 1985. Los agroclimas. Area Xalapa-Coatepec. In Marchal J-Y. y palma R. "Análisis gráfico de un espacio regional: Veracruz", Cap. 3: 119-120. INIREB-ORSTOM, Xalapa, Ver.
- LORAN N., R.M. 1976. Algunos estudios de suelos derivados de cenizas volcánicas del transecto Xalapa-Teocelo. Tesis Lic., Fac. Ciencias, UNAM, México, D.F., 58p.
- QUANTIN, P. 1982. Mission d'expert auprès de l'INIREB (Xalapa, Mexique) du 16 mai au 3 juin 1982, sur les sols endommagés par l'éruption du volcan Chichón. Informe de misión, ORSTOM, Bondy Francia, 17p. (no publicado).
- QUANTIN P. 1986. Compte-rendu de mission à Xalapa de Veracruz (Mexique) du 28 avril au 15 mai 1986. Informe ORSTOM, Bondy, 12p. (no publicado).
- ROSSIGNOL J-P.; GEISSERT D.; CAMPOS A. 1985. La cartografía morfoedafológica. Un ejemplo: el mapa a la escala 1:50,000 de la región de Coatepec. 6p. (aceptado para la publicación en la revista *Terra, Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo*)
- ROULLEAU, J.N.; ROSSIGNOL, J-P. y KILIAN J. 1985. Mapa morfoedafológico del municipio de Cosautlán, Ver. escala 1:20,000. Heliográfica, INIREB, Xalapa, Ver.
- USDA. 1975. Soil Taxonomy. A basic system of Soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA Soil Conservation Service. *Agric. Handbook No. 436, 754 p.*

LEYENDA DE LAS ILUSTRACIONES

FIGURA 1. Localización de la región de Xalapa, Ver.

CARACTERISTICAS QUIMICAS Y MINERALOGICAS DE UN ANDOSOL Y DE UN SUELO FERRALITICO DE XALAPA, VERACRUZ, MEXICO.

P. Quantin, D. Geissert

Lista de tablas

1. Tabla 1. Mineralogía de las arenas de cineritas alteradas
2. Tabla 2. Composición mineralógica del andosol y del suelo ferralítico
3. Tabla 3. Propiedades físicas del andosol (estandar)
4. Tabla 4. Propiedades químicas del andosol (perfil XA.1)
5. Tabla 5. Propiedades químicas del andosol (estandar)
6. Tabla 6. Composición química del andosol (estandar)
7. Tabla 7a. Composición química del andosol completo (perfil XA.1)
- Tabla 7b. Composición química del andosol completo (continuación)
8. Tabla 8. Propiedades físicas del suelo ferralítico (estandar)
9. Tabla 9. Propiedades químicas del suelo ferralítico

10. Tabla 10. Composición química del suelo ferralítico (estandar)

11. Tabla 11. Composición química del suelo ferralítico (perfil XA.2)