

Durante la primera guerra mundial usó Laue la interferencia de los rayos X o de Röntgen para fotografiar los átomos de carbono de un diamante. Este método fue mejorado y Debye & Scherrer (3) desarrollaron un método para polvos finos que se colocan en un tubo capilar, el cual se monta sobre un eje giratorio formando exactamente su prolongación. Entonces se introduce este tubo a una cámara de 114,4 mm. de diámetro, la cual en su pared lleva una película fotográfica. Durante la exposición a la acción de los rayos de Röntgen, un reloj hace girar este tubo. La interferencia se produce sólo en ciertas posiciones de los planos cristalográficos, en las cuales no es posible poner cristales tan pequeños, pero por la rotación cambian de posición y por ello, siempre habrá algunos que producen la interferencia y su suma produce las líneas en la película en el curso de 6 horas. Estas se hallan simétricamente a ambos lados del centro. Se usó una bombilla de Röntgen con cátodo de hierro y ondas de 1,9345 Å de longitud: $\lambda = 10^{-8}$ centímetros.

Cada cristal tiene su espectro röntgenográfico característico, así se puede reconocer comparando los diagramas de la arcilla examinada con los de diferentes especies conocidas. Otro método gráfico, describe Vilas López (4) así: «Sin meternos en la discusión de los resultados y en las dificultades que se encuentran para ellos, indicaremos cómo a partir de esas líneas de interferencia se pueden deducir los distintos minerales presentes. Para ello, a partir de la fórmula $n\lambda = 2d \operatorname{sen} \alpha$ ($\lambda =$ largo de la onda ($=1,9345 \text{ Å}$), $d =$ distancia de los planos estructurales, $\alpha =$ ángulo medio entre la raya entrante y saliente, $n\lambda =$ un múltiple de la onda, $n =$ cifra entera.) se deduce por la separación de las líneas el $\log. \operatorname{sen} \alpha$ y se lleva como abscisas en un papel milimetrado. Como ordenadas se llevan los siete grados de intensidad muy fuerte (ff), fuerte (f), medianamente fuerte (mf), media (m), semidébil (md), débil (d) y muy débil (dd). Se mide en el diagrama la anchura de las líneas características para cada sustancia. Se calcula ésta sobre la escala del $\log. \operatorname{sen} \alpha$ y se obtienen unos rectángulos. Se hace lo mismo con las pruebas standard. Por una sencilla comparación se pueden reconocer los componentes característicos sin gran dificultad en la mayor parte de los casos. Es claro que para ello necesitamos saber cuáles son las líneas características de cada mineral. Pruebas hechas con minerales puros nos proporcionan una serie de líneas de interferencia, y escogiendo entre ellas aquellas que no coinciden con las de otros minerales y que presentan mayor intensidad, encontraremos una lista de las líneas de interferencia característica».

Ya hemos mencionado que la fotografía es simétrica y que por el diámetro de la cámara, cada milímetro corresponde a un grado. Es decir la distancia de las dos líneas simétricas es 4α ; fracciones de milímetro hay que transformar en minutos y segundos. Teniendo α y λ , se calcula d y se compara esta distancia con las de distintos

minerales. Según Nagelschmidt (5) y Harkort (6) corresponden a los ángulos observados los siguientes minerales:

4 α	d	Minerales e intensidad
31,0	7,13	caolinita f
41,4	5,37	goethita dd, hidrargilita d
45,2	4,93	goethita m, moscovita f
45,5	4,91	caolinita f
45,6	4,89	caolinita f
46,0	4,85	hidrargilita ff
46,2	4,82	hidrargilita ff
49,8	4,48	moscovita f
50,0	4,46	caolinita ff, moscovita f
50,2	4,44	caolinita ff
51,2	4,36	hidrargilita f
52,4	4,26	cuarzo f
52,6	4,24	cuarzo f
53,2	4,20	caolinita f, goethita ff
57,2	3,91	moscovita d
58,0	3,86	caolinita m, calcita m
60,0	3,73	caolinita m
60,6	3,69	moscovita d
62,4	3,59	caolinita ff
64,5	3,48	moscovita d
66,8	3,36	caolinita d
67,0	3,35	cuarzo ff
67,2	3,34	hidrargilita dd, moscovita ff
70,0	3,21	moscovita d
72,0	3,31	caolinita dd
74,6	3,02	calcita ff
75,2	3,00	moscovita m
75,8	2,98	moscovita d
78,4	2,88	moscovita m
80,6	2,80	caolinita dd, moscovita d
82,0	2,76	caolinita dd, moscovita m
82,4	2,75	caolinita dd
83,4	2,71	hidrargilita dd
84,2	2,69	goethita ff
88,2	2,57	caolinita f, goethita f, moscovita m
88,4	2,57	caolinita f, goethita f, moscovita m
90,4	2,51	caolinita f
91,4	2,49	caolinita f, calcita f
91,8	2,48	calcita m
92,0	2,47	hidrargilita f, moscovita d
92,4	2,46	calcita m
92,8	2,45	cuarzo m, goethita f
93,4	2,44	goethita f
95,6	2,38	hidrargilita f

4 α	d	Minerales e intensidad
96,4	2,37	caolinita f, goethita m
97,2	2,35	caolinita ff
97,5	2,34	caolinita ff
98,0	2,33	caolinita ff
99,4	2,30	caolinita ff, moscovita d
99,6	2,29	cuarzo m, caolinita f
100,8	2,27	caolinita f
101,4	2,26	hidrargilita d
101,6	2,25	goethita f
102,1	2,24	cuarzo d
104,0	2,20	caolinita dd
104,6	2,19	moscovita d
105,0	2,18	goethita f
105,5	2,17	hidrargilita d
107,8	2,13	cuarzo d, moscovita d
110,6	2,08	calcita f
112,0	2,06	moscovita dd
112,2	2,05	hidrargilita m
114,2	2,02	goethita dd
115,5	2,00	caolinita m, hidrargilita m, calcita m
115,8	1,995	caolinita m, moscovita f
120,2	1,929	hidrargilita m
120,6	1,924	goethita d, hidrargilita m
121,2	1,915	calcita ff
121,6	1,909	calcita m
122,4	1,898	goethita m
124,8	1,865	calcita ff
127,2	1,839	caolinita d
128,8	1,813	cuarzo f, moscovita dd
129,2	1,808	goethita m, hidrargilita m
130,2	1,786	caolinita d
133,4	1,757	hidrargilita m
139,2	1,693	hidrargilita m
140,0	1,684	hidrargilita m
141,2	1,672	caolinita ff
142,5	1,659	caolinita ff, goethita m
143,8	1,645	moscovita f
146,7	1,620	caolinita m
147,2	1,619	caolinita m, calcita d
147,8	1,607	caolinita m
148,2	1,602	goethita m, calcita d
148,6	1,600	calcita d, moscovita dd
153,7	1,555	moscovita dd
154,5	1,548	caolinita d
155,6	1,539	cuarzo f
157,6	1,522	calcita d, moscovita dd

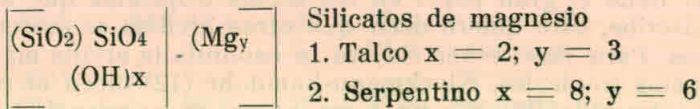
4 α	d	Minerales e intensidad
160,0	1,503	goethita m
160,6	1,498	moscovita f
161,2	1,494	caolinita f
163,4	1,477	hidrargilita m
166,2	1,457	goethita m
166,6	1,454	caolinita dd
167,4	1,448	cuarzo d
167,6	1,447	hidrargilita m
170,8	1,425	goethita d
171,4	1,421	calcita dd
178,2	1,377	cuarzo f, caolinita dd

Así los estudios röntgenológicos de las arcillas han demostrado la presencia de cristales, es decir la forma estable de la materia, según Niggli (7). Actualmente se distinguen las siguientes arcillas (8):

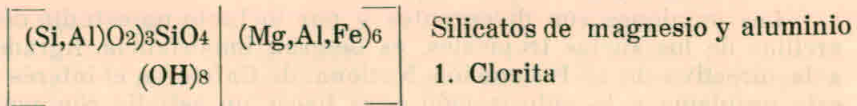
A—Arcillas con estructura fija.



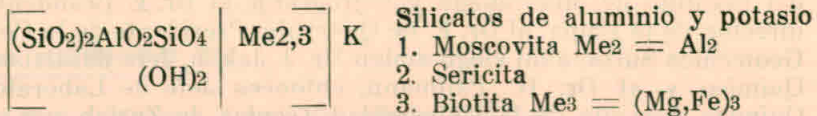
II—Talco



III—Clorita.



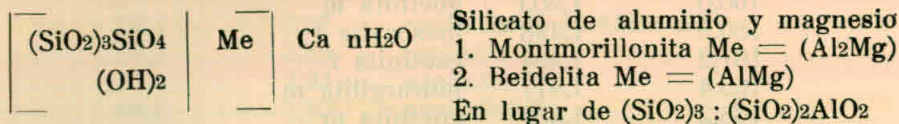
IV—Micas.



B—Arcillas con estructura elástica.

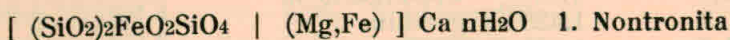
Estas arcillas se hinchan durante la hidratación y durante la deshidratación reducen su volumen.

V—Montmorillonita



VI—Nontronita.

Silicato de hierro y magnesio



El plano de la caolinita se compone de una serie de octaedros con Al en el centro, acompañados por una capa de tetraedros, con Si en el centro. La montmorillonita se constituye de una capa de octaedros con tetraedros en ambos lados.

Cuáles son ahora las arcillas tropicales?. Pará Harrassowitz (9) es de gran importancia la relación molecular SiO₂/Al₂O₃. Si el cociente es mayor de 2, él llama estas arcillas sialitas, si es inferior a 1,3, las denomina alitas (laterita) y entre 1,3 a 2 están las alíticas. Para su determinación es suficiente el extracto con HCl. Adscribe gran importancia a la laterita, que considera como el suelo más importante del trópico.

Correns (10) dice al respecto de la hidrargilita o gibsita, que no tiene el gran papel en los suelos tropicales que la literatura le adscribe, esto quiere decir que otras arcillas se presentan en aquellos. Para Rawitscher (11) es la caolinita la arcilla más típica en los suelos tropicales. Klockmann-Ramdohr (12) dicen al respecto de la montmorillonita: «Es un componente, en apariencia completamente "amorfo", de ciertos suelos tropicales, llamados "bentonitas" y de muchas tierras esmécticas».

Las opiniones son divergentes y por lo tanto un estudio de las arcillas de los suelos tropicales, es de gran importancia. Agradezco a la directiva de la Federación Nacional de Cafeteros el interés por este problema y la autorización para hacer un estudio röntgenológico de arcillas colombianas en la Universidad de Zurich. También quiero expresar mi gratitud a los profesores Dr. P. Niggli, director del Instituto de Mineralogía y Petrografía, al Dr. E. Brandenberger, director de la Empa, al Dr. F. de Quervain, Presidente de la Comisión Geotécnica Suiza, a mi viejo amigo Dr. J. Jakob, Jefe del Laboratorio Químico y al Dr. H. Pallmann, entonces Jefe de Laboratorio de Química Agrícola de la Universidad Técnica de Zurich, por su gran interés y sus consejos durante la ejecución de este estudio. También agradezco al señor Leuzinger su gran ayuda durante los trabajos con los aparatos de Röntgen y por el desarrollo de todas las películas.

De acuerdo con Lang (13) distinguimos 5 climas tropicales: superhúmedo, húmedo, semihúmedo, semiárido y árido. He procurado tomar muestras de suelos de todos estos climas para el análisis röntgenológico con los siguientes resultados:

Clima muy húmedo. Suelo selvático.

Localidad: Buenaventura, altura 20 m.
 Clima: Temperatura 27° C, precipitación 8000 mm, FL = 296
 Topografía: plana
 Vegetación: bosque
 Roca madre: aluvio arcilloso.

No.	Intensidad	Arcilla 10 Suelo 4α	Arcilla 10A Subsuelo I 4α	Arcilla 10B Subsuelo II 4α	Mineral
1	f	45,5	ff 45,5	f 45,5	goethita
2				ff 50,5	moscovita, caolinita
3				f 53,4	caolinita
4	f	55,5	f 56,0	m 57,0	moscovita
5	f	60,0	ff 60,0		caolinita
6				ff 62,4	cuarzo
7	ff	67,0	ff 67,0	d 67,0	cuarzo
8	dd	70,0			moscovita
9	dd	79,4		dd 80,0	raya β
10	d	83,4	dd 83,4	dd 82,4	hidrargilita
11				f 91,2	caolinita
12	m	93,0	dd 92,4		cuarzo
13	d	97,8	d 97,6	ff 97,0	caolinita
14	m	100,0	d 100,0		cuarzo, caolinita
15	d	102,0	d 102,4		goethita
16				dd 104,0	caolinita
17	m	107,0	f 107,6		cuarzo
18			m 114,6		goethita
19	d	116,0	m 117,2	d 115,4	caolinita, hidrargilita
					moscovita
20	f	128,0	f 128,0	dd 126,2	caolinita, cuarzo
21	d	138,5	m 138,4		hidrargilita
22	d	141,0	m 141,5	m 141,0	caolinita

suelo número 7.

Localidad: Cali-Dagua (kms. 19), altura 1970 m.
 Clima: temperatura ca 19° C, precipitación ca 3500 mm, FL. ca 190.
 Vegetación: bosque
 Topografía: pendiente de unos 20°
 Roca madre: diabasa

Perfil: 0 a 26 cms. suelo pardo oscuro
 26 a 71 » transición
 71 a 128 » subsuelo, amarillo claro, arena arcillosa
 128 a 250 » subsuelo rojo, arenoso

No.	Arcilla 7		Arcilla 7A		Arcilla 7B		Arcilla 7C		Mineral
	I	4 α	I	4 α	I	4 α	I	4 α	
1					d	45,6	m	45,5	caolinita
2	m	46,2	ff	46,5					hidrargilita
3	m	50,0	m	49,5	ff	50,0	ff	50,0	caolinita
4	m	55,0	ff	55,5	ff	54,3	ff	54,2	caolinita
5	d	61,2							caolinita
6			ff	63,5	d	63,3	d	63,5	moscovita
7	ff	67,3	ff	67,2	m	67,4	d	67,3	cuarzo
8	dd	75,8							moscovita
9	dd	80,6							hidrargilita
10			f	83,6	f	84,3	f	84,3	goethita
11	m	88,4	f	88,0	f	88,1	m	87,5	caolinita, goethita
12	m	93,6	f	93,7	f	93,5	m	93,6	goethita
13	dd	97,5	m	98,0	d	97,6	d	97,0	caolinita
14			m	101,7	d	102,1	d	102,4	cuarzo
15	dd	105,5	m	106,2	d	105,8	d	105,7	hidrargilita
16					dd	110,2	dd	111,0	calcita
17	dd	115,8	d	116,3	dd	116,2	dd	116,3	cuarzo
18	dd	121,2	dd	122,4	dd	121,5			calcita
19	dd	128,5	d	128,5					cuarzo
20			dd	133,5					raya β
21	dd	137,5	d	137,0	m	137,0			raya β
22	dd	142,5	d	144,4	d	144,4	dd	143,8	cuarzo
23	dd	155,2	d	154,5	d	153,2	d	153,7	caolinita
24	m	161,7	d	161,3	ff	161,6	ff	161,5	caolinita

b) —Clima húmedo. Suelos forestales.

Suelo número 6.

Localidad: Cali (valle del río Pance), altura 1250 m.

Clima: temperatura ca 22° C, precipitación: ca 2500 m., FL. ca 114

Vegetación: potrero

Topografía: inclinación de 20°

Roca madre: cono de escombros del terciario.

Perfil: 0 a 42 cms. suelo de color chocolate

42 a 52 » transición, pardo amarillo

52 a 102 » subsuelo arcilloso, pardo amarillo.

No.	Arcilla 6		Arcilla 6A		Arcilla 6B		Mineral
	I	4 α	I	4 α	I	4 α	
1	ff	45,5	ff	45,5	ff	45,5	goethita
2	ff	50,0	ff	51,0	ff	50,0	caolinita
3	m	54,4	m	54,8	f	55,0	caolinita
4	dd	62,6	d	62,6	m	63,0	caolinita
5	m	67,2	d	67,2	m	67,2	cuarzo
6	dd	78,8					moscovita
7			dd	80,0	d	80,0	raya β
8	d	84,4	dd	84,6	m	84,4	goethita
9	m	88,2	m	88,4	f	88,2	caolinita, goethita
10	m	94,6	m	94,6	ff	93,8	cuarzo
11	dd	101,8	d	101,6	d	102,0	hidrargilita
12			d	112,2	d	112,4	hidrargilita
13	d	115,8	d	115,6	m	115,4	caolinita, hidrargilita
14	dd	120,2					hidrargilita
15	d	129,2	d	129,6	m	128,8	goethita, hidrargilita, moscovita
16	d	133,2	d	133,4	d	133,2	hidrargilita
17	m	138,2	m	138,2	ff	138,2	raya β
18	m	144,4	d	143,8	f	143,6	moscovita
19					d	153,6	moscovita
20	f	161,4	f	161,4	ff	161,4	caolinita

C) — Clima semihúmedo. Suelos humíferos.

Suelo número 31.

Localidad: Chinchiná, altura 1420 m.

Clima: temperatura 22°, precipitación 2500 mm., FL. = 117

Vegetación: potrero

Topografía: inclinación de 45°

Roca madre: ceniza volcánica 114 cms., 61 + x cms. cono de escombros del Neoterciario.

Perfil:

0 a 35 cms. suelo de color pardo oscuro y suelto
 35 a 114 » subsuelo arcilloso, pardo; con muchas raíces.
 114 a 185 » arcilla amarilla con algunas concreciones rojas de hierro.

No.	Arcilla 31		Arcilla 31A		Arcilla 31B		Mineral
	I	4 α	I	4 α	I	4 α	
1	f	45,5					goethita
2	ff	50,0	dd	50,0	ff	50,0	caolinita
3	ff	55,6	dd	55,6	ff	55,6	caolinita
4			dd	63,2			cuarzo
5	d	67,2	dd	67,2			cuarzo

No.	Arcilla 31		Arcilla 31A		Arcilla 31B		Mineral
	I	4 α	I	4 α	I	4 α	
6			dd	70,0			moscovita
7	dd	78,8			d	78,8	moscovita
8	d	88,2			m	87,8	moscovita
9	d	91,0			m	91,4	caolinita
10	dd	139,2			d	139,2	hidrargilita
11	dd	146,6			d	146,8	caolinita
12	dd	155,2	d	155,2	d	155,6	cuarzo
13	f	162,0			ff	162,0	caolinita

d) — Clima semiárido. Suelos graduales.

Suelo número 8.

Localidad: Cali, ciudad, altura 1000 m.

Clima: temperatura 24° C, precipitación 1000 mm., FL. = 42

Vegetación: potrero

Topografía: inclinación de 20°

Roca madre: arcillas terciarias.

Perfil:

0 a 60 cms. suelo pardo, compacto.

60 a 100 » subsuelo rojo con manchas blancas, arcilloso, textura de nuez.

No.	Arcilla 8		Arcilla 8A		Mineral
	I	4 α	I	4 α	
1	d	45,5	m	45,5	goethita
2	ff	50,0	ff	50,0	caolinita
3	f	53,2			caolinita
4	ff	62,4			caolinita
5	m	67,2	ff	67,2	cuarzo
6	dd	80,0	dd	80,0	caolinita
7	f	87,8	f	87,8	caolinita, goethita, moscovita
8	m	90,4	m	90,6	caolinita
9	m	93,4			goethita
10	ff	97,8	f	97,2	caolinita
11	dd	102,0			cuarzo
12	dd	105,2	dd	105,2	goethita
13	m	115,6	d	115,6	caolinita, hidrargilita, calcita
14	dd	121,8	dd	121,6	calcita
15			dd	125,8	caolinita
16	dd	130,4	dd	130,2	caolinita
17	m	137,2			raya β
18			m	138,2	hidrargilita
19	m	140,6			caolinita
20	m	144,4	d	144,0	caolinita
21	ff	161,2	ff	161,0	caolinita

e) — Clima árido. Suelos de cactus.

Suelo número 24.

Localidad: Sahagún, altura 80 m.

Clima: temperatura ca 28°, precipitación ca 1000 mm., FL. ca 35

Vegetación: bosque

Topografía: plana

Roca madre: arenas aluviales sobre arcilla terciaria.

Perfil:

- 0 a 10 cms. suelo gris claro
- 10 a 20 » transición
- 20 a 60 » subsuelo arenoso amarillento
- 60 a 70 » transición
- 70 a 179 » subsuelo arcilloso rojo con concreciones de hierro.
- 179 a 210 » subsuelo arcilloso amarillo, con manchas de limonita.

No.	Arcilla 24	Arcilla 24A	Arcilla 24B	Arcilla 24C	Arcilla 24D	Arcilla 24E	Mineral
	I 4α	I 4α	I 4α	I 4α	I 4α	I 4α	
1	f 41,4	m 41,4					goet., hidr.
2					dd 45,2	d 45,0	goethita
3		ff 46,0	m 46,4				hidrargilit.
4	m 51,2	ff 51,2	f 50,0		f 50,0	ff 50,0	caolinita
5					dd 53,6	m 53,4	caol., goet.
6	d 57,4					dd 57,2	caolinita
7		dd 60,6	m 60,2	m 60,2			caolinita
8	dd 63,0			m 63,0	m 63,0	f 62,2	caolinita
9		dd 64,0	d 64,0				caolinita
10	ff 67,2	f 67,2	ff 67,0	ff 67,0	m 67,2	m 67,0	cuarzo
11	dd 72,0						caolinita
12	d 80,0		dd 80,0	dd 80,0		dd 80,0	caolinita
13	d 84,2					dd 84,6	calcita
14	dd 85,4						goethita
15			m 87,2	m 87,8	f 87,8	f 87,6	caolinita
16	dd 90,0		d 90,2			m 90,4	
17		m 92,2	d 92,2	d 92,6			hidrargilit., mosc., calc.
18		m 95,6					hidrargilit.
19			m 97,2	m 96,6	m 97,0	m 97,2	caolinita
20			dd 100,0	dd 100,0			cuar., caol. calcita
21		dd 101,6	dd 102,2	dd 101,4			hidrargilit.
22					dd 103,2	dd 103,4	cuarzo
23		dd 106,0	dd 106,2				hidrargilit.
24				d 107,4			cuarzo
25		d 112,2					hidrargilit.
26		d 115,2	d 115,5	m 115,6	dd 116,0	dd 115,2	caol., hidr., calcita
27	dd 120,0	dd 120,6					hidrargilit.
28	dd 133,6	d 133,8					hidrargilit.
29		d 139,6	dd 138,0	d 138,0	d 138,0	d 137,4	hidrargilit.

Suelo número 20

Localidad: Cartagena, altura 25 m.

Clima: temperatura: 28° C, precipitación 1100 mm., FL. = 39

Vegetación: potrero

Topografía: plana

Roca madre: Areniscas del Neoterciario ó terciario.

Perfil:

0 a 25 cms. suelo, pardo oscuro
 25 a 50 » subsuelo, pardo chocolate
 50 a 150 » zona de descomposición, gris amarillo.

No.	Arcilla 20		Arcilla 20A		Arcilla 20A Tratado con HCl		Arcilla 20B		Mineral
	I	4 α	I	4 α	I	4 α	I	4 α	
1	d	46,0			f	45,5	f	45,5	goethita
2	ff	50,0	ff	50,0	ff	50,0	ff	50,0	caolinita
3					d	60,4	d	60,6	caolinita
4			dd	63,6					caolinita
5	ff	67,2	ff	67,2	ff	67,2	ff	67,2	cuarzo
6	dd	74,2	ff	74,2			ff	74,8	calcita
7	dd	79,8			dd	79,8	dd	79,8	caolinita
8							m	100,0	cuarzo, calcita, caolinita
9			f	104,8			dd	104,8	caolinita
10							f	110,6	calcita
11					dd	115,6	dd	116,2	cuarzo, calcita
12			f	120,8			m	121,6	goethita, calcita, hidrargilita
13			f	124,8			m	124,6	calcita
14	dd	128,6			d	128,2	m	128,4	calcita, moscovita
15					dd	138,2			hidrargilita
16	dd	143,6			dd	143,4			caolinita, goethita
17			d	148,6			d	148,2	caolinita, calcita
18					d	154,6	d	155,2	cuarzo
19	f	160,0			f	160,8	ff	160,6	moscovita

La arcilla 20A del subsuelo es muy rica en calcita, al tratarla con HCl hubo fuerte efervescencia. Con el profesor Dr. F. de Quervain hicimos un examen microscópico: aparecen cristales frescos, naturalmente tan pequeños, que una determinación microscópica era imposible. Esta calcita se halla principalmente en el subsuelo y probablemente fue incorporada desde el suelo hacia abajo, lo que demuestra que en este clima árido de dos estaciones bien marcadas hay también deslave hacia abajo y no hacia arriba.

Suelo No. 18. (Rendcina).

Localidad: Quípile, altura 1710 m.

Vegetación: rastrojo

Topografía: inclinación de 20 a 30°.

Roca madre: calizas del piso de Villeta

Perfil: 0 a 45 cms. suelo negro compacto.
 45 a 106 » subsuelo pardo oscuro, arcilloso y compacto
 106 a 135 » subsuelo friable, pardo oscuro rojizo
 135 a 155 » zona de descomposición

No.	Arcilla 18		Arcilla 18A		Arcilla 18B		Arcilla 18C		Mineral
	I	4 α	I	4 α	I	4 α	I	4 α	
1					d	45,5	d	45,5	goethita
2					f	50,0	mf	49,8	caolinita
3	mf	52,6	m	52,6	f	53,2	mf	53,2	cuarzo, caol., goethita
4	f	61,0	f	60,8	f	60,4	f	60,6	moscovita
5	ff	67,2	ff	67,0	ff	67,0	ff	67,2	cuarzo, calcita
6	dd	74,6	dd	74,6	dd	74,6	dd	74,2	calcita
7	dd	79,6	dd	79,2	dd	79,4	dd	79,4	caolinita
8	dd	84,0	dd	83,4	d	84,2	dd	84,2	goethita
9	m	88,2	d	88,0	f	87,6	m	87,8	caolinita
10	m	92,8	d	92,4	f	92,6	m	92,6	cuarzo, goeth., calcita
11	md	100,0	d	100,0			dd	100,0	cuarzo, caolin., calcita
12	dd	102,0	dd	101,4	dd	101,6	dd	102,0	cuarzo
13			dd	108,0	d	108,0	dd	108,2	cuarzo
14	d	116,4	dd	115,5	dd	115,5	dd	115,5	calcita, caol., hidrarg.
15	mf	128,2	mf	128,2	mf	128,2	m	128,2	cuarzo
16	dd	138,4	dd	138,0	d	138,2	dd	138,0	raya β
17	dd	141,6	dd	141,2	d	141,2			caolinita
18	m	154,8	m	154,8	m	154,8	m	155,0	caolinita
19	m	161,0	md	161,0	m	160,2	d	160,0	goethita, caolinita
20	dd	167,0			dd	166,0	dd	166,2	goethita
21	dd	171,8			dd	171,2	dd	171,4	goethita, calcita
22	f	178,2	md	178,2	m	178,0	m	178,0	caolinita

En las arcillas encontramos los siguientes minerales:

	caolinita	hidrargilita	cuarzo	goethita	moscovita	calcita
Clima superhúmedo:						
Buenaventura:	†	†	†	†	†	0
Cali-Dagua	†	†	†	†	†	subsuelo
húmedo:						
Cali-Bosque	†	†	†	†	†	
semihúmedo:						
Chinchiná	†	†	†	†	†	
semiárido:						
Cali	†	†	†	†	0	†
árida:						
Sahagún	†	†	†	†	0	†
Cartagena	†	subsuelo	†	†	†	†
Rendzina						
Quipile	†	0	†	†	†	†

La presencia de la hidrargilita o gibsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$) en los suelos, con excepción de la rendzina de Quipile, no sorprende, porque este mineral se forma por la descomposición de los feldespatos, como lo demostró Bauer (14) hace más de medio siglo.

Correns (10) dice que él & Engelhard disolvieron la ortoclasa en disoluciones ácidas, casi neutras y alcalinas y siempre el mineral se disolvió completamente. El lugar en donde los iones de Al y Si entran en reacciones, depende de las circunstancias. Pueden formar en la roca madre una pseudomorfoza o pueden separarse completamente como en la laterita. Por lo general reaccionan en la zona de meteorización. Es decir en la fórmula general de la transformación del feldespato en caolín hay que completarlo con una disolución del feldespato, probablemente en forma de los hidróxidos de sus componentes y por la reunión de los hidratos de aluminio y de la sílice, sea en forma de iones, sea en forma coloidal. No sabemos si todas las arcillas están en el estado de cristales, ni tampoco si cristalizan directamente o pasan primeramente por el estado coloidal, porque casi en todos los suelos hay también sustancias amorfas.

Parece que para la precipitación de la caolinita, es necesario la intervención del humus, porque en su ausencia salen las bases mono- y bivalentes con la sílice, así que queda un residuo de los hidróxidos de aluminio y de hierro o alitas en el sentido de Harrassowitz.

Según Ehrenberg (15) tiene la arcilla de Gäbensdorf-Beckern, después de ser tratada con ácido nítrico y lavada durante 13 días, la siguiente composición química:

SiO ₂	47,31 0/0	CaO	0,87 0/0
Al ₂ O ₃	31,22 0/0	MgO	0,75 0/0
Fe ₂ O ₃	1,54 0/0	Na ₂ O	0,60 0/0
		K ₂ O	0,20 0/0

Pérdida por calcinación 16,16 0/0. $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 2,58$

La arcilla coloidal de la anterior arcilla tiene, según Nolte (15) la siguiente composición química:

SiO ₂	53,2 0/0	CaO	0,9 0/0
Al ₂ O ₃	42,0 0/0	MgO	0,7 0/0
Fe ₂ O ₃	2,5 0/0	Na ₂ O	0,6 0/0
SiO ₂ :Al ₂ O ₃	= 2,15	K ₂ O	0,8 0/0

Ehrenberg (15) publicó además los siguientes análisis de caolín:

Composición de caolines de

	Pieux	Saussemesnil	Tolfa	Arcilla Coloidal	
SiO ₂	55,83 0/0	55,44 0/0	52,23 0/0	58,93 0/0	
Al ₂ O ₃	41,09 0/0	36,15 0/0	36,15 0/0	19,99 0/0	
Fe ₂ O ₃	} 0,73	2,21 0/0	} 0,27 0/0	20,62 0/0	
Na ₂ O		} 0,32 0/0		1,87 0/0	} 1,87 0/0 --(Precipitado con NaCl)
CaO				1,79 0/0	
MgO				1,45 0/0	
K ₂ O	1,46 0/0				
	1,20 0/0	4,75 0/0	4,78 0/0	1,62 0/0	
Analista	Schlösing	Schlösing	Schlosing	Hilgard	
SiO ₂ :Al ₂ O ₃	2,3	2,6	2,23	5,03	

El cociente SiO₂:Al₂O₃, es bastante variable (2,15 a 5,03) para caolines en la naturaleza y en los suelos la fracción de arcilla depende en su composición de la roca madre. Según la definición las partículas de la arcilla deben ser inferior a 0,002 mm., pero Correns (10) determinó su tamaño entre 0,1 y 0,000 01 mms. Los suelos de Colombia tienen los siguientes porcentajes de cieno (partículas inferiores a 0,01 mms.).

Cieno	Número de suelos	0/0
0 a 10	673	51,7
10 a 20	369	28,3
20 a 30	131	10,0
30 a 40	71	5,4
40 a 50	40	3,03
50 a 60	8	0,61
60 a 70	6	0,46
70 a 80	4	0,30
80 a 90	2	0,15
90 a 100	0	0

Los suelos arcillosos se hallan generalmente sobre arcillas o sobre aluviones, donde hubo una trituración durante el transporte, antes de la sedimentación. Aún suelos viejos con minerales de caolinita, hidrargilita, goethita y cuarzo, son generalmente arenosos. Puede ser que estos minerales cristalicen a mayor tamaño (Schau-felber 16) o que cristales de diferentes minerales se reúnan a granos mayores (15), los cuales no se separan durante la preparación del análisis mecánico. Pendleton (17) hizo la misma observación: «Not only are there high proportions of clays in tropical soils but the physical granulation of some of those clays is very marked, sometimes so much so that soils are known as «pseudo sands» because the granules are distinct, rather firm, and they visually resemble sand more than they do clay». Generalmente los subsuelos rojos de los climas húmedos, se prestan para la fabricación de ladrillos, lo que demuestra claramente la presencia de suficiente caolín.

Desgraciadamente el poder sorptivo de la caolinita se verifica en la superficie, la cual se disminuye considerablemente con el aumento del volumen; así es indispensable que los coloides orgánicos se encarguen de esta misión. La presencia del humus neutro es importante para aumentar la fertilidad natural y para el uso de abonos comerciales minerales.

Generalmente se habla de la gran fertilidad de los suelos tropicales, pero desgraciadamente la presencia de la caolinita indica lo contrario, es decir la retención de los iones nutritivos es inferior a la de los suelos del clima templado con montmorillonita, beidelita o nontronita como arcilla principal. Naturalmente en suelos jóvenes y con reservas minerales, la rápida meteorización produce suficientes sustancias nutritivas para buenas cosechas, pero en suelos maduros donde la fertilidad depende de la retención de las bases principales, hay deslave, si el suelo no dispone de suficiente humus neutro y saturado. Pallmann (8) hace la siguiente comparación de la fertilidad de los suelos de diferentes climas.

Producción anual en 100 kgs./ha.

Clima templado:	Arroz	Maíz	Soya
España	63	15	
Italia	55		
Japón	36		
USA	22	16	9
Clima tropical:			
Siam	17		
India Holandés	16	10	6
Ceylan	8		

Producción media en kgs. por ha.

		Total	Proteína	Carbohidratos	Grasa
Europa y USA:	Papas	18.000	360	3.780	27
	Trigo	1.800	198	1.260	31
Trópico:	Arroz	1.500	72	828	24
Aceite:	Europa	1.500	300	315	630
	Trópico	900	243	144	406

Naturalmente depende la producción no sólo del suelo, sino también de la labranza y selección de semilla, también hay gran diferencia entre la agricultura extensiva e intensiva, como lo demuestra el cuadro de Boesch (18) para trigo.

Producción de trigo.

0,2 0/0 de la superficie producen por ha.	0 a 370 kgs.
2,1 0/0 » » » » » »	370 a 540 kgs.
17,6 0/0 » » » » » »	540 a 820 kgs.
33,2 0/0 » » » » » »	820 a 1090 kgs.
23,7 0/0 » » » » » »	1090 a 1370 kgs.
11,2 0/0 » » » » » »	1370 a 1640 kgs.
6,5 0/0 » » » » » »	1640 a 1910 kgs.
1,0 0/0 » » » » » »	1910 a 2180 kgs.
1,3 0/0 » » » » » »	2180 a 2460 kgs.
2,0 0/0 » » » » » »	2460 a 2730 kgs.
1,2 0/0 » » » » » »	» más de 2730 kgs.

El óptimo de las cosechas para la agricultura extensiva parece hallarse para cosechas de 820 a 1090 kgs./ha. y para la intensiva de 2460 a 2739 kgs./ha., es decir el hombre prudente y laborioso puede casi triplicar las cosechas en la misma superficie.

Resumen:

1—La arcilla de los suelos tropicales de Colombia, es la caolinita, para los climas áridos hasta superhúmedos. Parece que los feldespatos mafeorizan formando la hidrargilita (Bauer) y ésta se reúne parcialmente con sílice y se transforma en caolinita.

2—Los minerales férricos se transforman probablemente primero en hidróxido férrico, $Fe(OH)_3$, y posteriormente pierden parte del agua y cristalizan como goethita, $FeO.OH$. El primero es amarillo a pardo, la última es roja. Según Malfitano (15) ésta se presenta en partículas más grandes que aquél. Con el tiempo aumenta el número y el tamaño de los hidratos de hierro y coloran poco a poco el suelo gris, de amarillento, amarillo, pardo y finalmente de rojo.

3—El cuarzo queda en el suelo, mientras que los ácidos silícicos se transforman, en parte en caolinita y en parte son extraídos por la reacción básica y depositados en el subsuelo, mientras que con reacción ácida permanecen en el suelo en forma de cuarzo secundario. El factor $SiO_2:Al_2O_3$ depende de la composición química de la roca madre y no se presta para separar diferentes arcillas, porque no hay alíticas y sialíticas, sino caolinita + cuarzo + hidrargilita.

4—Parece que la hidrargilita es sólo estable en ausencia de humus, así la laterita (superficial o subterránea) no puede ser un suelo que contiene caolinita en todos los climas.

5—La caolinita tiene un poder sorptivo reducido, consiguientemente el humus neutro tiene, en los suelos del trópico, esta misión y de él depende en suelos maduros, la fertilidad natural y el uso de abonos químicos. Por este motivo el uso de abonos orgánicos es de mayor importancia para el trópico. El crecimiento de los cristales de arcilla o la agrupación de ellos a partículas coloidales, reduce el poder sorptivo considerablemente y explica la fertilidad reducida de los suelos tropicales.

Bibliografía:

- 1 —Klockmann, F.: Lehrbuch der Mineralogie. Stuttgart 1912.
- 2 —Wiegner Georg: Boden und Bodenbildung in kolloidchemischer Betrachtung. Dresden & Leipzig 1929.
- 3 —Brandenberger, E.: Röntgenographisch-analytische Chemie. Basel 1945.
- 4 —Vilas López, Lorenzo: Composición química y condiciones de formación de las arcillas españolas. An. del Inst. de Edafología, Ecología y Fisiología Vegetal. Tomo I. Madrid 1942.
- 5 —Nagelschmidt, G.: Röntgenographische Untersuchungen an Tonen. Zeitschrift für Kristallographie. Tomo **87** (1934).
- 6—Harkort, Hans-Joachim: Zur Methodik der Korngrößen-und Mineralanalysen von Peliten. Diss. Zürich 1939.
- 7 —Niggli P.: Lehrbuch der Mineralogie. Berlín 1924.
- 8 —Pallmann Hans: Vorlesungen über Bodenkunde. Zürich.
- 9 —Harrassowitz, H.: Böden der tropischen Regionen. Blanck, E.: Handbuch der Bodenlehre. Berlín 1930.
- 10—Correns C.: Die Tone, Geol. Rundschau 1938.
- 11—Rauwitscher, Felix: Die Erschöpfung tropischer Böden infolge Entwaldung. Acta Tropica. Vol. **3**, No. 3 (1946).
- 12—Klockmann-Ramdohr: Tratado de Mineralogía. Barcelona 1947.
- 13—Lang Richard: Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht. Int. Mitt. f. Bodenkunde 1915.
- 14—Bauer Max: Beitrag zur Geologie der Seyschellen, insbesondere zur Kenntnis des Laterites. N. Jahrbuch f. Min. etc. 1898.
- 15—Ehrenberg, P.: Die Bodenkolloide. Dresden und Leipzig 1922.
- 16—Schaufelberger, P.: Apuntes geológicos y pedológicos de la zona cafetera. Manizales 1944.
- 17—Pendleton, Robert L.: Tropical soils. The Johns Hopkins University.
- 18—Boesch Hans: Die Wirtschaftslandschaften der Erde. Zürich 1947.