

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

CENTRO
NACIONAL



DE INVESTIGA-
CIONES DE CAFE

VOL. 1

SEPTIEMBRE 1947

Nº 2

LA FORMACION Y LAS SERIES DE SUELOS DE LA ZONA CAFETERA DE COLOMBIA

(Conferencia dictada en el Instituto de Petróleo)

Por P. SCHAUFELBERGER

Jefe de la Sección de Suelos

CHINCHINA • CALDAS • COLOMBIA

LA FORMACION Y LAS SERIES
DE SUELOS DE LA ZONA
CAFETERA DE COLOMBIA

(Conferencia dictada en el Instituto de Petróleo)

Por P. SCHAUFELBERGER

Jefe de la Sección de Suelos

Los suelos se forman en la superficie terrestre y representan el producto de la intervención de la atmósfera y del agua sobre la roca expuesta. Esta transformación se debe a la actuación de diferentes factores: sustrato geológico, clima, organismos y tiempo (1).

El factor de mayor importancia es indudablemente el sustrato geológico, porque determina hasta cierto punto el clima, debido a que el relieve lleva la formación del suelo desde el nivel del mar hasta la región fría, cerca de los páramos y de la nieve perpetua. Las cordilleras altas facilitan la condensación del agua atmosférica, mientras que las depresiones, entre altas montañas, muestran un clima más árido (Magdalena superior, Valle del Cauca). Sin duda, la vegetación refleja el clima, pero hasta cierto punto también la composición de la roca, porque hay plantas que buscan ciertos minerales o los rehuyen. Finalmente, cada vegetación atrae ciertos animales: los cazadores los buscan en pantanos, estepas o bosques, según el caso. Los desperdicios de la vegetación y de la fauna se incorporan por la actividad microbiológica al suelo. El último factor, pero no el menos importante, es el tiempo. Todas las reacciones físicas, químicas y biológicas siguen transformando la roca en suelo, hasta que acaba la materia prima. Este producto final depende mucho menos del factor geológico, pues el clima, y especialmente la precipitación y la temperatura, obran en primer término.

Pero los fenómenos geológicos intervienen de nuevo y así tenemos que las erupciones volcánicas cubren viejos suelos con sus cenizas: inundaciones y derrumbes dejan sus depósitos sobre la antigua superficie y nuevamente se inicia otra formación; la erosión descubre la roca subyacente y la sedimentación forma nuevos suelos en los deltas. Los movimientos tectónicos cambian el aspecto y la extensión de la tierra firme y vastas zonas, sumergidas hasta entonces, aparecen ahora libres de agua. De este modo, el factor geológico renueva la superficie terrestre y al tiempo los suelos.

Aunque muchos pedólogos adscriben la mayor importancia

al factor clima, el reconocimiento práctico demuestra claramente que los límites de los diferentes suelos coinciden frecuentemente con los de los estratos geológicos. Así un mapa geológico presta un servicio enorme para la agronomía, especialmente cuando indica los estratos más recientes, como los aluviones, terrazas, conos de escombros y de deyección, cenizas volcánicas recientes, derrumbes, etc.

Naturalmente el factor geológico no es el único que interviene en la formación de los suelos y éstos no dependen únicamente de él; es decir, un mapa geológico no puede por sí solo indicar las clases y los tipos de suelo. La misma roca produce en diferentes climas suelos distintos, y los suelos viejos de un determinado clima son uniformes y casi independientes de la roca madre. La actuación de los mencionados factores es la siguiente:

El sustrato geológico

Este factor comprende naturalmente todo lo relacionado con la geología. Incluye la roca madre, con su composición química y sus propiedades físicas, su modo de descomponerse y la resistencia a la meteorización. De él dependen el relieve, el drenaje, la erosión y la sedimentación. Todas estas propiedades fijan muchas características de los futuros suelos. Es lógico que una roca ígnea con sus minerales frescos actúa diferentemente a un sedimento con minerales más o menos lavados o ya descompuestos por la meteorización.

De grande importancia es también la posición de los estratos: una pendiente paralela a sus capas, reacciona de otra manera que el lado opuesto, donde afloran las "cabezas de la estratificación". En el primer caso, la formación del suelo es lenta, mientras que las cabezas se descomponen con mayor facilidad. Una pendiente fuerte favorece el transporte por gravedad y las piedras y arenas se acumulan al pie de la pendiente en forma de un cono de escombros. Estos constituyen suelos flojos, permeables y profundos, frecuentemente cubiertos por cafetales.

Muy importante es la estructura de la roca. Las rocas granulosas se deshacen con mayor velocidad que las compactas o de granos muy finos. En los sedimentos influye grandemente el cemento, ya sea cuarzo, carbonato de calcio o arcilla. Las rocas ígneas básicas se descomponen con mayor facilidad que las ácidas. El suelo sobre las primeras es más arcilloso, mientras que sobre el granito es más bien arenoso. También hay que tener en cuenta la resistencia de los minerales que constituyen la roca: el plagioclasa se descompone más rápidamente que el ortoclasa, y el biotita más fácilmente que el moscovita. Este fenómeno es mucho más importante que la propia composición química de los mencionados minerales.

La clasificación de los suelos se basa en una propiedad predominante, y algunos grupos reflejan el factor geológico: suelos

Cafeteros ha limitado el estudio de los suelos a la zona cafetera, aluviales, esqueléticos, de cenizas volcánicas, etc. Muchas veces existen subgrupos, según la roca sea calcárea o no, ígnea, esquistosa o sedimentaria. Los suelos calcáreos y las rendzinas se hallan sobre rocas ígneas básicas y muy básicas, o sobre calizas, dolomitas o sedimentos calcáreos. El primer grupo se refiere a suelos jóvenes, mientras que el segundo incluye hasta avanzados y maduros.

El Clima

Entre el clima tropical y la zona templada existe una diferencia primordial, marcada sólo por la casi constancia de los promedios mensuales de la temperatura y no por la mayor altura de ésta (2). Es decir, en el trópico estos promedios mensuales son uniformes y la oscilación principal es la diaria. Por tal motivo, las reacciones químicas, físicas y biológicas se realizan durante todo el año, y únicamente la falta o el exceso de agua las puede limitar o interrumpir. Además, para el clima medio y caliente del trópico, la alta temperatura acelera la velocidad de dichas reacciones y la formación de los suelos es mucho más enérgica (3).

Entre los factores del clima hay que mencionar la precipitación, porque su cantidad influye no sólo en el suelo directamente, sino también en la vegetación. Además, hay que tener en cuenta su reparto durante el año, porque puede ser uniforme o existir estaciones prolongadas y bien pronunciadas. De éstos fenómenos depende el período vegetativo. En Colombia alternan normalmente dos "veranos" con dos "inviernos", mientras que en Costa Rica hay únicamente dos estaciones: la lluviosa de abril a noviembre y la seca de diciembre a marzo (4). En el primer caso, las condiciones para la formación del suelo son más o menos uniformes, mientras que en el segundo reina durante unos meses un clima muy húmedo y durante el resto del año uno muy seco en el cual la vegetación reacciona en el mismo sentido.

En la zona tropical el período vegetativo se relaciona únicamente con la época de lluvia, mientras que en la templada influyen el verano y la precipitación. Se distinguen veranos e inviernos secos y húmedos y por lo tanto los problemas agrícolas son distintos para regiones con inviernos secos y veranos húmedos, o veranos secos e inviernos húmedos, aunque la precipitación anual sea igual (5).

También hay que tener en cuenta la evaporación, que se divide en directa, la cual se mide con la balanza de Wild; e indirecta, por medio de las plantas.

La última está poco estudiada y por ello se dispone de pocas observaciones expresadas en cifras (6).

Los estudios de los pedólogos rusos han demostrado la relación íntima entre el clima y los tipos de los suelos. Pero es muy difícil expresar estos hechos por una fórmula matemática. Los

factores más importantes son indudablemente la temperatura, la precipitación y la evaporación, aunque la última depende en gran parte de la primera, pero no únicamente, porque también la humedad del aire y los vientos (intensidad y dirección) intervienen. Según la diferencia entre la precipitación y la evaporación, se habla de climas húmedos, si la primera es mayor; en caso contrario, se denominan áridos.

Lang (7) recomendó el factor de lluvia, es decir, el cociente de la precipitación anual dividido por el promedio de la temperatura del mismo período:

$$\text{Factor de lluvia} = \frac{\text{precipitación anual en mm.}}{\text{Temperatura media en grados C.}}$$

Este autor dio la siguiente interpretación:

CUADRO 1: FACTOR DE LLUVIA O DE LANG

Factor de lluvia	Suelos correspondientes
inferior a 40	suelos del clima árido
40 a 60	suelos amarillos, rojos y laterita
60 a 100	suelos pardos
100 a 160	suelos negros
mayor de 160	suelos humíferos ácidos. (Rohhumus)

Según Vageler, el factor de la lluvia ha dado un resultado satisfactorio para la zona tropical. Algo distinto es la opinión para el clima templado, donde ni el período vegetativo ni la formación del suelo se extienden por todo el año. Naturalmente se puede discutir la exactitud de las cifras mencionadas, y los grupos de suelos y su relación entre sí, porque, por ejemplo, la laterita no se forma en un clima semiárido sino en el húmedo, pero hay que reconocer la base del sentido de la idea. Martonne (8) recomienda el factor de aridez, Meyer prefiere el cociente NS (9), que busca una relación entre la precipitación y la diferencia entre la saturación y humedad del aire. Finalmente, Thorwaite (10) busca una relación entre la precipitación y la evaporación y otra entre la temperatura y la evaporación. Según Jenny, el factor de Thorwaite ha dado los mejores resultados para la relación entre el clima y los suelos de los Estados Unidos, los cuales pertenecen en su gran mayoría a la zona templada (10-a).

Aunque se discute la expresión matemática de los factores del clima, no hay duda de la influencia de ellos en los suelos, y el cuadro siguiente (11) muestra a grandes rasgos la dependencia de ellos respecto a la variación del clima:

CUADRO N° 2: LOS SUELOS ZONALES

Temperatura baja	nieve perpetua y hielo			
	suelos de tundra			
	suelos de taiga			
Alta	Suelo desértico	Suelo castaño	Chernozem	Podsol
	Suelo alcalino			Suelo gris podsódico
				suelos podsódicos rojo y amarillo
				Laterita
	Reducida		Muy alta	

Precipitación

En la zona tropical hay una disminución notable de la temperatura hacia la altura, y en Colombia se distinguen las siguientes zonas:

CUADRO N° 3

Zonas climatológicas de Colombia

Zona	Alturas aproximadas
Nieve perpetua	arriba de 4700 m.
Páramos	3500 a 4700 m.
Tierra fría	2000 a 3500 m.
Tierra media	1000 a 2000 m.
Tierra caliente	0 a 1000 m.

Con respecto a la temperatura, hay que distinguir por lo menos tres zonas con suelos diferentes: la del páramo, la de la tierra fría y la de tierra caliente (media y caliente), con un promedio de 17 a 27°C. La primera comprende probablemente los suelos alpinos, la segunda los del clima templado y la última los propios suelos tropicales. Según la precipitación, cada una comprende, por lo menos teóricamente, los climas áridos (seco, árido y semiárido) y húmedos (semihúmedo, húmedo y muy húmedo). Es decir, en cada zona son probables 6 suelos, o un total de 18 grandes grupos de la clasificación estadounidense o tipos de los rusos.

Por circunstancias muy naturales, la Federación Nacional de

Cafeteros ha limitado el estudio de los suelos a la zona cafetera es decir, a una región que se halla entre 1.000 y 2.000 m. aproximadamente, y con una precipitación de 1.500 a 3.500 mm. por año. Esta coincide con la zona media y corresponde a suelos tropicales. Sin embargo, no se ha desperdiciado la oportunidad de estudiar los perfiles de otros climas, que por ser en menor número no permiten conclusiones generales.

Por tal motivo, nos limitamos a hablar de los suelos de la tierra media o subtropical. El clima seco o desértico no existe en Colombia, y para la separación de los cinco grupos restantes se aprovechan los factores de lluvia, tomando las temperaturas media de 20 y 25°C. La precipitación necesaria es la siguiente:

CUADRO N° 4

Precipitación y factor lluvia.

factor lluvia	Clima C.	Precipitación	
		Para 20°C.	Para 25°C.
inf. a 40	árido	hasta 800 mm.	hasta 1000 mm.
40 a 60	semiárido	800 a 1200 mm.	1000 a 1500 mm.
60 a 100	semihúmedo	1200 a 2000 mm.	1500 a 2500 mm.
100 a 160	húmedo	2000 a 3200 mm.	2500 a 4000 mm.
mayores de 160	muy húmedo	más de 3200 mm.	más de 4000 mm.

Wiegner (12) estudió principalmente los coloides de los suelos y su importancia para la fertilidad. Según este autor, las reacciones químicas en los suelos varían según su clima.

1. Clima árido. La escasez de agua no permite la hidratación (13) de los silicatos de hierro y de aluminio, y por lo tanto los suelos conservan su color claro y no hay formación de coloides minerales. El agua disuelve principalmente los álcalis y al evaporarse lleva las sales hacia arriba, depositándolas en el suelo y constituyendo así con el tiempo un depósito de álcalis. Un desequilibrio entre el potasio y el sodio reduce la fertilidad, porque muchas plantas son poco tolerantes para el último. También el agua limita la vegetación y la formación de humus. La meteorización mecánica predomina, porque la oscilación diaria de la temperatura pulveriza los minerales. Aunque la fracción de limo (partículas inferiores a 0,01 mm.) es bastante alta no se compone de arcillas coloidales sino de polvo finísimo de minerales no descompuestos químicamente (14). El suelo es friable.

2. Clima semiárido. La precipitación es algo mayor y mantiene el suelo mojado. Probablemente él puede retener la mayor parte del agua y la infiltración es pequeña. Hay poco deslave hacia la profundidad, pero suficiente agua para la hidratación de los sesquióxidos que imprimen al suelo un color más oscuro, con tendencia hacia el pardo o el castaño. Las sustancias nutritivas no

salen del suelo y éste es fértil en los períodos de lluvia, mientras que durante un verano prolongado muchas plantas se marchitan y mueren.

En este clima la incorporación del humus es mayor que en los áridos y durante las lluvias los álcalis se mueven hacia el subsuelo y en los veranos, ascienden hacia el suelo.

3. Clima semihúmedo. En este clima la vegetación es perenne y aumenta por ello la cantidad de humus. La circulación predominante del agua es hacia abajo, y la mayor hidratación de los sexquióxidos y su disolución favorecen la formación de coloides minerales. La presencia aquí de los cationes facilitan la neutralización de los ácidos húmicos favoreciendo su coagulación en forma de humus saturado y fértil. Pero como la temperatura y la humedad son excelentes, la descomposición es rápida y por lo tanto no hay acumulación en mayor escala, como en la zona de chernozém. En regiones con estaciones, los "veranos" producen el efecto del clima árido, es decir la ascensión del agua con sus sales hacia la superficie. Este fenómeno paraliza el deslave durante los inviernos demasiado fuertes. El humus y los coloides minerales absorben y retienen los cationes impidiendo pérdidas de mayor importancia.

Algunos análisis totales ilustran lo dicho. De cada suelo aparecen los análisis de la capa vegetal (s), del subsuelo entre la anterior hasta una profundidad de un metro (ss) y de la roca (r). Generalmente es mucho más profundo y probablemente no comprende todo el horizonte B (15), mientras que el suelo y la roca comprenden los horizontes A y C.

CUADRO N° 5

Composición química de algunos suelos del clima semihúmedo.

S	s	ss	r	s	ss	r	s	ss	r
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
SiO ₂	57,50	48,18	59,24	50,66	56,46	59,30	40,70	39,82	58,82
P ₂ O ₃	0,18	1,00	0,45	0,57	0,15	0,48	0,45	1,39	0,32
Al ₂ O ₃	19,71	18,65	21,28	17,21	14,14	14,61	22,54	17,28	18,31
Fe ₂ O ₃	4,11	5,55	2,68	5,72	5,85	5,61	4,92	5,23	8,69
MgO	2,25	1,48	2,10	1,84	13,04	4,16	2,20	1,59	2,36
CaO	2,38	1,81	4,55	3,63	4,63	4,72	2,24	2,38	5,30
Na ₂ O	2,95	2,54	5,26	4,95	4,92	5,73	2,95	2,54	5,26
K ₂ O	2,15	2,99	0,96	0,60	0,77	0,95	0,91	0,76	0,68
Humus	2,85	1,40					3,21	0,68	
Limo	6,0	6,4					2,8	4,0	
Kappen	7,0	12,2					9,0	9,0	
Localidad		Ibagué		Chinchiná			Líbano		
Analista		A. Orozco		A. Orozco			A. Orozco		

4. Clima húmedo. En este clima ya hay bastante deslave. Típico es el transporte del hierro hacia el subsuelo. Su color es de herrumbre a amarillo, y con frecuencia se encuentran concre-

ciones de vetas de limolita. Paralelamente con la corrosión del hierro va el deslave de las bases nutritivas o de los cationes mono y bivalentes. Esta pérdida no afecta solamente la nutrición de las plantas, sino que también influye en la economía del humus. Las bases existentes no alcanzan para saturarlo y al lado del humus neutro hay humus ácido, soluble y no fértil. Aunque el suelo tiene una capa vegetal oscura o negra y bastante profunda, no muestra la misma fertilidad como los de los climas semiárido y semihúmedo.

Peor aún, el humus ácido es soluble y su presencia en la disolución del suelo impide la coagulación de los hidrosoles de sílice, aluminio y hierro. Por este motivo no hay coloides minerales o pocos, la retención de cationes nutritivos es reducida y el deslave fuerte. Los sesquióxidos se precipitan en el subsuelo, libre de humus, y el color de herrumbre ha dado la denominación a este grupo, es el suelo pardo o pardo forestal. Su vegetación natural es la selva.

Agrego algunos análisis de este grupo:

CUADRO N° 6

Composición química de algunos suelos del clima húmedo.

	s	ss	r	s	ss	r	s	ss	r
SiO ₂	53,62	50,56	59,30	42,96	41,85	49,13	65,00	56,30	61,06
P ₂ O ₅	1,00	0,45	0,48	0,05	0,01	0,04	0,21	0,17	0,85
Al ₂ O ₃	19,73	18,54	14,61	19,05	31,83	16,67	11,80	17,70	17,28
Fe ₂ O ₃	4,98	5,57	5,61	5,08	10,01	12,69	4,95	5,70	9,34
MgO	1,23	0,36	4,16	0,95	0,73	4,48	5,43	2,90	3,22
CaO	4,04	5,34	4,72	1,16	0,85	9,22	0,21	0,30	5,44
Na ₂ O	6,12	6,00	5,73	3,94	3,38	6,36	1,24	1,03	2,03
K ₂ O	0,47	0,63	0,95	0,36	0,27	0,68	0,52	0,41	0,42
Humus				7,71	2,58		4,33		
Limo				8,92	3,00		7,2	3,2	
Kappen				11,4	4,6		0,2	0,4	
Localidad		Chinchiná			Dagua		Yarumal		
Analista		A. Orozco			A. Uribe		A. Orozco		

5. Clima muy húmedo. La precipitación es extremadamente grande, entre 4.000 y 10.000 milímetros y el deslave de los cationes mono y bivalentes, así como el transporte de los sesquióxidos, son muy intensivos. La falta de cationes impide la coagulación del humus, que permanece en solución y se infiltra con el agua. Los poros finos lo retienen dándole al suelo un color negro. Debajo de esta capa vegetal los hidrosoles minerales se precipitan, ya sea en forma de silicatos (sialitas) o de hidrógeles de los sesquióxidos (alita o laterita). No conocemos todavía exactamente las condiciones necesarias para una u otra forma de precipitación de los hidrosoles. Unos autores las buscan en el clima, otros más bien en las rocas; es decir que las rocas ácidas se

transforman en arcillas propias o sialitas, y las básicas dan origen a la formación de laterita o alita. Pero en todo caso, en este clima muy húmedo hay un deslave fuerte de los metales bivalentes y monovalentes, mientras que los sesquióxidos, con o sin sílice, se acumulan en el subsuelo.

Para los climas húmedo y muy húmedo, las reacciones mencionadas se verifican de la manera descrita cuando los suelos y subsuelos están bien drenados según la temperatura y entonces se desarrollan, en el clima frío, el podsol, y en el caliente, la arcilla roja o la laterita.

El deslave del suelo y la acumulación de los sesquióxidos en el subsuelo de este clima muy húmedo, lo demuestra claramente el análisis de una laterita de Dagua:

CUADRO N° 7

Análisis de un suelo del clima muy húmedo

	suelo %	subsuelo %	roca %
SiO ₂	37,19	37,18	49,13
P ₂ O ₅	0,07	0,03	0,04
Al ₂ O ₃	12,16	22,08	16,67
Fe ₂ O ₃	9,33	23,66	12,69
MgO	0,75	0,77	4,48
CaO	1,15	0,97	9,22
Na ₂ O	1,22	1,03	6,36
K ₂ O	0,03	0,08	0,68
Humus	17,02	3,14	
Limo	7,92	4,44	
Kappen	2,8	3,8	
Analista		A. Uribe	

La cooperación de este análisis, con el suelo del clima húmedo de la misma zona y sobre el mismo piso de Faldequere (diabasa), demuestra claramente la mayor intensidad del deslave.

Como el sustrato geológico moldea ciertos tipos de suelo, también los factores del clima desarrollan suelos distintos y de propiedades diferentes. No hay duda alguna, que la precipitación y la temperatura constituyen la variación más pronunciada del clima de la atmósfera y, en términos generales, también del suelo. Pero el clima de éste no depende únicamente de dichos factores, sino que también el propio suelo interviene. El agricultor experimentado sabe distinguir y estimar los suelos fríos o calientes; los primeros corresponden, por lo general, a arenosos, los segundos a arcillosos. Estos son poco permeables y retienen el agua, mientras que aquéllos facilitan la infiltración, pero se secan pronto. Es decir, según la clase de suelo, la cantidad de agua retenida varía, como también la humedad dentro del suelo o su cli-

ma: un suelo arenoso es más seco, el arcilloso más húmedo que el clima correspondiente de la atmósfera. Un efecto semejante produce la caliza: el ión de calcio granula las partículas finas (arcillas) y este cambio estructural mejora la infiltración y la aereación; produce también un clima más seco.

Ahora bien, los factores climatológicos producen diferentes reacciones en el suelo, por lo que también deben dar distintos productos que constituyen los componentes del suelo: humus, limo y caliza; mientras que la arena representa principalmente los minerales todavía no descompuestos o el residuo insoluble. Sin embargo, especialmente en suelos fósiles, también la arcilla recristalizada a partícula de tamaño mayor, puede hallarse en esta fracción. La determinación de estos componentes (16) debe reflejar el clima del suelo y el tipo de éste.

La interpretación directa es algo difícil, pero con un método sencillo, se facilita la solución del problema. Los productos de meteorización son el humus, el limo y la caliza, mientras que la arena constituye su esqueleto. Ahora el análisis mecánico da el siguiente resultado:

$$\% \text{ humus} + \% \text{ limo} + \% \text{ caliza} + \% \text{ arena} = 100 \%$$

Cambiamos la base, poniendo la suma de los primeros tres componentes igual a 100 y calculamos los **índices de suelo** sobre esta base, entonces los índices de humus (h), limo (l) y caliza (c), se completan siempre a 100, mientras que el de arena (a) teóricamente no tiene límite. Este último factor indicará aproximadamente, también la clase de suelo:

CUADRO N° 8

Índices y clases de suelos.

índice de arena (a)	Clase de suelo
0 a 100	arcilloso
100 a 400	gedosa
más que 400	arenosa

Tratando así los análisis mecánicos de los suelos de la zona cafetera, fácilmente se distinguen los cinco tipos del clima (17):

CUADRO N° 9

Índices de suelos para los cinco climas

a	árido			semiárido		
	h	l	c	h	l	c
100	—	—	—	—	—	—
200	5	92	3	9	90	1
300	6,5	90	3,5	10	86,5	3,5
400	7	89	4	11,5	85	3,5
500	7,5	89	3,5	12,5	83,5	4
600	9	85	6	14	82	4
700	10	86	4	—	—	—

semihúmedo				húmedo			muy húmedo		
a	h	l	c	h	l	c	h	l	c
100	7,5	91,5	1	—	—	—	—	—	—
200	9,5	89	1,5	—	—	—	—	—	—
300	9,5	89	1,5	22	77	1	—	—	—
400	18,5	79	2,5	25	72,5	2,5	—	—	—
500	20	77	3	32,5	65	2,5	51	46	3
600	22,5	74,5	3	34	62,5	3,5	53	45	2
700	26	72	2	36	62,5	1,5	57,5	40,5	2
800	26	72	2	36,5	61,5	2	59	39	2
900	30	67,5	2,5	—	—	—	—	—	—
1.000	32,5	66	1,5	—	—	—	—	—	—
1.100	35	63	2	—	—	—	—	—	—

Los índices de (a) indican que los suelos áridos contienen más limo que los de los climas húmedo y muy húmedo. La explicación es sencilla: en el primer caso predomina la meteorización física y no hay transporte de las partículas finas hacia abajo. En este clima se forman en cantidades reducidas las arcillas coloidales, especialmente en el subsuelo. En los climas húmedo y muy húmedo el hidrosol del humus ácido impide en parte o totalmente la coagulación; en el suelo no hay bases bivalentes para facilitar la neutralización del humus y, probablemente, la precipitación de las arcillas, sialita o alita, se verifica en forma de cristales pequeños, pero en parte mayores que 0,01 mm. (18), por lo tanto abundan los suelos arenosos.

El índice de humus crece con la humedad y el de la caliza indica la saturación y neutralización de los ácidos húmicos. A veces se presenta la caliza en mayor proporción, porque la roca madre es calcárea o una roca básica, entonces la caliza se forma durante su descomposición. Estos suelos constituyen un grupo especial: rendzinas y calcáreos humíferos.

Muy significativos son los índices para el clima semihúmedo. Se ve claramente que esta serie representa la transmisión entre los suelos áridos y húmedos. Reúne las ventajas de ambos grupos y se desarrolla en plena armonía entre la meteorización física y química. En estas condiciones se forma, en el clima templado, el chernozém, cuya fertilidad tiene fama mundial. No parece pura casualidad, que la mayor parte de los cafetales de Colombia se hallen en estos suelos.

El tiempo. La transformación de la roca en cualquier suelo requiere tiempo. Se inicia por la descomposición mecánica; la roca compacta se afloja y se deshace en piedras, arena y silt, por motivo de la oscilación diaria de la temperatura. Sólo ahora el agua y el aire entran en acción, porque el material flojo ofrece una superficie multiplicada y favorece el ataque químico. El

agua disuelve los minerales en forma de iones, moléculas o coloides (hidrosoles), cuya suerte depende del clima. Estas reacciones llegan a su final en el momento, en que el suelo carece de minerales frescos. Estas reacciones son irreversibles y la pedología no conoce ningún método para impedir las completamente, pero sí, el hombre prudente, las puede retardar o acelerar (20). Según el clima, el producto final es diferente, pero en los climas húmedos de iones mono y bivalentes han desaparecido no hay sustancias nutritivas en los minerales y las que se han formado durante esta transformación no constituyen un suelo sino una roca.

Al principio había una roca, y al final hay otra; entre estos extremos se hallan los suelos. Esta transformación es lenta y el aspecto y las propiedades son distintas en las varias fases de su desarrollo. Sin tener en cuenta el factor tiempo, fácilmente se puede separarlas en tipos. Pero en realidad uno se desarrolla del otro. Pallmann y Jenny (21) los reúnen en series de sucesión. Fácilmente se puede distinguir cinco fases de desarrollo:

1. la roca madre
2. el suelo joven
3. el suelo maduro
4. el suelo degenerado
5. el suelo fósil.

La roca. Sobre las propiedades físicas, químicas, mineralógicas y petrográficas informa cualquier libro o tratado de petrografía.

El suelo joven. Predomina la meteorización física, mientras que la descomposición química apenas está iniciándose. Faltan todavía perfiles característicos. Con riego o drenaje se cambia fácilmente el desarrollo. En la clasificación pedológica aparecen como suelos aluviales, esqueléticos, de ceniza volcánica, etc., porque el sustrato geológico es el más pronunciado.

Los suelos maduros. La transformación ha progresado y el agua ha transformado parte de los minerales y acumulado los productos en diferentes horizontes. Hay un perfil más o menos típico; el color del subsuelo indica, con la cantidad y la calidad del humus en el suelo el clima reinante. Los suelos han llegado al óptimo de su fertilidad natural. Según el clima, las sustancias solubles se acumulan en el suelo o subsuelo. Con el aumento de la precipitación progresa la hidratación de los silicatos de hierro y el color gris pasa hasta el amarillo. El pH ya es característico y la acidez se desarrolla en el mismo sentido. Todavía el suelo dispone de reservas minerales, aunque la fracción de las arcillas está creciendo. Según los climas se desarrollan los siguientes suelos:

CUADRO N° 11

Suelos maduros

Clima	Suelo
árido	suelo gris
semi-árido	suelo pardo
semi-húmedo	suelo amarillo
húmedo	suelo pardo forestal
muy húmedo	suelo negro

Los suelos degenerados. Debido a la disminución de minerales frescos, la fertilidad en los climas húmedos se reduce, las arcillas coloidales envejecen y su poder sorptivo merma. En el clima árido, la incorporación de álcalis y de caliza produce una reacción básica y el desequilibrio entre el sodio y potasio cambia la vegetación, porque hay pocas plantas tolerantes con el primero. En los subsuelos comienza a aparecer el color rojo, tan frecuente y típico para la zona tropical caliente, y la cantidad de la fracción de arcilla es mayor. Preliminarmente se denomina los suelos degenerados así:

CUADRO N° 12

Suelos degenerados

Clima	Suelo
árido	suelo ligeramente alcalino
semi-árido	pardo calcáreo
semi-húmedo	suelo rojo
húmedo	suelo rojo forestal
muy húmedo	suelo laterítico

Los suelos fósiles. La descomposición de los minerales está terminada, no hay más reservas. Las plantas se mantienen por sus propios desechos. La destrucción de la vegetación natural, es decir de los bosques que cubren estos suelos en los climas húmedos, es muy peligrosa, porque el cultivo no prospera y la reforestación es difícilísima. Los suelos necesitan abonos orgánicos y minerales para su aprovechamiento. El subsuelo es rojo. La caliza y los álcalis están lavados y la reacción es ácida.

En el clima árido la reacción es alcalino y los subsuelos tienden también hacia un color rojizo. Si no hay exceso de sodio siempre se prestan para muchos cultivos, especialmente leguminosas, las cuales prefieren una reacción básica y la presencia de la caliza. Entre los suelos viejos se encuentran en Colombia los que siguen:

CUADRO Nº 13

Suelos viejos

Clima	Suelo
árido	alcalino
semi-árido	rojo alcalino
semi-húmedo	arcilla rojo
húmedo	tierra roja y laterita
muy húmedo	tierra roja y laterita

La suerte de la rendcina y calcáreos humíferos depende del clima. Poco a poco desaparece la caliza y el suelo pasa a una amarillo, pardo forestal o negro, o los equivalentes rojos y fósiles. Es decir, el producto final fija el clima y no el sustrato geológico.

Naturalmente esta clasificación y nomenclatura es provisional y muy probablemente hay que cambiar la última, cuando se puede mejor definir cada serie de sucesión a bases de un mayor número de análisis, que permitirán una mejor comparación con sus equivalentes de las otras zonas terrestres.

Resumiendo, el cuadro siguiente da una idea del desarrollo de las series de sucesión en la zona caliente tropical.

CUADRO Nº 14

Series de sucesión de los suelos de la tierra caliente (suelos tropicales)

CLIMA	SUELO			
	joven	maduro	degenerado	fósil
árido	suelos aluviales, esqueléticos, de ceniza volcánica etc.	claro	liger. alcalino	alcalino
semi-árido		castaño	pardo calcáreo	rojo calcáreo
semi-húmedo		amarillo	rojo	arcilla roja
húmedo		pardo forestal	rojo forestal	tierra roja y laterita
muy húmedo		negro	laterítico	tierra roja y laterita

Los suelos rojos, rojos forestales y lateríticos se hallan en el Occidente de Colombia sobre rocas de Cretáceo y formaciones más antiguas. Naturalmente la edad del suelo no es siempre la de su roca madre, pero nunca puede ser de mayor edad. Así, la

transformación de las rocas en suelos fósiles, requiere un tiempo largo, casi un período geológico.

Lor organismos

Los suelos pueden desarrollarse sin la vegetación. La descomposición de las primeras plantas inferiores o de leguminosas sobre arena, permite la formación del primer humus. Entonces inmigran las plantas superiores y la vegetación natural según el clima. La formación de un bosque o de una selva requiere muy probablemente muchos siglos, pero entonces hay una cierta estabilidad. El desarrollo de la vegetación debe estar relacionada con la fertilidad del suelo, y la cantidad de humus la fijan las hojas caídas y las plantas muertas. Pero esta descomposición depende de los microorganismos del suelo, de la cantidad de agua y de la aereación. Donde las condiciones son poco favorables para los microbios se presentarán acumulaciones de materia orgánica. En el clima árido y semi-árido, hay poca materia orgánica y con las lluvias su descomposición es rápida, por la presencia de aire y de alcaliza, los cuales permiten una enorme multiplicación de las bacterias.

Según la cantidad de humus y de materia orgánica, se distinguen suelos humíferos, pantanosos y orgánicos.

Final

Naturalmente este estudio representa un primer ensayo de una agrupación natural (series de sucesión) de los suelos colombianos, en la tierra caliente y se basa en observaciones y análisis de suelos de distintas regiones. Probablemente hay muchas contradicciones con respecto a la literatura, pero hay que tener en cuenta, que la mayor parte de las clasificaciones fueron hechas en el clima templado, a propósito de unas pocas observaciones. Esta desarmonía en la agrupación de los suelos tropicales indica, que probablemente se trata de nuevos tipos o grandes grupos. La nomenclatura tampoco será definitiva, sino que presenta más bien una base de discusión para aclarar poco a poco este problema.

Indudablemente los factores del clima determinan muchos tipos de suelos y muy especialmente los productos finales, mientras que en los suelos jóvenes el sustrato geológico es más pronunciado. Para el geólogo, el factor de tiempo es conocido y reconocido desde hace mucho, pero no es menos importante para la pedología. El suelo no es algo permanente o estable, sino que se desarrolla forzosamente hacia unos pocos productos finales. Por suerte estos no cubren toda la costra terrestre, debido a los fenómenos geológicos que renuevan la roca superficial y así permiten nuevamente la iniciación de la formación de suelos. Debido a los movimientos tectónicos durante el plegamiento andino y al volcanismo del Neoter-ciario, Colombia está provista en grandes extensiones con suelos jóvenes, pero tampoco faltan suelos degenerados y fósiles, espe-

cialmente en el Occidente. La variación del clima, desde el árido de la costa Atlántica, hasta el muy húmedo del Pacífico, abre un vasto campo para reconocer su influencia en la formación de los suelos tropicales. En la tierra fría y en los páramos se encuentran otros tipos. Sin duda alguna, hay muchos problemas para resolver y, afortunadamente, Colombia ofrece todas las posibilidades para estudiar los efectos de los distintos factores y puede contribuir en su solución y en la clasificación de los suelos tropicales. La naturaleza apoya a la ciencia, porque a poca distancia se observa suelos tropicales de los climas áridos hasta muy húmedos y muy cerca de ellos se desarrollan los suelos del clima templado o sus equivalentes (podsol, castaño, etc.) y los alpinos. Vivimos en "El Dorado" de los suelos.

N O T A S

- 1) JENNY, Hans: Factors of soil Formation. New York & London 1941.

La formación del suelo depende: clima, cl; organismos, o; topografía, r; roca madre, p; tiempo, t.

$s = (cl, o, r, p, t)$.

Alarcón, P. & Villegas, E.: Conferencias dictadas por el doctor R. Earl Storie sobre el reconocimiento de los suelos en la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín. Federación Nacional de Cafeteros 1945.

Este autor recomienda la siguiente fórmula:

$S = f (cl, v, a, d, r, t, E, D)$	v = vegetación
	a = animales
	d = drenaje
	E = erosión
	D = deposición

No hay contradicción alguna, sino las fórmulas se distinguen por más detalles.

El sustrato geológico comprende la roca madre (p); fija el relieve (r), la permeabilidad (d), la erosión (E) y la deposición (D). Los organismos (o) comprenden toda actividad biológica, sea de origen animal (a) o vegetal (v).

Schaufelberger, P. Geología y pedología. Revista Cafetera N° 107. Bogotá, 1941.

- 2) MAULL, Otto, Die Destimmung der Tropen. Festschrift zur Hundertjahrfeier des Vereins für Geographie und Statistik. Frankfurt am Main. 1936.

Este autor ilustra la diferencia del clima tropical con el templado, con el siguiente cuadro:

Lugar	Latitud	Temperatura mes más		Diferencia
		caliente	frio	
Jacksonville	30° 20	27,2	12,2	15 °C
Júpiter	26° 57	27,6	18,1	9,5 °C
Key West	24° 34	28,8	20,4	8,5 °C
Habana	23° 8	28,0	22,0	6,0 °C
Kingston	18° 1	27,7	24,8	3,0 °C
Belén	1° 27	26,6	25,2	1,4 °C

Más pronunciada es esta diferencia, si comparamos lugares con el mismo promedio para el mes más caluroso:

		Enero	abril	julio	octubre	Diferencia
Bogotá	(4°)	14,2	14,3	13,4	13,7	0,9 °C *
Banff (Canadá)	(51°)	10,3	2,5	13,7	3,5	24,0 °C *
Chinchiná	(5°)	21,4	21,0	21,6	20,9	0,7 °C**
Toulouse (Francia)	(43°)	4,5	16,7	21,2	11,6	16,7 °C *
Orenburgo (Rusia)	(51°)	15,1	4,0	22,0	4,2	37,1 °C *

3) Según vant Hoff, las reacciones químicas duplican su velocidad con cada aumento de la temperatura por 10°C.

4) Los promedios de la precipitación en cms., son los siguientes:

	CHINCHINA	SAN JOSE DE COSTA RICA
Enero	15,2	0,5
B Febrero	17,9	0,3
Marzo	21,0	1,0
Abril	24,4	4,7
Mayo	29,4	22,3
N Junio	25,6	25,8
Julio	13,5	20,7
Agosto	12,7	24,4
Septiembre	17,5	34,9
Octubre	37,1	34,2
Noviembre	28,4	15,0
Diciembre	18,4	3,1
TOTAL	261,1	186,1
Temperatura media	21,1°C	22,0 ° C

*) Yearbook of Agriculture 1941: Climate and Man. Departamento de Agricultura. Washington.

**) Archivo de la Federación Nacional de Cafeteros. Chinchiná.

*) Archivo Federación Nacional de Cafeteros. Chinchiná.

**) Schaufelberger, P.: Algunos datos meteorológicos de Costa Rica. NCA, San Pedro de Montes de Oca 1936.

*) Yearbook 1941.

- 5) Región rusa del Chernosém: Odesa y Rostov, y del suelo pardo-forestal de Suiza (Zurich).

	Precipitación en cms.		
	Odesa	Rostov	Zurich
Enero	2,9	3,2	4,8
Febrero	2,2	3,7	5,6
Marzo	2,6	3,0	7,5
Abril	2,3	3,8	9,7
Mayo	2,8	4,1	11,2
Junio	5,6	5,9	13,2
Julio	4,3	5,2	13,0
Agosto	3,5	2,5	13,1
Septiembre	3,0	2,6	10,8
Octubre	3,7	3,2	10,2
Noviembre	2,6	4,0	7,0
Diciembre	2,9	3,7	7,3
Total	38,4	44,7	109,4

	Temperatura:		
Enero	4,5	5,1	0,2
Abril	7,4	9,0	8,5
Julio	17,0	23,7	18,2
Octubre	11,3	9,7	9,3

Glinka, K. Die Typen der Bodenbildung. Berlín 1914.

Geering, J.: Beitrag zur Kenntnis der Braunerdebildung auf Molasse im Schweizerischen Mittelland. Landwirtschaftliches Jahrbuch der Schweiz. N^o 2, año 1936. Berna.

- 6) MOHR, E. C. Jul.: Der Boden der Tropen im allgemeinen und von Niederländisch Indien im besondern. Referencia en: Die Ernährung der Pflanze, tomo 30, números, 13, 14. Berlín 1934.

Este autor recomienda para calcular la verdadera evaporación mensual la siguiente fórmula:

$$E = C + f.P$$

C es una constante y Mohr estima su valor en 60, el factor $f=1/8$ y P la precipitación mensual. La fórmula es empírica y se basa en las observaciones lisimétricas del autor, realizadas en India Holandesa. Aunque ni su exactitud, ni su universalidad para la zona tropical están demostradas todavía, permite por lo menos la formación de una idea de la evaporación mensual de las zonas tropicales. Una precipitación de unos 68 mm. por mes es aproximadamente el equivalente de la evaporación.

- 7) BLANK, E.: Handbuch der Bodenlehre, tomo III, Berlín 1930.
 Schaufelberger, P.: Apuntes geológicos y pedológicos de la Zona Cafetera de Colombia. Manizales 1944.
 Vageler, P. Bodenkunde. Colección Göschen, Berlín y Leipzig. 1921.
 Grundriss der tropischen und subtropischen Bodenkunde. Berlín 1930.
- 8) POSADA CUELLAR, HERNANDO & GRANCHAMP, Pierre: El Catastro Nacional. Tomo II. Bogotá 1942.

Factor de aridez:

$$A = \frac{P}{T + 10}$$

P = precipitación anual en mm
T = promedio de la temperatura en ° C.

El catastro Nacional aprovecha el factor de aridez para la valorización de los suelos entre 5 y 25 puntos, según el sistema siguiente:

Factor de aridez	Valorización en puntos
1 a 10	5 a 10
11 a 20	10 a 20
21 a 40	20 a 25
41 a 100	10 a 20
más de 100	5 a 10

Esta valorización permite la conclusión de que el primer grupo necesita riego y para el segundo es provechoso. El tercer grupo goza de una humedad óptima, el cuarto ya es húmedo y el último se refiere a suelos muy húmedos.

Los siguientes datos meteorológicos (Osorio, Luis H.: Anuario meteorológico 1934—1937 y 1937—1943) ilustran los diferentes climas:

Clima árido	Seco		Semiárido	
	Gigante	Cúcuta	Cali	Zarzal
Enero	37,3	36,5	42,6	53,0
Febrero	92,4	19,3	107,9	43,1
Marzo	91,8	85,2	141,6	96,0
Abril	69,1	103,2	164,3	192,0
Mayo	43,5	53,5	166,1	166,0
Junio	81,7	53,1	63,6	20,0
Julio	46,0	12,7	34,9	10,0
Agosto	86,5	33,2	50,6	45,0
Septiembre	5,0	69,8	60,5	67,1
Octubre	62,5	117,5	126,6	216,3
Noviembre	101,5	135,0	156,6	174,4
Diciembre	113,0	46,5	133,1	79,8
Total	770,6	765,5	1248,1	1151,7
Temperatura				mm
	24°	26°	25°	24° C
Factor de Lang				
	32	29	50	48
Factor de aridez (Martonne):				
	23	21	35	34
Clima húmedo:				

Clima húmedo	Semihúmedo			Húmedo	
	Medellín	Chaparral	Dolores T.	Manizales	Las Nubes (Mag.)
Enero	22,4	211,1	608,8	80,2	50,1
Febrero	11,6	288,0	80,6	266,6	0
Marzo	114,4	131,2	93,2	61,1	50,7
Abril	124,2	95,0	25,1	178,2	26,7
Mayo	146,0	411,2	144,3	329,3	461,3
Junio	176,8	103,9	47,7	162,1	321,4
Julio	98,5	26,9	22,7	99,7	277,5
Agosto	105,9	26,9	12,2	128,0	262,3
Septiembre	142,3	189,9	25,9	191,9	388,7
Octubre	209,1	70,0	336,0	355,0	469,1
Noviembre	237,9	440,0	390,8	365,0	306,3
Diciembre	142,4	37,5	150,7	204,0	53,0
Total	1531,1	2031,6	1938,0	24,21,1	2667,1
Temperatura	21°	21°	21°	18°	19°C
Lang	73	78	92	133	140
Mantonne	50	56	62	89	115

	muy húmedo		
	Dagua	Frontino	San Luis de Antioquia
Enero	91,0	70,3	152
Febrero	48,0	0,9	355
Marzo	76,0	66,7	483
Abril	470,0	426,9	567
Mayo	733,5	577,1	693
Junio	281,0	287,9	470
Julio	504,0	227,8	308
Agosto	234,0	317,9	537
Septiembre	406,0	339,2	183
Octubre	599,0	413,3	290
Noviembre	731,0	481,3	401
Diciembre	128,0	320,5	252
Total	4301,5	3530,2	4691
Temperatura	26°	21°	22°
Lang	174	168	216
Martonne	120	114	147

9) BLANCK, E. ya citado.

Eckstein, O., Jacob, A. & Alten, F.: Arbeiten über Kalidüngung. Berlín 1931.

Jenny, H. 1941: ya citado:

A. Meyer (ueber einige Zusammenhänge zwischen Klima und Böden in Europa, Chemie der Erde, tomo 2, 1926) propone el factor N—S (N= precipitación; S= déficit de la saturación del aire). El déficit de la saturación se obtiene por la diferencia de la saturación correspondiente a la temperatura media me-

nos el promedio de la saturación observada. El autor encontró la siguiente relación entre el factor N—S y los suelos:

Suelos	Factor N—S
1. Desiertas y estepas desérticas	0 a 100
2. Región del Mediterráneo (suelos rojos), temperatura media mayor de 15°C	50 a 200
3. Suelos castaños	100 a 275
4. Chernosém	125 a 350
5. Suelos pardos forestales, promedio de la temperatura 5 15°C	275 a 500
6. Región del Atlántico, Temp. media más de 10°C	375 a 1000
7. "Heiden". Temp. media inferior a 10°C	375 a 700
8. Región de Alemania del Norte y de Escandinavia Temp. media 0 a 7°C	300 a 1200
9. Región septentrional de Rusia. Temp. media inferior a 7°C	400 a 600
10. Tundra. Temp., media 0°C	500 a 600
11. Región alpina	1000 a 4000

La clasificación comprende el clima templado y frío, pero deja una laguna para los suelos tropicales. Para su computación sería necesario disponer de los datos meteorológicos indispensables: precipitación y humedad del aire.

10) ALARCON P. & VILLEGAS E. 1945 ya citados.

Thornwaite desea los índices de humedad y de temperatura:

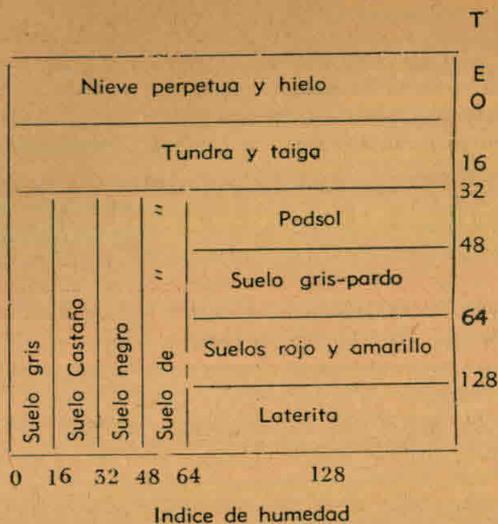
$$\text{Índice de humedad} = \frac{\text{Precipitación media mensual en mm}}{\text{Evaporación media mensual en mm}}$$

$$\text{Índice de temperatura} = \frac{\text{Temperatura media mensual en } ^\circ\text{C}}{\text{Evaporación media mensual en mm}}$$

La clasificación es la siguiente:

Clima según la humedad		Índices de la humedad	
1. A	Muy húmedo	128	0 más
2. B	Húmedo	64	a 127
3. C	Semihúmedo	46	a 63
	CI Semiseco	32	a 45
4. D	Seco	22	a 31
	DI Arido	16	a 21
5. E	Desiértico	menos de	16
Clima según la temperatura		Índices de temperatura	
1. A	Cálido	128	y más
2. B.	Semicálido	101	a 127
	B1 Templado	80	a 100
	B2 Semifrío	64	a 79
3. C	Frío	46	a 63
	CI Muy frío	32	a 45
4. D	Clima de taiga	16	a 31
5. E	Clima de tundra	menos de	16

A base de estos factores, Thornwaite relaciona sus índices con los suelos zonales de la manera siguiente (según Jenny).



Los datos meteorológicos para Chinchiná son los siguientes:

	Promedio mensual
Precipitación	2282 mm
Temperatura	22,1 °C
Humedad relativa	71,5 %
Tensidad de vapor de agua	14,5
Evaporación, Wild	38,9 mm
Mohr — 60 + 1/8. 190	84 mm
Saturación a 22° C	19,8

A base de estos datos se calculan los diferentes factores:

$$\text{Lang} = \frac{2282}{19,8} = 115,25 \quad \text{Limite entre semihúmedo y húmedo}$$

$$\text{Meyer} = \frac{2282}{19,8 - 14,5} = 530 \quad \text{suelos pardos forestales y región del atlántico}$$

Thorwaite	Wild	Mohr
Indice de la humedad	$\frac{190}{38,9} = 4,8$	$\frac{190}{84} = 2,2$
Indice de la temperatura	$\frac{38,9}{22,1} = 1,76$	$\frac{84}{22,1} = 3,8$

Los suelos corresponden en parte al clima semihúmedo y húmedo, es decir coinciden con los factores de Land y Meyer, pero en ningún caso con los índices de Thornwaite en la forma dada por Storie en su conferencia en Medellín. Naturalmente estos índices varían, según el uso de centímetros y centígrados, de inches y grados Fahrenheit; la transformación de una unidad en otra, no ofrece ninguna dificultad, pero el cociente es muy distintivo y requiere otra clasi-

ficación. También es posible, que la mayor evaporación de la zona tropical necesite otra interpretación, que la usada para el clima templado.

Jenny (1941) menciona también los dos factores de Thornwaite, pero da fórmulas distintas.

Índice de precipitación:

$$I = \sum_{m=1}^{m=12} \frac{P}{T-10} \Bigg|_n^{10/9}$$

P= Precipitación mensual en pulgadas

T= Promedio mensual de la temperatura en ° Fahrenheit

n= número de meses

Índice de temperatura:

$$I = \sum_{m=1}^{m=12} \left(\frac{T}{4} \right)_n$$

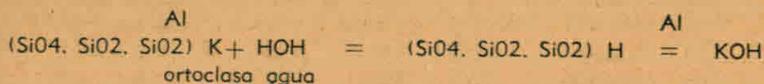
T= Promedio mensual de la temperatura.

En el caso de que la temperatura sea inferior a 32° F., se usa el factor (T — 32).

N= Número de meses.

- 11) Yearbook of Agriculture 1941, ya citado.
- 12) WIEGNER, Georg: Boden und Bodenbildung in kolloidalchemischer Betrachtung. V. edición. Dresden y Leipzig 1929.
- 13) PALLMANN, H. Ueber: Bodenbildung und Bodenserien, in der Schweiz, Die Ernährung der Pflanze, tomo 30, Números 13, 14. Berlín 1934.

Según Pallmann, la meteorización química comienza con una hidratación de los minerales, es decir, el agua se interpone en la estructura del mineral y aumenta la distancia poco a poco y afloja la estructura. Finalmente los iones más extremos entran en disolución. Paralelamente con la hidratación va la hidrólisis con su intercambio de iones de hidrógeno del agua con metálicos de mineral, especialmente de los álcalis.



En segundo lugar, el agua disuelve el aluminio en forma de hidrosol Al(OH) 3, y el hierro en forma semejante. La salida del aluminio hace derrumbar la estructura de la ortoclasa el radical entra en disolución en forma de hidrosol nSiO2.mH2O. De esta manera, el agua disuelve los elementos monovalentes (álcali) y bivalentes (Ca, Mg, Fe ferroso en forma electrolítica, y los trivalentes y el silicio constituyen hidrosoles. Naturalmente esta acción del agua está apoyada por el oxígeno y el anhídrido carbónico.

14) Se usa los nombres de gredas, limo, arcilla en el sentido siguiente: Según Atterberg, la arcilla es la fracción del suelo más fina, es decir inferior a 0,002 mm. La clasificación pedológica se refiere únicamente a tamaño y se compone de arcilla coloidal y cristalina, cuarzo y mica. Esta arcilla pedológica es muy variable en su composición; mientras que la arcilla en el sentido mineralógico es un silicato de aluminio y de hierro hidratado.

El limo comprende las partículas inferiores a 0,01 mm y según Atterberg su cantidad sirve para la clasificación de los suelos: arenosos con menos de 20% de limo, gredosos con 20 a 50%, y arcillosos con más de 50%.

15) La pedología distingue principalmente de cada suelo 3 horizontes: el propio suelo o capa vegetal (A), el subsuelo (B) y la roca madre (C). Muchas veces es necesario una subdivisión, entonces se agrega una cifra a la letra: Ao= la capa de materia orgánica encima del suelo; A3, B1: zona de transición del suelo A3 hacia el subsuelo, o del subsuelo hacia el suelo B1. La letra G indica la presencia de agua libre en el suelos o subsuelo.

16) SCHAUFELBERGER 1944, ya citado. pág. 248 y siguientes.

17) Los índices encontrados de cada serie son los siguientes:

1. Clima seco:

*	a	h	l	c	
950	107	5	92	3	Anapoima
940	141	4,5	94,5	1	Tena
947	152	3,5	93	3,5	El Colegio
928	165	5,5	93	1,5	La Mesa
1028	199	3,5	93	3,5	Fugasugá
1070	222	4	94	2	Toro
1063	250	6,5	87,5	6	Cerrito V.
1102	261	7	91	2	Manizales
942	267	7,5	90	2,5	La Mesa
903	283	4	92	4	Ortega
1082	285	7,5	89	3,5	Pradera
1083	302	8	87,5	4,5	Pradera
662	306	8	90	2	Bolívar A.
902	323	5	90	5	Ortega
926	327	5	91,5	3,5	Balboa
736	389	5	93	2	Gramalote
747	390	8	90	2	Convención
904	421	7	86	7	Ortega
1068	458	9	87	4	Bolívar V.
1062	461	6	93	1	Cerrito V.
1067	477	8,5	86,5	5	Bolívar V.
1061	482	8,5	89	2,5	Cerrito V.
744	506	5,5	92	2,5	Ocaña
630	517	6	92	2	Medellin
750	528	9,5	83	7,5	El Carme S.
734	580	7	88	5	Durania
1066	605	11	84	5	Bolívar V.
731	633	7	83	10	Cúcuta
905	634	7,5	82,5	10	Ortega
859	669	9,5	89,0	1,5	Ibagué
655	681	10	84	6	Titiribí
732	700	10	90	0	Cúcuta
1072	700	9,5	87	3,5	La Unión V.
901	705	12	87	1	Ortega
626	713	9	81	10	Ituango
661	726	11,5	83	5,5	Bolívar A.

*	a	h	l	c	
671	817	11	84	5	Concordia
708	825	15	74	11	Venecia
1069	900	11	81	8	Bolívar V.
896	975	15	81,5	3,5	Rovira
870	987	13	83	4	Libano
745	1330	8,5	80	11,5	Ocaña

Tipos de este grupo: suelos grises, alcalinos blancos y negros, solonetz, solonchak, o sus equivalentes.

2. Clima semiárido:

*	a	h	l	c	
1064	154	8,5	89,5	2	Cerrito V.
957	204	9,5	90	0,5	Viotá
738	219	8	90	2	Gramalote
966	222	9,5	90	0,5	San Francisco (C.)
951	266	8	90	2	Anapoima
1109	274	11	83	6	Cali
930	279	11	85	4	La Mesa
1073	281	10	86	4	La Unión V.
1065	295	11,5	85	3,5	Cerrito V.
1101	298	9,5	89,5	1	Manizales
1075	308	8,5	89	2,5	Yotoco
1074	311	11,5	84	4,5	Yotoco
1078	322	11,5	85	3,5	Dagua
727	369	11,5	88	0,5	Salazar
722	378	12	82,5	5,5	Chinácota
1057	423	12	82,5	5,5	Florida
1125	446	11,5	85	3,5	Venecia
1126	448	10	86	4	Venecia
920	449	11	88	1	Inzá
1071	452	10	85,5	4,5	La Unión V.
857	481	11,5	86	2,5	Ibagué
725	494	15	81	4	Chinacota
623	517	14,5	80	5,5	Ituango
1128	517	11	86	3	Venecia
729	554	14	82	4	Salazar
1112	605	15,5	83	1,5	Moniquirá
882	625	14	81	5	Falán
687	616	12,5	87	0,5	Andes
1127	630	15,5	80	4,5	Venecia
748	641	12,5	83	4,5	Convención
659	713	16,5	78	5,5	Abejorral
973	801	14,5	81	4,5	La Vega
856	870	19,5	77,5	2	Libano
931	975	22	77	1	La Mesa
742	1200	17	78	5	Bochalema
669	1350	23	75,5	1,5	Santa Rosa A.
891	1830	21	77	2	Ibagué
858	2344	18	71	11	Ibagué

Tipos de suelos pertenecientes a este grupo: castaño, chestnut pradera o sus equivalentes

3, Clima semihúmedo:

*	a	h	l	c	
958	70	6,5	93	0,5	Manizales
952	84	7	92,5	0,5	Anapoima
983	111	9	89,5	1,5	Anolaima
900	173	9	88	3	Ortega
929	184	7	91,5	1,5	La Mesa
933	196	9,5	90	0,5	Anolaima
949	203	10,5	88,5	1	Anapoima
945	243	12	85,5	2,5	Tena
664	252	12,5	86	1,5	Bolívar A.
946	266	14	83,5	2,5	Tena
658	275	14	85	1	Abejorral
1136	281	17,5	81	1,5	Venecia
958	293	15,5	84,5	0,5	Viatá
970	295	17,5	82	0,5	La Vega
1111	295	15	83,5	1,5	Moniquirá
1148	316	13,5	84	2,5	Venecia
653	322	16,5	79	4,5	Titiribí
622	331	16	81	3	Ituango
1117	333	17	81,5	1,5	Venecia
914	340	13,5	84,5	2	Inzá
936	341	15,5	80	4,5	Anolaima
1135	351	20,5	77,5	2	Venecia
975	362	18,5	81	0,5	La Vega
1076	369	23,5	73,5	3	Darién
1144	369	19,5	79,5	1	Venecia
1079	381	22	76	2	Dagua
968	388	15	80	5	San Francisco Cund.
1122	388	18	80	2	Venecig
683	392	16,5	79	4,5	Andes
1133	392	20	78	2	Venecia
1143	410	17	80	3	Venecia
1121	411	20,5	76	3,5	Venecia
1119	412	16	82	2	Venecia
1142	413	20	77	3	Venecia
1060	418	16,5	80	3,5	Cerrito V.
455	426	16	82,5	1,5	Chinchiná
1156	439	18	79,5	2,5	Venecia
1111	452	19	77,5	3,5	Venecia
1134	464	21,5	76	2,5	Venecia
1105	468	17,5	74	3,5	Pereira
674	471	23,5	73	3,5	Andes
1149	474	20	79	1	Venecig
643	474	17	79,5	35	Sonsón
1158	474	16	81	3	Venecia
619	481	20	77	3	Ituango

	a	h	l	c	
730	481	18	79,5	2,5	Cucutilla
1151	495	25	73	2	Venecia
1153	495	18	79	3	Venecia
1106	499	20	77,5	2,5	Pereira
663	502	21	74,5	4,5	Bolívar A.
1124	502	20	76,5	3,5	Venecia
1154	502	18,5	78,5	3	Venecia
654	504	19	78	3	Titiribí
1157	509	20	79	1	Venecia
1137	522	23,5	74	2,5	Venecia
1113	525	18	79,5	2,5	Venecia
1131	533	20	76	4	Venecia
728	542	25	73	2	Salazar
1118	549	22,5	75	2,5	Venecia
1107	553	23	73	4	Pereira
1132	553	17	80,5	2,5	Venecia
1116	558	21,5	75	3,5	Venecia
1114	562	23,5	72,5	4	Venecia
1147	562	24,5	71	4,5	Venecia
1108	566	26	72	2	Manizales
1112	575	24	72	4	Venecia
682	576	25	70	5	Andes
935	585	24	74	2	Andes
935	585	24	74	2	Anolaima
632	585	24	74	2	Medellín
1145	585	27	68,5	4,5	Venecia
1115	594	18,5	78	3,5	Venecia
1150	594	27	70	3	Venecia
1110	600	22	77	1	Moniquirá
631	609	19,5	77,5	5	Medellín
1120	609	26	70	4	Venecia
739	613	18	81	1	Lourdes
620	624	20	78,5	1,5	Ituango
1130	624	18,5	77	4,5	Venecia
962	630	23,5	76	0,5	El Colegio
941	659	29	70	1	La Mesa
1138	675	27,5	68	4,5	Venecia
1129	687	25	71	4	Venecia
908	694	23	76	1	San Antonio de Tensa
694	700	20	77	3	Támesis
922	700	24,5	74	3	Ibagué
899	706	23	74,5	2,5	Rovira
465	713	24,5	74,5	1	Chinchiná
470	713	24,5	75,5	0	Chinchiná
451	726	24,5	74,5	1	Chinchiná
454	733	25	74	1	Chinchiná
469	747	25,5	72	1	Chinchiná
906	747	23,5	74,5	2	Ortega

*	a	h	l	c	
453	762	26	73	1	Chinchiná
629	769	21	76,5	2,5	Medellía
861	769	27	69,5	2,5	Ibagué
678	770	26	69,5	4,5	Betania
459	785	26,5	71,5	2	Chinchiná
642	785	26	69	5	Sonsón
749	800	20,5	78,5	1	Convención
464	801	27	70	3	Chinchiná
641	801	27	70	3	Sonsón
746	801	22	74	4	Ocaña
692	809	22,5	73	4,5	Támesis
447	817	27,5	71,5	1	Chinchiná
456	833	28	70	2	Chinchiná
912	834	22,5	74,5	3	Inzá
726	851	24	74	2	Chinácota
855	861	31	65	4	Libano, anal. químico
887	861	27,5	69,5	3	Villahermosa
863	869	22,5	77,5	0	Ibagué
670	870	32	67	1	Don Matías
450	890	29,5	69,5	1	Chinchiná
963	890	35	62	5	Quimbaya
640	890	30	69	1	Sabaneta
862	910	27	60	3	Ibagué
871	910	34,5	60,5	5	Libano
458	931	31	68	1	Chinchiná
468	931	31	68	1	Chinchiná
705	931	30	66	4	Valparaiso
457	941	31	68	1	Chinchiná
462	942	31,5	65,5	3	Chinchiná
448	987	32,5	65,5	2	Chinchiná
452	987	32,5	65,5	2	Chinchiná
471	987	32,5	65,5	2	Chinchiná
886	999	38,5	61,5	0	Falan
862	1011	24	66,5	4,5	Ibagué
460	1021	34	64	2	Chinchiná
860	1022	26,5	73,5	0	Ibagué
666	1023	31,5	67,5	1	Angostura
461	1050	34,5	65,5	0	Chinchiná
466	1077	36	62	2	Chinchiná
449	1134	37	62	1	Chinchiná
473	1134	37	62	1	Chinchiná
721	1150	30	65	5	Chinácota
911	1215	33	63	4	Inzá
475	1225	36	60	4	Chinchiná
467	1233	40	59	1	Chinchiná
474	1309	42	56,5	1,5	Chinchiná
700	1450	36	61	3	Támesis
733	1540	33	65,5	1,5	Durania

Este grupo de suelo representa indudablemente el equivalente tropical del chernosém, su fertilidad explica su abundancia en la zona cafetera. Los suelos amarillos, rojos y tierras rojas, se distinguen de los anteriores por su edad. Clima húmedo.

Nº	a	h	l	c	
967	138	16	81	3	San Francisco, Cund.
956	188	20	79,5	0,5	Viotá
927	189	14,5	84,5	1	La Mesa
740	253	16	81	3	Chinácota
959	287	25	74,5	0,5	Viotá
972	349	24	76	0	La Vega
919	361	22	76,5	1,5	Inzá
1076	362	25	71,5	3,5	Darién
628	381	24,5	70,5	5	Inzá
711	410	27,5	71,5	1	San Carlos
1140	459	34	61	5	Venecia
897	461	26	72	2	Rovira
680	468	34,5	64	1,5	Andes
963	478	28,5	71,5	0	San Francisco, Cund.
1093	506	31,5	66	2,5	Sevilla
1080	521	45	51,5	3,5	Dagua, anál. químico
681	525	28	68	4	Andes
672	558	31	66	3	Concordia
691	580	30	65	5	Támesis
866	597	34,5	60,5	5	Anzoátegui
616	599	38	58	4	Toledo
890	599	31,5	67	1,5	Villahermosa
909	599	31,5	67	1,5	Inzá
1155	604	31	66	3	Venecia
915	604	42,5	52,5	5	Inzá
715	614	34	65,5	0,5	San Carlos
1139	625	30	65	5	Venecia
1146	630	33,5	63	3,5	Venecia
892	644	32	64	4	Ibagué
1100	646	47	50	3	Caicedonia
1152	646	30,5	67	2,5	Venecia
710	657	29,5	70	0,5	Salamina
943	700	40	60	0	El Colegio
932	713	36,5	62,5	1	Zipacón
921	733	35	63	2	Inzá
907	740	40,5	57	2,5	Ortega
665	763	38,5	61,5	0	Yarumal, anál. quím.
883	770	43,5	52	4,5	Falan
618	785	36	64	0	Toledo
1123	793	34	61,5	4,5	Venecia
707	809	33	65	2	Valparaíso
706	809	33	65	2	Valparaíso
702	890	45,5	51,5	3	Támesis
675	963	41	55	4	Andes

Nº	a	b	l	c	
869	990	42	53	5	Santa Isabel
888	1000	40	58	2	Villahermosa
868	1200	46,5	52	1,5	Venadillo
1096	1230	50	50	0	Sevilla

En este grupo se hallan, según la edad, suelo pardo-forestal o su equivalente, arcillas rojas o lateritas.

Clima muy húmedo.

Nº	a	b	l	c	
723	230	38	59,5	2,5	Chinácota
724	240	38	59,5	2,5	Chinácota
1081	300	68	31,5	0,5	Dagua, anál. químico
617	386	37	62,5	0,5	Toledo
875	468	46	52,5	1,5	Fresno
660	533	51,5	48	0,5	Abejorral
615	558	44	55,5	0,5	Toledo
953	571	59	40	1	Viotá
954	596	55	43	2	Viotá
668	604	58	42	0	Santa Rosa
614	615	48	49	3	Toledo
879	619	55,5	40	4,5	Fresno
964	622	54	44	2	San Francisco, Cund.
955	675	58	40	2	Viotá
874	687	58	38	4	Fresno
878	706	59,5	39	1,5	Fresno
1087	749	55	44	1	Sevilla
867	762	63,5	34,5	2	Santa Isabel
877	762	52	45,5	2,5	Fresno
712	769	59	38,5	2,5	San Carlos
667	784	58,5	40,5	1	Yarumal
1094	793	59	38	3	Sevilla
1090	809	64,5	34,5	1	Sevilla
889	850	58	40	2	Villahermosa
1088	871	63	35	3	Sevilla
1089	941	70	26	4	Sevilla
849	953	60	40	0	Libano
881	965	55	43	2	Fresno
884	1000	54	44	2	Falan
652	1036	51	46,5	2,5	Titiribi
703	1037	61	37	2	Valparaiso
852	1090	65	34	1	Libano
1086	1392	59,5	39	1,5	Sevilla
709	1821	58	38	4	Angelópolis

A este grupo pertenecen los suelos negros (de humus ácido o bruto), los suelos grises blanqueados y podsoles del clima templado y frío, las lateritas y arcillas rojas del clima caliente, el ortstein, etc.

Suelos calcáreos y rendzina.

Nº	a	h	l	c	
948	265	11,5	76,5	12	EJ Colegio
1077	435	27	66,5	6,5	Darién
894	471	13	57	30	Rovira
898	468	33	61	6	Rovira
917	484	24,5	69	6,5	Inzá
913	493	18	76	6	Inzá
657	494	41	48	11	Titiribí
685	502	17	77	6	Andes
934	550	56	77	6	Anolaima
1085	609	43,5	48	8,5	Sevilla
673	615	25	68	7	Concordia
916	635	44	44	12	Inzá
684	660	39,5	52	8,5	Andes
696	713	23	68	9	Támesis
676	719	55,5	36,5	8	Andes
1098	733	37	54	9	Sevilla
877	740	54	40	6	Fresno
677	747	18	71	11	Andes
1058	757	23	68,5	8,5	Florida
1095	777	57	37	6	Sevilla
693	800	23	68	9	Támesis
720	801	19	75	6	Chinácota
1092	809	65	30	5	Sevilla
853	817	27,5	66	6,5	Libano
688	819	32	62	6	Andes
851	826	61	33	6	Libano
690	834	45,5	48,5	6	Medellín
918	843	50,5	39,5	10	Inzá
1091	862	55,5	39	5,5	Sevilla
864	889	63	31	6	Ibagué
865	890	45	48	7	Ibagué
1099	931	43,5	48,5	8	Sevilla
880	941	43	50	7	Fresno
621	952	41	50,5	8,5	Ituango
679	975	31,5	51,5	17	Betania
695	1000	45	49	6	Támesis
854	1105	64	30	6	Libano
714	1167	49,5	35,5	15	San Carlos
1097	1222	28	66	6	Sevilla
656	1290	32	55,5	12,5	Titiribí
689	1580	47	40	13	Betania
895	1900	34	56	10	Rovira
713	2650	44,5	44,5	11	San Carlos

En los suelos sobre sedimentos terciarios y cretáceos, la caliza proviene de la roca y se trata de verdaderas rendzinas en el sentido de Jenny (véase nota Nº 19), pero también encontramos en este grupo suelos sobre andesita, monzonitas y diabases que, por su naturaleza eruptiva, no contienen carbonatos, pero sí bastante calcio. En este caso, la caliza del suelo es un producto de

su formación. Aunque el origen de los carbonatos de calcio en el suelo es diferente, su efecto es el mismo.

18) CORRENS, Carl W.: Die Tone. Geologische Rundschau, tomo 29, Nº 3/5. 1938.

Geering, ya citado.

Niggli, P. Lehrbuch der Mineralogie. Berlin 1924.

Schauferberger, 1944, pág. 26 y siguientes.

Scherf, Emil: Hydrathermale Gesteinsmetamorphose im Buda-Piliser Gebirge mit der alpinen Dynametamorphose, ídem.

Wiegner, G., ya citado.

Las arcillas coloidales, complejos de suelo o zeolitas de cambio, se forman, según Wiegner, por precipitación y coagulación de los hidrosoles de aluminio, hierro y de los ácidos silícicos. Es un producto nuevo y no un residuo insoluble. Correns trató feldespatos con agua de diferentes pH. y siempre hubo disolución completa de estos minerales, no quedó ningún resiguo arcilloso. La fórmula, muy frecuente en libros de mineralogía y geología,
 $K_2 Al_2 (Si_3 O_8)_2 + CO_2 + 10 H_2O = Al_2 H_4 Si_2 O_9 + K_2 CO_3 + 4 H_4 SiO_4$
 no corresponde al fenómeno, porque hace aparecer la arcilla como residuo insoluble. Correns subraya el hecho, que los minerales de las arcillas naturales son generalmente cristalizados y que los coloidales son excepciones raras.

Las arcillas cristalinas son:

Hidrargilita o alita	Al (OH) 3
limonita	fe (OH) 3
alofano	Al ₂ O ₃ .SiO ₂
halloysita	Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ .4H ₂ O
caolinita	Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ .2H ₂ O
beidellita	Al ₂ O ₃ .3SiO ₂ .4H ₂ O
nontronita	Fe ₂ O ₃ 3SiO ₂ 2a4H ₂ O
montmorillonita	Al ₂ O ₃ .4SiO ₂ 4 a 5 H ₂ O (Ca/Mg)

La arcilla X, muy frecuente en los suelos, corresponde, según Correns, a mica meteorizada, pero conservando todavía su estructura. El poder sorptivo es muy distinto:

caolinita	hasta 15 milliequivalentes por 100 gr.
mica y glauconita	" 20 " "
montmorillonita	" 100 " "
humus	" 150 " "

En parte, esta sorpción es un fenómeno de superficie, porque la trituración aumenta la cantidad de iones retenidos, y Geering cita el siguiente ejemplo:

Material	iones absorbidos en el miliequivalente por 100 gr.			
	Ca	Mg	K	Na
Bentonita Nº 7º	106	0	0	0
pulverizado durante 72 h.	106	222	trazas	trazas
Bentonita potásica	31,8	2,0	0,9	0
pulv. durante 30 h.	32,3	38,4	29,0	2,3
Coloides de suelo	42,8	2,7	0,3	1,5
pulv. durante 30 h.	46,7	47,1	21,4	5,0

Según Niggli, el estado estable de la materia es el cristalino. Por lo tanto hay que esperar que la materia tiende a formar cristales, es decir, que las arcillas coloidales se transforman en sustancias cristalinas. Probablemente estas reacciones se verifican con una reducción de agua. Es un hecho que la cantidad de agua en las arcillas, coloidales y cristalinas, es variable: mojándolas se hinchan y secándolas se rajan, es decir, la hidratación y deshidratación cambian su volumen. De los elementos aluminio, hierro y silicio, se conocen los siguientes minerales:

Hidrogel	Limonita $\text{Fe}(\text{OH})\cdot 32n\text{H}_2\text{O}$	Bauxita $\text{Al}(\text{OH})\cdot 3n\text{H}_2\text{O}$	Opalo $\text{SiO}_2n\text{H}_2\text{O}$
Hidratos	Xantosiderita $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Hidrargilita $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Kacholong
	Xantosiderita $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$		
	Goetita $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot \text{H}_2\text{O}$	Diaspor $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{H}_2\text{O}$	Calcedón
	Hidrohematita $\text{Fe}_2\text{O}_3\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$		
Oxidos	Hematita Fe_2O_3	Coridón Al_2O_3	Cuarzo SiO_2

Para los colides minerales del suelo existe talvez este orden:

Hidrosoles—Hidrogel—Montmorrillonita—Caolinita.

Bemmelen observó la deshidratación de geles de diferentes edades y halló que el poder de sorpción se disminuye con la edad. El mismo fenómeno produjo también el calentamiento repetido. Este introduce la energía necesaria para la cristalización del gel, en parte o totalmente.

Aarnio publicó un fenómeno semejante. Calentó durante 4 horas el hidrogel de hierro a ciertas temperaturas y determinó la cantidad del agua y después la higroscopicidad:

Temperatura	Color	Agua %	Higroscopicidad %
Seco al aire	pardo	22,5
100°	"	10,0	32,12
200°	naranjaado	1,54	42,24
300°	"	1,06	29,62
400°	rojo-naranjaado	0,72	19,48
500°	"	0,70	6,13
600°	rojo	0,20	0,94
700°	"	0	0

Estas observaciones demuestran que la temperatura no solamente causó una simple deshidratación física, sino que produjo un cambio químico, que, por su parte, influyó en las propiedades. Probablemente hubo cristalización. La higroscopicidad informa sobre la cantidad de agua retenida y permite calcular la fórmula:

Temperatura	Higroscopicidad	Fórmula	Mineral correspondiente
100	32,12	Fe ₂ O ₃ 2,8 H ₂ O	hematita parda
200	42,24	Fe ₂ O ₃ 3,9 H ₂ O	?
300	29,62	Fe ₂ O ₃ 2,6 H ₂ O	
400	19,48	Fe ₂ O ₃ 1,7 H ₂ O	Xantosiderita
500	6,13	Fe ₂ O ₃ 0,5 H ₂ O	Hidrohematita
600	0,94	Fe ₂ O ₃ 0,1 H ₂ O	
700	0	Fe ₂ O ₃	hematita

Esta serie de hematita—xantosiderita—hidrohematita—hematita, corresponde a la ya mencionada, lo que hace en el laboratorio la elevada temperatura, hace el tiempo en la naturaleza.

La presencia de la arcilla X en muchos suelos fértiles, demuestra su juventud, mientras que la presencia de montmorillonita ya indica una cierta edad; mientras que la aolinita y alita se encuentran en suelos fósiles. Esta cristalización explica también el cambio del color de los suelos en el curso de su formación.

19) JENNY, Hans: Bemerkungen zur Bodentypenkarte der Schweiz. Landwirtschaftliches Jahrbuch der Schweiz. 1928, N° 3.

Jenny se refiere a los suelos sobre rocas calcáreas (calizas y esquistos) y subraya el fuerte lavado de caliza y propone el uso del nombre rendzina, porque la denominación "humífero calcáreo" tiene el inconveniente de la palabra calcáreo: muchas veces este mineral ya está lavado y los viejos suelos "humífero calcáreos" necesitan una fuerte encalada. Pero el autor anota que hay oposición: "El Prof. Kraus en Tharandt no está conforme que este suelo calcáreo suizo lleve el nombre rendzina, porque se cambia rápidamente. Se debe limitar el uso de este concepto para suelos más secos y más estables. Otros investigadores, Glinka, Miklaszewski, Stremme, comparten más bien la opinión del autor Jenny). La discusión demuestra, que se trata de un tipo no fijado todavía y que éste requiere futuros estudios minuciosos.

20) SCHAUFELBERGER, P. Sobre el agotamiento de los suelos en la zona tropical. NCA. San Pedro de Montes de Ocas, Costa Rica. 1937.

21) JENNY 1928 y 1941, Palmann, ya citados.