SUELOS FERRALITICOS Y SUELOS FERRUGINOSOS DE LA ZONA INTERTROPICAL Y TROPICAL HUMEDA

ASPECTOS APLICADOS DE SU GENESIS

Curso dictado en el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT)

Por Asesor Pedólogo:
Philippe Blancaneaux
ORSTOM-Paris-Francia
MARNR-Div.de Suelos

Caracas, octubre-noviembre 1979

Este curso ha sido elaborado a partir del ciclo de conferencias sobre los suelos de la zona intertropical por el Dr. Pierre Segalen de la ORSTOM en la Escuela Nacional de Agricultura - Colegio de Postgraduados, Chapingo, México (1964). Reactualizado a partir de recientes y varios informes.

INDICE

Pág.

CAPITULO I

1.- Características comunes de los paises de la zona Intertropical. 1

2.- Procesos de formación de suelos en la zona Intertropical. 16

2.1 Acumulación de materia orgánica 16
2.2 La calcificación. 18
2.3 Salinización y alcalinización. 19
2.4 El Hidromorfismo. 20
2.5 Lixiviación y podzolización. 20
2.6 La ferralitización. 21
2.7 Ferruginización. 22
2.8 Induración. 22

3.- Caracterización de los Horizontes. 22

CAPITULO II

Los Suelos Ferralíticos (1ra.Parte)

1.- Historia de nuestros conocimientos respecto a los Suelos Ferralíticos. 27

2.- Morfología de los Suelos Ferralíticos. 34

2.1 El Perfil. 34
2.2 Características generales de perfiles de suelos ferralíticos. 35
2.3 Los horizontes. 37

Pág.

CAPITULO III

Los Suelos Ferralíticos (2da.Parte)

1.- Ferralitización. 49

1.1 Las condiciones que prevalecen a la Ferralitización. 49
1.2 Alteración de algunos minerales primarios en los Suelos ferralíticos. 61
1.3 Síntesis y alteración de algunos minerales secundarios. 63
1.4 Los procesos de la Ferralitización. 69

Conclusiones. 79

CAPITULO IV

Los Suelos Ferralíticos (3ra.Parte)

1.- Los procesos secundarios que acompañan a la Ferralitización. 81

1.1 El concrecionamiento. 81
1.2 El acorazamiento. 84
1.3 La acumulación de materia orgánica. 90
1.4 La lixiviación. 91

2.- Las fases de juventud de los Suelos Ferralíticos. 92

3.- Definición de los Suelos Ferralíticos. 93

CAPITULO V

Los Suelos Ferruginosos Tropicales

1.- Definición. 95

2.- Morfología de los Suelos Ferruginosos Tropicales. 96

3.- Estudio de los horizontes de los Suelos Ferruginosos Tropicales. 96

4.- Los Procesos de Ferruginación. 98

Pág.

4.1 Condiciones generales de la ferruginación. 98
4.2 Alteración y síntesis de los minerales. 100
4.3 Los procesos de ferruginación por horizontes. 101

5.- Definición general de los Suelos Ferruginosos Tropicales. 103

CAPITULO VI

Los Suelos y los Cultivos en la Zona Intertropical

1.- Estado del Suelo antes y después del desmonte, en la zona tropical húmeda. 104

2.- Los Principales Cultivos. 108

3.- Problemas de Manejo de los Suelos Ferralíticos y Ferruginosos en los Trópicos Húmedos (Oxisoles y Ultisoles). 115

3.1 Desmonte. 115
3.2 El manejo del suelo. 117
3.3 El Agua y el Suelo. 118
3.4 Daños causados a los suelos durante el desmonte y comienzo de su uso. 119
3.5 Mantenimiento y/o mejoramiento del nivel de fertilidad. 120
3.6 Los Cultivos Principales. 125

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.- Características comunes de los paises de la zona intertropical

Factores de formación de suelo.

Si se examinan los paises pertenecientes a la zona intertropical, se puede notar que a pesar de algunas diferencias, presentan un considerable número de situaciones comunes. Esto hace que los resultados obtenidos en un continente, muy amenudo sean aplicables a otros, debido precisamente a estas similitudes.

Aunque más adelante se dará una definición de la zona intertropical, podemos decir que ella comprende:

- La mayor parte de Africa, a excepción del norte y extremo sur de ese continente.
- El sur y sur-este de Asia (India, Malasia, Vietnam, Thailandia, China del sur).
- Gran parte de Australia.
- La mayor parte de las Islas del Pacífico.
- Centroamérica, las terceras partes de América del Sur y las Antillas.

A este conjunto de paises y continentes, se les designará con la expresión zona intertropical.

Examinaremos cuales son los factores de formación de suelo en esta zona:

Clima:

Es la resultante de la acción en un punto dado del globo, del calor recibido, de la humedad de la atmósfera y de la agitación de éste. En consecuencia, el clima depende antes de todo de: el calor, la lluvia y el viento.

El calor recibido en un punto del globo depende de la inclinación de los rayos solares y de la duración del tiempo de exposición, éste dependerá de la duración del día y de la noche.

La zona intertropical es la zona del globo donde los rayos solares son más cercanos a la normalidad; es en esta zona donde existe la menor diferencia entre la duración del día y de la noche. Es de esperarse que en esta zona ocurran las temperaturas más elevadas del globo con una variación mínima durante el año (la variación diurna es más importante que la variación anual). Solo el relieve aportará perturbaciones notables en la temperatura.

En la zona intertropical se distingue a nivel del ecuador una zona de baja presión hacia el cual convergen los vientos cargados de humedad. Esta zona ecuatorial es muy lluviosa.

A determinada distancia del ecuador (20° y 40°) tanto al norte como al sur, se encuentran dos zonas de altas presiones, a partir de las cuales los vientos divergen y son secos. Se tienen siempre una zona muy lluviosa y

dos desérticas y dentro de ellas se pueden encontrar todas las variantes intermedias.

Los vientos en la zona intertropical soplan con notable regularidad (siendo ésta afectada en ciertas partes del globo por perturbaciones ciclónicas).

Los vientos soplan de las zonas de altas presiones hacia el ecuador. Estos vientos son desviados por la rotación de la tierra y terminan por llevar la dirección Este-Oeste. A estos vientos se les denomina alisios; cuando estos vientos pasan el ecuador, cambian de dirección y se les denomina monzones.

Los vientos que aportan las lluvias regularizan las actividades humanas en grandes porciones de la zona intertropical.

Se han mencionado numerosos tipos de clima en la zona intertropical. Nosotros nos referimos en forma esquemática sólo a tres:

- Clima ecuatorial: Lluvias constantes o casi constantes. Precipitación mayor de 1.500 mm. Temperatura del orden de 26°.
- Clima tropical: Dos estaciones bien definicas (una lluviosa con precipitaciones de 0,5 a 1,5 m, la otra muy seca) La temperatura es mayor de 28°.
- Clima desértico: Lluvias escasas o ausentes (menos de 100 mm). Temperatura generalmente elevada. Variación diurna fuerte.

Este esquema de la distribución climática es válida para toda la zona intertropical. El estudio de las estaciones debería dar una repartición de bandas climáticas casi geométricas, sin embargo, este no sucede debido a la de-

sigualdad de las masas continentales, de la distribución de tierras y mares y de las cadenas de montañas que perturben la circulación de las masas de aire.

No obstante se puede decir que, en forma esquemática la zona intertropical es la parte caliente del globo, situada a un lado y otro del ecuador y limitada tanto al norte como al sur por un desierto. Se comprueba lo siguiente:

En Africa	:	Sahara al norte, Kalahari-Namaqualand al sur.
En Australia	:	Desierto del centro y del oeste.
En Asia	:	Desierto al norte de las montañas.
En América	:	Desierto al NO de México, Chaco, al N de Chile.

Los organismos vivientes.

Pueden ser tanto animales como vegetales. Los animales que tienen importancia en la Pedología son esencialmente los gusanos (nemátodos) y los insectos. Los gusanos desplazan cantidades considerables de tierra y así mismo una buena cantidad atraviesa el tubo digestivo de ellos.

Los insectos principales en estos suelos están constituidos por las hormigas y las termitas. Su papel es doble. Consumen cantidades considerables de materia orgánica que después de haber atravesado sus aparatos digestivos son devueltas al suelo.

Por otra parte, forman galerías innumerables, llegando a menudo a constituir con lo extraído montículos de tamaño regular. La constante destrucción y reconstrucción de estos montículos contribuyen a una remoción de la parte superior del suelo que esta muy lejos de ser despreciable. Bachelier en Francia y Nye en gran Bretaña insistieron mucho sobre el papel de la fauna en las zonas tropicales. Esta se encuentra en la zona intertropical.

La otra gran división de los organismos corresponde a los vegetales y dentro de éstos encontramos microorganismos, como las bacterias de las que ahora no se insistirá. En la zona intertropical existe además hongos, líquenes, musgos, algas, en cantidades considerables. Los helechos presentan también gran adaptación y son muy numerosos. Las gymnospermas se encuentran en regiones más frescas a mayor altitud. Las angiospermas tienen en la zona intertropical un desarrollo extraordinario tanto por el número de especies, como por el número de individuos en tamaño. Los vegetales viven juntos constituyentes grupos, diferentes por su aspecto (formación) y su composición (asociación).

Son las formaciones, las que nos interesan, ya que la composición florística puede variar de un continente a otro, pero no así la fisionomía, que es bastante uniforme.

Los principales tipos de formación en la zona intertropical son los siguientes:

- La selva densa : formación cerrada donde árboles y arbustos están casi en contacto. La altura de estos árboles puede sobrepasar a los 50 m. No hay gramineas en esta formación. Se distingue la selva densa siempre verde, semidecídua y seca, y la selva densa de montaña. Las formaciones pantanosas están constituidas por manglares, que se encuentran en las partes bajas de la costa, y principalmente en las zonas inundadas y por la selva marginal de los grandes ríos.
- Los matorrales o "bush" de xerófitas: Constituyen las poblaciones cerradas compuestas de arbusto con follaje siempre verde o decíduo, dificilmente penetrables.
- La sabana : Está constituida de hierbas con una altura mínima de 80cm asociadas a árboles y arbustos.
- La estepa : Es una formación abierta con abundancia de hierbas de poca altura y escasa. Con estas hierbas pueden asociarse árboles y arbustos generalmente espinosos, plantas suculentas, etc.
- La pradera: Es una formación de grámineas desprovistas de árboles debido generalmente a un exceso de agua. Se le puede encontrar también sobre las montañas.

Es importante distinguir entre las formaciones primarias y las secundarias. Las formaciones primarias están en equilibrio con los factores externos, principalmente tratándose en general de una selva o de un matorral. Las formaciones secundarias resultan de la destrucción de las formaciones primarias producida generalmente por el hombre. En la zona ecuatorial la selva primaria está reemplazada por una selva secundaria de composición y aspecto diferente. En la zona tropical, la selva primaria está reemplazada por la sabana. En la próximidad de la zona desértica la vegetación primaria (selva, matorral o "bush") está reemplazada por una estepa.

Zonas de vegetación en la zona intertropical.

A la zona ecuatorial corresponde la selva densa siempre verde con una cantidad considerable de especies y con árboles de gran tamaño. Las especies importantes para la explotación forestal están siempre muy dispersas y la buena calidad de la vegetación no está siempre ligada al tipo de suelo.

La destrucción de esta selva trae consigo el reemplazamiento por otro de composición diferente ya que las lluvias frecuentes impiden que la nueva vegetación se queme. A medida que se aleja uno del ecuador, la estación seca se alarga. La vegetación primaria es una selva densa semi-decidua y después decídua. Los árboles son menos altos y menos atractivos. Si esta selva es destruida, es entonces reemplazada por la sabana. Las hierbas una vez secas arderán e impedirán el restablecimiento de la selva. Solamente subsistirán a-

quellas hierbas con un sistema radicular profundo resistente al fuego y aquellos árboles cuya corteza sea suficientemente maciza. Mucho más adelante, la estepa con hierbas y árboles a menudo espinosos, será la única formación establecida y más adelante, por falta de agua, la vegetación desaparecerá casi completamente.

Esta situación es similar en toda el Africa y en Madagascar; lo mismo sucede en América y en Asia.

En cuanto a la pedogénesis hay que recordar que la distribución de la vegetación está en relación estrecha con el clima. Esta vegetación produce cantidades de materia orgánica (10-15 ton/ha en selva densa siempre verde, 5-10 ton/ha en la selva decídua). Esta materia orgánica una vez que ha caido al suelo es inmediatamente atacada por los microorganismos.

La Roca Madre.

A primera vista no hay ninguna característica que permita proveer analogías de la roca madre dentro de la zona intertropical como lo ocurrido en el caso del clima y de la vegetación.

Sin embargo, si se compara el Africa con la península de la India, Madagascar, la América del Sur, se pueden mencionar los puntos sobre salientes de estas zonas:

1.- Cada uno de estos territorios está compuesto a su vez de dos partes muy distintas; una zona más o menos horizontal, o en todo caso con relieve muy poco acentuado para superficies considerables: la otra intensamente accidentada en una superficie menor. Por ejemplo:

La planicie de la Guayana y del Brasil y como zona accidentada los Andes.

Casi toda el Africa y por otra parte los Atlas.

La península Indica y por el contrario el Himalaya.

2.- Si se examinan las rocas de diferentes zonas, se podrá notar que:

Las rocas sedimentarias de origen marino (calcárea, marga, etc.) se localizan en general en las partes accidentadas, mientras que las metamórficas y sedimentarias de origen continental constituyen el esencial del resto.

Cada continente ha tenido erupciones volcánicas básicas de gran extensión con derramamientos de basalto de muchas centenas de millares de km^2. Dekkan en la India, Basotuland en Africa, y Paraná en América del Sur.

3.- Esta similitud es atribuida por los Geólogos a una historia geológica común que se apoya en la teoría de Wegener del origen de los continentes o por lo menos sobre las teorías poco diferentes que la sucedieron. Wegener admitió que hasta el fin de la era primaria la A-

mérica del Sur, Africa, Madagascar, India y Australia formaban un solo y único bloque: el continente de Condwana.

Las razones tienen una base geométrica; es posible hacer coincidir bastante bien los diferentes pedazos al ensamblarlos. Pero estas razones son realmente geológicas.

Al final del carbonífero, un casquete glaciar hubo de recubrir los diferentes fragmentos (se encuentra una tilita contemporánea sobre los diferentes continentes), encontrándose una flora idéntica a "Glossopteris" igualmente reconocida en todas partes. Se explicaría dificilmente que los ventisqueros pudiesen cubrir lugares tan alejados como lo están actualmente y al mismo tiempo que una misma flora pudiese desarrollarse en esos lugares.

Posteriormente el continente de Gondwana se fragmentó y las partes tomaron formas casi idénticas a las que nosotros conocemos.

Estos diferentes continentes que han sido objeto de transformaciones importantes y permanentes durante la era primaria, estarán caracterizados por una estabilidad notable posteriormente. Los sedimentos que podrán acumularse serán esencialmente continentales (areniscas). Evidentemente la transgresión de la mitad del cretacico será importante en América del Sur, mientras que su efecto será de importancia en zonas limitadas de Africa Central y Occidental. En los bordes del continente Africano, el mar en el Jurásico o Eoceno podrían in-

vadir localmente al continente, sin embargo, sus efectos estarán muy limitados. El Africa estará sujeta a fenómenos volcánicos importantes y principalmente en el fin del Cretácico para ciertas zonas (Cameroun, Congo, Kenya, Etiopia, etc), mientras que en América y en Asia, el volcanismo reciente está ligado a las cadenas de montañas.

Así pués, a pesar de las variaciones locales cuya importancia no debe ser subestimada, los continentes de la zona intertropical tienen puntos comunes, particularmente sobresalientes.

- Vastos territorios planos o con relieve poco accidentado constituidos de rocas plutónicas o metamórficas.
- Cadenas de montañas recientes, todas bordeando los continentes.
- Una historia geológica común probable y un carácter continental bien definido.

Geomorfología.

Una característica importante de los diferentes continentes que resulta de lo anterior. Seguramente, no hay que exagerar mucho en esto, sin embargo, es muy cierto que la impresión general al hacer un recorrido a través del oeste y del centro de Africa es notable. En realidad, se trata de una sucesión de:

1.- Planicies que corresponden a superficies antiguas de erosión. Estas planicies están más o menos fragmentadas, elevadas, o abatidas por

fallas o por movimientos epirogénicos.

2.- Ollas de cuales algunas se están llenando y sin aperturas y otras son atravesadas por grandes ríos.

En Africa D'Hoore hizo inventario de 5 grandes depresiones, de las cuales una sola, la del Lago Tchad, no está en comunicación con el exterior. En Australia, se conocen depresiones similares. D'Hoore piensa que deben existir iguales depresiones en el "hinterland" brasileño. Esta doble existencia de planicies y de ollas constituye, en cierto grado, un factor importante en la pedología. En efecto, las planicies son favorables al desarrollo de algunos suelos ferralíticos y las depresiones son favorables a toda una gama de suelos hidromorfos y de vertisoles.

El tiempo.

Cuando examinamos la pedogénesis de los suelos de la zona intertropical por lo menos en la parte no afectada por las orogénesis recientes, no se debe perder de vista que la edad de estos suelos es considerable, es decir, que una parte importante de las rocas ha podido alterarse y originar suelos cuya edad relativa puede ser determinada (pero raramente la edad absoluta).

La acción del hombre sobre los suelos.

El estudio de la utilización de los suelos por el Hombre dentro de la zona intertropical permite ver muchas analogías que son debidas a todas estas ca

racterísticas generales anteriormente citadas. Se pueden distinguir en general dos tipos de utilización: intensiva y extensiva.

El tipo intensivo y estable está limitado a algunos deltas y playas donde se encuentra en abundancia el agua, abarcando también planicies y altura donde el clima es favorable, ya sea a la vida de las poblaciones o a las actividades agrícolas de alto valor o bien a las dos.

Pero la mayor parte de la zona intertropical está sujeta a un modo de explotación extensiva cuyos efectos serán examinados detenidamente y que son además los mismos a través de toda la zona.

Un primer tipo muy común, es la agricultura nómada con la quema después del desmonte parcial o total de la selva. Esta forma de cultivar da resultados por un lapso corto de tiempo, depués del cual el agricultor ante los rendimientos cada vez más bajos se ve obligado a desmontar otra parte. En estas condiciones y según la zona climática donde se encuentra localizada la selva, esta puede llegar a desaparecer casi completamente siendo reemplazada por la sabana o la estepa.

La ganadería no se encuentra bien desarrollada en toda el Africa, debido a las pérdidas ocasionadas por "glossinas" en particular. Pero donde se practica es necesario cuidar todos los años que las pasturas esten libres de hierbas y esto se logra con la quema de los campos. Esta forma de proceder trae como

resultado la disminución de fertilidad del suelo (destrucción de la microflora, microfauna, pérdida de C.N y de cenizas) que permanece desnudo y expuesto a las primeras lluvias del año, que son en general muy violentas y favorecen la erosión acelerada que deteriora al suelo ya bastante pobre. Sólo cuando la presión demográfica es fuerte, se toman entonces medidas conservatorias (por ejemplo al Norte de Cameroun).

Los cultivos son idénticos de un extremo al otro de la zona intertropical y su distribución depende de las condiciones climáticas, de la cantidad de agua disponible en el suelo y otras propiedades.

El arroz cultivado en abundancia en la India, lejano Oriente y Madagascar, se encuentra en todas las zonas de riego del oeste Africano, Guinea, Senegal, Mali y Cameroun, en donde se capta el agua durante la creciente de los grandes ríos.

El mijo, maíz, yuca y frijol, se cultivan en todo el Africa y América. También los cultivos de carácter industrial, algodón, hevea, palmera de aceite, café y cacao se encuentran en suelos adecuados a través de toda la zona.

Por fín los suelos tienen también características comunes dentro de toda la zona intertropical. Las estudiaremos en detalle más adelante. Así pués, podemos resumir todo lo anterior tratando de dar una definición de la zona intertropical.

La zona intertropical situada a cada lado del ecuador está limitada tanto al norte como al sur por una zona desértica o subdesértica. Está caracterizada por:

- Una temperatura media elevada con variaciones diarias superiores a las variaciones anuales.

  Las temperaturas mínimas se encuentran en el centro de la zona, las máximas al exterior.

  Las precipitaciones son muy fuertes en el centro y casi nulas en los bordes.

- Aproximadamente desde el punto de vista geológico por bloques estables continentales constituidos especialmente de rocas plutónicas o metamórficas rodeadas de cadenas de montañas jóvenes.

- Desde el punto de vista del relieve, por una sucesión de zonas más o menos planas alternando con depresiones en vía de colmatamientos.

- Por una edad antigua de las formaciones que afloran y de suelos que dan a lugar.

- Por una forma comparable de explotación de la tierra para la agricultura y la ganadería.

- Por fin, por una gama de suelos que pueden encontrarse en toda la zona.

2.- Procesos de formación de suelos en la zona intertropical

Los procesos de formación del suelo que nos interesan en la zona intertropical son: a) Los que se conocen en la zona templada con grados de intensidad algunas veces diferentes.

b) Los que son particulares en la zona intertropical.

En la primera categoría citaremos: acumulación de materia orgánica, calcificación, salinización, alcalinización, hidromorfismo, lixiviación y podzolización. En la segunda categoría: ferralitización, ferruginación e induración.

2.1 Acumulación de materia orgánica.

La materia orgánica que cae sobre el suelo cada año en la zona intertropical es bastante elevada: 10-15 ton/ha/año en la zona ecuatorial y 5-10 ton/ha/año en la zona tropical.

Aunque esta aportación es extraordinaria a excepción de casos particulares, la acumulación es pequeña y el contenido de materia orgánica en el suelo es bajo, 1 a 3% en la zona ecuatorial, 0,5 a 2% en la zona tropical. Simultáneamente el contenido en ácido húmico de esos suelos es particularmente pequeño. De una manera general, cuando una alta humedad está asociada a un buen drenaje superficial se originan condiciones de oxidación y acidez.

A estas condiciones está asociada una actividad microbiana intensa. La materia orgánica es entonces rapidamente atacada por la fauna y la flora del suelo y en fin ocurre una transformación casi completa del mismo.

Sin embargo, en ciertas condiciones el contenido de materia orgánica puede aumentar considerablemente. Veremos a continuación los siguientes puntos: a) Anaerobiosis en algunas zonas, de superficie frecuentemente muy grande, el agua permanece en el suelo favoreciendo condiciones reductoras; es el caso de algunos lagos en donde se encuentra la materia orgánica en cantidad bastante fuerte. b) Riqueza del suelo en ión calcio. En algunos suelos derivados de rocas basálticas, se notan contenidos de calcio bastante elevado y al mismo tiempo pH próximo a la neutralidad. Estas condiciones son favorables al mantenimiento de la materia orgánica que presenta contenidos en C orgánico mucho más elevados que en suelos derivados de rocas ácidas. c) La disminución de la temperatura y al mismo tiempo altas precipitaciones hacen favorable el desarrollo de la vegetación y la producción de materia orgánica, mientras que en esta temperatura se impide la descomposición del mismo material en el suelo; es así que en Madagascar, sobre los altiplanos centrales que se encuentran situados entre 1.000 y 1.400 metros se pueden encontrar contenidos de materia orgánica de 3 a 8%. Sobre las altas planicies basálticas se encuentran regularmente de 15% con máximos de 35% en materia orgánica.

2.2 La calcificación.

Se puede definir como la concentración y acumulación de calcio en un suelo, esta calcificación se produce por una saturación del complejo absorbente por este ión que puede llegar a ser total, gracias a la carbonatación con nódulos calcáreos. La calcificación es un proceso que denota una evolución bastante marcada del suelo en un lugar determinado. Me parece bastante importante distinguir la calcificación secundaria de la calcificación primaria o residual (rendzinas por ejemplo). En efecto, se puede considerar esta última como una primera etapa de la evolución del suelo. El material calcáreo está apenas fragmentado y la materia orgánica que se vaya acumulando tenderá a bloquear los iones de calcio. Las condiciones favorables a la calcificación son las siguientes: a) Dado que el calcio resulta de la hidrólisis de un gran número de minerales y del aporte por drenaje, es necesario para que permanezca en el suelo que la lluvia no sea demasiado intensa (por ejemplo en Madagascar se nota que los suelos derivados de basaltos no presentan acumulaciones calcáres a menos que la lluvia sea inferior a 700 mm). b) En un medio desprovisto de minerales capaces de proporcionar calcio se pueden notar calcificaciones a menudo importantes. En ese caso puede intervenir el agua de la capa freática que lleva en solución el ión calcio, el que será entonces proporcionado al suelo. La carbonatación se realizará en aquellas partes donde la penetración del aire al suelo sea máxima (generalmente por hendeduras que van de 0,8 a 1,2 m).

2.3.- Salinización y alcalinización

La salinización es la acumulación de sales solubles en el suelo. La sal más frecuente es el cloruro de sodio pero se pueden encontrar otras como el yeso ($CaSO_4$) y los carbonatos de sodio (natrón).

Cuál es el origen de estas sales? a) Marino. En los bordes del mar, gran cantidad de terrenos aluviales son salinos porque en un principio estuvieron cubiertos por el mar, o bien que una capa salada existió próxima a la superficie. Las brisas traen igualmente la sal muy al interior de la masa continental. Por ejemplo, a Madagascar no se puede sembrar tabaco a menos que se esté a 40 km de distancia. b) Los ríos atraviesan ciertos sedimentos que contienen sales o yeso; llegan a contaminar aquellos terrenos donde se emplea el riego. c) Las aguas con un contenido salino se concentran por evaporación en las zonas de mal drenaje (no es necesario que ese contenido sea muy elevado, los problemas en las zonas áridas son tanto de drenaje como de irrigación).

La alcalinización resulta de la fijación sobre el complejo de cantidades más o menos importantes de sodio, no siendo tanto la cantidad de sodio la que importa sino la proporción con otros cationes, así por ejemplo la relación Na/Ca igual a 0,2 está considerada como un límite peligroso. La alcalinización se acompaña de carbonato de sodio que hace subir fuertemente el pH. Es claro que estos dos procesos pueden tener importancia solamente en los climas con larga estación seca y con topografías planas donde no existen bueneas condiciones de drenaje.

2.4.- El Hidromorfismo.

Este prevalece cuando el suelo está sujeto totalmente o parcialmente a la influencia de una capa freática. Esta última provoca la acumulación de la materia orgánica o bien la formación en la parte profunda de pseudogley o de gley. La característica primordial de estos es una anaerobiosis momentánea o permanente, traduciéndose por una disminución a menudo importante del potencial de óxido-reducción con condiciones reductoras permanentes o alternando con condiciones oxidantes.

El gley es el resultado de condiciones reductoras casi permanentes, el Fe +3 pasa a Fe +2; el Fe +2 al acumularse da al suelo un color verdoso muy acentuado. Al mismo tiempo, se nota una acumulación de arcilla. Este gley es raramente observado en los suelos tropicales. En cambio, cuando la obstrucción es total y permanente, pero al mismo tiempo efectúa la evacuación del agua, el hierro ferroso es arrastrado quedando una masa gris.

El pseudo-gley resulta de condiciones a veces oxidantes y reductoras. El aire al volver a penetrar en el suelo y crear condiciones de oxidación hace aparecer el Fe +3 que colora el suelo con manchas jaspeadas y aún concreciones de color amarillo ocre o rojizo.

2.5.- Lixiviación y podzolización

Estos dos procesos están considerados como independientes por los pedólo-

logos Franceses (la mayor parte) mientras que los pedólogos Rusos los consideran como ligados formando dos etapas de un solo proceso.

La lixiviación consiste en el acarreo de elementos a mayor profundidad, sustraidos de la parte superior del perfil. Estos elementos son esencialmente la arcilla coloidal y un poco de hidróxido de hierro. La lixiviación tiene importancia en los suelos ferruginosos tropicales. Este proceso, al contrario es menos frecuente en los suelos ferralíticos.

La podzolización consiste en la destrucción del complejo arcilloso húmico por la producción de productos orgánicos especiales como resultado de una descomposición particular de la materia orgánica; la migración en profundidad y la precipitación de materia orgánica y del hierro.

2.6.- La ferralitización

Esta se verá con detalle posteriormente. Digamos desde luego en forma breve que consiste esencialmente en una alteración muy acentuada de minerales de las rocas con eliminación casi total de bases alcalinas y alcalino-terreas y del silicio en forma parcial. También se nota una acumulación de proporción variable, de minerales arcillosos del tipo de la caolinita, hidroóxidos y óxidos de hierro, aluminio, titánio y manganeso.

2.7.- Ferruginización

La Ferruginización se traduce por una alteración menos acentuada de minerales de las rocas. Los minerales arcillosos son frecuentemente la caolinita asociada a minerales de 10 A° e hidróxidos de Fe. El complejo absorbente está saturado medianamente; la materia orgánica está bien descompuesta. A este proceso están ligados frecuentemente la lixiviación e induración.

2.8.- Induración

Es un proceso que consiste en el endurecimiento de materiales que estaban previamente acumulados en el suelo. Esta induración abarca zonas de poca extensión (concreciones, aglomeraciones-concrecionadas, pseudo-concreciones), como paisajes enteros (capas de varios metros de espesor y varios cientos de kilómetros^2).

3.- CARACTERIZACION DE LOS HORIZONTES

Para caracterizar los horizontes, utilizaremos los términos siguientes, dándoles las significaciones siguientes:

Horizonte 01 : Rico en materia orgánica, poco o no descompuesta; desechos de toda naturaleza. Contenido de 20 a 30%.

02 : Rico en materia orgánica ya bien descompuesta de naturaleza que no es fácil reconocer su contenido.

Horizonte A : Designa el horizonte donde la materia orgánica se incorpora al suelo, y donde una parte de los constituyentes pueden eliminarse por lixiviación.

A1 : Parte del horizonte A donde la materia orgánica está intimamente ligada a la parte mineral del suelo.

A2 : Designa un horizonte mineral que ha perdido el hierro o la arcilla, por eluviación.

A3 : Designa un horizonte de transición entre A y B que se parece más a (A) que a (B).

Horizonte B : Este horizonte designa una concentración iluvial de arcilla o de hierro o bien una concentración residual de arcilla o de hidróxidos.

B1 : Designa un horizonte de transición entre A3 y B pero que posee las propiedades de (B).

B2 : Designa la parte de B que posee típicamente todas sus propiedades.

B3 : Designa un horizonte de transición con C, pero que se parece más a (B) que a (C).

Horizonte C : Este horizonte es un horizonte mineral que proviene de la roca madre, pero no afectado por proceso pedológico acentuado. Sin embargo, se podrán notar acumulaciones locales de yeso o caliza.

Horizonte D : Roca madre.

Notaciones particulares.

a) Cada horizonte puede subdividirse, si es necesario; por ejemplo pueden tenerse:

B 21 C1

B 22 C2

B 23 etc...

b) Es posible aplicar a un horizonte letras particulares para designar una característica especial.

Ca	carbonato de calcio
Cs	sulfato de calcio
mfe	horizonte endurecido, rico en hierro
mal	" " " en aluminio
E	Pseudo-gley
G	Gley

Denominaciones particulares.

Los horizontes de los suelos tropicales contienen muy frecuentemente residuos de la alteración.

Capa de piedras:

Capas de escombros, "stone-line" designan una acumulación pequeña y pa

ralelamente a la superficie del suelo, de desechos de rocas muy alteradas y sobre todo minerales tales como el cuarzo.

Concreción:

Designa una acumulación de hidróxidos o de óxidos de hierro y aluminio. La forma es en general esférica y el tamaño va de milímetros a 1-2 cm de diámetro.

Aglomeración concrecionada:

Designa un fragmento de roca alterada, después de haber sido atrapada completamente o "indurada" por impregnaciones de óxido de hierro y aluminio

Coraza:

Parte superficial endurecida de un perfil que no puede ser destruida por la pala, sino más bien por un martillo.

Carapazón:

Parte superficial mucho menos dura que esta última y que en general está apenas endureciéndose.

Nódulo:

Término dado a las acumulaciones calcáreas o ferruginosas con forma más o menos esférica con diámetro hasta 3 cm.

Costra:

Término aplicado a las acumulaciones de caliza que afectan la forma de una superficie contínua con un espesor de varios centímetros o decímetros.

CAPITULO II

LOS SUELOS FERRALITICOS (1ra.PARTE)

1.- Historia de nuestros conocimientos respecto a los Suelos Ferralíticos

El conocimiento científico de los suelos ferralíticos se remonta a los principios del siglo XIX y el progreso, lento en este tiempo, se ha adelantado solamente a partir del comienzo del siglo XX. Los nombres utilizados para designar los objetos estudiados son muy variados, así como el sentido en relación a los mismos. Desde hace algunos años, se ha hecho un gran esfuerzo de estabilización y ahora se puede considerar, que aunque existen todavía unos puntos de vista divergentes, se ha llegado a un acuerdo.

Es en 1807 que un viajero británico de nombre Buchanan, quien recorrió las Indias, descubrió un material particular que le llamó la atención. Pudo notar que los habitantes cortaban un material rojo en pedazos, de forma paralelepípeda que ellos dejaban secar al sol. Después de algún tiempo, estos pedazos eran suficientemente duros para su utilización en la construcción de paredes o de casas. Así resultaba un endurecimiento de carácter irreversible y las construcciones resistentes. Debido a esas analogías con el ladrillo, a ese material Buchanan le llamó "Lateria" (Later en Latín significa ladrillo). Tenía un color rojo, o rojo oscuro con un aspecto muy particular, coriáceo, vesicular que permitía así reconocerlo en toda la zona intertropical.

Sin embargo, esta laterita cayó al olvido o más bien si se conocía todavía, nadie hizo caso hasta fines del siglo cuando volvieron a interesarse otros Ingleses, en particular Oldhan, Hollans, Fox, siempre en las Indias. Se ha visto aún que puede hacerse la laterita a la manera de Buchanan tal como se encontraba también en el suelo. Esta laterita se encontraba asociada a una tierra friable, generalmente de color rojo. Se hizo una relación entre el suelo y el material de Buchanan. Así de la palabra laterita se originó el término: suelo lateritico y al considerar el color rojo de todos los suelos tropicales se convino en llamar los suelos lateríticos. Posteriormente, Holland, luego Campbell fueron los primeros quienes propusieron una explicación de la génesis de estos suelos, la cual puede considerarse todavía como bastante lógica.

En el principio del siglo XX, algunos minerólogos analistas muy avanzados se pusieron a resolver este problema.

Bauer, en 1898, había ya notado que los suelos de los Seychelles contenían considerables cantidades de alúmina en estado libre (Hidróxidos), hidróxidos de hierro y cuarzo (conforme a las rocas). Harisson trabajó durante todo el comienzo del siglo en la Guayana Británica, estudió muchos suelos de los cuales se hizo el análisis minucioso. Pudo notar, al igual que Bauer, que el suelo resultaba de transformaciones llevadas a cabo en las rocas subyacentes; que estas alteraciones tenían como origen la hidratación y la oxidación, dando como productos residuales los silicatos de Fe y Al hidratados y los hidróxidos

de Fe y Al y el cuarzo. Harisson distingue dos (2) tipos de laterita; la laterita primaria que resulta de la alteración de rocas básicas. Al mismo tiempo que se pierde casi completamente la Silice, bases alcalinas y alcalino térreas, subsiste un residuo de gibsita, limonita, algo de feldespato inalterado y cuazo. La laterita secundaria que resulta de la alteración de rocas ácidas se diferencia de la primaria por resilicificación de gibsita a caolinita. Harisson admitió en fin que suelos lateríticos pueden ser objeto de desilificación y originar un material importante de productos aluminosos o bauxita. Lacroix estudió los suelos de Guinea y Madagascar pudiendo observar que las gibsitas y los hidróxidos de hierro derivados de rocas ácidas (granitos, sienitas) o de rocas básicas (basalto) son particularmente abundantes. Este autor, merced a análisis minucioso, estableció el balance mineralógico de las transformaciones ocurridas.

Fermor, considerando todos los análisis efectuados, encontró que todos los productos contienen cantidades variables de hidróxidos de hierro, aluminio, titanio, manganeso y a estos se les denomina elementos lateríticos.

La laterita designa un producto que lleva 90 a 100% de elementos lateríticos. Esta puede presentar variaciones considerables entre la laterita ferruginosa, casi desprovista de aluminio y más bien un verdadero yacimiento de hierro (Guinea, Cuba, Filipinas) y la laterita aluminosa desprovista de hierro que es la bauxita (Africa occidental, Cameroun, Las Guayanas). La laterita arcillosa es una mezcla de 50 a 90% de elementos lateríticos y el resto de arcilla.

Cuando los elementos lateríticos varían de 25 a 50 % se trata de una arcilla lateríticaí y menos de 25 %, una arcilla.

El resultado de todos estos trabajos era para mostrar que bajo los climas calientes y húmedos de la zona intertropical o tropical húmeda, ocurre la alteración de las rocas por el efecto de la hidratación y oxidación, originando cantidades variables de arcilla, hidróxidos de Fe, Al, Ti y Mn, así, según el porcentaje de estos productos, se pudo clasificar los suelos respecto al grado de "Lateritización".

El grupo siguiente trató de simplificar el trabajo del analista pués las determinaciones como las de Harisson y Lacroix, todavía bastante largas en nuestros días, fueron bastante penosas y costosas. Por eso ellos trataron solamente de determinar algunos elementos capaces de aclarar al máximo este proceso, Harassowitz estimaba que la laterita implicaba que el hierro y el aluminio eran constituyentes esenciales del suelo, y fue el primero que utilizó la relación Ki que parece haber sido propuesta por Van Bemmelen. Esta relación tenía en cuenta que al lado de la gibsita existía solamente la caolinita, cuya relación sílice sobre aluminio es igual a 2. Por consiguiente si se titula la sílice combinada y el aluminio total del suelo se tendrá la siguiente relación:

$$Ki = \frac{\text{Sílice combinado}}{\text{Aluminio combinado} + \text{Aluminio libre}}$$

que será igual a 2 si no hay aluminio libre, siendo menor de 2 si existen ciertas cantidades de aluminio libre. Martín y Doyne establecieron la relación Ki para los suelos de Sierra Leone encontrando una cierta correlación entre el valor Ki y la pluviometría. Propusieron la clasificación siguiente:

SiO_2/Al_2O_3	Suelo
2 ó más	No lateritico
2 a 1,33	Arcilla lateritica
Menor de 1,33	Lateritico

porteriormente esta relación se extendió a los hidróxidos de hierro, debido a que el hierro era un constituyente fundamental de los suelos ferralíticos quedando entonces la relación siguiente: $SiO_2/Al_2O_3 + Fe_2O_3$ ó bien SiO_2/R_2O_3. Más adelante veremos lo que tiene que considerar de estas relaciones.

Otros investigadores estimaron que no era necesario medir la sílice combinada y el aluminio combinado libre y que era suficiente con titular ese aluminio "libre". Aquí surgió un problema de titulación del que se puede decir aún no está totalmente resuelto. Para extraer el aluminio libre disponemos de soluciones extractoras tanto ácidas como básicas que aunque disuelven bien el aluminio, atacan también la red arcillosa. El problema fue resuelto por Hardy y Rodríguez, quienes utilizaron la propiedad del aluminio de fijar la alizarina ajustando un método de titulación colorimétrica del aluminio libre en los suelos. Eso les permitió proponer una nueva clasificación de suelos lateríticos basada en los contenidos variables de aluminio, hierro y caolinita en los sue-

los. La tendencia presentada por esos autores era todavía mas química que la de los precedentes; volvió en esta forma a hacerse casi imposible la clasificación de los suelos con la intervención de titulares largas y costosas. Si bien el aspecto morfológico no había sido olvidado, a pesar de todo, fue relegado a un plano secundario y la última clasificación no lo tomaba en cuenta.

En contra de esta tendencia a la que quisieron combatir los pedólogos siguientes quienes en un principio trataron de entender los fenómenos que se observaban tomando en cuenta las observaciones sobre el terreno. Estas observaciones debían ser comprobadas por resultados analíticos, pero estos mismos deberían estar subordinados a los primeros. Es así que el estudio de los suelos en los paises tropicales durante el período comprendido entre las dos guerras empezó verdaderamente con Scaetta, Ghantz, Erhart en Africa y Madagascar, Marbut en el Amazonas, Mohr en Indonesia. La Costa de Marfil, el Sudán, las montañas del Congo fueron exploradas por Scaerra; Erhart, en Madagascar estudió el perfil de un suelo lateritico que sería producido más tarde en su tratado de Pedología. Mohr estudió las formaciones de los suelos en Indonesia partiendo de diversas rocas madres sedimentarias y sobre todo de las volcánicas de este archipiélago.

Después de la última guerra se produjo una reacción contra las tendencias que habían sido marcadas en los períodos precedentes. Se había llegado pués a una cierta confusión. El término de laterita era utilizado tanto por los pe-

dólogos como por los mineros quienes verían en ella un yacimiento de hierro. El término de bauxita que se le había dado a algunos materiales ricos en aluminio, era conservado por unos y desechados por otros. De este hecho se derivó que todos los términos derivados de laterita fueron poco a poco privados de sentido.

En esta época se produce un verdadero regreso a los conceptos iniciales. Pendleton pensó que lo más correcto era volver a la definición de Buchanan, la que se remontaba al año de 1807, y que decía que la laterita designaba a un horizonte de suelo más o menos cavernoso, escorifocado, rico en óxidos de hierro, duro, con el que era posible hacer construcciones. Prescott (Australia), Vine (Nigeria), de Preez (Africa del Sur) quienes estando de acuerdo con esta definición, solo suprimían lo relativo a que el material servía para construcción. Quedaba por saber que pasaría con todos aquellos suelos que no tenían la laterita de Buchanan; habría que buscar nuevos nombres y definiciones, que fue lo que intentó Kellog en 1949 y 1950, él dió el nombre de latosol, nuevo término derivado del Latín Latus ancho, denominado después según el color, contenido en sesquióxidos, en materia orgánica, capacidad de intercambio. Este término fue adoptado en algunos paises de lengua inglesa. Los Pedólogos Franceses con Aubert continúan utilizando aquel término para los suelos lateríticos afirmando así las estrechas relaciones que existen entre esos suelos. Los Pedólogos Belgas con Sys, de 1958 a 1960, propusieron el término de ferralsol y después de kaolisol. Los Pedólogos ingleses conservan los términos de ocrosol

propuesto por Charter. En último análisis la séptima aproximación de la clasificación de suelos americana utiliza el nuevo término de Oxisol.

Ante esta confusión, Aubert y Duchaufour, en 1956, en un Congreso de Suelos en Paris, propusieron la utilización del término "Ferralítico" que fue creado anteriormente por G.W. Robinson. Este término ha sido conservado por Duchaufour en su texto de pedología. Ha sido adoptado por los Pedólogos portugueses, quienes trabajaron en Angola y para el servicio pedológico interafricano terminando una carta pedológica de Africa y Sur del Sahara. Es este término el que utilizaremos en este curso.

Evidentemente, la utilización de un término como el ferralítico, implica que deba ser definido lo suficientemente claro como sea posible. Es lo que se tratará de hacer durante este capítulo, tanto en lo concerniente a la morfología como a los procesos de ferralitización que nos llevaran al fin a la clasificación y localización de los suelos ferralíticos.

Es claro que esto será posible gracias a pedólogos que hayan trabajado particularmente durante 20 años en los paises de la zona intertropical.

2.- Morfología de los Suelos Ferralíticos

2.1 El Perfil.

Los suelos ferralíticos se han definido en la última clasificación por G.

Aubert, como suelos que tienen sesquióxidos, humus de descomposición rápida y por esto, no se encontrará un tipo exacto del perfil para los suelos ferralíticos.

Como están repartidos sobre una gran gama climática y corresponden a varios tipos de vegetación, que provienen de muchos tipos de roca madre, se tendrá en consecuencia una variedad bastante grande en la morfología, se verán perfiles diferentes tratando de encontrarse lo que en ellos existe en común.

2.2 Características generales de perfiles de suelos ferralíticos.

La característica común a todos estos suelos bastante diversos parece ser la existencia de un horizonte B de color bastante vivo, rojo-amarillo; este horizonte lleva el nombre de horizonte de acumulación, pués es en el donde se acumulan óxidos e hidróxidos y eventualmente arcilla caolinítica. No se pueden considerar como reglas generales las siguientes características no obstante que se han presentado antes:

a.- El espesor del perfil. Es decir, a menudo es muy grueso (puede llegar hasta 20 metros), pero esto se produce sobre rocas plutónicas o metamórficas ácidas muy repartidas en Africa, sin embargo, este no es el caso para aquellos suelos derivados de basaltos o bien calcáreos. A menudo el espesor de los suelos ferralíticos del macizo Guayanés es muy inferior a los del continente Africano, sobre material geológico

similar y en condiciones climáticas comparables.

b - La presencia de un horizonte manchado (zona moteada) B2g ocurre muy a menudo tanto en Africa Occidental como en América del Sur, pero escasamente en Madagascar.

c.- La presencia de un horizonte blanco (zona clara) B2G es considerada por algunos investigadores como una característica. Este horizonte puede faltar totalmente.

d.- El horizonte C puede tomar un aspecto muy uniforme o bandeado; su espesor puede considerarse de 20 mt aproximadamente, o reducirse a casi nada sobre el basalto, sobre gneis o bien sobre roca calcárea.

e.- En fin, el horizonte A1 no presenta ninguna característica por su constitución ni tampoco por su contenido en materia orgánica.

En pocas palabras, el perfil de los suelos ferralíticos comprende los tres horizontes A-B-C de los suelos bien desarrollados. El horizonte B es el horizonte característico de ese perfil. La base de ese horizonte puede estar afectada por condiciones de hidromorfismo. En este caso, se puede notar Bh o BG. El horizonte C, varía según la roca madre desde varias decenas de metros a algunos centímetros. Casi todas las rocas pueden originar suelos ferralíticos (las areniscas y cuarcitas muy puras son las únicas que no pueden originar suelos ferralíticos).

2.3 Los horizontes.

En la parte precedente nosotros hemos visto que el suelo ferralítico presenta la sucesión de horizontes A1 y eventualmente A2, B con Bg o bien BG, luego C antes de llegar a D. Estudiaremos ahora de manera mas profunda cada uno de estos horizontes. Nos colocaremos en las condiciones medias de Africa, es decir, desde el punto de vista climático, lluvias abundantes y temperatura relativamente elevada con objeto de representar el tipo de suelo ferralítico a partir del cual, trataremos de ver en que sentido ocurren las variaciones cuando un proceso de formación del suelo llega a ser importante.

El horizonte A.

Este horizonte es esencialmente aquel donde se acumula y se descompone la materia orgánica; es igualmente ahí donde se producen ciertas migraciones de elementos (hierro, arcilla, etc.).

Materia orgánica.

Desde un punto de vista cuantitativo, nosotros hemos visto que caen alrededor de 12 a 15 ton/ha/año de materia vegetal sobre el suelo. La temperatura elevada, el agua en abundancia y de fácil escurrimiento, el oxigeno favorece el desarrollo de microorganismos que mineralizan rapidamente una gran cantidad de esa materia orgánica.

Las termitas y los gusanos incorporan una gran parte de esta materia orgánica en los primeros centímetros del suelo. Bates, en Nigeria, señala que

las hojas que caen en la superficie del suelo duran de 14 a 21 días debido a la gran actividad biológica. Además la caida de un árbol sobre el suelo no provoca ningún problema grave. Será suficiente con dejarlo así y pronto, en las condiciones normales, será completamente destruido por los microorganismos.

La repartición de la materia orgánica es debida también a la presencia en el suelo de las raices de los árboles. En efecto los tallos muy elevados están sostenidos por raices aliformes con una distribución considerable en la superficie del suelo. La casi totalidad de raices se encuentran en los primeros 10-15 cm del suelo. Por el contrario, el pivote en la mayor parte de los casos es bastante corto. Esto es cierto para algunos árboles y arbustos cultivados (cacao por ejemplo).

En realidad el horizonte de litter será muy delgado (0,1 cm), practicamente inexistente, A1 no tendrá más que de 10 a 15 cm de espesor en los casos generales. Los contenidos en materia orgánica (humus) del horizonte A1 no serán superiores al 3%, aún en la zona ecuatorial bajo una gran selva. En el Macizo Guayanés esos valores alcanzan frecuentemente 4%.

En Madagascar, donde las altitudes medias en las altiplanicies centrales son de 1.000 a 1.500 m, los suelos tendrán contenidos más elevados (3 a 6%) debido más bien a la altitud, ya que con baja temperatura disminuye la actividad microbiana. Otros casos de contenidos altos de materia or-

gánica son debidos a la presencia de calcio liberado por las rocas ricas en minerales calcicos (plagioclasas, piroxenas, anfibolas). Es el caso de los basaltos, dolerita. Resultará un pH un poco más elevado con humus cálcico que durará más que el humus ácido ordinario.

La relación carbono/nitrógeno de este horizonte próxima a 10 u 11 pudiendo variar de 8 a 12.

En el sur de Cameroun después de muchas determinaciones se ha llegado a un valor medio de 11. De 30 a 40 cm, esta relación está comprendida entre 7 y 9 y a los 60 cm se encuentran relaciones que sólo van de 5 a 7.

Desde un punto de vista cualitativo se trata de humus con una evolución rápida. De manera habitual no se trata de un horizonte O2 con un humus bruto. En ciertos lugares, sin embargo, se ha señalado la existencia de un horizonte O2. Esos casos ocurren en unos suelos ferralíticos del Macizo Guayanés. También fueron señalados en el norte de Gabon. En nueva Caledonia en suelos ferralíticos derivados de sericito esquistos y de mica esquistos se presentan horizontes muy ácidos con una actividad biológica reducida y con una microflora ferruginosa fúngica y una relación carbono/nitrógeno elevada.

Cuando se examina la composición de la materia orgánica del suelo se comprueba como caso general que esos contenidos en ácido húmico y fúlvico son débiles y la relación de ácido fúlvico sobre ácido húmico es mayor en en la superficie. En los suelos derivados de rocas básicas en ácido húmi-

co pueden ser bastante elevados (de 2 a 3 %). Mientras que en los suelos con humus bruti este ácido fúlvico llega a ser preponderante.

Lixiviación.

Duchaufour atribuye la lixiviación de las arcillas a compuestos húmicos estables, mientras que la lixiviación de hierro es debida a ácidos fúlvicos. En los suelos ferralíticos que examinamos, la lixiviación en hierro y arcilla es generalmente más reducida. Esto es debido muy probablemente a la vida muy corta de estos compuestos húmicos y fúlvicos en el suelo. En los suelos ferralíticos se puede notar un empobrecimiento moderado del horizonte en arcilla y hierro. Esto puede ser debido, sobre todo, a la lixiviación oblicua. Este fenómeno parece ser general en el Africa ecuatorial, pero es particularmente bien representado en los suelos ferralíticos del óvalo oriental del escudo Guayanés (Guayanas Francesa y Brasileña). En efecto, la lluvia abundante satura rapidamente el suelo y el drenaje a través de suelos ricos en arcilla es bastante lento. El agua abundante en la superficie no puede penetrar en B y se escurre entre los límites A y B, dispersando un poco de arcilla; de donde resulta una disminución en el horizonte A, en la misma por arrastre mecánico; además, en zona forestal donde la protección es mejor, los ríos llevan pocos elementos gruesos pero sobre todo limos y arcillas, cuyo origen puede ser así explicado.

Formación de concreciones y textura.

La textura del horizonte A es generalmente más arenosa que la del horizonte subyacente, por las razones que acabamos de ver. Se encuentran igualmente en este horizonte concreciones, seudoconcreciones, fragmentos de cuarzos que provienen de filones, gravas, seudoarenas, etc.

En la base de este horizonte se puede distinguir, a veces, una línea de cantos denominada capa de gravas u "Stone line".

Stone line.

Esta línea de gravas es bastante común en Africa, en Madagascar y América. Ha intrigado mucho a los pedólogos. Está generalmente en la base de A, pero puede estar parcialmente en B.

La primera explicación es un movimiento del suelo por erosión. Este movimiento puede estar generalizado y abarcar entonces toda una región o localidad, sobre una pendiente por ejemplo. Parece que se ha generalizado demasiado la explicación de la formación de "Stone line" por arrastre mecánico cuando se trata de largas distancias. Estos movimientos no son imposibles, pero es probable que un material desmenuzable que recorre una gran distancia, no se distribuye de una manera tan regular sobre una superficie bastante heterogénea al principio.

Los movimientos en largas pendientes, sobre distancias más cortas parecen más factibles y más visibles.

Por otra parte se piensa en una actividad de la fauna del suelo (hormigas, comejenes, etc.). En efecto la parte superior de la "Stone line" está constituida frecuentemente por tierra fina y se piensa que son esos animales los que acarrean el suelo en esa forma a la superficie, no siendo capaces de desplazar fragmentos más gruesos.

Otras características del Horizonte A.

El complejo adsorbente y el pH. De una manera general el horizonte A presenta un complejo adsorbente mejor saturado y el pH es más elevado que en el B. Esto es debido a que: a) Los animales por sus deyecciones enriquecen la parte superior del perfil (Ca y Mg sobre todo). b) Los desechos vegetales provenientes de los árboles se acumulan sobre el suelo y enriquecen provisionalmente la parte superior hasta que la mineralización y precipitación no lleva a las profundidades a estas bases. Estas últimas incorporadas a la solución del suelo serán tomadas por las raices de los vegetales, nuevamente, y devueltas al suelo por los desechos. Existirá pués un verdadero circuito de elementos nutritivos.

La cantidad total de bases intercambiables será por regla general débil, o muy débil (3-5 m/100gr) en el caso de los suelos derivados de rocas ácidas (plutónicas o metamórficas). En el caso de las rocas básicas, los suelos son mucho menos gruesos y las bases intercambiables son más abundantes.

El pH es generalmente de 5-6. En ciertas regiones muy lluviosas puede descender a 4,5 o menos (borde occidental del Macizo Guayanés en el Territorio Federal Amazonas de Venezuela, donde alcanzan valores de 4); en algunos casos los pH pueden llegar a 6,5.

El Horizonte B u Horizonte de Acumulación.

Este horizonte tiene un espesor muy variable que puede ir de un metro a 10 m.

Color.

No hay color único para designar este horizonte. Muy generalmente es de color rojo, pero puede ser igualmente café-rojizo con colores cafés muy intensos. Por otra parte los colores anaranjados o amarillos son igualmente posibles. Se pueden ver también superposiciones de colores. La variación de color debe ser atribuida a una forma diferente de hidróxido de hierro (estado de cristanilidad). Es claro que un horizonte ligeramente empobrecido en arcilla puede existir, y será el resultado de una lixiviación oblicua más bien que de una verdadera lixiviación vertical.

La textura.

Depende en general de la roca que ha originado el suelo. Brugiere, Marius y Blancaneaux han mostrado que la textura de los suelos ferralíticos del Macizo Guayanés, estaban bajo fuerte dominancia de las rocas ma-

dres. Las rocas con poco o sin cuarzo, esquisto, basalto, andesita, dolerita, etc., originarán suelos ricos en arcilla. Los suelos derivados de rocas cuarcíticas (granitos, gneis diversos) originan suelos donde las arenas son abundantes. Es muy a menudo difícil apreciar la textura exactamente cuando hay seudo-arenas, que son agregados finos difíciles de destruir por los medios habituales del análisis mecánico. Una característica es el contenido ligero en limos de este horizonte. La relación Limo/Arcilla es generalmente pequeña y va de 0,1 a 0,2, pues se tratará esencialmente de arcillas y de arenas. Otra característica de este horizonte es la uniformidad de su textura. No se trata pues de un horizonte iluvial del que mostrará en un lugar o en otro una zona de enriquecimiento mas importante; no es posible pensar en un horizonte iluvial de 10 m de espesor. Este horizonte resulta de un enriquecimiento esencialmente relativo por la pérdida de una gran cantidad de otros constituyentes.

Cantos, concreciones, etc.

Numerosos elementos de tamaño bastante grande pueden existir en este horizonte. Fragmentos de cuarzo mas o menos importantes se pueden encontrar si la roca madre es un gneiss atravesado por filones. Pueden existir otros fragmentos de roca. Se pueden encontrar en mas o menos gran abundancia, concreciones, aglomeración de concreciones y aún fragmentos endurecidos que llegan a formar capas. En Africa y América la formación de concreciones es muy común, en Madagascar por el contrario mucho menos frecuente.

Estructura.

Ciertos suelos, como los suelos salinos (solonetz), los vertisoles tienen una estructura bastante característica. No se puede decir lo mismo para los suelos ferralíticos. Ahí no hay una estructura sino varias estructuras. Un cierto número de tipos de estructuras pueden ser posibles. Se conoce el tipo grumuloso muy fino, arenoso formado de elementos bastante pequeños de 1-3 mm, poco adherentes entre ellos. Se conocen estructuras muy macizas, cuando el suelo es muy arcilloso. En estación seca a veces en los cortes recientes ocurren hendiduras por la contracción de los materiales que no llegan a muchas distancias en profundidad, en general el suelo húmedo origina una compacidad bastante fuerte mientras que en la parte superior del perfil es a menudo nuciforme o poliédrica.

Contenidos minerales.

Una característica esencial de este horizonte es su contenido mineral que comprende: minerales arcillosos por una parte y óxidos e hidróxidos por la otra.

Los minerales arcillosos son esencialmente del grupo de la caolinita. Los contenidos pueden ser bastante fuertes 50 a 60% de la parte mineral. A veces casi inexistentes. En ciertos casos se puede identificar la ilita pero este mineral corresponde a un estado bastante joven (caso particular de los ferrisoles). Se ha identificado igualmente alofanos, minerales arcillo

sos no cristalizados. Considero que esto no debe tratarse mas que de una fase de un suelo joven.

Los hidróxidos son esencialmente: Gibsita $Al(OH)3$, raramente Boemita $Al(OOH)$; x $FeOOH$ o Goetita; r $FeOOH$ o Lepidocrocita. Oxidos x Fe_2O_3 Hematita, r Fe_2O_3 o Maghemita; productos amorfos ferruginosos, Leucosenos $TiO2$, $2H2O$; Anatasa $TiO2$; Bióxidos de manganeso $MnO2$.

Otras propiedades del Horizonte B.

La capacidad de intercambio de bases de este horizonte es muy débil. Es en efecto la de la arcilla caolinítica presente en el suelo. En otras palabras, los valores no pasan de 10 me/100gr de muestra. Al mismo tiempo, las bases intercambiables no son ya elevadas, de 1-2 me, a veces menos. Esto origina un grado de saturación bajo. Este grado de saturación extremadamente bajo ha sido retenido como una de las características esenciales de este horizonte de los suelos ferralíticos en general.

A este grado de saturación muy bajo está asociado un pH ácido o muy ácido; el que puede descender a 4.

El Horizonte Bg y BG

Nosotros hemos visto durante el curso del estudio de los perfiles que esos horizontes Bg y BG podían estar ausentes, es el caso en la mayor parte de los suelos bien drenados (Madagascar). Sin embargo, fueron frecuentemente observados en el oeste Africano y muy frecuentemente en el Macizo Amazónico.

Muchos casos de fenómenos de hidromorfismo son posibles en los suelos ferralíticos: a) La capa freática fluctua pero permanece suficientemente alta para que en una parte del perfil, la reducción sea casi completa; a la zona manchada está asociada una zona blanca. b) La capa freática fluctua durante el año pero no hay estancamientos permanentes; se tendrá una zona manchada (zona moteada). c) Se puede observar una zona pálida sin zona manchada. d) En muchos casos no se observa ni la zona manchada ni tampoco la zona blanca.

Los minerales presentes en este horizonte son esencialmente caolinita, Gibsita, con Goetita en las manchas. La zona blanca corresponde a una capa freática alta casi permanente; es el lugar donde se efectuan reacciones de reducción. La zona manchada por el contrario corresponde a una capa fluctuante, es el lugar de la oxidación seguida de la reducción. Si la zona manchada aflora, puede originar una induración con concreciones y aún una coraza de tipo escoriaceo.

El Horizonte C. Material original.

Es a partir de ese material que se va a desarrollar el suelo ferralítico. En este horizonte tienen lugar sobre todo los procesos de alteración de la roca (hidratación, oxidación, hidrolisis), los procesos de formación del suelo son muy reducidos y se reducen a menudo a la sola formación de pseudo-gley o raramente a gley.

Este horizonte puede tener un espesor considerable (20 mt) cuando la roca es granito o gneiss. Puede ser también muy reducido (algunos decímetros) sobre el basalto.

El color de este horizonte es variable, cuando deriva de roca ácida granular (graníticas, gneis..) tiene un horizonte que se puede calificar de bandeado; se pueden ver bandas, trazas de colores diversos, amarillo, rojo, gris, etc., dispuestos en general según la orientación de los planos de los basaltos, el horizonte C es generalmente de color opaco, gris o café claro.

Mientras que en la zona templada la alteración de la roca es sobre todo física (se tiene una roca muy dividida y fragmentada), en la zona tropical y muy humeda la alteración es esencialmente química . Los diferentes minerales son transformados conservando su forma. Esto es particularmente notable en los feldespatos que llegan a ser blancos u opacos y al mismo tiempo caolinizándose. En Madagascar la alteración de los feldespatos llega aún a la gibsita y se tiene entonces la estructura como "pan de especias". No obstante el volumen general de la roca permanece igual (trabajos de Millot y Bonifas).

En lo concerniente a las otras propiedades, la reacción es generalmente ácida. Normalmente, a medida que se aproxima uno a la roca madre, el pH debe llegar a la neutralidad. La capacidad de intercambio y las bases intercambiables son bajas. Las reservas en minerales alterables pueden en ciertos casos ser apreciables.

CAPITULO III

LOS SUELOS FERRALITICOS (2da.PARTE)

1.- Ferralitización

Nosotros vamos a tratar de analizar el fenómeno de la ferralitización. Primero, las condiciones generales exteriores al suelo, después la alteración de los minerales, la síntesis de los minerales secundarios y las transformaciones de ellos, por fin trataremos de mostrar en que consiste la ferralitización de los diferentes horizontes del suelo.

1.1 Las condiciones que prevalecen a la Ferralitización.

1.1.1 Condiciones climáticas.

El análisis completo de las condiciones climáticas necesarias para el desarrollo de un suelo ferralítico no parece estar aún efectuado de manera apropiada, pués no es posible decir con mucha precisión cuales son las condiciones climáticas necesarias y suficientes. Trataremos sin embargo, de plantear el problema indicando cuales son las condiciones medias y cuales son las extremas que se conocen.

La Ferralitización no se produce mas que en los paises calientes y húmedos. En Africa, Madagascar, la India, Malasia o Indonesia, en las islas del pacífico y en América, la precipitación correspondiente a la

ferralitización presenta una gama de valores bastante amplia. Los valores más fuertes conocidos son de 5-12 metros. Es claro que no habrá que sorprenderse por tales cifras ya que es mas importante la distribución de la precipitación total. Encima de un valor del orden de 3m, el agua pasará rapidamente a través del suelo o bien será eliminada por escurrimientos superficiales. Se admite que el valor inferior es del orden del metro. La ferralitización parece pués exigir una precipitación comprendida entre 1-3 metros. Estos valores son muy frecuentemente observados en toda la zona intertropical.

En cuanto a la temperatura, el valor superior parece ser próximo a 26° C. Cierto que en los trópicos se notan valores bastante superiores. Estos valores corresponden a zonas con estaciones secas donde la precipitación es insuficiente para asegurar la ferralitización (hay que recordar que una fuerte precipitación origina un abatimiento en la temperatura media). La temperatura más baja parece ser alrededor de 10-12°C.

La fijación de estos valores límites es difícil de efectuarse ya que se debe tomar en cuanta tanto el valor de la lluvia como el de la temperatura. Por ejemplo valores de 10-12°C es lo más bajo en que la ferralitización se ha observado.

Esto no quiere decir que a 10°C y por un metro de precipitación ocurre la ferralitización; es probable que no. En cambio para que el proceso ocurra a 10°C se tendrá que tener en compensación una precipita

ción muy fuerte. En consecuencia es necesario combinar dentro de lo posible las lluvias y la temperatura.

En cierta forma, nosotros podemos considerar la relación Sílice/Aluminio que refleja bien los procesos de ferralitización. Se ha considerado que el valor menor de 1,7 indica una ferralitización avanzada, de 1,7 a 2,2 se tendrón suelos ferruginosos tropicales. Arriba de estos valores se tendrán cualquier otro tipo de suelos (suelos hidromorfos, ferrisoles, etc.).

Casos de variación de la relación en función del clima.

Esta variación ha sido estudiada en un conjunto de suelos homogéneos derivados de los basaltos.

a.) Montaña de Ambre al norte de Madagascar

En la base P = 0,9 m. T = 27°C; la relación es muy cerca de 2. Hasta 800 m no hay cambios importantes, pero a partir de esta altitud la lluvia aumenta fuertemente hasta los 2,5 m y la temperatura disminuye hasta 20-21°C; la relación alcanza 0,7.

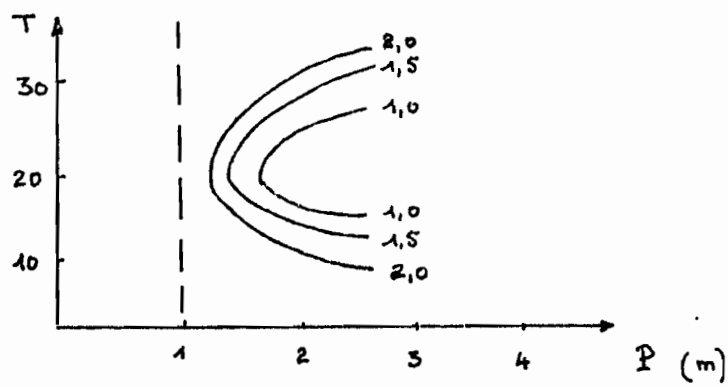
b.) Ankara al centro de la isla a la base del macizo con P = 1,4 m. T = 14°C, la relación es de 0,5; en la parte superior del macizo donde P = 2,5 m. T = 10°C, la relación es de 1,5.

Interpretación:

En el primer caso, en la base de la montaña de Ambre no obstante

una fuerte temperatura, la lluvia es insuficiente y la ferralitización no se produce. En la parte alta, la temperatura no está limitada, pero la precipitación es muy fuerte y en esa forma la ferralitización será avanzada.

En el segundo caso, en la base de Ankara P y T son suficientes para asegurar la ferralitización. En cambio, la parte alta no obstante una fuerte disminución de la temperatura, la precipitación permanece muy elevada y asegura todavía la ferralitización (en condiciones bastante especiales).



Se puede ver que para cualquier temperatura, abajo de un metro no hay ferralitización! La curva 2,0 abarca una zona en el interior de la cual la ferralitización se produce con intensidades variables pero precisas. La ferralitización más intensa parece llevar a cabo de los 18-20°C y a los 2 m de precipitación.

Para las precipitaciones más fuertes parece que las curvas deben cerrarse, pero faltan datos precisos para esa zona.

1.1.2 Papel de la vegetación.

El papel de la vegetación ha sido mencionado muy frecuentemente, a menudo discutido, y ha dado lugar a interpretaciones divergentes. Será necesario no perder de vista los siguientes puntos:

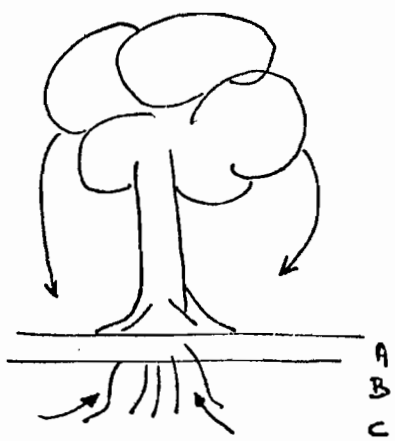
La mayor parte de los continentes de la zona intertropical emergió desde hace mucho tiempo y la ferralitización se ha llevado a cabo desde muchos siglos. A esta ferralitización se le debe considerar tal como dice Erhart como un verdadero fenómeno geológico.

La selva siempre verde o semidecídua es la formación climáxica de la mayor parte de las zonas intertropicales. Los tipos herbáceos: sabana o estepa, deben considerarse en la mayoría de los casos como originados por el hombre. Parece pués lógico pensar que los suelos ferralíticos sean formados bajo una vegetación forestal. Esta selva en la zona ecuatorial es la selva densa siempre verde; más al norte o al sur del ecuador está de tipo semidecídua y raramente completamente decidua. La selva densa de altitud corresponde igualmente a los suelos ferralíticos, pero menos la selva dense esclerófila.

a.) La selva tiene un papel estabilizador, sin ella no parece posible que un suelo puede formarse cuando las lluvias son frecuentes y violentas. Los ejemplos de erosión espectacular no faltan en la zona intertropical, que siguen a una desforestación importante y exagerada.

b.) La selva es la fuente de materia orgánica de los suelos ferralíticos. Nosotros hemos visto que si el aprovisionamiento es importante, la conservación del humus (en el sentido amplio) es débil debido a la actividad de los microorganismos que la descomponen y la mineralizan a gran velocidad.

c.) El horizonte humifero del suelo ferralítico contiene elementos fertilizantes en cantidades moderadas en general, pero bastante importantes a veces. En todo caso mucho mayor cantidad que el horizonte B. Las raices secundarias que extraen de las profundidades del suelo los elementos nutritivos, que van a dar a la superficie por intermedio de las hojas, ramas, ramitas que caen al suelo. Estos elementos regresarán entonces al árbol nuevamente por intermedio de las raices secundarias muy numerosas. Esto es un circuito cerrado que permite a la vegetación forestal subsistir.



Cuando el suelo es poco grueso (caso de ciertos suelos volcánicos) la raíz pivotante llega a hacer contacto con la roca madre donde se encuentran las bases en abundancia. Esta es la razón que explica por que se encuentran contenidos en bases más altos en A1.

En Madagascar, ciertos horizontes humíferos contienen hasta 30me/100gr de suelo, de elementos intercambiables, en tanto que en el horizonte B se encuentran casi totalmente desprovistos, 1-5 meq.

El horizonte humífero es pués el receptáculo de la fertilidad del suelo. La desaparición de la selva trae como consecuencia la erosión de este horizonte, y además su agotamiento por los cultivos. El aprovisionamiento en las bases entonces cesa. Juiciosamente en ciertas poblaciones se ha tratado de asegurar la regeneración de los suelos dejándolos en descanso, lo que tiene por objeto entre otros, abastecer a los horizontes superficiales en elementos nutritivos.

El papel de la selva por indispensable que sea en la formación del suelo ferralítico, no es mas que pasivo a pesar de todo. Asegura en todo caso una fertilidad mínima para el suelo que ayuda a formar sin contribuir directamente en los procesos de ferralitización.

El papel de la selva en los procesos de endurecimiento será estudiado posteriormente.

1.1.3 Papel de las rocas madres.

Dos tipos de rocas madres parecen ser particularmente abundantes en la zona intertropical. Las rocas plutónicas ácidas (granitos), las rocas metamórficas, gneisses diversos, migmatitas, etc. y las rocas volcánicas ácidas sobre todo las básicas.

Nosotros hemos visto durante la introducción, que los bloques continentales africanos, americanos (del sur) y la India emergieron desde hace mucho tiempo, que la erosión también desde hace mucho tiempo tuvo gran efecto y que sobre muy grandes superficies afloraron rocas plutónicas y metamórficas. Estas rocas originaron suelos ferralíticos profundos; generalmente el horizonte C está particularmente bien definido. Vastas zonas de la zona intertropical han sido afectadas por erupciones volcánicas durante los tiempos geológicos. Es así que en el curso de la época terciaria, inmensas capas basálticas se extendieron sobre América del Sur (Panamá), sobre Africa (Basotuland, Camerun) y en la India (Dekkan).

La orogenesis alpina ha sido acompañada por erupciones volcánicas en muy numerosos paises, México, todos los estados de América Central, la cadena Andina, las Antillas y en Indonesia.

El continente Africano ha sido afectado desde fines del Cretáceo y durante todo el Terciario por movimientos plutónicos fuertes, acompañados de innumerables erupciones volcánicas, por ejemplo en Etiopia, Ken

ya, Congo, Camerun y Madagascar. También en diferentes islas aisladas en el oceano Indico (Reunión, Maurice) en el oceano Pacífico (Tahiti), Samoa, Fidji, Hawai, etc.), todas ellas son esencialmente volcánicas.

Esos diferentes fenómenos volcánicos son todavía activos en ciertas regiones de la zona intertropical; estas rocas volcánicas de edades muy diversas han originado suelos ferralíticos muy variados. Ciertas comarcas tienen suelos todavía jóvenes de una riqueza considerable.

Otras rocas plutónicas.

Ciertas rocas profundas abarcando áreas importantes son las peridotitas. En Guinea, la dunita es abundante cerca de Conakry. Esta origina un material ferralítico completamente rico en hierro que se explota como yacimiento. En Surigao, Filipinas, un yacimiento análogo deriva de dunita serpentinada. En nueva Caledonia, las peridotitas y serpentinas tienen una extensión considerable. Estas rocas originan suelos ferralíticos de materiales que son explotados por sus contenidos elevados en níquel y cromo.

Las rocas sedimentarias.

Hemos insistido sobre la poca importancia general de estas rocas. Esto no quiere decir que su papel no sea importante para una determinada localidad. Las areniscas cuando son un poco arcillosas pueden origi-

nar suelos ferralíticos. Las margas (mezclas de material calcáreo y de arcilla) se comportan bastante impermeables; la lluvia no puede penetrar y se da lugar a fenómenos de erosión más bien que a fenómenos pedológicos. La posibilidad para el material calizo de originar suelos ferralíticos es bastante discutida. Se admitía hasta hace poco que las bauxitas del sur de Francia derivaban de material calcáreo subyacente. Esto ha originado actualmente serias discusiones. Se llegó a decir que los materiales calcáreos no podían originar suelos ferralíticos. El hecho de que no existan relaciones entre las bauxitas y el material calcáreo subyacente no puede excluir la formación de suelos ferralíticos a partir de material calcáreo. Suelos de este tipo han sido observados en México, Yucatán, Madagascar y Africa del sur.

Parece pués, que con grados diversos todas las rocas son susceptibles de originar suelos ferralíticos.

1.1.4 Papel de la topografía y del drenaje.

Hemos visto anteriormente que las condiciones deben existir para que pueda llevarse a cabo la formación de un suelo ferralítico. Todas las zonas con un drenaje normal y que responden a las condiciones climáticas expuestas, deben ser favorables a la ferralitización.

Las zonas con pendientes importantes (sin ser excesivas) son favorables al desarrollo de los suelos. En Africa donde se nota una larga de pe-

queñas colinas existe una capa freática que se eleva en el perfil. Esta no impide el desarrollo del perfil de suelos ferralíticos y puede ser responsable del enriquecimiento absoluto del horizonte B en hierro. Eso ocurre también en América del sur.

Las zonas bajas en donde el escurrimiento del agua es muy débil no originan suelos ferralíticos sino más bien suelos hidromorfos.

1.1.5 Papel del tiempo.

El tiempo es un factor importante en pedología. Es por desgracia difícil representarlo y analizarlo convenientemente. Por lo general es difícil determinar la edad de los suelos.

Sin embargo, N. Leneuf, en la Costa de Marfil procedió a cálculos con respecto a la velocidad de ferralitización, teniendo en cuenta la composición de los granitos en estudio, los contenidos en elementos solubles que se encontraron en las aguas de los arroyos y otros en las montañas y además del drenaje calculado por la fórmula de Henin:

$$D = \frac{\gamma' P3}{1 + \gamma P2} \qquad \gamma = \frac{\alpha}{0,15T - 0,13}$$

α varía de 0,5 (suelos arcillosos) a 2 (suelos arenosos).

Este autor encontró que para asegurar una ferralitización completa sobre 1 metro de espesor, son necesarios 20.000 a 77.000 años en la zo

na más húmeda (1.800 a 2.000 mm de lluvia por año) y 53.000 a 192.000 en la zona menos húmeda (1.300 a 1.500 mm por año).

Por su parte Nye evaluó en Nigeria que el abatimiento de suelos es de 1 pie por 12.000 años, cifra bastante cercana a la encontrada por Leneuf. Por otra parte, este autor evaluó sobre la base de la medida de las cifras anteriores, el tiempo que sería necesario para abatir el relieve de 350 metros alrededor del monte de Oromboboka y 450 metros alrededor del monte Kope coronados de coraza ferralítica. Los resultados dieron 22.500.000 años para el monte Kope y 42.000.000 para el monte Oromboboka. El acorazamiento sobre estas montañas remontaría al oligoceno y al eoceno (al principio de la edad terciaria). Los procesos de ferralitización estarían pués en curso en la costa de Marfil y de una manera general en el oeste Africano desde tiempos muy antiguos.

Es un fenómeno muy lento. La antiguedad del fenómeno no debe sorprendernos, si se recuerda lo que se dijo al principio de este curso, en donde se insistió sobre una superficie muy grande desde hace muy largos períodos.

El tiempo imprime su influencia sobre el desarrollo del perfil mismo. Esto ha sido puesto en evidencia por Mohr y Van Baren en Indonesia. Es en este sentido que se pueden considerar las relaciones limo sobre arcilla, las que nos puede dar una idea del grado de evolución de un suelo.

Si L/A es inferior a 0,2 se tendrá un suelo evolucionado.

Si L/A es superior a 0,2 el suelo será menos evolucionado.

A medida que la alteración avanza, la fracción fina aumenta.

1.2 Alteración de algunos minerales primarios en los suelos ferralíticos.

1.2.1 Las diferentes formas de sílice.

El cuarzo por largo tiempo se creyó que era inalterable idea que ha venido perdiéndose a la fecha todavía más y más. Trabajos recientes han mostrado que el cuarzo presenta en el agua una solubilidad mediable. Se admiten solubilidades que varían de 0,003%(30ppm) a 0,0006% (6ppm) En cambio la sílice amorfa es mucho más soluble. A la temperatura ordinaria, la solubilidad medida por muchos autores es alrededor de 120-140 ppm (0,014%).

En consecuencia, estas cifras nos indican que la sílice producida por descomposición de las rocas puede ser facilmente eliminada por las aguas de percolación.

1.2.2 Los feldespatos y minerales ferro-magnesianos.

En cuanto a los feldespatos N. Leneuf, señaló en la Costa de Marfil un sercitización acentuada de plagioclasas en un primer estadio de la alteración. Los feldespatos potásicos (microclina en particular) se alte

ran muy lentamente. Las plagioclasas sódicas en forma media, las plagioclasas cálcicas rapidamente. Los feldespatoides (nefelina) se alteran también rapidamente. Los anfíbolas se alteran menos que los piroxenos, los granates se alteran también rapidamente. Todos estos minerales producen como resultado final de la alteración, silicio, aluminio, hierro y magnesio.

El aluminio puede presentarse en forma de gibsita. Pero parece ser que una forma cristalizada es necesaria para que sea posible la síntesis de la caolinita a partir del aluminio y de la sílice. Puede también efectuarse la formación de montmorillonita; siendo mas raras las demás arcillas.

1.2.3 Las micas.

La mica negra ferromagnesiana llega a transformarse completamente en hidróxidos de hierro, aluminio y en sílice. Algunos autores, como Nye, estiman que el paso por el estadio vermiculita es importante.

La mica blanca se altera mas lentamente y produce, por intermedio de la ilita, la caolinita.

1.2.4 Otros minerales.

La magnetita (Fe_3O_4) en general no se altera en los suelos. Pero se nota a veces una transformación en maghemaïta. La ilmenita($FeTiO_3$) se altera muy lentamente.

1.3 Síntesis y alteración de algunos minerales secundarios.

1.3.1 Productos amorfos.

La atención se ha fijado sobre la obtención de gels como primeros productos de la alteración de los minerales primarios. Los gels de Fe y Al son ahora conocidos gracias a los estudios hechos en laboratorios, donde es posible seguir la evolución de los productos amorfos a productos cristalizados.

Gels de Hierro : Fe_2O_3, nH_2O "Stilpnosiderita". Este producto se obtiene por oxidación e hidrólisis de los minerales primarios. Su envejecimiento produce mas o menos rapidamente la formación de goethita.

Gels de Aluminio: Al_2O_3, nH_2O "Alumogel" o "Kliachita". Este producto se obtiene por la hidrólisis de silicatos diversos de aluminio. El envejecimiento de estos gels produce la formación de gibsita (forma cristalizada). Gastuche y Herbillón han mostrado que la presencia de iones extraños impedían que se efectuara la cristalización. Con pH alto, la cristalización se produce mejor que con pH ácido. En el laboratorio se ha notado la fase intermedia de boehmita que no se observa en la naturaleza.

La presencia de gels de hierro y aluminio en un suelo puede corresponder a un estadio juvenil del mismo, o bien, a la presencia de impurezas que impiden la cristalización.

Silicatos amorfos : Alófano. Este producto parece relacionado a un pequeño número de suelos que corresponden a una roca madre y a condiciones climáticas particulares. Se encuentra en los suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas, sobre todo, donde los contenidos en materia orgánica son elevados, en las regiones lluviosas y frescas (altiplanicies). Este producto parece ser un estado intermedio y puede estar ligado a la presencia de material vidrioso frecuente en las cenizas volcánicas y bajo clima fresco que retarda su transformación a material cristalizado.

1.3.2 Minerales de 14 A°: Cloritas; Minerales de 10 A°: Vermiculitas, Ilitas.

Este conjunto de minerales no son constituyentes normales o permanentes de los suelos ferralíticos. Están presentes solamente si existe alguna influencia que esté afectando la roca madre o ciertos constituyentes. Bonifas encontró en Guinea cloritas como producto de la alteración de biotitas y piroxenas. Nye encontró la vermiculita en la base de los suelos ferralíticos. Sys y Fripiat encontraron la ilita en suelos afectados por la presencia de una roca madre esquitosa, o bien, cuando el suelo es joven (ferrisoles donde las micas blancas pueden todavía sub-

sistir). Normalmente estos productos deben desaparecer durante el proceso de ferralitización.

1.3.3 Otros minerales de 10 A°: Montmorillonitas.

Las montmorillonitas han sido identificadas en numerosos suelos ferralíticos, cualquiera que sea la roca madre. Esta montmorillonita se encuentra a la base de los perfiles, cuando el drenaje es malo o mediocre, y la eliminación de las bases no es suficiente (Ca^{++} sobre todo) proceden te de la alteración de los minerales. Si llegan a ser buenas las condiciones de drenaje, la montmorillonita desaparece y es reemplazada por la caolinita y la gibsita.

1.3.4 Minerales de 7 A°: Caolinitas(Caolinita en el sentido estricto) y Haloisita.

Los productos caoliníticos (caolinita y haloisita) son los minerales arcillosos fundamentales de los suelos ferralíticos. No hay casos de mi conocimiento, donde no se encuentre mineral caolinítico en un suelo ferralítico aún cuando esté muy pobre en aluminio al principio.

Síntesis de la caolinita.

Por largo tiempo fue imposible realizarla en laboratorio. Recientemente se ha podido lograr lo que permite llegar a una mejor comprensión de los fenómenos naturales. Esta síntesis fue realizada a partir de gels

alumini-silicicos. Hay que notar la importancia del pH y la presencia de iones extraños. Cuando el pH es bajo y la cantidad de iones pequeña, el aluminio tendrá la tendencia a tomar la coordinación 6 y constituir la estructura de octaedros (tipo gibsita). La sílice vendrá a "pegarse" sobre esta capa octaédrica para formar la caolinita.

Wey, Siffert, Henin y Caillere han insistido sobre la necesidad de pasar por la fase gibsita en la cual el Al está hexacoordinado.

Cuando el contenido iónico es muy elevado y el pH alcalino, se tendrán minerales 2:1 tipo montmorillonita debido a la abundancia de la sílice.

El primer mineral caolinítico parece ser la haloisita, que está presente en la base de muchos perfiles.

A medida que el suelo envejece, o bien que se dirige hacia la parte superficial del perfil, la haloisita desaparece para dar lugar a la caolinita.

Destrucción de la caolinita.

Algunos autores no admiten la degradación de la caolinita. Estiman que la gibsita proviene de la alteración de los minerales primarios y que la caolinita una vez constituida no puede degradarse. Los argumentos en que se basan, sobre todo, es que en algunos suelos ferralíticos no se encuentra mas que la caolinita en todo el perfil, sin trazas de gibsita. Esto es particularmente cierto en Africa en los suelos

derivados de rocas ácidas (granitos, gneiss, etc.), pero no lo es para las syenitas nefelínicas (Guinea) y tampoco para las rocas básicas (Camerun).

Sin embargo, se pueden poner en evidencia numerosos perfiles en donde la haloisita-caolinita es muy abundante en la base sin gibsita y donde la caolinita desaparece a medida que se sube en el perfil, mientras que la gibsita aumenta. En el Territorio Federal Amazonas del Sur de Venezuela, la gibsita es extremadamente frecuente asociada a la caolinita en los suelos ferralíticos de altiplanicies (encima de 1.500 m). No se ve entonces de donde provendría la gibsita en este caso. Se ha podido ver en el microcopio electrónico cristales de caolinita cuyos bordes estaban roidos. Experimentos en el laboratorio han señalado que puede facilmente degradarse la caolinita y extraerse aluminio.

Parece pués, que si la caolinita es a menudo un mineral muy resistente, se puede en general degradar, y es probable que la misma origine la gibsita de muchos suelos.

1.3.5 Oxidos e Hidróxidos.

Los óxidos e hidróxidos de hierro no presentan problemas particulares. En la mayoría de los casos la goetita es el mineral esencial. El paso por el estado previo amorfo es casi probable y está confirmado por numerosos trabajos de laboratorio. En las regiones donde la estación se

ca es larga, los suelos contienen hematita que resulta de la deshidratación de la goetita.

La maghemita es un constituyente bastante especial y está ligado a la magnetita a la que se asemeja bastante por su estructura.

No hay óxido de aluminio en los suelos ferralíticos. La boemita AlOOH es presentada por ciertos autores como intermediaria entre los gels y la gibsita. Esto necesitaría ser comprobado. Este producto no ha sido de mi conocimiento en determinaciones en suelos de tipo ferralítico. Por el contrario se ha encontrado en corazas bauxíticas ese mismo material en Adamaoua en Cameroun, donde la edad avanzada no puede ser puesta en duda. Se encuentra igualmente en las bauxitas del sur de Francia. En los dos casos este hidróxido está acompañado de gibsita. Se puede pensar que la boemita resulta de la deshidratación de la gibsita con rearreglos estructurales.

La gibsita es un constituyente común de los suelos ferralíticos; proviene de la alteración de los silicatos de aluminio primarios los más variados. E igualmente pensemos nostros, de todos los silicatos de aluminio secundarios incluyendo la caolinita. La silicificación de la gibsita joven es indispensable para explicar la formación de la caolinita.

El leucoseno es un hidróxido de titanio que se produce a partir de minerales titaneíferos como la Augita, pero no a partir de óxidos naturales como el rutilo o anatasa.

Por fin la sílice que proviene de la alteración de los minerales primarios se une a la base de ciertos y forma agrupaciones de Opalo y aún de cuarzo.

1.4 Los procesos de la Ferralitización.

1.4.1 Historia de nuestros conocimientos.

Los primeros trabajos sobre suelos ferralíticos se remontan a principios del siglo XIX y se han podido obtener resultados analíticos sólo hasta fines del siglo, con trabajos de Bauer, y los Lemoine y Chautard. Estos autores comprobaron una disminución de bases alcalinas y alcalinoterreas y un aumento de hierro y aluminio. Fermor, Lacroix, proporcionan informaciones en 1911 y 1913 muy precisas sobre los productos que se encuentran en los suelos ferralíticos. Parece que a partir de este momento es que se han presentado las primeras explicaciones de este fenómeno.

A principios del siglo, Clinka, expresa la idea general que bajo los tropicos los fenómenos de alteración son mucho más fuertes que en las zonas templadas y que se ha podido ampliamente sobrepasar el estadio caolinítico, para llegar a la formación de aluminio. Holland, en 1903, expresa puntos de vista semejantes e insiste sobre la pérdida completa de sílice y como resultado un residuo de hierro y aluminio. Este au-

tor insiste también sobre la importancia de las bacterias en la evolución del suelo; en particular en lo que se refiere a la acumulación del hierro.

Pensamos así que Campell en 1917, presenta la primera teoría sobre la ferralitización que tiene en cuenta tanto observaciones morfológicas como resultados analíticos. Campell da una importancia considerable a la capa freática. Abajo de esta capa prevalecerán condiciones anaeróbicas y el hierro será reducido al estado ferroso. El escurrimiento lateral lleva alcalis, alcalino-terreno, un poco de sílice, y el resto es un residuo de arcilla y de cuarzo. En la capa superior nosotros encontraremos una zona de abatimiento de la capa freática. La saturación por el agua será intermitente. El oxígeno tendrá acceso y se podrán efectuar depósitos de productos. En la superficie el aire tendrá siempre acceso y se encontrará en un medio aeróbico. El hierro y el aluminio serán precipitados.

Los suelos ferralíticos serán pues el resultado de la pérdida gradual de la sílice, de las bases y el resto será un depósito donde dominarán el hierro y el aluminio. En 1912, Simpson había presentado puntos de vista bastante próximos como Walter.

Lacroix en 1913, estima necesaria una alternancia de estaciones marcadas. En 1940, Whitchouse sugirió una doble migración, una de abajo hacia arriba favorecida por una larga estación seca y la otra de

arriba hacia abajo debido a la estación de lluvias.

Erhard en 1926, tomando la opinión de Kossovitch insiste sobre la necesidad de una hidrólisis alcalina que por si sola es susceptible de explicar la pérdida de sílice y la precipitación del hierro y del aluminio. Sherman en 1949, en las islas de Hawai estudiando simultáneamente la precipitación y el contenido mineral del suelo, comprobó que cuando la precipitación es débil se puede observar caolinita e hidróxido de hierro. A medida que la precipitación aumenta notó la descomposición de caolinita a gibsita. Bajo las mas fuertes precipitaciones ya no se encuentra caolinita. Tanada en 1951, hizo una comprobación análoga y estableció una ecuación mostrando la disminución de la relación sílice sobre aluminio, con la precipitación. En Madagascar (parte sur), se encontró igualmente que la precipitación tenía un efecto depresivo sobre esa relación, pero que una disminución de la temperatura tenía por el contrario una tendencia a favorecer la silicificación de la gibsita. Practicamente todos estos autores admitieron los puntos de vista de Clinka relativos a la alteración de los minerales que deben sobrepasar el estadio caolinítico y alcanzar el estado de la gibsita. Sin embargo, en 1910, Harrison hizo notar que la caolinita no estaba presente en la profundidad pero sí en la superficie. El admitió que la gibsita se resilicificaba para formar la caolinita y no el proceso inverso. En 1931, Serivenor, se sorprendió que en Malasia, se encontraba poco

aluminio libre pero mucha caolinita (el nota, sin embargo, que en las rocas básicas hay mucho aluminio). Waegemans (1951) en el Congo notó que no se encontraba la gibsita, pero sí la caolinita. Fripiat, en 1958, encontró que la caolinita es muy frecuente, pero también bastante gibsita (con mucha frecuencia). En el sur de Camerun, en la zona de clima ecuatorial, los suelos derivados de gneiss o de granitos tienen contenidos de caolinita y de goetita elevados, en gibsita son débiles o nulos. En la Costa de Marfil, Leneuf concluyó que los suelos derivados de granito son ricos en caolinita con un poco de gibsita.

En consecuencia parece que hay dos procesos diferentes y aparentemente contradictorios. En un proceso, el estado de la caolinita era avanzado con aparición de cantidades importantes de gibsita. En el otro, el estado caolinítico ya no fue casi aventajado.

Trataremos ahora de presentar una explicación general que se aplica a todos los casos mencionados.

1.4.2 Estudio de la ferralitización en los diferentes horizontes del suelo.

Horizonte C.

Al nivel de la roca madre comienzan los procesos de alteración. Son numerosos y no se puede decir cual de ellos actúa en primer lugar. La acción del agua es pues primordial, hidrólisis, hidratación, disolución.

La unión de estas acciones tienen como resultado la pérdida de las bases y de la sílice. Leneuf, sugiere el orden siguiente: Mg, Na, Ca, K y Si. El aluminio liberado no puede existir bajo la forma de ión a pH normalmente poco ácido que existe en este perfil, entonces el mismo aluminio se precipita en forma de gels y después en forma de gibsita, una parte de la sílice puede reaccionar sobre esta gibsita y constituir inmediatamente la caolinita. Si el drenaje es conveniente el oxígeno de la superficie es llevado por el agua de percolación pudiendo descender y empezar la oxidación del hierro. Si el drenaje es mediocre, las bases son liberadas pero no eliminadas, estas bases mantienen un pH más elevado favorable a la formación de arcilla de relación 2-1 que es fijadora de sílice.

Eventualmente otras especies pueden formarse y así mantenerse más o menos largo tiempo como la vermiculita, ilita y clorita, que son minerales que pueden movilisar el hierro bajo la forma ferrosa. Cuando hay un buen drenaje, el estado de arcilla 2-1 tendrá tendencia a desaparecer.

Horizonte B.

Es en este horizonte donde la ferralitización se realizará a su grado máximo. Los minerales primarios y alterados desaparecerán, salvo el cuarzo. Las bases estarán en cantidades muy débiles en este horizonte (el intercambio es inferior a me). La pérdida de la sílice que pa-

rece gradual en el horizonte C va a continuar más o menos en el horizonte B. Los hidróxidos van a concentrarse. Trataremos de ver como se realiza este proceso.

Concentración del aluminio.

Sabemos que entre un pH 4 y 10 el aluminio precipita bajo la forma de Al (OH)3 cuya solubilidad es casi nula. El gel cristaliza rapidamente bajo la forma de gibsita. Por reacción con la sílice hay formación de caolinita. El aluminio no tiene más que una valencia y no puede pasar a la solución. Sus posibilidades de desplazamiento son excepcionalmente reducidas.

La alteración de la caolinita va a provocar la separación de la sílice y del aluminio menos soluble. La sílice será llevada en las aguas de percolación y será eliminada. El aluminio se acumulará de manera relativa (debido a la pérdida de sílice).

El problema de la transformación de la caolinita parece ser lo más difícil en la Pedología Tropical. Actualmente nosotros tenemos actitudes diversas frente a este problema. Trataremos de hacer un resumen de estos conceptos:

a.) No hay transformación de caolinita-gibsita; pues en ciertos suelos no se encuentra gibsita, sino solamente caolinita. Es claro que en la zona ecuatorial (Guayana, Camerun, Malasia, Congo, etc.)

ciertos suelos no contienen más que caolinita. Pero se trata siempre de suelos derivados de rocas ácidas y también de suelos situados en zonas con altas precipitaciones, distribuidas casi sobre todo el año. Parece que en efecto, es probable que cuando estas dos condiciones están reunidas se obtiene la caolinita asociada a un poco o nada de gibsita. Pero este no es el caso de Madagascar. Sin embargo, las rocas básicas, aún bajo climas ecuatoriales, dan siempre cantidades apreciables de gibsita (Camerun, Malasia, Hawai y Macizo Guayanés).

Es claro que en ciertas zonas calientes pero relativamente secas, hay caolinita (y eventualmente otros minerales arcillosos del tipo 2-1) y nunca gibsita. Pero en estas zonas el clima es muy seco (estación seca muy larga o cantidad de agua disponible insuficiente) no habrá jamás en efecto gibsita.

b.) Hay un paso de caolinita a gibsita. Este paso es posible y ha sido demostrado en los nuevos estudios de perfiles por el examen de minerales bajo el microscopio electrónico. En todos esos casos se produce bajo las rocas básicas, en todos los climas suficientemente húmedos y sobre todas las rocas en climas con estaciones muy marcadas.

Diversas explicaciones han sido propuestas, apoyadas sobre experiencias de laboratorio. Cuando se someten los minerales arcillo-

sos a la acción de sales neutras se libera hierro y aluminio. Cuando se prepara caolinita ácida o se prepara una arcilla con hidrógeno y aluminio donde el aluminio es desplazable, la alternancia de la humefacción y desecación será favorable al desplazamiento del aluminio. Estas explicaciones parecen atractivas pero podía quedar la duda en el sentido del origen de las sales neutras en la naturaleza.

Para concluir podemos decir que el paso de la caolinita y gibsita parece no producirse o producirse muy poco en el caso de las rocas ácidas y bajo los climas de larga estación de lluvias donde los suelos no llegan a secarse. Este paso ocurre siempre en el caso de los suelos de rocas básicas, cualquiera que sea el clima y en todas las rocas madres, siempre y cuando las estaciones sean marcadas.

Concentración del hierro.

La alteración, en un medio oxidante, de los minerales que contienen hierro conducen a la liberación del ión ferrico. Este ión no puede existir más que bajo un pH 3, y esta condición no se realiza en el suelo. Se pasa directamente a un hidróxido amorfo de hierro $Fe(OH)_3$ que por envejecimiento dará origen a la goetita; esta después nos dará origen a la hematita. Si las condiciones son reductoras se tendrá

el ión ferroso que usbsistirá hasta un pH de 6,0 aproximadamente. A un pH mayor se precipitará bajo la forma de hidróxido ferroso Fe (OH)2. En consecuencia, en condiciones oxidantes, el hierro va a precipitar y a comenzar su acumulación relativa. Por el contrario en condiciones reductoras y a un pH menor de 5, el hierro es soluble y móvil siendo susceptible de emigrar y dar lugar a acumulaciones absolutas. Por otra parte, el hierro (ferroso o férrico) es susceptible de formar los compuestos apropiados de naturaleza orgánica, complejos o quelatos solubles. De ahí, nuevas posibilidades de emigración, que puede efectuarse de tres maneras según varios autores:

- De abajo hacia arriba:

  Diferentes autores admiten que en la profundidad del suelo las condiciones son reductoras (ausencia de oxígeno en el agua es muy probable y presencia de compuestos reductores que deben demostrarse) y el hierro se encuentra en estado ferroso. Durante la estación seca hay un ascenso por capilaridad de soluciones cargadas de hierro que se oxidan en la parte superior oxidante del horizonte B, movimientos de soluciones del suelo debido a las raices.

- De arriba hacia abajo:

  Debido a la formación de complejos en el horizonte humífero, el hierro es movilizado de la superficie y arrastrado hacia la profun-

didad donde estos complejos son destruidos.

- Oblicuamente:

Maignien, Shorman, sugieren que en un lugar con fuertes cantidades de materia orgánica (suelo hidromorfo local), por ejemplo los complejos orgánicos se forman y después de combinarse con el hierro migran lateralmente con la capa freática. Después de recorrer cierta distancia las soluciones que contienen hierro bajo la forma compleja llegan a la parte oxidante del horizonte B, el complejante es destruido y es el hierro, precipitado.

Estas son las tres maneras del desplazamiento del hierro y en muchos casos constituyen concentraciones absolutas importantes.

Horizonte A.

Sobre este horizonte cae poco a poco una cantidad considerable de productos vegetales. Esto es el centro de actividad de una microflora muy activa que rapidamente mineralizará la casi totalidad de esta materia orgánica; en este mismo horizonte encontramos también una producción animal igualmente activa (gusanos, hormigas, termitas, comejenes) que remueven cantidades considerables de materia orgánica y de hierro mezclándolas intimamente; también estos mismos, dejarán ahí sus deyecciones y sus cadáveres.

Los productos complejos formados no existirán mas que en cantidades muy pequeñas y el desplazamiento del hierro será poco importante; salvo el caso de un drenaje mediocre este desplazamiento puede ser más acentuado.

Es en este horizonte en donde se encuentran algunas bases intercambiables, y estas pequeñas cantidades de ellas de que dispone el suelo, constituirán el centro de su fertilidad.

CONCLUSIONES

El proceso de Ferralitización está compuesto de tres aspectos diferentes. Sin embargo, hay que precisar que este proceso se lleva a cabo bajo un clima relativamente caliente y húmedo, que se desarrolla bajo una vegetación forestal, sobre todas las rocas madres, pero con grados diversos, que el drenaje debe ser adecuado a estas condiciones y que este proceso es muy lento.

1.- Los minerales de la roca son alterados profundamente por la acción del agua y del oxígeno. Más bien por la acción combinada de ellos. La mayor parte de estos serán totalmente destruidos, otros (cuarzos y magnetita) llevarán mucho más tiempo para su alteración; las bases serán eliminadas casi en su totalidad, la sílice sólo será parcialmente eliminada y el hierro y el aluminio subsistirán. Al principio y en caso de mal drenaje puede haber un principio de hidrólisis ácida, en la cual la

sílice de los silicatos es disuelta con la formación de gibsita y caolinita; una parte de hierro puede estar separado bajo la forma de hidróxido, otra parte de este mismo hierro bajo la forma reducida.

2.- Se produce una concentración de minerales arcillosos (esencialmente caolinítricos), también de hidróxidos de aluminio (estos pueden provenir directamente de la alteración de minerales primarios ò bien de la caolinita). Esta concentración es relativa. En cuanto a los hidróxidos de hierro la concentración puede hacerce de manera relativa en razón de la solubilidad y movilidad de los compuestos formados por este metal.

3.- En la superficie, la materia orgánica proporcionada en abundancia por la vegetación forestal será descompuesta muy rapidamente por una fauna y una microflora muy activa. Algunas bases podrán subsistir por la presencia de la materia orgánica. En ciertas condiciones pueden formarse complejos favoreciendo la solubilización de pequeñas cantidades de hierro.

CAPITULO IV

LOS SUELOS FERRALITICOS (3ra. PARTE)

1.- Los procesos secundarios que acompañan a la Ferralitización

Varios procesos pueden acompañar o no al proceso central de la ferralitización que ha sido definido anteriormente. Se trata de INDURACION, la acumulación de materia orgánica y la LIXIVIACION. Los dos últimos en Africa no presenten en la zona tropical húmeda más que un interés limitado. El primero en cambio es muy importante y abarca extensiones de terreno bastante considerables. En América el proceso de lixiviación parece más desarrollado en los suelos ferralíticos que en suelos similares en Africa.

Debe entenderse por induración, un proceso general de endurecimiento de materiales ferralíticos. Este proceso puede estar limitado a puntos particulares y denominarse entonces concrecionamiento o bien puede abarcar grandes superficies y denominársele acorazamiento. La induración no es más que un proceso específico de los suelos ferralíticos. Se conoce en los suelos de paises templados (Podzol) e igualmente en otras categorías de suelos de paises tropicales (Suelos ferruginosos tropicales). También ocurre en los suelos hidromorfos.

1.1 El concrecionamiento.

Es un proceso que abarca un gran número de suelos ferralíticos en Africa como en América, en donde es bastante raro encontrar un suelo ferralítico sin concreciones. En cambio la formación de concreciones son mucho menos frecuentes en los suelos ferralíticos de Madagascar.

1.1.1 Diferentes tipos de concreciones.

En los suelos ferralíticos, las concreciones pueden tener formas y dimensiones variables, pero en general la mayoría presenta la forma esférica y su diámetro varía entre algunos milímetros y 1 a 2 cm. Su color va del rojo oscuro al negro azulado. Se presentan escasamente zonas visibles de acrecentamiento. Al exterior, se notan a menudo una capa más duro y más oscura.

Las masas concrecionadas presentan formas muy variadas, mamelonadas, tubulares, etc. Sus dimensiones son mucho más importantes y van de algunos centímetros a 25 cm.

Las pseudoconcreciones, resultan del atrapamiento de un fragmento de roca mas o menos alterado y que ha sido ferruginizado y endurecido de tal manera que al exterior presenta casi un aspecto de masa concrecionada.

1.1.2 Naturaleza de las concreciones.

Las concreciones, masas de concreciones y pseudoconcreciones, se encuentran localizadas en general en el horizonte B y sobre todo en la parte superior de este mismo horizonte. Es muy frecuente encontrarlas también en el horizonte A. Se localizan más raramente en el horizonte C. La composición es bastante variable. Son ricos en hierro pero su presencia no es obligada.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2
Hawai	0,8-2,5	0-7,0	71-83	10-18
Madagascar	10-17	9-19	52-58	0,3-2,6
Camerun	12	12	35	0,8

1.1.3 Génesis de las concreciones.

Kubiena se ha interado mucho a la formación de las concreciones. Ha estudiado principalmente su microestructura al microscopio. El nota al principio que existe un fondo uniformemente disperso, luego aparecen microconcreciones. Parece que la aeración provocada por las galerías formadas por los gusanos es importante. En todo caso el suelo permanece siempre húmedo, pero se nota la formación de pseudo-gley. El hierro se encuentra al principio bajo la forma de gel. Poco a poco, la cristalización se efectúa y expulsa el agua que se encuentra en exedente.

Varios autores piensan que hay un desplazamiento oblícuo o vertical del hierro bajo una forma ferrosa, luego precipitación y oxidación. Estas explicaciones son pausibles. Es posible que el hierro se desplace bajo la forma de complejo, en particular en el horizonte B oxidante y aerado. Sin embargo, el endurecimiento de la concreción que se produce en estos suelos muy húmedos, falta todavía ser estudiado. En muchos casos, en el Macizo Guayanés, estas concreciones aparecen en suelos ferralíticos cuyos perfiles presentan una diferenciación vertical fuerte. La aeración y la permeabilidad disminuyen fuertemente en los horizontes B. Eso permite entender la precipitación y la oxidación del hierro en la parte superficial del perfil.

1.2 El acorazamiento.

Es un proceso mucho mas amplio que el proceso de formación de concreciones, aunque su naturaleza es muy semejante. Recordemos que el primer material acorazado fue descrito por Buchanan en el año 1807. Es a ese material al que se le dió el nombre de laterita el que originó descripciones y características sucesivas de Pendleton, Preez, Prescott, Kellog, Aubert, Sherman, Waegemants, etc. El proceso de acorazamiento ha sido el objeto de un estudio de Maignien en Guinea. Para nosotros el acorazamiento será una induración que afecte un horizonte del suelo.

1.2.1 Morfología de los suelos ferralíticos acorazados.

Se distingue la sucesión de horizontes siguiente:

- Coraza ferruginosa
- Arcilla moteada
- Arcilla blanca
- Roca madre alterada

Esta sucesión de horizontes se encuentra en las descripciones de Hellsworth, Mulcahy, Teakle, que hicieron descripciones de corazas en Australia. Duchaufour y Maignien dan igualmente descripciones de suelos acorazados de Africa; las observaciones concuerdan con las de los autores anteriores, por lo tanto no vamos a ampliarlas. Parece interesante insistir sobre el hecho de que las corazas se encuentran en la superficie (o por lo menos muy cerca de la superficie). En Madagascar, se notó que se encontraban a 60 cm. En el Territorio Federal Amazonas (Venezuela) las corazas que se desarrollan en los suelos ferralíticos desarrollados en las Altiplanicies principalmente graníticos o gneissicos (1.600 m) se encuentran también alrededor de 60 cm de profundidad.

1.2.2 Morfología de las corazas.

Está caracterizada por su dureza, estructura, color y densidad.

Dureza: La coraza no se parte con la pala, pero cede al martillo.

Estructura: Hay aquí muy diversas pero las más frecuentes son:

Los conglomerados arredondados angulosos por cementación de un cemento generalmente ferruginoso; Vacuolar compuesto de partes duras de color oscuro con partes mas o menos claras de color amarillo y desmenuzable; Escoriaceo que evoca una escorea de color oscuro; lamelar, esa estructura es frecuente sobre las pendientes; y pisolítica formada de concreciones soldadas entre sí.

Color: Es muy variable y va del rojo oscuro a pardo o aún blanco.

Densidad: La densidad aparente es de 1.3 a 2.6; la densidad real es 2.6 a 3.6.

1.2.3 Composición de la coraza.

Se observa una gran variación, pero lo mas importante es la variación del hierro y el aluminio.

	SiO_2%	Al_2O_3%	Fe_2O_3%	TiO_2%
Hawai	4-8	6-12	60-65	11-26
Guinea	1-25	4-60	4-84	-
Madagascar	0-8	33-38	25-34	3-6

La naturaleza de los constituyentes es la misma que nosotros hemos encontrado hasta ahora: caolinita, gibsita, goetita, hematita y leucoseno.

1.2.4 Condiciones determinantes de la formación de corazas.

Estas condiciones son de diferentes ordenes. En primer lugar, debe realizarse una acumulación mas o menos importante de hidróxidos susceptibles de endurecerse. Esta concentración realizada mediante condiciones topográficas particulares, producirá el endurecimiento. Veremos en seguida los tipos de corazas que resultan.

1.2.4.1 La primera condición que debe satisfacerse es la concentración de hidróxidos. Esta puede realizarse bajo dos formas: relativa o absoluta. La acumulación relativa se produce cuando ciertos productos se acumulan y otros han sido totalmente eliminados. En el caso de las corazas bauxíticas, la gibsita se encuentra en gran abundancia con la consecuente eliminación, casi total, de la sílice de los silicatos y aún del hierro.

La acumulación absoluta se produce cuando se han introducido en el suelo uno o varios elementos que vienen del exterior. Un gran número de corazas ferruginosas se han formado de una manera absoluta debido a los aportes de hierro provenientes de otras partes. Este hierro viene o puede venir de tres maneras:

a.) Por ascenso capilar. Este proceso es admitido por uno y discutido por otros, los que le dan solamente una importancia secundaria. El hierro se encuentra bajo forma reducida en la capa freática; por el ascenso capilar las soluciones del suelo se dirigen de abajo ha

cia arriba y se concentran en B donde el hierro se oxida.

b.) Movimientos oblícuos. Estos movimientos oblícuos se admiten por muchos autores. El hierro es complejado por la materia orgánica y se desplaza oblícuamente a lo largo de las pendientes. Cuando la solución llega a un medio suficientemente oxidante para destruir el complejo, este libera el hierro que se precipita. Los minerales arcillosos sirven de soporte a los hidróxidos de hierro, hasta 12-16%, después se precipitan separadamente.

c.) Movimientos verticales de arriba hacia abajo, pueden ser mencionados para explicar la presencia de fuertes cantidades de hierro en B; pero es probable que sean poco importantes.

Las concentraciones de hidróxidos corresponderán a situaciones topográficas particulares. Las concentraciones relativas en aluminio se localizarán en las planicies altas de cierta extensión. Las acumulaciones sobre todo de tipo ferruginoso, tendrán lugar en la parte baja de las pendientes, también en ciertos puntos particulares alrededor de algunos arroyos.

Una vez que se ha realizado la concentración de hidróxidos es necesario después que lleve a cabo el endurecimiento del material.

1.2.4.2 El endurecimiento debe ser ligado en primer lugar al clima. Se pensaba que climas muy húmedos sin estaciones secas no parecían favore

cer la formación de corazas. Los regímenes ecuatoriales no parecen originar una formación importante de acorazamiento (fuera de pequeñas zonas localizadas en partes bajas de talivagos); el regimen tropical por el contrario (sobre todo el clima Guineano) parece particularmente favorable al acorazamiento. En Africa la zona de corazas corresponde casi siempre a este tipo de climas. La estación de lluvias es favorable a la migración de los hidróxidos; la estación seca a su concentración y endurecimiento.

Pero el factor determinante en el acorazamiento parece ser la deforestación, combinada con la erosión. Erhart admite que la desaparición de la selva provoca en la superficie una evaporación considerable. Marbut y Van Baren estiman que bajo la selva, la capa freática debe ser bastante baja debido a la evaporación por las raices. La destrucción de la selva provoca un ascenso de la capa freática con el resultado de la concentración de soluciones cerca de la superficie. Aubert ha mostrado que la desaparición de la selva provoca erosión del horizonte A y afloramiento del horizonte B. Este, siendo rico en hidróxidos, se endurecerá rapidamente para formar una coraza.

1.2.5 Algunos tipos de corazas. Corazas de planicie.

Las grandes planicies elevadas africanas o de Madagascar, resultan de un aplanamiento o del derramamiento sobre extensiones considerables de

capa basáltica del tipo hawaiano. El aporte del hierro proveniente de zonas situadas a mayor altura tiene de este modo poca posibilidad de efectuarse. La acumulación será más bien del tipo relativo, aunque en una acumulación absoluta (por una capa elevada subyacente) no deben excluirse a priori corazas de pendientes. Este es el caso de las corazas bauxíticas de Camerun por ejemplo. El hierro es puesto en movimiento en forma de complejos en lugares donde la materia orgánica es suficiente para formarlos y este hierro migra en una capa oblícua; al momento de una ruptura de pendiente, la capa aflora, los complejos son destruidos y los hidróxidos precipitan y se endurecen. Este caso es muy frecuente en Guinea y Madagascar.

Las corazas de talweg o de lago, corresponden a zonas mal drenadas donde el hierro ferroso se concentra, se oxida y endurece. Son poco frecuentes. Es claro que es posible encontrar intermediarios en estos tipos sencillos de corazas.

1.3 La acumulación de materia orgánica.

No obstante la definición general dada al principio de este curso diciéndose que, los suelos ferralíticos son "suelos con hidróxidos y con humus de descomposición rápida", se conocen algunos casos donde los suelos ferralíticos presentan contenidos importantes de materia orgánica. Este caso se produce cuando se asciende a ciertos macizos montañosos que han sido estudiados en las

islas Hawai y en América del Sur. Estos derivan generalmente de rocas volcánicas y son formados bajo precipitaciones muy elevadas (más de 2.000 mm) con temperaturas relativamente frescas. Este conjunto de precipitaciones elevadas y de baja temperatura parece naturalmente asumir el mantenimiento de materia orgánica, por otra parte fuertemente humificada. Estos suelos son generalmente de color muy oscuro, hasta negro. La fracción mineral es rica en caolinita. La gibsita es todavía relativamente abundante, pero tiende a disminuir con la altitud, la goetita disminuye igualmente y esto es atribuído a la abundancia de materia orgánica que favorece la formación de complejos de este mineral.

El pH es muy ácido (5 a 6) y el complejo absorbente es facilmente saturado. La materia orgánica se encuentra presente en cantidades importantes, de 7 a 15% en los suelos ferralíticos "cafés" y hasta 30-40% en los suelos ferralíticos "negros". No obstante que presentan un horizonte humífero muy pronunciado, estos suelos son muy pobres.

1.4 La lixiviación.

En varios lugares se han podido observar suelos ferralíticos que presentan un horizonte A2 lixiviado. Estos procesos son frecuentes en la Costa de Marfil donde se puede notar un enriquecimiento en arcilla hacia 1 m ó de 1,5 m.de profundidad; esto es cosa muy común en una gran parte de los suelos ferralíticos del Macizo Guayanés; este proceso de lixiviación conduce al desarrollo de horizontes menos permeables a media profundidad; la penetración ver

tical del agua en el suelo es reducida lo que provoca un escurrimiento superficial importante y aumenta los riesgos de erosión en caso de desmonte mal controlado. También pueden ocurrir arrastres importantes laterales u oblicuos de arcilla. El hierro en frecuentes casos se muda con la arcilla.

2.- Las fases de juventud de los Suelos Ferralíticos

Cuando los suelos son muy jóvenes, todavía poco evolucionados, presentando aún fragmentos de roca madre y que el complejo absorbente no llega a estar fuertemente saturado el problema a resolver no es difícil. Pero cuando la evolución se acentúa, se encuentran suelos en que muchas de sus propiedades se acercan en general a la de los suelos ferralíticos, mientras que para otros se alejan. Sys introdujo la noción de ferrisol que representa un estado de evolución hacia los suelos ferralíticos.

Los ferrisoles, tienen un perfil cercano al de los suelos ferralíticos pero menos profundos con agregados que presentan caras brillantes (que podrían ser debidas a los gels aluminio-silícicos).

La reserva alterable puede estar a vecer elevada en la fracción comprendida entre 50 y 250 cm.

La relación limo/arcilla es superior a 0,2. La capacidad de intercambio de la arcilla extraida del horizonte B es superior a 20 me/100 gr. El grado de saturación del horizonte B es inferior al 50%.

Los minerales de la fracción arcillosa son a menudo la caolinita con hidróxidos de hierro, algunas veces un poco de gibsita, y de pequeñas cantidades de arcilla de relación 2/1. La relación silice/aluminio está muy cerca de 2,0.

Desde el punto de vista morfológico, los ferrisoles son poco profundos y contienen a menudo minerales primarios todavía poco alterados. Los agregados presentan superficies brillantes. Estos ferrisoles resultan del "rejuvenecimiento" de los perfiles, por la erosión o el proceso de coluviación. Sus propiedades agronómicas son netamente mejores que las de los suelos ferralíticos.

3.- Definición de los Suelos Ferralíticos.

Después de haber revisado el conjunto de los suelos ferralíticos, definido el proceso de ferralitización y los procesos secundarios, vamos a tratar de dar ahora una definición que sea valida para el conjunto de todos los suelos ferralíticos. Es la que se adoptó en septiembre de 1961 durante una reunión de especialistas para hacer la carta pedológica de Africa. La definición es la siguiente:

"suelos a menudo profundos, cuyos horizontes presentan transiciones graduales, a veces con un horizonte A2 o B textural. Este horizonte puede estar ligeramente estructurado, pero los agregados no presentan superficies brillantes desarrolladas en los ferrisoles.

La reserva en minerales alterables es pequeña o a veces inexistente. La relación limo/arcilla es generalmente inferior a 0,25. Los minerales arcillosos son del tipo 1/1 asociados generalmente a los hidróxidos de hierro. Aunque a menudo estos suelos contienen hidróxidos de hierro, la presencia de gibsita es frecuente pero no esencial.

La relación SiO_2/Al_2O_3 es a veces cercana pero generalmente inferior a 2,0. La capacidad de intercambio catiónico de la fracción de arcilla es generalmente inferior a 20 me/100gr. El grado de saturación en los horizontes A y B es generalmente inferior al 40%".

CAPITULO V

LOS SUELOS FERRUGINOSOS TROPICALES

1.- El nombre de suelos ferruginosos tropicales fue creado por Aubert en 1948, para designar los suelos que estaban a continuación geográficamente de los suelos ferralíticos en Africa Occidental.

La presencia de estos suelos no ha sido reconocida sino hasta hace poco tiempo. Antes Milne había indicado que en Tanganyka existían suelos rojos diferentes de los suelos ferralíticos. Posteriormente Muir y otros describen igualmente suelos rojos en Tanganyka. Ellis y Van der Merwe encuentran suelos que se asemejan igualmente a los suelos ferruginosos tropicales. En Angola, Dothelo da Costa describe los "Fersialiti soils". En Austria diferentes autores utilizan los términos de "Red loam". Kraznozems, "Ferrimorfic soils" para suelos que parecen asemejarse a los ferruginosos tropicales. En el Congo ciertos suelos descritos por Sys bajo el nombre de "Xero-kaolisols" parecen pertenecer a esta categoría de suelos.

En fin, estos suelos figuran ampliamente en la carta de los suelos ferralíticos y los suelos ferruginosos tropicales de Africa.

2.- Morfología de los Suelos Ferruginosos Tropicales

El perfil es caracterizado por la presencia de horizontes A, B y C. Muy a menudo la lixiviación y el concrecionamiento son importantes, pero en ciertos perfiles hay poca lixiviación o es muy ligera.

Las características generales de los suelos ferruginosos tropicales según la morfología son las siguientes:

A1 : Horizonte poco profundo de riqueza moderada en materia orgánica, textura variable, estructura débil.

A2 : Horizonte gris a café claro, lixiviación en hierro y arcilla. Este horizonte puede faltar.

B : Horizonte de color amarillo o rojo, de estructura y textura variable según el material original, su profundidad varía en el orden de 1 a 5 m. Generalmente menor que para los suelos ferralíticos.

C : Normalmente reducido, puede faltar para ciertos suelos.

El horizonte B es el que se encuentra siempre en el examen de los suelos Ferruginosos Tropicales.

3.- Estudio de los horizontes de los Suelos Ferruginosos Tropicales

Horizonte A1:

Su profundidad es mediana, de 15 a 20 cm (en ciertos casos se confunde con el B), su color es gris café o rojo fuerte según los casos. La estructura es nuciforme o grumosa.

El aprovisionamiento en materia orgánica es mucho menor que para los suelos ferralíticos. La selva decídua nos proporciona de 4 a 6 ton/ha /año de material vegetal. La mineralización dura mas tiempo que la estación de lluvias. Aquí también la acción de las termitas es importante. En las sabanas, la pérdida de materia orgánica es muy fuerte debido a los incendios.

La relación C/N es variable. En los suelos no lixiviados es cerca de 10. En los suelos lixiviados la relación varía de 12 a 18. Por lo tanto, es posible que den origen a productos susceptibles de complejar el hierro y provocar su migración.

El pH es generalmente poco ácido, de 6,0 a 6,5, y el grado de saturación es bastante elevado (50-60%).

Horizonte A2:

Su espesor es variable, desde 50 cm a algunos metros (2,5 m); el color es amarillo, café o rojo. Las texturas varían mucho con la naturaleza del material original (arenoso o arcilloso), material de derramamiento de las arenas rojizas o basalto o gneiss. Las concreciones y corazas ferruginosas pueden estar presentes en este horizonte.

Es posible que haya un horizonte Bg debido al mal drenaje en la profundidad.

Contenido Mineral:

Los minerales arcillosos son esencialmente la caolinita en fuerte cantidad con pequeñas cantidades de mineral de la relación 2/1 (Ilita y montmorilonita). Los hidróxidos son esencialmente productos ferruginosos (goetita en especial). No hay, o son muy raros, los hidróxidos de aluminio.

La relación Sílice/Aluminio está muy cerca de 2,0 (a veces ligeramente superior). El pH es ácido y varía entre 4,5 y 6,0. El complejo absorbente presenta un grado de saturación a menudo elevado, 50 a 80% para los suelos no lixiviados; para los suelos lixiviados, este grado es menos. Las reservas minerales son de medianas a elevadas.

Horizonte C:

La profundidad está reducida de algunos centímetros a algunos decímetros. Los colores son muy tenues y no se observan bandos.

El pH es generalmente neutro o muy cerca de la neutralidad en el caso de los suelos no lixiviados; pero netamente ácidos en el caso de los suelos lixiviados.

4.- Los Procesos de Ferruginación

4.1 Condiciones generales de la ferruginación.

Clima.

El clima es normalmente el que corresponde al denominado Sudanien, con una larga estación seca de 6-8 meses y con una precipitación del orden de los 500-1.200 mm. En Madagascar, en la costa oeste, la ferruginación se produce hasta los 1.600 mm, pués la estación de lluvias es relativamente corta (3-4 meses).

La temperatura es del orden de 25-30° C. No se conocen en Africa suelos ferruginosos tropicales de altitud, pués las temperaturas son menores que las indicadas anteriormente.

En los paises de la zona intertropical, la ferruginación se produce para valores de precipitación incluidos entre 500 y 1.600 mm y la temperatura del orden de 25-30° C.

Vegetación.

La vegetación natural de los suelos ferruginosos tropicales es la selva tropófila o decidua. En un gran número de casos, esta reemplazada por la selva clara, la sabana o la pradera.

Las selvas tropófilas de Africa y de Madagascar tienen características comunes, tales como abundancia de leguminosas, bombacáceas y combretaceae.

Las rocas.

Todas las rocas pueden originar este tipo de suelo. Sin embargo, en

Africa Occidental las arenas y areniscas mas o menos arcillosas del "continental terminal" son abundantes.

En Madagascar, todas las rocas madres son teoricamente posibles pero no se han notado tales suelos ni sobre calizo ni sobre las margas.

Topografía.

Las zonas planas con un buen drenaje son aquellas donde estos suelos se desarrollan en mejor forma. Las pendientes están a menudo sujetas a erosión. Las zonas con drenaje medio dan origen a suelos hidromorfos o vertisoles.

El Tiempo.

Se tiene poca información acerca de la edad de los suelos ferruginosos tropicales. Tomando en cuenta la velocidad de alteración menor en razón de cantidades inferiores de agua, es posible pensar, que los suelos son muy maduros. La juventud del suelo se advierte por una reducción en el espesor de los horizontes.

4.2 Alteración y síntesis de los minerales.

Es de la misma naturaleza que la que se observa para los suelos ferralíticos. Pero en razón de una precipitación menor, no subsiste la gibsita y el pH es generalmente alto. Todos los minerales primarios están completamente descompuestos.

4.2.1 Síntesis de minerales.

Minerales amorfos:

Los hidróxidos de hierro son unicamente los conocidos, no existiendo gels de aluminio.

Minerales silicatados cristalinos:

El pH del horizonte de alteración es neutro o muy ligeramente alcalino en el caso de una roca madre rica en bases (caso del basalto); es ácido en el caso de arenisca, material fuertemente empobrecido en bases libres. En el primer caso se tendrá generalmente caolinita, pero localmente puede aparecer la montmorilonita y a veces la montronita. En el caso de las rocas madres ácidas habrá caolinita solumente. En los hidróxidos de goetita es el producto localmente observado. La hematita es rara.

4.3 Los procesos de ferruginación por horizontes.

De manera general los procesos de ferruginación tendrán a grandes rasgos, la misma orientación que los procesos de ferralitización. La alieración de minerales será menos acentuada y no se rebajará nunca al estado caolinítico.

Horizonte C:

En este se efectuarán las alteraciones. Estas podrán ser físicas o químicas. La alteración física, que fue mínima en el caso de los suelos ferralíticos, puede ser importante aquí. Por el contrario, la alteración química es menor. La hidrólisis, la hidratación y la disolución son todavía los procesos químicos mas importantes. La oxidación tiene lugar mientras la aeración es buena. La eliminación de las bases es muy notable, mientras que la del silicio es moderada.

Horizonte B:

En este horizonte se producen concentraciones que pueden ser relativas o absolutas.

Enriquecimiento relativo: es el caso de los suelos no lixiviados que se enriquecen de manera relativa en hierro y arcilla.

Enriquecimiento absoluto: en el caso de los suelos lixiviados hay posibilidad de enriquecimiento de hierro y arcilla por lixiviación vertical u oblícua; o bien por ascensión capilar del hierro. El enriquecimiento en hierro puede ser importante y ser seguido por un concrecionamiento o un acorazamiento. Los fenómenos de hidromorfismo llegan a ser importantes cuando el horizonte B está a veces bien compactado llegando a ser poco permeables. Se tienen entonces algunas veces, dificultades para distinguir de los suelos hidromorfos.

Horizonte A:

La acumulación de materia orgánica es moderada y no toma nunca las proporciones importantes como para los suelos ferraliticos. Los productos complejantes deben tener origen en este horizonte.

La lixiviación puede ser mas o menos pronunciada en este horizonte perdiéndose el hierro y la arcilla.

5.- Definición general de los Suelos Ferruginosos Tropicales (Conferencia de Paris, 1961).

Suelos con perfil ABC, algunos teniendo un horizonte A2 y un B textural, presentando entonces estructura con tendencia uniforme. Se observa así una amplia individualización de óxidos de hierro libre, lo que facilita su lixiviación fuera de los perfiles o bien su precipitación en el perfil bajo la forma de concreciones o de manchas.

La reserva en minerales alterables es a menudo apreciable. La relación limo/arcilla es frecuentemente superior a 0,15.

La arcilla es en la mayor parte caolinita, pero comprende pequeñas cantidades de arcilla 2/1. La gibsita está generalmente ausente. La relación SiO_2/Al_2O_3 es próxima a 2 y excede generalmente este valor.

La capacidad de intercambio de cationes es débil pero superior a la de los suelos ferraliticos. El nivel de saturación del horizonte B es en general superior a 40%.

CAPITULO VI

LOS SUELOS Y LOS CULTIVOS EN LA ZONA INTERTROPICAL

No es mi intención aquí hacer un curso de agronomía tropical, pero si dar algunas indicaciones sobre relaciones que guardan los suelos con algunos cultivos de la zona intertropical. Las explotaciones agrícolas no serán dadas más que a título de referencia.

1.- Estado del Suelo antes y después del desmonte, en la zona tropical húmeda

Si nosotros nos enfrentamos a una zona ocupada por selva primaria, el suelo se presentará en las mejores condiciones compatibles con el medio general, es decir, el pH será ácido o a veces muy ácido (4-5,5), la materia orgánica estará presente por todas partes en cantidades moderadas (2-4%), como promedio con contenidos de nitrógeno que no serán jamás mucho más fuerte que 1-1, 5%, las bases cambiables serán moderadas (3-5me). Si el suelo deriva de una roca volcánica básica, las condiciones generales serán un poco mejores al principio y el nivel de fertilidad será más elevado.

El desmonte tiene por primer efecto, debido a la supresión de los árboles, de modificar las condiciones microclimáticas, transformando las condiciones de vida de la microflora del suelo por una mayor exposición al sol.

Generalmente el desmonte es seguido por el incendio. En muchos casos la actividad biológica debía bastar para lograr la desaparición de los destritos vegetales que se pudren sobre el lugar muy rapidamente. Pero lo mas a menudo no se dejan mas que troncos gruesos. El resto es quemado para tener lugar lo más rápido posible. Este primer fuego puede hacer destrozos considerables al suelo pués no se trata de un fuego común de hierbas de sabana sino de un incendio que ataca a las ramas de diversos tamaños que cubren el suelo. El fuego podrá dañar el horizonte humífero ya poco abundante. Meiklejohn ha estudiado el efecto del fuego sobre las poblaciones microbianas del suelo después del incendio y ha comprobado que:

El número de hongos ha disminuido y dos veces sobre tres, aquellos completamente desaparecieron.

Los fijadores de nitrógeno aerobios han sido muertos.

Los fijadores de nitrógeno aeróbicos han sobrevivido.

Los nitrificadores de nitrógeno han muerto.

Por el contrario, la combustión de desechos vegetales llevan al suelo cantidades de cenizas frescas ricas en elementos fertilizantes que las plantas cultivadas requieren.

El primer cultivo aprovechará grandemente pero como las cenizas son muy ligeras son facilmente desplazadas por el viento, y además al ser muy solubles, una gran parte será llevada y disuelta por las primeras lluvias que por

otra parte caen con violencia provocando una erosión rápida del horizonte humífero, llevándose el precioso horizonte A1 que contiene la materia orgánica y las bases intercambiables muy importantes éstas para el inicio de una buena vegetación. En efecto, la fertilidad bajará rapidamente y será obligado buscar más lejos una nueva zona más favorable. Ese género de cultivo generalizado en la zona intertropical es el cultivo errante o trashumante. Ha sido conocido desde mucha antiguedad sobre todos los continentes. Es aceptable si el retorno sobre unas zonas ya cultivadas se hace después de un lapso de tiempo bastante largo y si gracias a la implantación de la vegetación forestal, esta ha podido reconstruir un cierto grado de fertilidad del suelo. Será peligroso y degradante para el suelo si el regreso se hace a poco lapso de tiempo después del cultivo y si la fertilidad no ha tenido tiempo de reconstituirse (bajo la presión demográfica en particular). Se cultiva así al maíz, yuca, frijol, sorgo y arroz (de montaña, no irigado); generalmente no se tiene en cuenta la pendiente y cuando hay lomas el surcado se dirige en el sentido de la más fuerte pendiente, porque es lo más fácil de hacer. Cuando esas prácticas son aplicadas a los cultivos de exportación ellas son tan nefastas para estos cultivos como para los básicos.

Diferentes sistemas de cultivos son concebibles para conservar al suelo un mínimo de fertilidad natural y detener la erosión.

El primero en dejar en el lugar un cierto número de árboles grandes que asegurarán por sus raices rastreras un cierto mantenimiento del suelo, algo de sombra, disminuyéndose también el impacto de la lluvia para facilitar una regeneración posterior. En el Congo, los belgas han puesto un sistema de rotación por bandas paralelas. Periódicamente, una nueva banda es desmontada y cultivada mientras que las precedentes han sido nuevamente sometidas a descanso, permitiendo así el regreso a la selva.

Si el terreno está en pendiente, el cultivo será realizado según curvas de nivel y es necesario no seguir las líneas de la pendiente como lo que se hace nueve veces sobre diez. Es preferible cultivar bandas alternadas, separadas por árboles, matorrales o simplemente hierbas destinadas a detener el suelo perdido en las bandas cultivadas.

Si se llega a una agricultura completamente sedentaria en terreno seco, la protección de zonas cultivadas debe ser asegurada por terrazas. A estas debe añadirse una cierta fertilización con detritos vegetales o estiercol animal o humano.

Ciertas poblaciones han adquirido espontaneamente nociones de conservación del suelo y de su fertilización, pero esos casos en la Africa son completamente excepcionales. En América del Sur, la presión demográfica en el Macizo Guayanés es mucho menos fuerte y el indio de la selva no provoca muchos daños hasta el momento. Sin embargo, en algunos sectores del Territorio

Federal Amazonas se puede notar la influencia de los conucos sobre la degradación de los suelos. La regla general es dejar la tierra hasta el agotamiento y erosionada; dejar que se pierda el estiercol mientras el ganado permanece a ese campo.

Hay pocos cultivos anuales que pueden conservar el suelo con ventaja de la rizicultura irrigada.

Sin embargo esta implica una dominancia completa del agua con un sistema de presas (rudimentarias a veces), de canales, compuertas, etc. El terreno debe estar plano y los bordes que limitan las parcelas deben estar cuidadosamente limpios para mantener constante el nivel de agua. La rizicultura es realizada a gran escala en el Oriente y en Madagascar. Se extiende lentamente en Africa. Necesita generalmente más trabajo que la mayor parte de los cultivos básicos en terrenos secos. Sin embargo, garantiza al suelo una fertilidad mínima (llevada por las aguas) y una conservación integral.

2.- Los Principales Cultivos

En este párrafo serán examinados algunos cultivos agrícolas practicados en la zona intertropical y los suelos que parecen ser los que mejor convienen. Es evidente que intervienen numerosos factores, por ejemplo gusto o actitud de una población por ciertos cultivos, resistencia o al contrario limitación para con ciertas enfermedades criptogámicas o de insectos predatores, condiciones

económicas, etc. Estos puntos no serán tratados aquí. Se verán primero los cultivos arbóreos, los de arbustos y pequeños arbustos; plantas herbáceas.

Cultivos arbóreos

Los que son destinados a proveer de madera, frutos, corteza y látex.

Cultivos de árboles para madera

Contrariamente a lo que se cree a menudo de la selva densa, si ella encierra una cantidad de especies interesantes al botánico, no contienen sin embargo, más que un número reducido de árboles que presenta cualidades interesantes al talador. En la Costa de Marfil hay una caoba para cada 20 hectáreas aproximadamente. Además los gastos de explotación (carreteras en particular) son elevados. Así desde mucho tiempo se ha justificado la necesidad de plantar árboles en la zona intertropical. Estas plantaciones responden a dos metas esenciales.

- Obtener árboles destinados a proveer garrochas, tablas, tablones para la exportación, pasta de papel, combustibles (carbón de madera).
- Asegurar la protección de sitios particulares: zonas amenazadas por la erosión, con pendientes muy fuertes y zonas próximas a obras públicas importantes.

La plantación de árboles puede hacerse con especies locales (Okoumé, Palisandros, Ebanos, etc), al voleo en una selva existente. O bién,

en forma metódica. Esta última puede hacerse en lugares de zonas ya desmontadas o bien destruyendo una selva cuya madera es de poco valor comercial. A este respecto los puntos de vista son muy divergentes. Los forestales deseosos de tener árboles de un rendimiento rápido, utilizan más bien este último sistema. Pero parece que si el punto financiero no debe ser perdido de vista, nunca hay que olvidar el papel conservador del suelo que debe tener el árbol. Cuando se desea mejorar una llanura aluvial, es necesario siempre pensar en el estado del bosque de la parte alta de la cuenca. Por eso los bosques de protección (aquí la naturaleza de la especie plantada no es de gran importancia) no están bien vistos por los forestales ni por los poderes públicos.

Evidentemente el esfuerzo financiero al principio es importante y los provechos muy lentos. Pero se asegura la conservación del suelo, la regularidad de los ríos, reduciéndose así las inundaciones, las rupturas de los diques, la expansión de las arenas en las zonas cultivadas. Ciertos estados han reconocido la necesidad del árbol en la conservación del suelo.

Arboles o arbustos

Tienen por objeto cosechas regulares.

Quinquina: (Chinchona ledgeriana, C.succirubra etc). Estos árboles han sido plantados con un cierto éxito en algunas zonas de altitud de Java, Madagascar, Camerun, Guinea, etc. Además de un clima fresco y lluvioso, las quinquinas exigen suelos ricos y desde este punto de vista los suelos volcánicos cafés, relativamente jóvenes, les son convenientes. La plantación ensayada sobre suelos ferralíticos rojos en Madagascar ha sido un fracaso. El porvenir económico de la quinina es muy discutible ya que los antipalúdicos sintéticos son quizás más baratos pero seguramente menos eficaces.

Palma de aceite: (Elaeis guineensis). Este árbol proporciona frutos ricos en aceites comestibles o bien utilizables para fabricar jabón. Este árbol es espontáneo en las selvas secundarias de Africa Central y Occidental. Se acomoda a climas muy lluviosos y suelos difíciles (suelos ferralíticos lo más variados, médanos pobres en los bordes del mar, etc.). Ensayos de fertilización efectuados en la Costa de Marfil han demostrado que este árbol responde notablemente a los fertilizantes potásicos. El interés puede estar limitado debido a la altura de los árboles que exigen la subida para efectuar la recolección de los frutos. Actualmente se buscan árboles de talla reducida.

Cocotero: (Coco nucifera). Este árbol parece tener necesidad de un ambiente marítimo. Se acomoda a suelos arenosos costeros pobres y de una cierta salinidad. Ciertas zonas de aluvión saladas sobre la costa noroeste de Madagascar han podido ser recuperadas a la manera de polders y plantadas con éxito con cocoteros.

Hevea: (Hevea Brasilensis). Este árbol se acomoda a precipitaciones muy elevadas y en suelos ferralíticos muy pobres, con la condición de que ellos sean desmenuzables, profundos y bien drenados.

Cacao: (Teobroma cacao). Este árbol necesita climas que no sean muy lluviosos (menos de 2.000 mm), con una corta duración seca. Prefieren suelos humíferos, profundos, bien drenados, ácidos. Las concreciones no constituyen un factor limitante a su crecimiento a menos que sean muy abundantes. En Madagascar, se le cultiva sobre aluviones solamente. En Camerun y Costa de Marfil es plantado sobre los suelos ferralíticos amarillos o rojos. En la Guayana francesa los hemos encontrado sobre los suelos ferralíticos rojos oscuros muy bien drenados, desarrollados sobre rocas volcánicas básicas (centro de este departamento). Los ferrisoles son particularmente preferidos. Parece que el am

biente forestal sea preferible al cultivo en pleno sol. La aplicación de fertilizantes está todavía en estudio. El magnesio parece ser muy útil.

Café: (Coffea robusta, arábica). En Africa y Madagascar el Robusta se cultiva unicamente a baja altitud (menos de 800 m). Se acomoda a suelos ferralíticos variados (rojos, de preferencias a amarillos) con o sin concreciones. Aquí todavía la sombra parece necesaria.

El arábica está localizado en las zonas de altitud con climas lluviosos pero frescos. Su extensión en altitud está limitada por la aparición de heladas. El café arábica prefiere los suelos ricos. Tanto en Madagascar como en Camerun están plantados sobre suelos volcánicos jóvenes. Los suelos ferralíticos rojos han sido abandonados, a menos que se hayan efectuado aportes considerables de materia orgánica y abono. La sombra es aún necesaria, el arbuste es sensible a la sequedad del suelo. Los fertilizantes nitrogenados y potásicos obtienen buenas respuestas.

Plátano: (Musa paradisíaca). Se le encuentra en los bajos húmedos, ricos en materia orgánica, al abrigo del viento. En Camerun, está plantado sobre suelos volcánicos jóvenes (planicies de plátano); en las Antillas es igualmente so-

bre suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas que se desarrollan principalmente. En la Costa de Marfil se encuentra el plátano sobre suelos hidromorfos orgánicos drenados.

Caña de azucar: (Saccharum officinale). Está plantada sobre diversos tipos de suelos, pero los mas utilizados son los aluviones recientes limosos o ligeramente arenosos. Cantidades moderadas de calcio en el suelo no constituyen un factor limitante. El espesor del suelo necesario es por lo menos de 60cm. En Nossie Bé los suelos jóvenes sobre cenizas volcánicas son intensamente cultivados. En Mauricio, los suelos ferralíticos cafés sobre basaltos son utilizados desde hace dos centurias, la explotación de ellos está compensada por el aporte de fertilizantes calculados gracias a diagnósticos foliares.

Arroz: (Oriza sativa). Es un cultivo muy importante en el mundo oriental y llega a ser cada vez más importante en el resto de la zona intertropical. No hay suelo especialmente para cultivar el arroz. Las condiciones esenciales son las planicies y con posibilidades de irrigación. Los suelos ferralíticos, vertisoles y aluviones pueden ser también empleados.

Mas o menos rapidamente aquellos se transformarán en suelos hidromorfos. Es necesario aerearlos entre dos cultivos a manera de permitir una buena reoxidación del suelo. Los iones Fe^{2+} y S, son tóxicos en muy grandes cantidades. El arroz responde bien a los fertilizantes orgánicos y minerales.

3.- Problemas de Manejo de los Suelos Ferralíticos y Ferruginosos en los Trópicos Húmedos (Oxisoles y Ultisoles).

3.1 Desmonte.

Los suelos ferralíticos y ferruginosos tropicales (Oxisoles y Ultisoles) cubren aproximadamente el 33 y el 12% de la América Tropical respectivamente, con un total aproximado de 850 millones de hectáreas. Ambos órdenes se encuentran principalmente bajo vegetación de selva o de sabana.

En el escudo Amazónico predominan las formaciones selváticas que necesitan antes de su uso, unas operaciones de desmonte importantes y a menudo costosas. A través del tiempo las poblaciones selváticas supieron destruir la selva, sea por corte superficial de la corteza en la base de los troncos o también por corte del árbol con hachas, etc. El recurso del fuego interviene al final de las operaciones, la abundancia y la frecuencia de las lluvias impide los incendios de gran envergadura. Si el desmonte es de poca extensión y

frecuencia, los daños causados a los suelos son poco importantes. Sin embargo, se observa que cuando aumenta la repetición de los desmontes se causan daños importantes a los suelos (erosión acelerada) y un cambio en el regimen de los ríos pueden ocurrir. Los gastos aumentan considerablemente y pueden ocurrir daños a las obras de artes y a los cultivos situados aguas abajo.

Hoy, cuando el hombre quiere desarrollar desde el punto de vista agrícola, amplias extensiones cubiertas por la selva, dispone de recursos mecánicos potentes: tractores, cadenas permitiendo el desmonte rápido de árboles pequeños y medianos; pero el desmonte de los troncos grandes se hace todavía a mano. El corte y la evacuación de los troncos los mas interesantes son seguidos por la destrucción "in situ" de los otros troncos. Se usa el fuego o mas bien se espera, como en Africa, que los insectos y los microorganismos terminen el trabajo de destrucción. Así se logra parcelas de valores desiguales; algunas zonas quedan bien limpias, otras sucias por residuos vegetales mas o menos destruidos. Es recomendable conservar algunos árboles grandes cuya utilidad es múltiple: mantienen el suelo, y producen una sombra reducida pero útil.

La utilización del suelo debe hacerse inmediatamente después del desmonte. En efecto, en las regiones de clima ecuatorial, los brotes de vegetación arbustiva densa y de matorral es muy rápido. Unos meses de espera pueden traducirse en la obligación de una nueva operación de desmonte.

El manejo de una superficie ocupada por la sabana a veces pareciera interesante pués los gastos de desmonte son menores; sin embargo, los suelos son a menudo de calidades inferiores y la mayor parte del tiempo el desmonte de la selva se justifica.

3.2.- El manejo del suelo.

Los primeros trabajos son casi siempre frenados por la presencia de raices superficiales cuyo arrastramiento y destrucción tiene que ser asegurado. Hecho esto, el manejo del suelo no se enfrenta a dificultades mayores.

En efecto, la textura de los horizontes superficiales es generalmente liviana. Cuando ocurre a media profundidad un horizonte B argílico es importante subir la capa mas arcillosa para mejorar la textura del horizonte superior y asegurar una mejor infiltración del agua.

La estructura de estos suelos es generalmente bastante buena en los horizontes superiores. Esta mejor durante las estaciones secas que durante las estaciones lluviosas. El sucesivo pase de rastra resulta desfavorable sobre la estructura. El índice de inestabilidad del suelo aumenta con el tiempo. En unos casos se puede mejorar la estructura por la mezcla de soca que parece mas interesante que el de abonos verdes cuyo efecto dura poco.

El desmonte y un cultivo prolongado tienen igualmente un efecto desfavorable en la macroporosidad que reduce, no solamente en la superficie sino tam

bién en profundidad. Esto se traduce por una reducción de la permeabilidad, un aumento de la erosión. Cuando el terreno disponible es importante, el regreso a buenas condiciones físicas es asegurado por el rastrojo.

Los suelos ferralíticos se desarrollan frecuentemente en pendientes fuertes. Las precauciones antierosivas son particularmente recomendables.

3.3 El Agua y el Suelo

Los suelos ferralíticos son a menudo observados en las zonas cuyo clima es casi siempre húmedo con precipitaciones abundantes y/o repartidas sobre un gran período del año. En la mayoría de los casos no es necesario un aporte de agua; sin embargo, el comportamiento de estos suelos con el agua no es siempre muy bueno. En efecto, la textura y la estructura favorecen a menudo una penetración rápida del agua. Además, los altos valores en caolinita y sesquióxidos no favorecen la retención del agua. Solo los casos donde abundan minerales halloysiticas son favorables. Así puede ocurrir a pesar de datos meteorológicos favorables un requerimiento en agua por algunos cultivos.

Esto es un caso frecuente en el Macizo Guayanés durante la gran estación seca; frecuentemente en algunos suelos ferralíticos pobres del escudo Amazónico el drenaje interno es impedido por el desarrollo de unos horizontes argílicos lo que produce que la mayor parte del agua que cae en el suelo no penetra verticalmente sino que escurre inmediatamente a la superficie del suelo.

3.4 Daños causados a los suelos durante el desmonte y comienzo de su uso.

Se nota inmediatamente pérdidas de substancias por erosión. El suelo hasta este momento protegido por la selva o por una cobertura vegetal abundante está de repente expuesto a la lluvia y al sol y así quedará hasta que el cultivo hecho pueda cubrir el suelo. A medida que aumenta la pendiente se observan pérdidas mayores. Las pérdidas de agua por escurrimiento son igualmente importantes; el escurrimiento medido en Guayana Francesa (Blancaneaux, 1974-75) alcanza valores muy superiores a las que fueron medidas en Africa, Costa de Marfil (Roose, 1972) en condiciones climáticas, geológicas y edafológicas similares.

	Bajo selva		Luego del desmonte	Al año de cultivo
	Africa	Guayana	Africa	Africa
Pérdida de suelo en t/ha.	0,2	0,5	120	3
Pérdida en % de agua por escurrimiento.	0,7	15	29,4	18

Estas pérdidas contienen los elementos minerales y los constituyentes orgánicos particularmente útiles al desarrollo de las plantas. En Costa de Marfil, se registró una baja inmediata de la materia orgánica del suelo de 25 a 30% ; luego de dos cultivos, solo queda 50 a 60% del "stock" inicial. Interviene luego una cierta estabilización.

Las bases cambiables también bajan de aproximadamente 50% del "stock" inicial. Las disminuciones así registradas se mantienen o no según las plantas cultivadas y las técnicas culturales. Cultivos repetidos de Maní tienen un efecto particularmente desfavorable sobre los constituyentes minerales y orgánicos. La instalación de una plantación de árboles o arbustos perennes como el café o el cacao tienen por contrario efectos benéficos.

3.5 Mantenimiento y/o mejoramiento del nivel de fertilidad.

Algunos suelos ferralíticos derivados de basalto contienen minerales halloysíticos a capacidad de intercambio catiónico moderado, valores de bases bastante buenas y un grado de saturación superior a 50% en Africa. En el Macizo Guayanés estos valores son excepcionales. También en Africa estos suelos tienen un pH cerca de la neutralidad, reservas en ácido fosfórico y buenos valores en materia orgánica y en nitrógeno. Pero la proporción de tales suelos es infelizmente muy poco. La abundancia de las caolinitas y sesquióxidos es casi siempre la regla, así como la desaturación muy acentuada (a menudo inferior al 10%); el pH muy ácido; poco ácido fosfórico, etc.

A todo esto hay que añadir una abundancia de aluminio cambiable (varios me/100gr del suelo) que puede provocar en algunos cultivos fenómenos de "estrangulamiento químico". Se produce en la superficie una concentración de raices, cuando abajo los horizontes son muy pobres y por consecuencia sin o con escasas raices. La penetración de esta zona es muy difícil para muchos

cultivos que no desarrollan normalmente su sistema radicular y por consecuencia son frágiles y facilmente tumbados por los vientos. Por fin existe muy frecuentemente unos horizontes ricos en gravilla o en elementos ferruginosos, fragmentos de cuarzos, etc., a poca profundidad. Este horizonte es pobre en elementos nutritivos y retiene mal el agua. Además, las raices encuentran un obstáculo a veces difícil de atravesar. Si este horizonte sobrepasa 25cm de espesor, es perjudicial al desarrollo normal de las raices.

Cómo prevenier todos estos defectos?

Es evidente que no se puede hacer mucho contra la abundancia de la gravilla (piedras, concreciones, etc.) y su espesor. Es importante que la escogencia de los suelos a cultivar debe tener en cuenta su presencia. La aplicación en los suelos ferraliticos de abonos solubles se traduce por elevadas pérdidas. La casi totalidad es disuelta por las lluvias y exportada afuera de los perfiles. Por otra parte, con la débil capacidad de intercambio de los minerales caoliníticos, la fijación de bases es muy débil. La materia orgánica poco elevada, la retención por el suelo es muy limitada. Es necesario aplicar abonos nitrogenados y potásicos en fracciones, por pequeñas cantidades, y en función de las estaciones.

Se presenta un problema importante con el aporte de abonos fosfóricos: los fosfatos solubles son rapidamente insolubilizados en los suelos ferraliticos por el hierro y el aluminio, con los cuales se combinan rapidamente. Los fosfatos de hierro y de aluminio son particularmente insolubles.

La lucha contra la acidez aparece frecuentemente como una necesidad. Es debido mucho mas a los iones aluminio (que confieren una toxicidad) que a los iones de hidrógenos. La presencia de manganeso igualmente tóxico se añade a las dificultades. La lucha contra estos iones se efectúa por aporte de cal en los suelos, lo que sube el pH y transforma los iones de aluminio o de manganeso en hidróxidos.

El recurso a la materia orgánica puede ayudar a resolver algunas de las dificultades encontradas; mejora las propiedades físicas, aumenta la capacidad de intercambio, permite disponer de mas nitrógeno. Por otra parte, se forma con los iones fosfóricos unos complejos de alguna duración que permite una mejor asimilación del fósforo. Se puede lograr por el recurso tradicional al rastrojo. Esto es deseable cuando el terreno presenta un relieve accidentado y cuando el suelo es suceptible de sufrir una erosión acelerada. Pero los inconvenientes son la inmobilización del suelo y los trabajos a efectuar (nuevo desmonte) para su nuevo uso. Se trata de incorporar al suelo materia orgánica fresca (abonos verdes) pero los datos obtenidos si fueron beneficiosos, pero casi siempre de muy corta duración. Actualmente algunos mantienen esperanzas en el aporte de residuos vegetales y orgánicos (residuos de cultivos) cuando hay cultivos anuales.

Sin embargo, no hay que olvidar que en la mayoría de los paises donde se ubican los suelos ferralíticos no hay o hay pocos abonos y que hay que

llevar estos de paises lejanos. Es muy frecuente que los yacimientos calcáreos, tan abundantes en muchas partes del mundo, son precisamente escasos o totalmente inexistentes como en el caso del Macizo Guayanés. No hay una red de carreteras suficientemente desarrollada y diversificada para llevar abonos y tampoco hay organización comercial que permita distribuir los abonos hasta el consumo lejano a precios competitivos. Además de este, el conuquero tiene un nivel técnico muy bajo.

Todo eso hace que en la mayoría de los casos no será posible al conuquero comprar abonos potásicos, nitrogenados o fosfóricos para gastarlo en suelos donde el rendimiento será muy débil. Tampoco el conuquero podrá invertir una fortuna para aplicar la cal necesaria al aumento de 1 unidad pH de su suelo, mejoramiento que perderá seguramente si no se repite una nueva aplicación al poco tiempo. Tampoco este hombre podrá colocar fósforo en su suelo hasta que se haga de nuevo asimilable.

Por cierto, todo esto es posible en algunas condiciones para unos cultivos cuyos precios son elevados, pero no por el arroz, maíz, y el frijol que el agricultor necesita para alimentarse y para el pasto necesario a su ganado.

Entonces, qué hacer? Renunciar por un largo tiempo que se aplicará a los suelos ferralíticos pobres las recetas que tuvieron tanto éxito en otros suelos? Las técnicas y mentalidades agrícolas de los paises templados no pueden ser facilmente aplicadas tal cual en medios tan desfavorecidos tanto en lo que con-

cierne la calidad de los suelos y el nivel económico. Tres direcciones parecen importantes:

Primero, en vez de introducir a todo precio variedades exigentes, poco tolerantes a la acidez y al aluminio, sería beneficioso tratar de seleccionar especies mejores adaptadas a las condiciones de este medio. Por ejemplo, el té se adapta muy bien a suelos muy ácidos y con frecuentes valores fuertes en aluminio cambiable. Debe existir otras especies de este género. Dentro de las especies posibles, ciertamente hay variedades mas interesantes que otras. Hay un trabajo de selección particular a efectuar en este sentido.

Hay que prever un uso muy moderado de los abonos verdes cuya rentabilidad debe ser llevada al nivel mas elevado; buscar todo lo que, en una región dada, puede suministrar materiales suceptibles de mejorar las condiciones de la vegetación y al precio mas barato.

Por otra parte, la investigación debe orientarse hacia la obtención de productos poco solubles. Se debe tratar de sintetizar sales de potasio y de amonio lo mas insolubles posibles; substancias orgánicas cuya degradación en los suelos liberará poco a poco nitrógeno. El recurso a fosfatos naturales, no insolubles, pero lentamente solubilizados deberá ser escogido preferencialmente a todos los fosfatos solubles del mercado.

3.6 Los Cultivos Principales.

Se suele dividir los cultivos en dos grupos: los cultivos de subsiancia (Food Crops) y los cultivos industriales (Cash Crops). En realidad, el conuquero necesita los dos, pués necesita comer y ganar plata a la vez.

Los cultivos de substancia son variados: maiz, arroz, yuca, tubérculos diversos, frijoles, etc. Las cantidades necesarias son relativamente poco importantes; los rendimientos pocos, su valor a la unidad reducida. No se puede en el inmediato aumentar su precio por aplicación de abonos. El cultivo se hace a menudo de manera transhumante (conuco, shifting cultivation) por quemas sin particular protección contra la erosión. Permanece de uno a tres años y luego es abandonada la parcela. Todos los inconvenientes precedentemente enumerados se encuentran aquí; pero el sistema puede funcionar mucho tiempo si la cantidad de tierra disponible es suficientemente grande. En el caso contrario los habitantes tienen que mudarse o mueren. Hay que pensar en una nueva orientación del manejo de estos suelos ferralíticos. La tecnología de los paises templados es muy dificilmente aplicable de inmediato por las razones que hemos visto. Las nuevas técnicas todavía no son perfectamente conocidas y necesitan mucho mas estudios e investigaciones. Pero de toda manera, una nueva tecnología no será fácil a desarrollar hasta que no se agote la reserva disponible en suelos, Esfuerzos individuales y colectivos son necesarios, evidentemente. La indiferencia y el menor esfuerzo actuales pueden prolongarse mucho tiempo.

Existen otros dos modos de uso practicados con éxitos variables en los suelos ferralíticos: la ganadería y los cultivos arbustivos perennes. Sembrar una cobertura herbácea, mantenerla en buenas condiciones es una operación que sucedió y tuvo éxito en varias partes de la zona ecuatorial; pero requiere mucho trabajo para resistir a la invasión de arbustos y malezas sin recurrir al fuego. Es aquí que la investigación hacia las gramíneas y especies de ganado adaptados a las condiciones del suelo y del clima es particularmente útil. Pero uno puede preguntarse si las condiciones climáticas y sanitarias son las que convienen mejor a un ganado del cual se espera que de en abundancia carne y leche. O se puede esperar hacer mejor una ganadería extensiva mejorada?.

Sembrar árboles o arbustos en población densa aparece como la fórmula que presenta mas éxistos para un uso racional de los suelos ferralíticos pobres. En efecto se vuelve en una cierta forma al medio cerrado y con sombra de la selva primitiva. El suelo está protegido contra las lluvias violentas, la erosión superficial es reducida; el aporte de materia orgánica es asegurado; la translocación de las bases es efectuada por las raices que exploran el suelo, etc. Se puede también constituir una plantación de árboles como reserva forestal de calidad a explotar luego de varias generaciones. Pero se puede sembrar heveas, palmas de aceite, café, cacao, etc., cuyo látex y frutos serán explotables luego de algunos años. Se puede igualmente buscar en la selva primitiva unos árboles susceptibles de dar productos interesantes; pero es cierto que con estos un problema económico será difícil de resolver antes que estos nuevos pro

ductos pueden ser comercializados.

Pero estos arbustos y árboles exigen la formación de grandes unidades de explotación para asegurar en primera parte la protección de los suelos y porque son necesarios para el desarrollo de tecnología que requieren que fuertes cantidades de productos sean tratados juntos con el mínimo de transporte en condiciones homogéneas.

Es cierto que todos los suelos no convienen a todos los cultivos; una escogencia debe ser efectuada en función de las condiciones edáficas y climáticas. Una vez creada la plantación y bien mantenida, se puede mejorar las condiciones de fertilización y de abonos tan costosos para los cultivos de substancia pero que estos productos de exportación pueden en una cierta medida soportar.

Por consecuencia, las condiciones de utilización de los suelos ferralíticos no aparecen muy favorables a la generalización de cultivos de substancia; son moderados para la ganadería, mucho mejores para los cultivos perennes o arbustivas que protegen y estabilizan el suelo y en esta forma rentabilizan mejor las inversiones que su uso requiere.

/ici.-
diciembre 1979