

**MEMORIA**  
**DEL VIII CURSO INTERNACIONAL DE**  
**EDAFOLOGÍA Y BIOLOGÍA APLICADA**

Centro de Edafología y Biología  
Aplicada del Cuarto, del C.S.I.C.

Sevilla, 1971

MEMORIA DEL VIII CURSO INTERNACIONAL  
DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA APLICADA

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto.  
del C.S.I.C.

Sevilla, 1971

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a rectangular box. The signature is stylized and appears to be 'Alonso'.

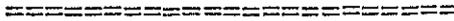
### Profesores

Dr. D. Francisco González García  
Dr. D. Manuel Chaves Sánchez  
Dr. D. Guillermo Paneque Guerrero  
Dr. D. José Martín Aranda  
Dr. D. Pablo de Arambarri y Cazalis  
Dr. D. Francisco Martín Martínez  
Ldo. D. Jose Luis Mudarra Gómez  
Dr. D. Jose Luis Pérez Rodríguez  
Dr. D. Guillermo García Ramos  
Dr. D. Luis Madrid Sánchez del Villar

### Participantes

D. Angel Arias Núñez (España)  
D. Clemente Baños Moreno (España)  
D. Francisco Cabrera Capitán (España)  
D. Luis Jaime González Rodríguez (Colombia)  
D. Francisco Javier González Vila (España)  
D. Nelson Martín Alonso (Cuba)  
D. Jose Manuel Murillo Carpio (España)  
D. Edilson Pereira (Brasil)  
D. Julio Terán Nolla (Bolivia)  
D. Julio Velazco Linares (Perú)

PRIMERA PARTE



# I N D I C E

=====

	<u>Página</u>
DEFINICION Y GENESIS DEL SUELO .....	1
Aspectos parciales de la definición de suelo.....	1
Biología del suelo.....	2
Localización del suelo en la biosfera.....	3
Fenología del suelo.....	4
Naturaleza del material de partida.....	4
Definición genética del suelo.....	5
El suelo medio complejo y dinámico.....	5
Factores de la génesis del suelo.....	6
PROCESOS FISICO-QUIMICOS DE LA GENESIS Y EVOLUCION DEL SUELO.....	10
Degradación física y alteración química de las rocas.	11
Procesos físicos Endógenos y Exógenos.....	15
Fenómenos químicos. Ejemplo de alteración física y química de las rocas eruptivas y sedimentarias	15
Resultado de la alteración. Horizontes B estructurales	16
EMIGRACION DE SUSTANCIAS.....	19
Clases de emigración.....	19
Lavado de cationes metálicos y de coloides.....	20
Factores que intervienen en el lavado o lixiviado....	20
CONDICIONES GENERALES DE LA ELUVIACION.....	22
Causas de la formación de horizontes de acumulación..	23
PROCESOS DE LA EVOLUCION DEL SUELO.....	27
Esquema general de los procesos de evolución de los suelos.....	27
RELACIONES SUELO-VEGETACION. CICLOS DE LA EVOLUCION DEL SUELO.....	31
Los suelos y las asociaciones climáticas.....	31
Asociaciones primarias y secundarias.....	32
Suelo climax o Edafoclimax.....	32
Suelos zonales.....	32
Suelos análogos.....	34
Los suelos y las asociaciones no climáticas naturales	35
Asociaciones no climáticas y suelos degradados.....	36
Evoluciones progresivas y regresivas.....	37
Ciclos actuales de la evolución del suelo.....	38
Ejemplos de evolución progresiva lenta.....	38

LOS CICLOS ANTIGUOS DE LA EVOLUCION.....	42
Condiciones generales de la evolución antigua del suelo. Ciclos de la evolución del suelo. Suelos policiclicos.....	42
Suelos fósiles y relictos.....	43
Suelos fósiles no enterrados.....	43
Suelos fósiles enterrados.....	45
RELACIONES SUELO GEOLOGIA.....	47
Influencia de la roca madre en la génesis y evolución del suelo.....	47
Minerales del suelo! Herencia y neoformación.....	49
MINERALES DE LA FRACCION ARENA DEL SUELO.....	51
GEOMORFOLOGIA Y EDAFOGENESIS.....	56
Morfodinámica y edafogénesis en vertientes y lugares de acumulación.....	56
Herencia y evolución de la génesis de suelos.....	57
MORFOLOGIA DEL SUELO.....	59
Introducción al estudio morfológico del suelo.....	59
Principales horizontes.....	60
DESCRIPCION DE PERFILES.....	64
Normas F.A.O.....	66
MICROMORFOLOGIA DEL SUELO Y SUS APLICACIONES.....	72
Biología y tipos de suelo.....	73
Micromorfología y sistemática del suelo.....	73
Aplicaciones prácticas.....	74
EDAFOGRAFIA.....	75
Pedografía o Edafografía, según Brewer.....	76
Material suelo.....	78
Constituyentes de los materiales suelos o edáficos. Granos del esqueleto.....	78
Organización en los materiales del suelo.....	80
Soil fabric = contextura del suelo.....	82
Estructura del suelo.....	83
Brewer: Soil Structure - Estructura del suelo.....	84
Pedality = Agregabilidad.....	85
Soil texture and field grading.....	87
UNIDADES DE ORGANIZACION.....	87
Peds = Agregados.....	90
Separaciones edáficas.....	90
S. Matriz.....	92
NIVELES DE ORGANIZACION DEL SUELO.....	94
Niveles de organización de agregados primarios.....	97
Organización entre agregados.....	98
Organizaciones.....	100
Organización completa.....	100

CONCEPTOS GENERALES DE CLASIFICACION.....	101
Clasificaciones de suelos. Principios científicos y prácticos.....	102
Clasificaciones geológicas-petrográficas.....	103
Clasificaciones climáticas.....	103
Clasificaciones químicas.....	104
SISTEMATICA DE SUELOS (Claves de Kubiena).....	106
Fundamento y finalidades de las clases.....	106
Nomenclatura y sinónimos.....	106
Formas de humus.....	107
Clasificación de suelos.....	108
CLASIFICACION FRANCESA.....	118
Suelos minerales brutos.....	119
Suelos poco evolucionados de origen climático.....	120
Suelos calcomagnesimorfos.....	123
Vertisoles y paravertisoles.....	125
Suelos isohúmicos.....	126
Suelos con mull.....	131
Podsoles y suelos podsolizados.....	134
Suelos con sesquióxidos y con materia orgánica rápida- mente mineralizada.....	137
Suelos halomorfos.....	143
Suelos hidromórficos.....	145
<b>SUELOS MINERALES BRUTOS</b> .....	148
Suelos poco evolucionados o diferenciados.....	149
<b>VERTISOLES</b> .....	151
Andosoles.....	153
<b>SUELOS CALCIMORFICOS</b> .....	155
Suelos isohúmicos.....	157
Suelos empardecidos.....	160
Suelos podsolizados.....	163
Suelos con sesquióxidos de hierro y manganeso.....	165
Suelos ferralíticos.....	167
Suelos hidromórficos.....	169
Suelos salinos.....	171
<b>CARTOGRAFIA DE SUELOS</b> .....	173
Definición e importancia.....	173
Modificaciones edáficas.....	176
Obras de Ingeniería.....	177
Aspecto científico.....	177
<b>MAPAS DE SUELOS</b> .....	178
Unidades representadas en los mapas.....	181
Clases de mapas de suelos.....	184
Mapas de suelos detallados.....	185
Mapa base.....	185

Plan para un estudio detallado de suelos.....	219
Obtención de las fotografías aéreas.....	220
Selección de fotografías.....	220
PROCEDIMIENTOS PARA EL USO DE LA FOTOINTERPRETACION DURANTE LA REALIZACION DE UN ESTUDIO DE SUELOS.....	221
Uso de hojas de índices fotográficos.....	221
Líneas de unión.....	222
Revisión estereoscópica.....	223
Preliminar delineación de los rasgos observados.....	223
CLASIFICACION DE TIERRAS CON FINES DE RIEGO, SEGUN EL BUREAU OF RECLAMATION MANUAL DIRECCION DE MEJORAMIENTO DEL MINISTERIO DEL INTERIOR DE LOS ESTADOS UNIDOS....	224
Definiciones.....	224
Principios básicos.....	226
Clases de tierra.....	228
Clases básicas.....	239
Subclases básicas.....	242
NORMAS DE STORIE.....	250
Grupos de perfiles.....	250
Tipo del terreno natural.....	253
El índice de Storie.....	261
BIBLIOGRAFIA.....	271

## DEFINICION Y GENESIS DEL SUELO

=====

### I ASPECTOS PARCIALES DE LA DEFINICION DE SUELO

El fundador de la ciencia del suelo es el destacado científico ruso V.V. Docuchaev: (1846-1903). Su estudio sobre el suelo como cuerpo natural independiente y de sus propiedades específicas, así como los métodos de investigación han desplazado todas las ideas existentes anteriormente.

Docuchaev propuso designar como suelo solamente los horizontes superficiales ó próximos a ellos, los cuales están más o menos modificados por la influencia recíproca del agua, aire y organismos de diferentes tipos, tanto vivos como muertos. Definir el suelo a partir de su formación, a partir de rocas originarias es la dirección geológica. Así tenemos la definición de Fallou que define el suelo como producto de la erosión que roe como con dientes la dura corteza de nuestro planeta y poco a poco destruye su masa sólida.

Ramann la define como la capa superior de erosión de la corteza terrestre. Long, dice que el suelo no es más que una clase de roca; como estas no proceden de la eternidad sino que proceden de épocas geológicas, el suelo es también producto histórico de la tierra edificado en parte de material pétreo destruido y en parte de restos vegetales descompuestos, ambos transformados químicamente. Aparecen además las definiciones de dirección fisiológica vegetal. Así tenemos a Slitscherlich, que lo define como la mezcla de partículas sólidas pulverulentas, de agua y aire que provistas de los elementos nutritivos necesarios de las plantas puede servir como sustentadora de una vegetación.

En igual forma Wahnschaffe vé en el suelo la capa porosa superior de la corteza terrestre en cuanto es capaz de soportar una vegetación. Hilgar, dice que el suelo es el material más o menos desmenuzable y suelto en que las plantas, por medio de las raíces, pueden encontrar soporte y elemento nutritivos, así como las demás condiciones del desarrollo.

El científico Kubienski les da varias definiciones de diferentes puntos: Expone que lo primero es observar el suelo y donde este se encuentra. Como ente natural, suelo es un ente de la naturaleza, y es aquella parte suelta de la corteza terrestre que se encuentra en la biosfera (osea donde la vida sea posible). Como material de partida tenemos las rocas de la litosfera y organismos de la biosfera.

## II BIOLOGIA DEL SUELO

La biología del suelo es como la del agua, osea de asociaciones, es decir el suelo tiene asociaciones con los organismos que viven en él, sobre él, y que viven de él. Ningun ser vivo puede ser material para la formación del suelo, la biosfera también interviene en la formación del suelo.

Como suelo no solo se entiende el biotopo, donde tiene lugar una vida, sino que también se toma como parte del suelo esa vida. Se ha tratado de dar a los diferentes tipos de suelo una biología determinada, pero hay unos límites muy amplios que no se han cerrado bien. El papel de los organismos no se limita a la formación de la materia orgánica, sino que también a la acción de la biología sobre la formación del suelo. Directamente interviene en otros procesos como conjuntos férrico-químicos cuya acción se contabiliza en un proceso inorgánico, cuyo motor es la biología o su acción sobre los diferentes materiales de los suelos. Así la

acción fermentativa es un buen ejemplo y se mide por el desprendimiento de  $\text{CO}_2$ . Entre los principales grupos de seres vivientes en el suelo tenemos los siguientes:

- |                  |                |   |                            |
|------------------|----------------|---|----------------------------|
| a) Metazoarios : | Lombrices      | : | Caracterizan el humus Mull |
|                  | Artropodos     | : | " " " Moder                |
|                  | " inferiores : | " | " " " Mor                  |
- b) Protozoarios
- c) Algas
- d) Hongos
- e) Actinomicetos
- f) Bacterias

### III LOCALIZACION DEL SUELO EN LA BIOSFERA

Existe una gran diferencia climática entre la capa atmosférica contenida por la vegetación y la libre o atmosférica propiamente dicha. Ha sido necesario desarrollar el concepto de "microclima" sobre la vegetación.

Los botánicos llaman al microclima "clima vegetal" y los pedólogos "clima cerca del suelo". La parte viviente del suelo o capa superficial, es penetrada por la atmósfera del microclima, influenciada por el pedoclima, pero también influencia dicho clima la presencia de materia orgánica viva o muerta (raíces, hongos, bacterias, etc.). Se establece un equilibrio entre microclima y pedoclima que se manifiesta por una entrada y salida de gases, vapor de agua, absorción e irradiación de calor y otros fenómenos.

#### IV FENOLOGIA DEL SUELO

Las variaciones del clima configuran al suelo un cambio que constituye la fenología del suelo. Por tanto podemos definir la fenología como el conjunto de cambio que presenta un suelo debido a las variaciones del clima.

Como ejemplo de esto tenemos las tierras negras andaluzas (vertisoles) estas presentan diferentes aspectos durante las estaciones; en unos casos están cubiertas de nieve, el horizonte A está congelado, la vida detenida en él; al final del invierno comienza el deshielo, el suelo comienza a enlodarse, el agua penetra en el suelo y va desapareciendo y al poco tiempo tenemos un suelo fresco, con buenas condiciones físicas, e inmediatamente comienza a establecerse la vegetación y cambia el aspecto que tenía en invierno; todos estos cambios que sufre se deben a la fenología.

#### V NATURALEZA DEL MATERIAL DE PARTIDA

El suelo nace bajo formas muy sencillas, llama litosuelos y regosuelos. El litosol es un suelo formado a partir de una roca dura y regosol a partir de una roca blanda.

El suelo puede evolucionar poco a poco desde cosas sencillas a cosas complejas, alcanzando un equilibrio así tenemos:

C — (A)      C — A      C — A(B)      C — ABC

Por este motivo la geología y la petrografía tienen una gran relación con la edafología. Se han realizado además, investigaciones que han relacionado vegetación y suelo influenciados por la roca subyacente. Son muy conocidas las investigaciones de Mor y Farugen, que han encontrado determinadas asociaciones vegetales con determinados tipos de rocas.

## VI DEFINICION GENETICA DEL SUELO

Desde los tiempos más antiguos se ha intentado dar definiciones genéticas de acuerdo a los factores que se toman para hacer una clasificación genética.

Así por ejemplo, Jenny nos expresa que los suelos se caracterizan por las relaciones funcionales basadas sobre ecuaciones que indican las propiedades individuales de los suelos como funciones de los factores edafogénicos diferentes.

Una definición genética muy completa es la del científico Kubiena: La capa viviente de transformación de la esfera sólida terrestre, surgida bajo el influjo de la vida y de las especiales condiciones ambientales de un habitat biológico y sometido a un constante cambio estacional y a un desarrollo peculiar.

## VII EL SUELO MEDIO COMPLEJO Y DINAMICO

En la naturaleza, los diversos fenómenos y procesos que ocurren en la formación del suelo no suceden en forma aislada; ellos tienen lugar simultáneamente y en estrecha relación. Tomados juntos ellos dan lugar a lo que es llamado "formación del suelo o los procesos de formación del suelo".

El proceso de formación del suelo es la suma total de varios fenómenos químicos, físicos y biológicos que ocurren en el suelo y determinan la composición y propiedades del material del suelo.

En general este medio complejo y dinámico del suelo se puede sintetizar en tres grupos principales:

- 1) Las continuas descomposiciones de ciertos componentes minerales (minerales primarios) y síntesis simultánea de nuevos minerales (minerales secundarios y nuevas formaciones).
- 2) Descomposición de ciertos compuestos orgánicos (residuos de las plantas) y el proceso de formación de otros compuestos (ácidos fúlvicos, húmicos, etc.).
- 3) Disposición del estado del suelo, o translocación dentro de este estrato de varios productos de la meteorización y formación del suelo, así como la toma por el suelo (principalmente por medio del ciclo biológico), de varios compuestos (tales como nitrógeno, diversos elementos de ceniza, etc.) de la atmósfera y de la corteza de la meteorización.

#### VIII FACTORES DE LA GENESIS DEL SUELO

Cuando Dokuchaiev anunció en Rusia el importante descubrimiento de que un mismo material de origen podía dar lugar a la formación de suelos diferentes de acuerdo al clima y a la vegetación, fueron perdiendo fuerza muchas definiciones de suelos que aludían a la herencia del material de origen como aquellas denominaciones tan comunes en Europa de "suelos calcáreos, graníticos, etc." sin embargo está comprobado que muchas propiedades importantes son herencia de la roca subyacente.

Conscientemente se consideran como factores formadores de suelos al material de origen, el clima y los organismos, el tiempo también se considera un factor de formación porque los suelos cambian siguiendo un proceso evolutivo, y finalmente la topografía porque gobierna en parte las relaciones del suelo en formación con el agua y

la erosión. Sin embargo en cuanto se inician las discusiones surge la duda sobre cual es realmente la naturaleza individual de cada uno: Hay dudas de si son propiedades del suelo, pertenecen al medio ambiente o si son algo diferentes.

El clima es sin duda una propiedad del suelo ambiente, los organismos algunos también, como los árboles, otros pertenecen al suelo como las bacterias. La topografía es de los dos y el tiempo de ninguno de ellos. Surge por eso la pregunta de qué tienen en común para que la ciencia del suelo los ponga juntos y los llame "formadores de suelo".

Joffe llama factores activos a los que suministran la energía que actúa contra la masa mineral y pasivos a los que sirven de fuente de esa masa. En lo primero reúne los elementos que forman la biosfera, atmósfera y en parte la hidrosfera, y en el segundo la topografía, el material de origen y el tiempo. Aparece claro para nosotros en esta separación de los factores entre lo que significan masa y energía, también lo que se refiere al material de origen y al clima, pero la función que se atribuye al tiempo y la topografía no están claros.

Vilenski y la escuela rusa identifican los factores formadores con el medio externo. Marbut habla de que son sinónimos, sin embargo se perdería el significado que comúnmente se les atribuye si fuéramos a considerar los microorganismos del suelo como parte del medio ambiente. Otros pedólogos consideran que la palabra fuerza, que Glinka usa en un sentido más místico que físico no está sujeta a una calificación cuantitativa y llama a los factores formadores "causa" y a las propiedades del suelo "efecto" lo que significa aplicar el principio de la casualidad a la formación de los suelos. Con eso se complica más el asunto, porque todas las propiedades del suelo

se pueden considerar causa y efecto.

Hechas todas estas consideraciones, Jenny llega a la conclusión de que existe una definición satisfactoria y consistente de lo que son los factores formadores de suelo y enuncia un nuevo concepto basado en que un tema tan complejo y complicado, que presenta tantas propiedades, únicamente se puede definir cuando todas se establezcan concluyentemente, puesto que cuando entre sí funcionalmente interrelacionadas, si un número de ellas fijas, todas las demás también lo serán.

Del estudio de otros sistemas más sencillos se sabe que el estado de un sistema puede ser determinado por un número limitado de propiedades. Si tenemos por ejemplo un mol de gas oxígeno y sabemos su tiempo y presión podemos saber también otro gran número de sus propiedades que entonces son fijas, tales como la densidad, velocidad, promedio de las moléculas, capacidad de calor, etc. Las propiedades capaces de determinar el estado de un sistema se conocen como factores condicionantes y su naturaleza es tal que se les puede hacer variar independientes unas de otras. Son variables independientes.

Sin embargo, sigue diciendo Jenny, existe una relación diferente en temperatura y la humedad del suelo; pueden tener alta la temperatura y baja la humedad y viceversa, una puede cambiar sin que se altere la otra, son por eso variables independientes; la forma del relieve pertenece a esta clase también y los microorganismos en ciertos aspectos. Todas estas propiedades o grupos de propiedades de los suelos, considerando que están como hemos dicho funcionalmente interrelacionadas, las reúne Jenny como forma más sencilla de expresión en una ecuación:

$$F = (Cl', o', r', s_1, s_2 \dots) = 0$$

la cual

$Cl'$  = clima

$o'$  = organismo

$r'$  = topografía

los símbolos  $s_1, s_2, s_3$ , etc., representan las propiedades generales que caracterizan el sistema, tales como contenido de hidrógeno de cambio, acidez, densidad aparente, etc. Se puede asumir que todas esas propiedades se pueden expresar numéricamente, son de carácter no solo cualitativo, sino también cuantitativo, aunque es cierto que no todas, pero se puede esperar que a medida que avanza la investigación científica, irán aumentando el número de las que se pueden medir cuantitativamente. Aclaramos que el clima, la topografía, y los organismos tienen signos especiales en la ecuación porque no están universalmente reconocidos como propiedades del suelo.

## PROCESOS FISICO-QUIMICOS DE LA GENESIS Y EVOLUCION DEL SUELO

=====

Generalmente se dice que el suelo tiene una formación primaria y que representa los primeros pasos en la formación del mismo. Algunas veces fallamos al señalarlo como uno de los procesos elementales y considerarlo como un proceso geológico de meteorización. Sin embargo hoy en día los conocimientos concernientes a los fenómenos físicos, químicos y biológicos de meteorización indican que éstos son realmente formaciones de suelo, características y momentos significativos en la formación de los constituyentes minerales de los suelos.

Douchafour resume el proceso de evolución de los suelos en tres factores:

- 1) Descomposición y alteración física de las rocas, que terminará en un complejo de descomposición a expensas de la roca. Se conoce este proceso como erosión, pero se prefiere usar el término de alteración.
- 2) Aumento de la materia orgánica en el suelo llegándose rápidamente a un equilibrio entre el aporte de materia orgánica y la mineralización de esta.
- 3) Desplazamiento de elementos solubles o coloidales de un punto a otro del perfil por corrientes de aguas. Podemos tener así horizontes empobrecidos  $A_0$ ,  $A_3$ ,  $A_2$  y horizontes enriquecidos  $B_2$ ,  $B_1$ .

## I DEGRADACION FISICA Y ALTERACION QUIMICA DE LAS ROCAS

De acuerdo con los petrógrafos las rocas son estables en las condiciones que se forman. Una roca sedimentaria se forma por alteración de acarreo de materiales originarios. Las rocas sedimentarias y eruptivas se alteran tanto química como físicamente en forma paralela. La degradación física es la descomposición en partículas más pequeñas. Al aumentar más y más la superficie expuesta facilita la alteración química.

La desintegración de las rocas es un proceso físico esencial de climas fríos y desérticos, pero este no pasa del estado de arenas. El proceso de desagregación física se puede resumir en tres mecanismos principales:

- a) Fisuración.-- Bajo la acción de la dilatación y contracción causada por las variaciones de temperatura. Ayuda a este proceso el hecho de que las rocas están compuestas por minerales diferentes que se contraen y dilatan, produciéndose como consecuencia de esto desagregaciones en la roca.
- b) Rotura de la roca y ensanche de las fisuras bajo la acción del gel.
- c) Desgaste por los agentes de erosión, aguas de chorreo, vientos, etc., siendo este un proceso exógeno que actúa independiente de los materiales de la roca.

La alteración química está principalmente condicionada por dos factores: el factor agua que sirve de vehículo a los agentes químicos activos y el factor temperatura que interviene en la velocidad de reacción. En consecuencia las velocidades de alteración son máximas en climas calurosos y húmedos. La alteración de los minerales primitivos, en general complejos de nacimientos a minerales simples

más o menos solubles o coloidales, constituyendo el conjunto el complejo de alteración.

Los principales procesos de alteración química son: disolución, hidratación, óxido-reducción e hidrólisis.

### Disolución

Implica la eliminación del material de meteorización; hay rocas que poseen mayor o menor grado de solubilidad, y las sales que la componen son lavadas y su presencia en mayor o menor grado en un perfil nos puede dar idea de la intensidad del lavado. Así por ejemplo tenemos sales como el cloruro de sodio, yeso y carbonato de calcio. El primero es muy soluble y será estable en suelos de desierto, se encuentra raras veces en suelos de estepa con verano seco y nunca en suelos con lluvias en todas las estaciones. El yeso, poco soluble, será estable en suelos de desierto y estepa y solo habrá transformación y lavado en suelos con clima muy húmedo. El carbonato de calcio solo es soluble en agua con anhídrido carbónico.

El agua es muy importante en todos los procesos de lavado. Así una tierra parda, de perfil A(B)C, cuando el proceso de lavado hace que se produzcan lavados de coloides formándose un perfil del tipo ABC, por enriquecimiento de coloides del horizonte B. Será pues de gran importancia para la caracterización de suelos un lavado de coloides.

### Hidratación

Los constituyentes de los minerales de la parte cristalina tienen una organización en una red que responde a un tipo de estructura, la situación de los iones en los vértices de las caras son diferentes ya que las cargas eléctricas no están compensadas en igual

forma y al mismo tiempo expuestos a los agentes exteriores. El agua actúa sobre los cationes externos provocando una hidratación y con esto debilita las estructuras de todo ese edificio con una disolución de la red cristalina. Al debilitarse las estructuras se forman pequeñas grietas por donde penetran los dipolos del agua causando su debilitamiento.

No es lo mismo la rotura de un cristal en la superficie de la red que internamente.

Según Douchafour se produce hidratación de sales férricas, primitivamente poco hidratadas. Bajo el efecto del aumento del volumen resultante, la roca se descompone y se torna blanda, al mismo tiempo su color cambia y de rosa violáceo pasa a rojo.

#### Oxidación y reducción

El oxígeno atmosférico actúa sobre el ión ferroso oxidándolo, transformado en ión férrico. El cristal del mineral pierde estabilidad ya que cambia el radio iónico.

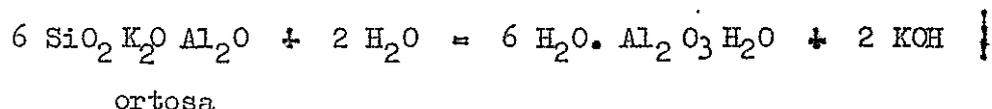
El hierro puede reducirse también, por el agua cargada con materia orgánica en un proceso de anaerobiosis o falta de oxígeno, el hierro toma el estado ferroso siendo esto más soluble y por lo tanto más movible. En medios reductores, el suelo toma un tinte grisáceo azulado, característica del hierro ferroso; cuando es oxidado el color que toma es rojo ocre. La oxidación del hierro en presencia de aire o agua de lluvia, rica en oxígeno disuelto, provoca la precipitación al estado férrico.

#### Hidrólisis

Podemos considerar ahora el más importante de los procesos por el cual los minerales están meteorizados químicamente, es decir la hidrólisis.

La hidrólisis es una consecuencia de la disociación parcial del agua en iones hidrógeno o iones hidróxilo. La cantidad real de disociación es sumamente pequeña, pues, a temperaturas ordinarias, un litro de agua contiene solo  $10^{-7}$  gr. de hidrogeno en forma iónica; pero la presencia del anhídrido carbónico en solución aumenta la concentración del ión hidrogeno y así refuerza la acción hidrolítica del agua. La concentración del ión hidrogeno de la solución del suelo, y, por consiguiente, su actividad hidrolítica, pueden ser además aumentadas por la presencia de ácidos minerales y orgánicos.

El agua se comporta, pues, como un ácido débil, y su efecto sobre los silicatos metacrizables depende de la actividad de los iones hidrógeno. Los minerales por los que estamos interesados pueden describirse como silicatos complejos de calcio, magnesio, potasio, sodio, aluminio, hierro. El tipo más sencillo de descomposición consistiría en el reemplazamiento de iones alcalinos o alcalinotérreos en la red del mineral por iones hidrógeno, originando ácidos aluminosilíceos o ferrosilíceos y la liberación de hidróxidos alcalinos o alcalinotérreos. Un paso más avanzado en la rotura puede consistir en la separación de ácido silícico, acompañada por una modificación profunda de la red cristalina originaria. Puede imaginarse que ocurre un proceso tal como el siguiente en la formación de la caolinita a partir del feldespató potásico.



El hidróxido de potasio puede ser lavado fácilmente ya que es una sal y por otra parte pueden formarse minerales secundarios como gibsita, caolinita, etc.

## II PROCESOS FISICOS ENDOGENOS Y EXOGENOS

A medida que ocurre la desintegración y degradación de la roca, simultáneamente aumenta la acción química y esta se puede efectuar dentro de la roca siendo este un proceso endógeno.

Los procesos exógenos actúan independientemente de los materiales de la roca, la erosión eólica, lluvia, etc.

## III FENOMENOS QUIMICOS

### EJEMPLO DE ALTERACION FISICA Y QUIMICA DE LAS ROCAS ERUPTIVAS Y SEDIMENTARIAS

La alteración química se efectúa a través de dos factores: el factor agua como vehículo agente "activa" la oxigenación, acidez, humificación,  $\text{CO}_2$ , etc., el factor temperatura que interviene en la aceleración de la reacción de máximas en clima cálido y húmedo y mínima en climas fríos y desérticos.

En la alteración de rocas eruptivas tenemos la biotita que se transforma moderadamente a clorita; la ortosa  $(6 \text{ Si O}_2 \text{ A}_2 \text{ O}_3 \text{ K}_2 \text{ O}) + 3 \text{ H}_2 \text{ O} \rightarrow \text{Si O}_2 \text{ AL}_2 \text{ O}_3 \text{ (H}_2 \text{ O (Kaolinita) + KOH + 4 Si O}_2$

Los anfíbolos y piroxenos dan las arcillas magnesianas y los minerales de alteración, como, la serpentina, la epidotita, la clorita, talco.

La moscovita es extremadamente resistente a la alteración se transforma por fragmentación en sirosita para luego evolucionar a illita. El cuarzo es casi inalterable por el clima y la temperatura, pero poco a poco se corroe en clima tropical.

Más si la fase inicial de alteración depende de la naturaleza de los minerales de la roca, la fase final depende así en gran parte de las condiciones generales del medio: es decir, el microclima

que es referido al suelo en temperatura y humedad. Este microclima interno es lo mismo que la función de las estaciones.

La alteración de las rocas sedimentarias es diferente a las ígneas, ya que las sedimentarias algunas son ricas en calcio o son ácidas, mientras las cruptivas generalmente son neutras.

#### IV RESULTADO DE LA ALTERACION

##### HORIZONTES B ESTRUCTURALES

Las condiciones de la estación, resultados de las condiciones del clima general, así como la ecología local (roca madre, condiciones de drenaje, luz, vegetación, etc.) ejercen una acción determinante.

El clima en general juega un papel preponderante.

En clima árido (de estepa) la parte de calcio y sílice es mínima, y la síntesis de la arcilla tiene una forma pobre de adsorción, de tipo montmorillonítico.

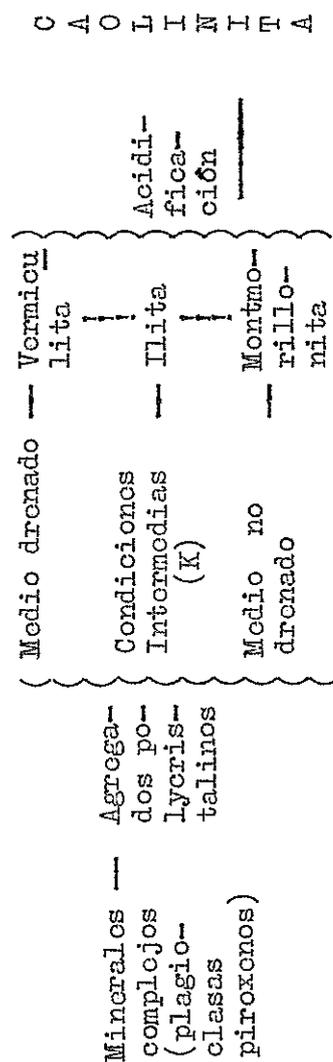
En clima cálido, ácido húmedo da origen a un proceso de caolinización en medio ácido; en clima tropical, la parte de sílice es máxima y la etapa de caolinización es lenta y sufre una liberación de alumina (alutización).

La naturaleza del humus interviene en los fenómenos de alteración; los procesos de descalcificación del complejo adsorbente, que acompañan a la acidificación del humus, parecen provocar una evolución de la arcilla por parte de la sílice o por fractura de los cristales.

En fin las condiciones de drenaje de la estación y la riqueza en elementos alcalinos térreos de la roca madre juegan un gran papel en el desarrollo de la alteración.

Nosotros podemos resumir lo concerniente a la alteración con una comparación de roca eruptiva en clima templado y clima tropical.

En clima templado la cantidad de arcilla formada por la alteración del granito es estimable, los productos solubles entran en el arrastre por lavado, dominan, la ortosa en alteración muy lenta, las arcillas se forman previamente, aunque exclusivamente de plagioclasas y de biotitas (xoques). Las rocas básicas ricas en ferromagnesianos dan necesariamente una cantidad importante de arcillas (montmorillonitas o ilitas) que por acidificación del medio evolucionan hacia la vermiculita o caolinita. Según Mcalcoese y Michell la alteración de las rocas cruptivas se esquematiza así:



En clima tropical la alteración viene a ser más rápida que en clima templado, la neosíntesis de la arcilla, por ser muy importante si las condiciones de drenaje son mediocres, entorpecen la evacuación de la sílice solubilizada por el lavado.

La parte de la sílice en un medio de drenaje poco ácido, en un medio más o menos saturado de agua y ácido, se unen al aluminio para dar la caolinita. Aunque este medio no drone es rico en Ca y Mg (basalto), es la misma montmorillonita que se forma (suelos negros tropicales).

Horizonte B estructural.- Este horizonte se diferencia de la roca madre por su grado de alteración más o menos fuerte (presencia de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre). De otra parte el horizonte superficial A por su estructura diferente, en general más compacto (poliédrica o prismática) y por ausencia de materia orgánica.

## EMIGRACION DE SUSTANCIAS

En el sentido amplio el lavado no solo es el arrastre de las sales solubles en el agua, sino de otras sustancias poco movibles, ejemplo: minerales de la arcilla, compuestos orgánicos, etc.

### I CLASES DE EMIGRACION

Se pueden distinguir tres clases de omigración:

#### Migración descendente

Constituye el fenómeno de eluviación o lixiviado principalmente de partículas inferiores a 0.001 mm. a través del perfil. Este fenómeno es frecuente en climas húmedos dando origen a suelos característicos (Alfisoles)

#### Entre este está el lavado oblicuo

que se presenta en pendientes, dando como resultado el empobrecimiento de sales y coloides en las partes altas.

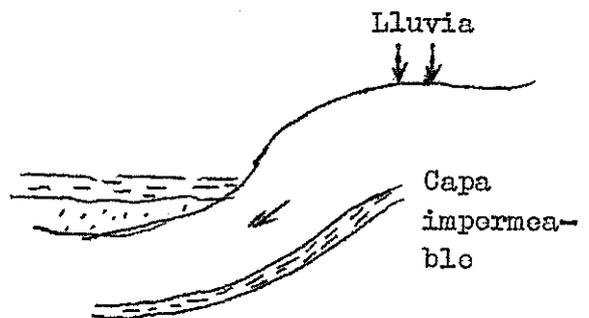


Fig. 1 Formas de lavado oblicuo

#### Emigración ascendente

Solo se produce a expensas de elementos solubilizados, sales solubles, carbonatos solubles, así como elementos solubles, tales como el hierro ferroso, lo más característico es el lavado de hierro ferroso, típico de los suelos gley. Si hay una ascensión de

la capa freática al ascender arrastra sales que por evaporación se forma una costra salina, poligrando los planes de riego por la emigración de dichas sales en el nivel freático.

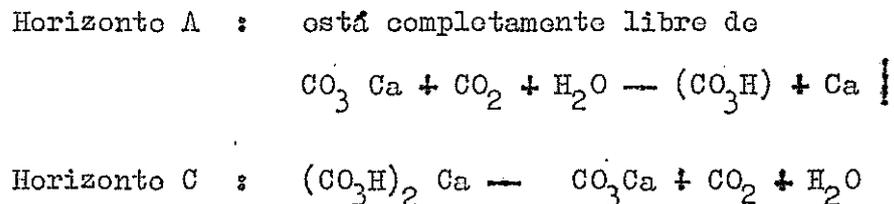
El suelo más típico es el suelo gley, que amigra con la solución y precipita con el Fe ferroso.

## II LAVADO DE CATIONES METÁLICOS Y DE COLOIDES

El lavado de sales y coloides puede esquematizarse en dos partes:

- a) Un lavado de cationes metálicos.
- b) Un empobrecimiento de cationes en los horizontes superiores.

Los cationes alcalinos y alcalino térreos están en forma de carbonatos cálcicos, la emigración de estos se efectúa en forma de bicarbonatos que se forman por el agua cargada de gas carbónico. Esto ocurre generalmente en los suelos de chernozems:



## III FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL LAVADO O LIXIVIADO

Quando la actividad de los organismos es intensa disminuye el  $\text{CO}_2$  por liberación, y el Ca es solamente soluble en forma de bicarbonato dando origen a un precipitado que va a formar los horizontes enriquecidos de carbonatos de los suelos calcimorfos.

Los suelos así formados presentan un horizonte superior ácido por la desaturación en el complejo de cambio lavándose el  $\text{Ca}^{++}$ .

#### El agua de gravedad

Esta circula en los suelos y es el medio esencial del lavado, entrando mecánicamente en el complejo disperso. Su importancia está en dependencia de los factores climáticos como la aridez del clima.

#### La estructura del humus

Este es el factor más importante que condiciona los procesos de arrastre para un tipo de suelo, donde: la materia orgánica se descompone dando origen a dos grupos de compuestos:

1. Los compuestos húmicos insolubles (ácidos húmicos) agentes de la estructura, que se unen a las arcillas, los aglomerados en agregados y la fijación del Fe y el calcio por sus propiedades absorbentes contrarias a los procesos de arrastre.
2. Los compuestos orgánicos solubles solubilizan los óxidos de Fe (y aluminio) en el complejo  $\bar{c}$  favorecen así su migración en medio ácido y es formado por la riqueza en calcio (Lossaint).

Los fenómenos de migración en el suelo están condicionados a la proporción relativa de estos dos grupos de formación del humus.

#### La actividad biológica

Esta juega un papel importante en el lavado, la acción de los diversos animales porque tiende a homogenizar los diversos horizontes, por operaciones mecánicas. Un equilibrio establecido entre el lavado y remontado de elementos coloidales caracteriza al tipo de suelo traducido en el índice de Fe-arcilla.

## I CONDICIONES GENERALES DE LA ELUVIACION

El agente de arrastre en el suelo es el agua, la oscilación del agua de gravedad depende de la permeabilidad y tipo de clima. Honin y Aubert establecieron la siguiente fórmula para el cálculo del drenaje:

$$O = \frac{\gamma P^3}{I + \gamma P^2}$$

teniendo P la pluviosidad en metros

$$Y = \frac{1}{0,15 T - 0,13}$$

T = temperatura media anual

Posteriormente fué modificada por Aubert en razón de tener en cuenta la roca madre para el efecto Y se multiplica por un coeficiente  $\alpha$  que varía de 0,5 a 2, siendo 0,5 para las arcillas, 1 para los limos y 2 para las arenas. Dependiendo de la mayor precipitación se originan los suelos lavados.

La intensidad del lavado está determinada por la pluviosidad, estructura y actividad biológica.

La descomposición de la materia orgánica da origen a dos tipos de compuestos diferentes:

- a) los compuestos húmicos insolubles, de carácter ácido, que unidos a las arcillas fijan el Fe y calcio por sus propiedades absorbentes.

- b) los compuestos orgánicos que como agentes dispersantes solubilizan los óxidos de Fe y Al en el complejo y favorecen así su migración.

Dependiendo del tipo de humus sobre el sustrato mineral podemos decir:

Mor -- humus ácido presenta una descomposición lenta de la materia fresca dificultando el arrastre del horizonte A debido a una rápida mineralización de los compuestos.

En suelos con mull eutrofico hay una humificación abundante y formación de estructura estable que se opone al arrastre mecánico.

En suelos pardos el remontado de bases son puercas en circulación y absorbidas por las raíces pasando a las hojas y al caer éstas, lavando las bases por el proceso de mineralización, que se opone al lavado.

## II CAUSAS DE LA FORMACION DE HORIZONTES DE ACUMULACION

Los suelos cálcicos presentan una acumulación de sales constituyendo un horizonte solo en suelos áridos, formando las "Podocals". En clima húmedo son arrastradas por las aguas de drenaje, y los horizontes de acumulación están constituidos por elementos coloidales de arcilla acompañadas por sesquióxidos de Fe, hierro y humus que caracteriza los podsoles que se presentan a un nivel determinado de profundidad, estos horizontes son desagregados por la letra B u horizonte "argílico".

Normalmente intervienen en la formación del horizonte de acumulación causas físicas, químicas y biológicas.

### Causas físicas

El agua lluvia llega en su penetración a un nivel de máxima densidad de las raíces absorbentes que provocan la concentración de coloides, éstos se deshidratan y precipitan formándose el horizonte de acumulación. La profundidad del horizonte de acumulación se halla ligado al enraizamiento de la vegetación existente.

La presencia de una capa saturada de agua en forma temporal o permanente determina el horizonte de acumulación. Por encima de esta capa de agua es donde se inicia el horizonte de acumulación.

### Causas químicas

Las causas químicas completan la acción de los procesos físicos, la oluviación química encierra otros factores. Al respecto se han originado una serie de teorías.

Los iones calcio más abundantes en la cercanía de la roca madre provoca la destrucción de ciertos complejos ferro-silíceos, arcillo-orgánicos, junto con una insolubilización y precipitación de los constituyentes.

Ciertos coloides flocculan porque el pH isoelectrico de los coloides anfóteros es atacado en las zonas más profundas del suelo, o el pH es inestable, respecto a los coloides este puede ser el caso de ciertos complejos orgánicos dispersos en la superficie con un pH inferior a 5 flocculan, y contrario en profundidad a un pH superior a 5 (Mattson 1930, Hartman 1952).

Otros autores como Betremieux 1957 y Bloomfield 1952 han emitido una tercera teoría que dice: El hierro migra al estado ferroso y precipita en forma férrica en el horizonte B. Los complejos ferro-orgánicos son destruidos en su migración al contacto del aire

forma así una coraza en climas cálidos, de igual manera en profundidad, en los casos de migración descendente, los óxidos de hierro precipitan en los huecos dejados por las raíces muertas formando concreciones al contacto de una capa freática de agua suficientemente oxigenada. Las bacterias oxidantes del hierro pueden jugar un papel importante en esta precipitación.

Iarkov (1956) dice sobre las fases estacionales de solubilización e insolubilización de los coloides en los suelos compactos:

Al final del invierno hay una reducción y solubilización por el agua de los horizontes humíferos creando las condiciones para la formación de compuestos orgánicos y los precursores solubles de los ácidos húmicos que hacen que el hierro se solubilice produciéndose la migración. Esta migración se detiene en la estación seca, en el transcurso de la cual comienza la fase de anaerobiosis; los complejos son destruidos por oxidación y el Fe precipita en forma férrica.

El proceso de remontado del horizonte B desarrolla de su fase joven, sucede en profundidad, o sea, que debajo de este horizonte hay una capa impermeable y empieza a crecer hacia arriba la formación de un horizonte o remontado del horizonte B sufriendo cambios estacionales, debido a la vegetación.

La presencia del horizonte B en la superficie es debida al decapitamiento del suelo por la erosión que ha eliminado los horizontes A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, como en el caso de suelos policiclos por edad antigua. Quiere decir que A y (B) se han formado de otro material de partida, distinto B<sub>2</sub> y B<sub>3</sub>, en la clasificación americana exponen la naturaleza de este horizonte como horizonte natrico por un alto contenido de Na.

A
(B)
II B <sub>2</sub>
II B <sub>3</sub>
C

Dependiendo de las características ecológicas se forma el horizonte argílico así en suelos forestales en razón de las raíces de los árboles y la mayor cantidad de ácidos húmicos, la acumulación de arcillas y óxidos de hierro se efectúa en una zona profunda.

Las arcillas y el hierro emigran, siendo la materia orgánica el agente peptizante. Para estos horizontes argílicos el por 100 de arcilla en horas. Si introducimos la razón  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  es similar a la de arcilla, y la razón C/N es muy baja es del orden de 8 o 10 ya que en estos horizontes no hay ácidos húmicos.

El horizonte de eluviación de los spodosoles o podsoles es un horizonte de acumulación de eluviación, se realiza en medio muy ácido.

Según los elementos que forman el horizonte B se denominan:

$B_h$  húmico de los podsoles

$B_{hs}$  húmico sesquióxido

$B_s$  de sesquióxidos

PROCESOS DE LA EVOLUCION DEL SUELO

I ESQUEMA GENERAL DE LOS PROCESOS DE EVOLUCION DE LOS SUELOS

Los procesos de evolución son los responsables de la formación de los suelos. Se distinguen ocho procesos fundamentales de evolución de los suelos. Hay casos en que la formación de un suelo puede resultar de dos o más de los procesos fundamentales que veremos.

Estos procesos se pueden referir a tres aspectos fundamentales: intensidad y tipo de alteración que ha sufrido; estado del complejo absorbente, en especial arcilla y materia orgánica, su saturación, capacidad de cambio, acidificación, etc., lavados si son ascendentes, si afectan a las bases, si bases y coloides, si ferro solamente, etc.

Lavado

- a) Alteración: Pérdida media o pequeña de sílice; y parte da origen a la formación de ilitas.
- b) Complejo de cambio: Existe un equilibrio entre el hidrogeno y el calcio, el equilibrio entre los cationes e hidrogeniones es entre 80 y 90. pH 6,5.
- c) Emigraciones: Lavado más o menos intenso de arcilla y ferro, no hay emigración de materia orgánica.

Podsolización

- a) Alteración: Pérdida importante de sílice por destrucción de la parte mineral del complejo absorbente en A y liberación de una cierta cantidad de sesquióxidos de hierro y aluminio y de ácido húmico. En el horizonte B, la mayor parte del complejo de alteración está constituida por caolinita.
- b) Complejo de cambio: Saturación de iones hidrógeno en gran parte fuertemente ácido.
- c) Migraciones: Hay una lixiviación fuerte de coloides.

Rubofacción o Ferruginización

Es el proceso que conduce a formar suelos rojos.

- a) Alteración: Se caracteriza por una pérdida media de sílice, liberación de óxidos de hierro, pero no de aluminio, deshidratación de óxidos de hierro, de ahí le proviene su color rojo.
- b) Complejo de cambio: Saturado por iones  $\text{Ca}^{++}$ .
- c) Emigraciones: Lavado total de carbonato de calcio en el horizonte A, y lavado variable de óxidos de hierro y arcilla.

Calcificación

Llamados pedocalos por Marbut.

- a) Alteración: Pérdida pequeña de sílice. Formación de arcillas generalmente del tipo de la montmorillonita. Relación sílice sesquióxidos muy alta y un fuerte poder absorbente. Una característica muy importante es la fuerte unión entre la arcilla y el humus.
- b) Complejo de cambio: Capacidad de cambio muy elevada, saturación por calcio y magnesio.
- c) Emigraciones: Lavado parcial de las sales alcalinas alcalino-térricas, a veces con la formación de un subhorizonte de carbonatos de calcio. Lavado casi nulo de coloides.

### Laterización (Ferralitización)

Proceso que da origen a la formación de lateritas o suelos ferralíticos.

- a) Alteración: Pérdida máxima de sílice, que se libera totalmente en el curso de la alteración. Liberación de hierro y aluminio.
- b) Complejo de cambio: Débil capacidad de cambio, ya que predomina en ellos la caolinita, además muy bajo en base por estar desaturado y por lo tanto fuertemente ácido.
- c) Emigraciones: Lavado importante de sílice, calcio y magnesio, y a veces emigraciones ascendentes de hierro, las cuales producen corazas ferralíticas típicas de lateritas.

### Salinización

- a) Alteración: Pérdida de sílice muy pequeña, fuerte poder absorbente, relación sílice-alúmina alto.
- b) Complejo de cambio: Saturación con calcio, pero también existe el sodio en una proporción menor al 15 %.
- c) Emigración: Ascendente de sales alcalinas como el cloruro de sodio y alcalino térreos, que provienen de una capa freática salina.

### Solonización

- a) Alteración: Se caracteriza por la alteración del complejo absorbente en A y pérdida de sílice que alcanza valores máximos en los solots, dando lugar a la dispersión de la arcilla.
- b) Complejo de cambio: Saturado en especial por iones sodio, especialmente en el horizonte B (horizonte natrico).
- c) Emigración: Lavado muy importante de sílice en un medio muy alcalino dado por el carbonato de sodio.

Gleyzación

- a) Alteración: Alteración variable según el pH y el contenido en calcio de la roca madre, formación de hierro ferroso, más o menos soluble, por un fenómeno de reducción.
- b) Complejo de cambio: Variable de acuerdo a los minerales presentes.
- c) Emigración: Lavado localizado de hierro ferroso en algunos casos (pseudogley) o bien en estaciones secas se produce una ascensión de sales ferrosas hacia la parte superior del horizonte precipitando al estado férrico.

RELACIONES SUELO VEGETACION. CICLOS DE LA EVOLUCION DEL SUELO

=====

I CICLOS DE LA EVOLUCION DEL SUELO

La evolución regresiva sucede a una evolución progresiva reconstituyendo el suelo climaxico, la estructura constituye un ciclo de evolución.

Los ciclos de evolución pueden sucederse sobre una misma roca madre en la mayoría de los casos, el nuevo ciclo para las mismas etapas que el primero y conduce a un mismo suelo, esto es, que produce un rejuvenecimiento del suelo por erosión y depósito reciente.

Pero si el primer ciclo es antiguo, un cambio en el clima puede sucederse por un intervalo en tal forma que la evolución del más reciente es diferente a la primera: el nuevo suelo en equilibrio con el clima actual que difiere del suelo antiguo de sus cualidades calificándose como suelo fósil. Un suelo así formado por la acción sucesiva de ciclos diferentes es llamado policiclo según Glaucoud.

II LOS SUELOS Y LAS ASOCIACIONES CLIMATICAS

Es conocida la relación que existe entre el suelo y la vegetación. En ciertas regiones puede llegarse a una relación tan estrecha que se puede decir que existe un suelo climax bajo una vegetación climax. Este complejo suelo vegetación depende de los otros factores del medio, climax, roca madre, topografía, acción humana, pero el clima parece ejercer una acción preponderante.

### III ASOCIACIONES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS

Los geógrafos y fitosociólogos que estudian en nuevas áreas oponen corrientemente las asociaciones vegetales primarias, todavía no transformadas por el hombre y las secundarias, que resultan de la intervención del hombre. La asociación vegetal que ha llegado a un equilibrio con el medio se le denomina climax, presentando características notables que la diferencian de las secundarias, así como estas últimas son numerosas en una región dada varían según el grado de intervención y las condiciones locales del medio. Las primeras por el contrario son uniformes y ocupan vastas superficies unidas esencialmente al climax e independientes, en gran medida de las condiciones de la estación: pendiente, roca madre, etc., a esto respecto se ha podido decir que la vegetación climácica es también una vegetación climática.

### IV SUELO CLIMAX O EDAFOCLIMAX

Es un suelo estable, en equilibrio con la vegetación y el clima, caracteriza pues una vegetación climática, como en ésta puede esperarse una relativa uniformidad o independencia en relaciones con las variaciones locales de yacimientos.

### V SUELOS ZONALES

A medida que la clasificación del suelo es estudiada con mayor profundidad parece lógico considerar en primer lugar los suelos zonales por causa de su gran expansión y de su importancia mundial. El orden de los suelos zonales es subdividido en subórdenes tomando como base a específicas regiones climáticas y vegetativas. Cada una de estas subórdenes es a su vez dividida en grandes grupos

de suelos como podsol, pradera, etc. Teniendo en cuenta que estos grandes grupos de suelos presentan condiciones muy específicas, serán objeto en gran parte de las consideraciones a seguir.

En regiones demasiado frías para crecimiento de árboles o de gramíneas, pueden ser sin embargo suficientemente calientes para el desarrollo de ciertas plantas, la vegetación que desarrolla es conocida como tundra. Esta consiste básicamente de musgos y arbustos. La tundra se encuentra tanto sobre condiciones húmedas como áridas, y los suelos en ella desarrollados tienen un pequeño valor agrícola.

En regiones húmedas la vegetación de los suelos zonales es de bosque. En el ámbito de estas áreas forestales habrá desenvolvimiento de podsoles a suelos podsólicos si el clima es templado y húmedo en cuanto habrá formación de latosoles, en regiones húmedas tropicales y semitropicales.

Esta noción fundamental de suelos zonales esencialmente climática, al principio no fué aceptada muy favorablemente en Europa Occidental, no parecía corresponder a la gran diversidad de suelos, y muy a menudo aparecen estrechamente ligados a los afloramientos geológicos, la idea de suelo climax, dependiente sobre todo del clima y de la vegetación no se ha impuesto en otros países. Hay para ello numerosas razones. En Europa Occidental, en Francia por ejemplo las condiciones de clima y vegetación ofrecen pocos contrastes, por otra parte la acción perturbadora del hombre se ha ejercido durante siglos de modo que la noción de climax es más difícil de poner en evidencia.

Sin embargo, investigaciones recientes han podido demostrar de manera perfectamente clara, que esta noción se aplica también en Europa Occidental. Para llegar a esta conclusión ha sido necesario

vencer dos dificultades como es la de estudiar los suelos de las asociaciones lo más próximas posibles de las asociaciones climáticas, asociaciones bastante raras en el momento presente, junto a esto la noción de suelo zonal resulta demasiado simple y demasiado esquemática, ha sido necesario matizarla con la noción más reciente de suelo análogo.

## VI SUELOS ANALOGOS

Esta definición debida al Prof. Pallmann, matiza y precisa la de suelo climático zonal: los suelos análogos caracterizan asociaciones climáticas iguales sobre rocas madres y en yacimientos distintos: la vegetación actúa sobre los horizontes minerales por medio de la materia orgánica que los incorpora, en estas condiciones es normal que los horizontes minerales profundos estén poco modificados y conserven propiedades inherentes a la roca madre, mientras que los horizontes humíferos de superficie están profundamente influenciados por la vegetación; los edafólogos discuten todavía por saber cual es la causa determinante de la naturaleza y del estado del humus ¿la estación o la vegetación?. Parece que a largo plazo la influencia de la vegetación es la que predomina, ahora bien, la formación de un suelo climax implica, por su misma definición, la idea de duración. De ello se deduce que los suelos análogos, idénticos por sus horizontes humíferos, difieren por sus horizontes profundos.

## VII LOS SUELOS Y LAS ASOCIACIONES NO CLIMATICAS NATURALES

Se trata aquí también de estados de equilibrio estable, en general no perturbado por el hombre, pero que no pueden por una razón u otra evolucionar hacia el clima "estacionales". Dos causas pueden intervenir para frenar la evolución normal del suelo hacia el suelo análogo, el suelo climático definido precedentemente.

a) La erosión actúa esencialmente en las pendientes, por lo tanto en los países de relieve accidentado, en montaña, es un factor de rejuvenecimiento del suelo: cuando la erosión es activa, impide toda evolución del suelo, éste sigue siendo un suelo joven litosol o ranker, caracterizado por una asociación vegetal inestable y discontinua, que calificaremos de asociación pionera o colonizadora, y sin embargo permanente. Estos suelos jóvenes pertenecen a los suelos azonales de las antiguas clasificaciones rusas.

b) Ciertas propiedades de la roca madre y del yacimiento (station) pueden frenar cuando están muy acusadas, toda evolución climática normal; se trata sobre todo, de propiedades físicas desfavorables que crean un microclima del suelo particular, que la vegetación climática no puede modificar a su favor, por ejemplo: hidromorfismo permanente que ocasiona insuficiente aireación (suelos gley, suelos turbosos), o por el contrario, un medio exageradamente seco (ciertos suelos calizos superficiales, demasiado poco profundos y demasiado secos para el bosque, caracterizados por una verdadera estepa edáfica como es el caso de la Champagne yesosa en Francia. Estos suelos frecuentemente llamados interzonales, por los autores rusos, se caracterizan por una asociación especializada (expresión de Moor y Favayer) que se opone a la asociación climática, por ejemplo: una turbera

de Spangn. un alisar de marismas, etc. Duvigneaud ha señalado incluso, en el Congo belga, ciertas asociaciones especializadas, ligadas a propiedades químicas de la roca madre, tales como un contenido muy elevado de la roca en cobre y en manganeso, pero esto puede considerarse excepcional.

#### VIII ASOCIACIONES NO CLIMATICAS Y SUELOS DEGRADADOS

Se trata de equilibrios nuevos, más o menos inestables, que son esencialmente de origen humano, es muy frecuente que el hombre perturbe los equilibrios originales por una acción destructora frecuentemente renovada, la formación vegetal primitiva sobre suelo análogo está sustituida por una formación secundaria caracterizada por un suelo degradado. El hombre provoca con su acción destructora una evolución regresiva de los suelos y de la vegetación, que se aparta progresivamente del estado inicial del climax. Los nuevos suelos y las nuevas asociaciones que nacen de esta manera están condicionados, de manera mucho más íntima que los anteriores, por la estación y la roca madre.

Así por ejemplo, la degradación del robledal atlántico conduce a la aparición de tres nuevas asociaciones caracterizadas por tipos de suelos y por tipos de humus enteramente diferentes, así tenemos:

- a) roca madre arenosa filtrante: landa seca de breso. Podsol de Mor.
- b) roca madre arcillosa compacta: landa húmeda de molinea
- c) roca madre margosa: cespéd de gramíneas. Rendsina de Mull calizo.

Pero existen numerosos tipos intermedios, así en alta montaña es curioso observar que la degradación causada por el hombre puede llegar a una evolución exactamente opuesta a la que se observa en las llanuras atlánticas. El climax como hemos visto, es un podsol.

Bajo la influencia de los pastos el bosque se transforma en pseudo-bosque, cuyo suelo es impacto de mull poco evolucionado.

## IX EVOLUCIONES PROGRESIVAS Y REGRESIVAS

El concepto biológico del suelo considera a este como un medio en equilibrio con la vegetación que sostiene, el clima desempeña un papel fundamental en este equilibrio tanto por su acción directa sobre el suelo como por su acción directa a través de la vegetación. Este estado de equilibrio puede ser modificado por acciones perturbadoras, variaciones del medio y de la vegetación de efecto relativamente rápido, a veces brutal. Estas causas provocan nuevas evoluciones de los suelos, se puede admitir que una evolución que acerca el suelo a su climax es una evolución progresiva. En cambio una que lo aparta de él se llama regresiva. El estudio de estas evoluciones recientes, condicionadas por el clima general que reina actualmente, permite definir la fase o ciclo de evolución actual característico del suelo dado.

De esta manera podemos ir de roca a suelo climax, teniendo diferentes fases características. Así para una roca no caliza en Europa Central tenemos roca, litosuelo, ranker, tierra parda, tierra parda controcuropea. Tenemos que considerar que las condiciones del clima no son inmutables; junto a las variaciones rápidas del medio, que determinan los ciclos actuales de la evolución, existen variaciones lentas. Estas variaciones lentas, ligadas a los cambios de vegetación que resultan de ellas, provocan modificaciones profundas de la edafogénesis, pero éstas más extendidas en el tiempo. De esta manera pueden relevarse ciclos de pedogénesis climática sucesivos. Los ciclos antiguos engendran los paleosuelos, algunos de

cuyos caracteres pueden continuarse y a su vez sufrir todos los efectos de un ciclo actual.

#### X CICLOS ACTUALES DE LA EVOLUCION DEL SUELO

Existen dos clases de evolución progresiva, lo mismo que dos de evolución regresiva. En lo que se refiere a la evolución regresiva, ésta puede ser un rejuvenecimiento, un nuevo regreso al estado inicial de roca madre por un fenómeno de erosión (regresión propiamente dicha en el sentido de Pallman) o bien puede constituir una nueva evolución ligada a un cambio de vegetación dando lugar a un nuevo perfil, distinto al perfil climático (degradación de Pallmann) así, la formación de un podsol en el clima atlántico de Francia, como consecuencia de la destrucción del Hayedo y su sustitución por Landa.

En este mismo orden de ideas, el punto de partida de una evolución progresiva, es decir orientada hacia el climax, puede ser bien una roca madre denudada por la erosión, un litosol, o bien un suelo propiamente degradado. Se trata, de dos tipos de evolución progresiva muy diferentes. Numerosos autores han estudiado estos diferentes tipos de evolución y han intentado calcular su duración. Es interesante observar que las evoluciones progresivas son en general relativamente lentas, mientras que algunas evoluciones regresivas parecen ser por el contrario más rápidas.

#### XI EJEMPLOS DE EVOLUCION PROGRESIVA LENTA

a) Podsolización en un clima boreal subalpino: Ludi ha podido precisar la edad de un podsol todavía joven, 85 años exactamente, y de un espesor de unos 10 cm. sobre las morenas glaciares de Aletsh. Pero este suelo está aún muy lejos de su madurez. Las esti-

maciones de Croker y Major, sobre las morenas de los glaciares de Alaska en vías de regresión confirman lo que fueron hechos por Hamblock en Alemania, según los vestigios humanos fósiles. Los podsoles húmicos ferruginosos bien desarrollados tendrían una edad aproximada a los 3.000 años.

Observaciones que, en el segundo caso, se trata al parecer de una degradación bastante lenta. Está bajo la influencia de la landa atlántica de ericáceas. Estas investigaciones recientes confirman los resultados obtenidos con anterioridad por Dumbleby que estimó que los podsoles del Yorkshire son de la edad del bronce.

b) Formación de suelos pardos o lixiviados, con mull sobre roca madre caliza. Scheffer, Welte y Meyer han intentado calcular la rapidez de la evolución de las rendsinas calizas jóvenes hacia el suelo pardo forestal climático, sobre muschelkalk, arcillo calizo de Alemania Media; en 2.000 años parece que el suelo alcanza una fase intermedia, rendsina empardecida con solo un 20 % de carbonato cálcico.

La edad de los suelos pardos típicos es de unos 10.000 años. Meyer ha podido calcular la edad de las fases de la evolución de los suelos de loess calizos, evolución que se ha desarrollado enteramente durante el periodo Holoceno. Si 2.000 años pueden ser suficientes para descarbonatar casi por completo el suelo (suelo pardo) son necesarios cerca de 10.000 años para llegar al suelo climax, es decir un suelo lixiviado con un horizonte B compacto.

Así la evolución progresiva de suelos de clima templado, parece haber existido varios miles de años, con frecuencia del orden de 10.000 años para llegar a suelo climático estable. Bajo otros climas, particularmente los climas tropicales, la duración de esta evolución puede ser aún más larga. Aubert y Lencuf han calculado la

velocidad de ferralitización, basándose en la importancia del drenaje climático y del contenido en sílice lixiviada por las aguas del drenaje, cerca de 50.000 años serían necesarios para la formación de un suelo ferralítico, con variaciones más o menos según la humedad del clima y el grado de la eliminación de la sílice. En estas condiciones de evolución muy lenta, se comprende que las modificaciones del clima pueden intervenir entre el principio y el fin de la pedogénesis.

c) Ejemplos de evolución regresiva rápida: En su conjunto, parecen ser mucho más rápidas; es evidente en lo que se refiere a casos de rejuvenecimiento, que conducen al arrastre brutal del suelo, con reanudación de la erosión y arrastre simultáneo del suelo y de su vegetación.

Pero es verdad también, al parecer, en las degradaciones provocadas por modificaciones de la vegetación, un suelo degradado por transformación de la vegetación forestal y su sustitución por una landa o un bosque no climático, se forma en un siglo o dos.

Ejemplos: Sobre los loess de la planicie de Bohemia, la sustitución del bosque foliar climático por una repoblación artificial del pino silvestre y picea ha provocado la formación de un podsol, en el lugar de un antiguo suelo pardo forestal en 200 años.

Las dunas antiguas del bosque de Leria, Portugal, están colonizadas por una vegetación foliar abusiva. Queda un suelo poco evolucionado de mull. Aquí y allá se encuentran viejos pinos marítimos aislados, de 250 años, bajo los cuales se ha formado podsoles muy localizados con humus bruto.

En ciertas rocas madre arcillo-limosas, poco permeables, la degradación del robledal atlántico del Centro de Francia conduce a una landa de molinea en bosque de tronçais. El fracaso de la

regeneración natural de roble en un cantón ha provocado la aparición de esta landa y la evolución del suelo pardo lixiviado de mull primitivo hacia un pseudogley, en algunas decenas de años. Se ha podido comprobar que esta degradación no había tenido lugar bajo una mancha de unas áreas de robles de unos 30 años, aislados en medio de esta landa.

Estos ejemplos constituyen verdaderos experimentos, que no por ser involuntarios tienen menor valor demostrativo. Es siempre una modificación provocada de la vegetación climax la que está en el origen de estas degradaciones tan rápidas.

LOS CICLOS ANTIGUOS DE LA EVOLUCION  
=====

I CONDICIONES GENERALES DE LA EVOLUCION ANTIGUA DEL SUELO. CICLOS DE LA EVOLUCION DEL SUELO. SUELOS POLICICLICOS

Muchos suelos deben sus caracteres a una evolución antigua, que se ha realizado en condiciones de clima y vegetación diferentes a las que existen actualmente: son los paleosuelos, los suelos relictos de Kubiena, ciertos caracteres heredados de esta pedogénesis antigua se han conservado hasta nuestros días.

Así sobre una roca determinada pueden existir varios ciclos. Para que sea cerrado es necesario partir de la roca originaria. Por consiguiente es posible sobre una roca determinada varios ciclos. Es fácil pensar que cuando uno de tales ciclos pasa por el mismo estadio hubiese estados que no sean en la actualidad y al llegar al climax de este suelo antiguo se produjeron cambios de clima, vegetación, enterramientos u erosión que provocan una evolución actual. Tenemos pues los suelos fósiles al descubierto o los suelos fósiles enterrados. Tenemos también aquel suelo fósil que adquirió propiedades fuertes y no evoluciona bajo las condiciones actuales o aquel que evoluciona y va cambiando de acuerdo a las condiciones del medio actuales.

## II SUELOS FOSILES Y RELICTOS

Suelos fosilizados, esto es, enterrado, petrificado (llegando a ser roca) en muchos casos variando diagenéticamente (por ejemplo endurecido por cementos, transformado por carbonización de carbono, areniscas carbonosas, etc.).

Suelos relictos, son aquellos que en muchos caracteres esenciales permiten reconocer actualmente que su formación se ha reducido bajo relaciones ambientales y climas de épocas pasadas, pero que en su actual habitat aún forma la capa superficial de la corteza terrestre. Como suelos relictos se conservan sobre todo aquellos que poseen desde antiguo una gran estabilidad (por ejemplo roderde, rotlehm) o que están en un grado de desarrollo más alto que la formación del climax actual.

## III SUELOS FOSILES NO ENTERRADOS

Es a menudo bastante difícil de distinguir, en estos suelos policíclicos los caracteres que provienen de una evolución antigua, de aquellos que provienen de una evolución bioclimática reciente. Los ejemplos que hay al respecto son muchos, Douchafour cita varios casos:

a) Arcilla con sílice.- Se trata en este caso de un suelo antiguo que a partir de materiales más o menos arcillosos que sufrieron un proceso de descarbonatación, sobre el cual hay un horizonte de arena o arena y limo más o menos lixiviado. El resultado es que en la arcilla con sílice encontramos un depósito más o menos compacto de arcilla sobre el cual se posa una capa más o menos arenosa. El caso no está actualmente muy claro. En el curso de la evolución actual, el horizonte superior muestra una tendencia a la

podsolización, mientras que el inferior tiende a formar un pseudo-gley; en definitiva el tipo de suelo actual, depende por una parte de la evolución reciente de la vegetación y por otra de la textura y espesor relativo de ambas capas superpuestas.

b) Terra rossa.— O arcilla de descalcificación sobre afloramientos calizos en las regiones mediterráneas que han sufrido, por una parte, una descarbonatación por lavado y por otra una rubefacción de las sales de hierro por una deshidratación más o menos completa. La terra rossa se ha formado bajo un clima de tendencias tropicales, más cálido que el actual y con estaciones muy contrastadas, en que una estación húmeda sigue a una estación muy cálida y muy seca.

Kluge ha demostrado que bajo los climas variados de España la terra rossa evoluciona en superficie hacia suelos actuales enteramente diferentes, en función del clima y de la vegetación actual, llegando en algunos casos a suelos pardos forestales (clima mediterráneo bastante húmedo, suelo de rendsinas, en pendientes, por mezclas con afloramientos calcareos), etc.

c) Terra fusca.— La tierra parda de descalcificación, sustituye a la terra rossa en los afloramientos calcareos de la zona templada fría. El estudio de la terra fusca demuestra que ha sufrido tres fases de pedogénesis, que serían: una fase de clima cálido y húmedo en el origen de la descarbonatación del perfil y de la acumulación de óxidos de hierro hidratados que le dan un color ocre. Una fase de croturbación, manifestada por la formación de bolsas de arcilla, mezcladas irregularmente con los fragmentos desprendidos por las heladas, de la caliza subyacente. Una fase de evolución actual hacia el suelo pardo calcimorfo de mull, característica de

los bosques foliares.

d) Limos blancos o graulchm.- Es un suelo arcilloso de color gris, descarbonatado, compacto, con arcilla del tipo caolinítico. Ha sido observado en el borde oriental tanto sobre esquistos y pizarras como areniscas. Se supone formado bajo el terciario, y la estabilidad que alcanzó es tan fuerte que actualmente es posible verlo en algunas partes. Este suelo resulta de una evolución de suelo en clima tropical en medios mal drenados.

#### IV SUELOS FOSILES ENTERRADOS

Al mismo tiempo que el clima se modifica, aportes sucesivos de materiales pueden recubrir los diversos perfiles climáticos. Así es posible observar una serie de suelos situados a diferentes niveles, siendo los más profundos los más antiguos. Ejemplo: Los loes de alsacea. Este loes es un depósito eólico, bastante fino y homogéneo (muy pobre en arena gruesa), contiene aproximadamente un 25 % de carbonato cálcico. Estos suelos nacieron en el curso de los periodos interglaciares secos, a causa del arrastre de arcillas finas monomicas. El loes es generalmente descarbonatado en superficie y transformado en lehm. La presencia de los perfiles enterrados en el loes se explica por el aporte intermitente de nuevas masas de loes, se pueden describir numerosos horizontes de suelos enterrados a niveles variables. Pueden existir cinco suelos superpuestos, cuya descripción es la siguiente:

a) El suelo basal, de tipo chernozem, tiene negra humífera con un

horizonte con pseudomicelio característico. Es un suelo de estepa árida indicando un clima seco.

b) Los suelos 2, 3 y 4 aparecen dentro de la categoría de chernozem degradado, van aumentando su degradación hacia arriba indicando climas más húmedos.

c) El suelo 5 es el último, suelo fósil, el más superficial. Es un suelo pardo forestal que indica un clima húmedo, se puede constatar un lavado fuerte de carbonatos, que se acumulan en profundidad en forma de cúmulos. En superficie un horizonte A<sub>1</sub> delgado de humus forestal. El suelo es de color ocre, no muestra ninguna lixiviación del hierro.

RELACIONES SUELO GEOLOGIA

=====

I INFLUENCIA DE LA ROCA MADRE EN LA GENESIS Y EVOLUCION DEL SUELO

Douchafour expresa que han sido considerados los puntos de vista de los biólogos y geólogos, han comprendido que las investigaciones son complementarias. Kubiena que defendió la biología del suelo, resulta en sus conferencias que la influencia de la roca debe exigirse mucho. Casi todos los detalles, tales como textura de la roca, los detalles de su divisibilidad, componentes minerales, etc. actúan de una manera muy eficaz en las características del suelo. La influencia de la roca es importante, incluso considerando el suelo como una herencia biológica.

En ciertos casos la roca madre presenta una importancia especial, es el caso de los suelos jóvenes, poco evolucionados, que ofrecen propiedades parecidas a las de la roca madre, como es el caso de los aluviones recientes o de suelos de erosión.

Es también el caso de suelos evolucionados, pero presentan debido a ciertas características de la roca madre, un proceso de evolución diferente a los procesos climáticos normales, dando origen a los suelos interzonales. Fuera de estos dos casos particulares, la roca madre presenta una acción mucho menos marcada cuando se trata de suelos climáticos que cuando se trata de suelos degradados.

En los suelos climáticos, son los horizontes minerales los que dependen más estrechamente de la roca madre. El tipo de humus es parecido bajo una misma vegetación, aunque se trate de rocas madres diferentes; la pedogénesis es a grandes líneas independiente de la

roca madre (suelos análogos). La riqueza de calcio del sustrato geológico junto a su permeabilidad determinan, al máximo, la aparición de un subtipo de humus caracterizado por una razón S/T más o menos elevada.

Por el contrario los suelos degradados ofrecen una vegetación específica. En este caso, no solo los horizontes minerales, sino también los orgánicos que van haciendo están profundamente influenciados por la roca madre. La pedogénesis dependerá en este caso exclusivamente de los afloramientos geológicos.

Refiriéndonos de una manera concreta a la roca debemos referirnos a:

a) Acción de la permeabilidad de la roca madre.-

En clima templado el lavado es intenso sobre rocas permeables, como es el caso de las arenas. El lavado solo es importante cuando la roca es permeable, es muy pequeño o casi nulo sobre roca madre impermeable. Estas últimas son favorables a la marmorización.

En climas tropicales tenemos los suelos "negros tropicales" con una permeabilidad muy baja, ya que se vá creando un sustrato arcilloso, debido a la liberación de arcilla por la roca madre, lo que provoca que junto a una evolución especial se formen vertisuelos con una tendencia a la pseudogleyización o gleyización.

b) Acción de la composición química de la roca madre.-

La riqueza en base ejerce una gran influencia en la evolución del suelo. Como ejemplo de esta importancia tenemos que favorece la humificación; frena el lavado, ya que asegura una buena estructura; retarda la alteración de las rocas, ya que permite la saturación de los ácidos orgánicos sutiles a degradar la roca. Sobre roca madre rica en calcio los suelos se caracterizan por una manera

orgánica activa o bien humificada. Ausencia de lavado y de alteración, el perfil será del tipo AC. Sobre rocas madres ácidas son suelos fuertemente desaturados con humus inactivo y con intensas alteraciones de material más un lavado intenso, originando perfiles del tipo ABC.

## II MINERALES DEL SUELO; HERENCIA Y NEOFORMACION

El suelo está compuesto esencialmente por dos amplios grupos de material distintos, la materia orgánica y la fracción mineral. En la corteza terrestre se han identificado muchísimas especies minerales. Sin embargo, en el suelo son de interés relativamente pocas. Por otra parte, los minerales del suelo pueden agruparse en series teniendo en cuenta ciertas semejanzas en sus propiedades físicas y químicas.

Una división simple en los minerales del suelo es en primarios y secundarios, si bien una distinción neta entre minerales primarios y secundarios tienen tan solo un sentido genético, tiene la ventaja de que, siendo el suelo un sistema disperso constituido por partículas de muy diferentes tamaños, es necesario el fraccionamiento para un estudio y la distinción entre minerales primarios y secundarios es compatible en líneas generales con el tamaño de las partículas. Los minerales primarios derivan directamente de las rocas ígneas, y son sus componentes y no están alterados químicamente. Los secundarios, constituidos por minerales de la arcilla, carbonatos y óxidos, principalmente, son productos de descomposición o alteración de los primarios. Tan solo unos pocos minerales, como por ejemplo cuarzo o calcita, pueden ser primarios o secundarios.

Los minerales primarios representan la mayor parte del componente inorgánico de los suelos, excepto para algunas de las zonas húmedas de los trópicos, en donde predominan los minerales secundarios, óxidos hidratados de hierro y aluminio o arcillas caoliníticas.

MINERALES DE LA FRACCION ARENA DEL SUELO  
=====

Principales minerales primarios.- Estabilidad de los minerales.-  
Secuencias de aplicación.- Aplicaciones de la mineralogía de arenas  
o problemas de fertilidad y génesis del suelo.

---

En los 16 Km. primeros de la litosfera, se encuentran las rocas ígneas en una proporción del 95 % en peso, y sedimentarias completando el 5 % restante; de éstas, el 4 % son pizarras, 0,75 % arenas y 0,25 % calizas. Sin embargo, en los 2 metros superficiales, según Jeffries, el 75 % lo integran rocas sedimentarias y un 25 % rocas metamórficas.

Aunque se han identificado muchas especies minerales, en Edafología es un reducido número el que interesa, ya que son relativamente pocas las que se encuentran en los suelos.

El contenido en materia orgánica suele oscilar entre 2 - 6 % y la materia mineral integra del 92 al 96 %.

En la mayoría de los suelos hay una preponderancia de los minerales primarios, ya que un suelo, aunque esté catalogado por ejemplo como de textura arcillosa, lo que se consigue ya con un 40 % de arcilla, hay igual cantidad o más de minerales primarios que de secundarios, pues el 60 % restante es fracción gruesa y limo, con lo que predominan los minerales primarios.

Ello justifica el interés del estudio mineralógico de las arenas del suelo en relación con su génesis y evolución, además de constituir la reserva mineral del mismo, de gran interés respecto a su fertilidad y manejo agrícola.

En las arenas se distinguen dos fracciones:

Minerales pesados de  $d > 2,9$  que constituyen del 5 al 2 % y

Minerales ligeros de  $d < 2,9$  que constituyen del 95 al 98 % (cuarzo y feldspatos)

Aunque en el análisis mineralógico se suelen distinguir tres fracciones:

Fracción ligera: minerales de  $d < 2,68$  (cuarzo, feldspatos alcalinos y de M y K).

" media: minerales de  $d = 2,68-2,9$  micas ligeras, feldspatos cálcicos (plagioclasas Ca).

" pesada: minerales de  $d > 2,9$  (óxidos de hierro, Ti  
silicatos de Al y Ca  
" " Al y Mg  
" " Al y Fe<sup>++</sup>  
" " Al y Fe<sup>+++</sup>  
" " Al, Bo, Zn, Mn

Para la técnica de la separación de fracciones se siguen las normas del Manual de Análisis Mineralógico de arenas (Perez Mateos, J., 1965, C.S.I.C., Madrid, y modificaciones de Paneque, G..

Para separar el cuarzo de los demás minerales se sumerge en un líquido de  $i. r = 1.544$  (Nitrobenceno + Bromoformo) observándolo con luz polarizada y nicoles paralelos, en una preparación extemporánea. Entonces no se observan los granos de cuarzo, sino todos los demás (que serían en gran mayoría feldspatos alcalinos) y se cuentan.

Introduciendo el analizador se observarían todos; restándoles a este total el anterior tendremos los de cuarzo.

Entre los minerales que suelen observarse en la fracción gruesa, son más frecuentes:

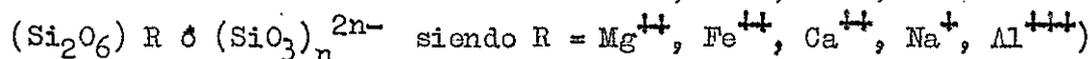
MINERALES de  $d \approx 2,68$  (densos)

Feldespatos ricos en Ca

Silicatos aluminicos calcosódicos (plagioclasas) de red tridimensional, que representan el 60 % de los minerales pesados como la Anortita ( $\text{Si}_2\text{O}_8\text{Al}_2\text{Ca}$ ), Labrador Andesina.

Piroxenos (red de cadenas simples) que pueden ser: series ortorómbicas y monoclinicas.

La fórmula general es:



perteneciendo a ellos la Augita, Hiporstena, Enstatita ( $\text{SiO}_3\text{Mg}$ )<sub>n</sub>

Anfiboles (red de cadenas dobles con  $\text{OH}^-$  en medio) siendo la más importante por su abundancia la Hornblenda.

La fórmula general es  $(\text{Si}_4\text{O}_{18})_n^{6n-}$ . así la Trimolita tiene de fórmula  $(\text{Si}_4\text{O}_{18}) (\text{OH})_2\text{Mg}_5$ .

Los piroxenos y anfiboles: que pertenecen al grupo II de clasificación de silicatos denominados Soro-silicatos, están constituidos por aniones indefinidos que se unen formando cadenas sencillas, o dobles con  $\text{OH}^-$  en medio.

Olivino, de fórmula estructural tetraédrica  $(\text{SiO}_4)^{4-}$  en la que estas cargas negativas se compensan con cationes metálicos como  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ . Se incluyen en el grupo I de la clasificación general de sili-

catos. Estos tetraedros  $(\text{SiO}_4)^{4-}$  que se unen por estos cationes, dan compuestos poco estables, a diferencia del cuarzo que lo es mucho.

El olivino más frecuente corresponde a dos variedades principales:

Forsterita  $(\text{SiO}_4\text{Mg}_2)$  y Fayolita  $(\text{SiO}_4\text{Fe}_2)$

Micas: Son minerales de redes de tres capas, pertenecientes al grupo III de la clasificación general citada, siendo los ejemplos más representativos, la Biotita, Moscovita.

MINERALES DE  $d < 2,68$  (ligeros)

Cuarzo  $(\text{SiO}_2)$  Son tetraedros Silicio-Oxígeno compartiendo oxígenos.

Como ya hemos indicado es un mineral muy estable.

Otros minerales ligeros son la Microclina, Albita, Ortosa  $(\text{K}_2\text{O} \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ 6 SiO}_2)$ .

En orden a una secuencia de estabilidad se han establecido diversas clasificaciones por Smithson, Neyl y Pettijohn.

La más interesante se considera esta última, que cataloga los minerales de mayor a menor estabilidad como sigue:

- 3	Anastasa	} Tienen una tendencia creciente a la formación frente a la destrucción
- 2	Moscovita	
- 1	Rutilo	

1	Zircon	5	Biotita
2	Turmalina	6	Apatito
3	Anortita	7	Ilmenita
4	Granate	8	Magnetita

9 Estauroлита	16 Zoizita
10 Cianita	17 Augita
11 Epidota	18 Silimanita
12 Hornblenda	19 Hiperstena
13 Andalucita	20 Diopsido
14 Topacio	21 Actinolita
15 Esfona	22 Olivino

#### BIBLIOGRAFIA

ALBAREDA, J.M<sup>a</sup>.- El Suelo

PEREZ MATEOS, J.- Análisis mineralógico de arenas

MILNER, H.B.- Petrografia sedimentaria

PETTIJOHN.-

BREWER.- Fabric and mineral analysis

GEOMORFOLOGIA Y EDAFOGENESIS  
=====

Consideraciones sobre Geomorfología y Edafología.- Morfodinámica y Edafogénesis en vertientes y lugares de acumulación.- Papel de la herencia y enlusión morfológica en la génesis de suelos.- Trabajos en equipos de Geomorfología y Edafología.

-----

En los trabajos sobre suelos hemos de identificar los factores topográficos con factores geomorfológicos.

Según Tricart, la "Geomorfología se refiere a los procesos responsables de que los terrenos tengan una forma característica" y la Edafología estudia los suelos en el campo colocándolos en un paisaje.

MORFODINAMICA Y EDAFOGENESIS EN VERTIENTES Y LUGARES DE ACUMULACION

En vertientes el agua juega un papel importante y es, según Tricart, del proceso del agua de donde hay que partir para el estudio de edafogénesis y morfogénesis. Una fracción de este agua (F 1) fluye superficialmente, es un factor negativo en la edafogénesis y pasivo en morfogénesis. Una segunda fracción (F 2) se infiltra en el suelo y es factor positivo



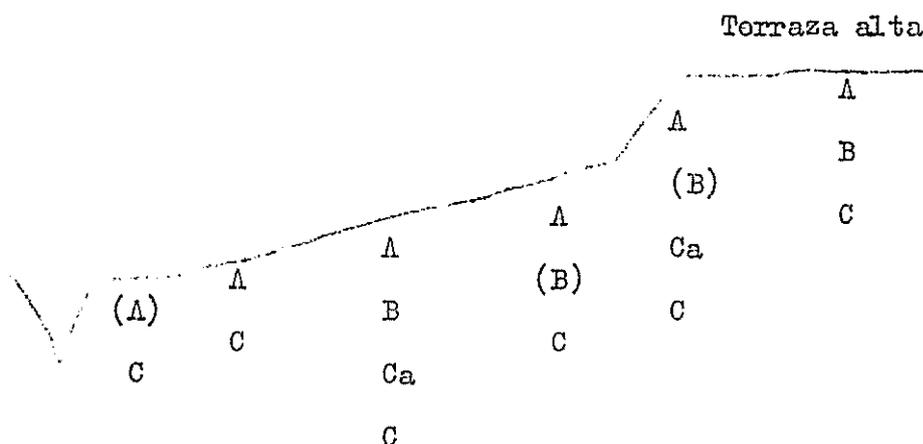
Fig.

en edafogénesis (y no influye en la morfogénesis) diferenciando los horizontes; parte es absorbida por las plantas y devuelta a la atmósfera por transpiración. Otra fracción (F 3) fluye a capas profundas; es un fenómeno más sobre génesis del suelo (lavado, etc.) y además interviene originando la capa freática y por ésta, hay modificaciones en el subsuelo que influyen en las condiciones del terreno. El agua actúa pues en Edafogénesis y Morfogénesis.

Cuando no se trata de una vertiente, sino de lugares de acumulación, los fenómenos dependen de la composición geológica de la arena, tiempo, lluvia, clima y vegetación. Por depósitos de materiales aumenta la vegetación e irá cambiando la relación  $H_2O$ /suelo hasta que se realice una transformación hidromorfo-terrestre.

#### HERENCIA Y EVOLUCION DE LA GENE.SIS DE SUELOS

Existen superficies heredadas que persisten a través del tiempo, es el caso de las terrazas más antiguas; perduran porque alcanzaron una estabilidad que no ha cambiado a través del tiempo. Esto explica que en terrenos antiguos haya suelos complejos.



Como ejemplo puede citarse el valle del Guadalquivir, geológicamente cuaternario, formado por terrazas altas, medias y bajas y la vega en las proximidades del cauce fluvial.

En los horizontes más profundos encontraremos, en el contacto de dos terrazas, una parte arenosa y un horizonte con acumulación de  $\text{CO}_3^{=}$ . Por medio del estudio granulométrico podemos separar cartográficamente cuaternarios antiguos y jóvenes.

#### BIBLIOGRAFIA

TRICART.- Revista La Ciencia del Suelo, 1965.- "Procesos fluviales en Geomorfología".

## MORFOLOGIA DEL SUELO

=====

### INTRODUCCION AL ESTUDIO MORFOLOGICO DEL SUELO

Douchafour define el suelo como una entidad natural caracterizado por su perfil (corte vertical en el terreno), constituido por horizontes o zonas que van desde la superficie del terreno hasta la roca madre. Estas zonas horizontales o capas (horizontes), no lo son en el sentido geológico, es decir no se han formado por sedimentación, sino como consecuencia de la diferente clase e intensidad de la biología del suelo y de los restantes factores fisico-químicos de formación, como ya hemos indicado.

El suelo es un medio complejo formado por parte mineral y orgánica. La parte mineral consta de materiales primarios poco erosionados y secundarios, formados a partir de los primarios; estos minerales secundarios son las arcillas y coloides del suelo

El suelo es además un sistema dinámico que evoluciona a formas más complejas, siendo función de una serie de factores que ya conocemos.

$$s = f (\text{roca madre, clima, vegetación, tiempo, etc.})$$

será pues distinta la dinámica de suelos jóvenes que la de los maduros.

Concretando podemos decir que la morfología de los suelos refleja las propiedades de los mismos y los procesos edafogenéticos que han sufrido.

## PRINCIPALES HORIZONTES

La designación de horizontes ha variado sensiblemente desde la introducción por los representantes de la escuela rusa, hace 70 años, y está aún en transformación.

La causa de ello descansa en la necesidad de una caracterización más profunda que la que existía a principios de siglo, que tenga en cuenta la diversidad de posibilidades de formación de horizontes.

Existen dos tendencias con diferencias bastante acusadas, la de la escuela europea, más científica, que tiene más en cuenta la génesis de los horizontes y su evolución, y la escuela americana más pragmática, que da normas concretas para el reconocimiento de horizontes como en el Soil Survey Manual, VIIth Aproximación Americana ( ), etc. En Europa Kubiena publica en 1953 sus "Claves sistemáticas de suelos", más tarde Douchafour (1956, 1960, 1965) su tratado "Precis de Pedologie". En todos ellos se introduce un capítulo de descripción de horizontes, previo a la clasificación.

Actualmente, la Sociedad Internacional de Ciencias del Suelo (8), está tratando de unificar internacionalmente criterios, habiéndose hecho, en este sentido, una propuesta en 1967 que aún está considerándose, esperándose tenga una pronta aplicación, por las ventajas de entendimiento que ello reportará en los diversos países, aunque parece ser que bastantes criterios de la misma han sido aplicados por la FAO en su "Gufa para la descripción de perfiles de suelos (7).

Kubiena (6) designa como horizontes A: los horizontes de humus, caracterizados por su mayor densidad de colonización de organismos y el mayor enriquecimiento en sustancias orgánicas.

Las rocas madres no desintegradas o poco alteradas se denominan en el perfil horizontes C. En suelos terrestres normales (es decir no influenciados por agua estancada) se pueden distinguir entre los horizontes A y C otros horizontes que se designan como horizontes B, constituidos por combinaciones de hierro en forma oxidada, coloreados por ello en pardo, ocre, amarillento o rojo.

Los perfiles de suelos sub-acuáticos o con capa freática alta no presentan este horizonte B y en su lugar aparecen los llamados horizontes G (de gley) de colores grises, azulados, verdosos, cuyo color viene condicionado por ser zona en que predominan los procesos de reducción, sobre todo se encuentra hierro en estado ferroso, y condiciones anaerobias para los organismos del suelo.

Si bajo el horizonte C existe otra capa geológica que pueda influir sobre el perfil total como substrato (por ejemplo por sus relaciones de agua) pero que no se puede considerar como material de partida para la formación del suelo se denomina horizonte D.

Detallando en la morfología de un perfil, pueden observarse sub-horizontes que se denominan según características peculiares, dentro de la catalogación general y que se designan por la letra mayúscula correspondiente y subíndices especiales. Existen también horizontes de transición que participan de las características de los dos horizontes que contactan.

Se adjetiva a los horizontes como eluviados, cuando presentan un lavado o empobrecimiento de materias coloidales al ser arrastradas por aguas descendentes a capas más profundas. Y como horizontes iluviados, se conocen los horizontes de enriquecimiento en los cuales son depositadas las sustancias disueltas

o peptizadas a partir de otras zonas del perfil. El transporte se produce bien por agua descendente o por agua capilar en movimiento. Se pueden formar horizontes iluviales en la parte superior por fuerte ascensión capilar. Las formas especiales más frecuentes son:

Horizonte de enriquecimiento en carbonatos	(horizonte Ca);
" " " " sales	( " Sa);
" " yeso	( " Y );
Capas de hierro	( " Fe);
Capas de acumulación de humus por lavados de horizontes superiores en los podsoles	( " B <sub>h</sub> )
Horizonte de enriquecimiento en sesquióxidos	( " B <sub>s</sub> )

Es importante resaltar que los horizontes B pueden ser originados de dos maneras totalmente distintas. Una por acumulación de sustancias coloidales por iluviación representados por la letra B y otra que consiste en una descomposición exclusivamente química, con una oxidación simultánea de los compuestos de hierro del material existente entre el horizonte superior y la roca madre, se representa como (B) llamándose horizonte de alteración y se da en suelos no muy maduros que aún no han sufrido procesos de oluviación o iluviación. Los horizontes B y (B) pueden estar formados por subhorizontes B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, por orden de sucesión.

Es interesante aclarar también el concepto de horizonte (A) que se lee horizonte A paréntesis, y que es el primer estadio en la formación de horizontes húmicos. Así en los suelos brutos (primer escalón en el desarrollo de los suelos, constituidos por la roca madre, en los que a simple vista, no puede aún distinguirse la formación de un horizonte de humus, o sea, que no

presentan. Horizonte A, sin embargo, están poblados de organismos y pueden presentar (aunque generalmente solo reconocible al microscópio) una especie de formación de humus (humus de suelos brutos). La zona más poblada es siempre la capa superior, bien aireada, que se destaca fácilmente de las capas inferiores del suelo por su mayor abundancia de raíces. Esta capa tan característica de los suelos brutos, que como hemos visto, todavía no es un horizonte típico húmico, pero que ya anuncia el futuro horizonte de humus es lo que se denomina Horizonte (A).

La evolución de los suelos o serie genética del suelo (Pallmann) constituye una serie de grados progresivos desde el más primitivo (suelo bruto) al más complejo.

La evolución natural generalmente se caracteriza por la siguiente graduación de los horizontes según Kubierna y Doucha-four, de suelos jóvenes a suelos maduros.

(litosuelo) C — (A)C — AC — A(B)C — ABC

DESCRIPCION DE PERFILES

=====

Para la descripción de perfiles se considera en la designación de horizontes, aspectos morfológicos, dados por sus propiedades fundamentales y analíticas, como son el contenido en C, N,  $\text{CO}_3^{=}$ , pH, capacidad de intercambio catiónico, bases de cambio, porcentaje de saturación de bases, elementos asimilables, etc.

En cuanto al criterio a seguir para la designación de horizontes hemos visto que se considera el grado de evolución, y ha de tenerse en cuenta también el aspecto general del perfil, así como la naturaleza de su evolución.

De una forma general, aceptada prácticamente por todos los edafólogos europeos, hasta ahora se catalogaban los diversos horizontes en los siguientes tipos.

(A) Poco diferenciado de la roca subyacente. Contenido orgánico escaso y poco descompuesto (Hb. Humus bruto)

$\Lambda_0$   $\left\{ \begin{array}{l} \Lambda_{00} \text{ Hojarasca} = \text{Litiere} = \text{Förna} = \text{L.} \\ \Lambda_{\text{F}} \text{ Capa orgánica en fermentación} = \text{F} \\ \Lambda_{\text{H}} \text{ Capa más humificada} = \text{H} \end{array} \right.$

$\Lambda_1$  Mineral orgánico de suelos bien desarrollados. Ha sufrido lavado de coloides, Fe libre, etc.

$\Lambda_2$  ó  $\Lambda_e$  Es el más lixiviado de los horizontes A. Característico de los podsoles.

- (B) También llamado estructural. Horizonte de alteración, algo compacto.
- B Textural: Horizontes de acumulación (de coloides, Fe, etc.). El típico es el B<sub>2</sub>. El B<sub>1</sub> y B<sub>3</sub> son transicionales con el suprayacente y el subyacente.
- C Roca madre algo alterada. Puede subdividirse en  
C<sub>1</sub> (alterada)  
C<sub>2</sub> roca fresca.
- G Gley. Color gris verdoso. Puede existir moteado rojizo. Coincide con una capa freática constante.
- G<sub>0</sub> Predominio de la oxidación. Se puede subdividir en  
G<sub>0-1</sub> y G<sub>02</sub>
- G<sub>r</sub> Predominio de reducción. Se puede subdividir en G<sub>r1</sub> y  
G<sub>r2</sub>.
- g Pseudogley. Consecuencia de una capa freática oscilante con variaciones estacionales.  
g<sub>1</sub> moteado difuso, arenoso, aún con movilidad de agua.  
g<sub>2</sub> corresponde al máximo hidromorfismo.
- D Substrato debajo del horizonte C, que no forma parte del material de partida, pero que puede influir en el comportamiento del suelo.

Como ejemplo de la designación de horizontes, podemos considerar el siguiente perfil esquemático de suelos pardos:

Basándose en el Manual de Levantamiento de Suelos de EE.UU. y recogiendo prácticamente sus conceptos de designación de horizontes, actualmente las técnicas de descripción de perfiles se han generalizado en el Manual "Guía para la descripción de perfiles de suelos" (7) de la F.A.O. que considera como principales horizontes y capas los siguientes conceptos que coinciden en gran parte con la designación propuesta por la S.I.C.S. (1967) (8), que intenta unir las diferentes escuelas existentes.

#### Normas Fao

##### Horizontes orgánicos

- 0 Horizontes orgánicos formados o en formación en la parte superior del suelo mineral, dominado por materiales orgánicos frescos o parcialmente descompuestos y con un contenido entre 20-30 % de M.O. Se subdivide en:
  - 01 Horizontes orgánicos en los cuales la forma original de la mayor parte de la M.O. es visible sin lente de aumento.
  - 02 Horizontes orgánicos donde la forma original de la mayor parte de la materia de origen vegetal o animal no se puede reconocer sin auxilio de lente de aumento.
  - 03 Horizontes orgánicos con un contenido de más del 30 % de materia orgánica si la fracción mineral es de más del 50 % de arcilla o más del 20 % de materia orgánica si la fracción mineral no contiene arcilla.

Horizontos minerales y capas

A Horizontos minerales constituidos por:

- 1) Horizontos de acumulación de materia orgánica, formados o formándose en la superficie o en su proximidad.
- 2) Horizontes que han perdido arcilla, hierro o aluminio, con la consecuente concentración de cuarzo u otros minerales resistentes del tamaño de la arena o el limo.
- 3) Horizontes dominados por los 1 ó 2 anteriores, pero en transición a un B ó C subyacente.

A1 Horizontos minerales, formados o formándose en la superficie o en su proximidad, en los que el rasgo más destacado es una acumulación de materia orgánica humificada íntimamente asociada a la fracción mineral.

A2 Horizonte de transición entre A y B, y dominado por propiedades características de un A1 ó A2 sobreyacente, pero con algunas propiedades subordinadas de un B subyacente.

AB Horizonte de transición entre A y B, que tiene una parte superior dominada por propiedades del A y una parte inferior dominada por propiedades del B, sin que las dos partes puedan ser convenientemente separadas entre A3 y B1.

A+B Horizontos que podrían ser considerados como A2, excepto que incluyen en menos del 50 % del volumen partes que se podrían considerar como B.

AC Horizonte de transición entre A y C, con propiedades subordinadas de A y de C, pero que no está dominado por propiedades características de A o de C.

- B Horizontes en los que el rasgo o los rasgos dominantes son uno o más de los siguientes:
- 1) una concentración iluvial de arcilla silicatada, hierro aluminio o humus, solos o combinados.
  - 2) una concentración residual de sesquióxidos o arcillas silicatadas, solos o combinados, formada por medios diferentes de una solución y eliminación de carbonatos o sales más solubles.
  - 3) revestimientos de sesquióxidos suficientes para conferir colores más oscuros, más intensos o más rojizos que los propios de los horizontes sobreyacentes y subyacentes en el mismo sequum, pero sin iluviación visible de hierro y genéticamente no relacionados con horizontes B en el mismo sequum que cumplen las condiciones de los 1 ó 2; ó
  - 4) una alteración del material a partir de su condición original en sequums faltos de las condiciones definidas en 1, 2 y 3, que desfigura la estructura de la roca originaria, forma arcillas silicatadas o libera óxidos, o ambas cosas, y que da origen a estructura granular, en bloque o prismática, si las texturas son tales que a cambios de humedad corresponden cambios de volumen.
- B1 Horizontes de transición entre B y A1 ó entre B y A2, dominado por propiedades de un B2 subyacente pero con algunas propiedades subordinadas de un horizonte A1 ó A2 sobroyacente.

- B1A Todo horizonte considerado como B en más del 50 % del volumen que contiene partes consideradas como A2.
- B2 Aquella parte del horizonte B donde las propiedades en que éste se basa no presentan claramente características subordinadas indicadoras de que el horizonte es transicional a un A sobreyacente ó a un C ó R subyacente.
- B3 Horizonte de transición entre B y C ó R en que las propiedades diagnósticas de un B2 sobreyacente están claramente expresadas y características de un C ó R.
- C Horizonte mineral o capa, excepto lechos rocosos, que es similar o nó al material a partir del cual se presume que el solum se ha formado, relativamente poco afectado por procesos pedogénicos y carente de propiedades diagnósticas de A ó B, pero que incluye materiales modificados por:
- 1) meteorización fuera de la zona de mayor actividad biológica.
  - 2) cementación reversible, conversión en material deleznable y adquisición de elevada densidad aparente y de otras propiedades características de los frangipanes.
  - 3) gleización
  - 4) acumulación de carbonatos de calcio o magnesio o sales más solubles.
  - 5) cementación por estas acumulaciones de carbonatos de calcio o magnesio o sales más solubles.
  - 6) cementación por materiales silíceos solubles en álcalis, o por hierro y sílice.

R Roca subyacente consolidada, tal como granito, arenisca o caliza. Si se presume que es similar al material originario del cual se ha derivado la capa u horizonte sobreyacente, se utiliza el símbolo R solamente.

Si se presume que es diferente, la R es precedida por un número romano indicador de una discontinuidad litológica, como se verá posteriormente.

Símbolos subíndices para las características subordinadas de horizontes

- b Horizonte de suelo enterrado.
- ca Acumulación de carbonatos alcalino-térreos, generalmente de calcio.
- cs Acumulación de sulfato de calcio.
- cn Acumulación de concreciones o nódulos duros no concrecionarios enriquecidos en sesquióxidos con o sin fósforo.
- f Suelos congelados.
- g Fuerte gleización
- h Humus iluvial
- ir Hierro iluvial
- m Fuerte cementación
- p Aradura u otra alteración
- sa Acumulación de sales más solubles que el sulfato de calcio
- si Cementación con materiales silíceos, solubles en álcali.  
Este símbolo se utiliza solamente en el C
- t Arcilla iluvial
- x Carácter de frangipan

### Subdivisión de horizontes

En algunos casos puede ser necesario reconocer subdivisiones en los horizontes arriba mencionados. Para esto se pueden agregar números arábigos al símbolo del horizonte, numerados consecutivamente en la medida necesaria partiendo desde arriba; por ejemplo: el horizonte B2 se puede subdividir en B21, B22, B23, etc. Tales números arábigos deben preceder a los subíndices; por ejemplo: B21t ó C1g.

### Discontinuidad litológica

Cuando se desea indicar que el perfil parece haberse formado a partir de capas de materiales contrastantes, la diferenciación de tales capas se hace mediante el uso de números romanos que preceden al símbolo del horizonte. Tal numeración se inicia con la segunda capa de material contrastante, que se designa como II, quedando implícitamente admitido que el material ubicado más arriba está representado por I, pero se omite su escritura.

Como ejemplo, se puede dar la siguiente secuencia de horizontes:

A1 - A2 - B1 - B21 - IIB22 - IIB3 - IIC1 - IIIC2.

MICROMORFOLOGIA DEL SUELO Y SUS APLICACIONES  
=====

Naturaleza de las investigaciones micromorfológicas.- El principio morfológico.- Vida del suelo en una investigación del humus.- Biología y tipos del suelo.- Micromorfología y sistemática del suelo.- Otras aplicaciones.

-----

MICROMORFOLOGIA DEL SUELO Y SUS APLICACIONES

Ya en 1931, Kubiena empleaba de una forma sistemática el microscopio para reconocimiento del suelo, designando a estos estudios como micropedology. Fué pues, el introductor de esta técnica de Micromorfología; "micro" por emplear el microscopio; "morfológica" porque estudia las formas, no solo en su aspecto descriptivo, sino las leyes que originan estas formas.

En 1933 Frey, dá unas normas de aplicación de petrografía sedimentaria al estudio microscópico del suelo. Modernamente, en 1944, otro micromorfológico australiano, Brewer, hace un estudio sobre suelos, sustituyendo la denominación de Micromorfología por "Soil Fabric", uniendo a su "soil fabric" el análisis mineralógico; con esto define su Edafografía que es equivalente a Petrografía.

La relación entre los distintos constituyentes del suelo determina un nuevo estudio de fabric o contexturas del suelo. Los constituyentes del suelo y su organización, es el nuevo paso en el estudio del suelo, porque los constituyentes más decisivos

y los fenómenos más importantes ocurren a nivel microscópico. La investigación micromorfológica se realiza en áreas no destruidas. Para el estudio del suelo hay que considerar caracteres homogéneos cuantitativos y caracteres heterogéneos cualitativos. De todos los fenómenos hay que elegir los más típicos (Kubiena). Entre estos tipos esenciales o "tip" está el humus. Se pueden conocer las relaciones entre la materia orgánica y la mineral. Ejemplo: En el Moder arenoso no existe ligazón entre materia orgánica descompuesta y la composición de los minerales, mientras que en un Mull, las sustancias coloidales orgánicas están íntimamente ligadas con la parte mineral, formando los complejos húmico-arcillosos.

Mediante la investigación micromorfológica se ha visto que la forma del suelo no solo está presente, sino que es el agente decisivo en los procesos de humificación.

#### BIOLOGIA Y TIPOS DE SUELO

El humus coprógeno da lugar a Mull, Moder, etc. y el humus no coprógeno forma la turba.

Dependiendo de la vida del suelo se realizan en mayor o menor intensidad los procesos de mineralización y humificación. Los hongos influyen en los horizontes superiores en la transformación de la fracción mineral a materias húmicas.

#### MICROMORFOLOGIA Y SISTEMATICA DEL SUELO

Hemos de remitirnos a la bibliografía sobre estos temas para un conocimiento adecuado de los mismos.

Bibliografía

- KUBIENA 1938.- Micropedology.- Ames. Iowa.
- KUBIENA 1952.- Claves sistematizadas de suelos.- C.S.I.C. Madrid.
- JONGERIUS 1964.- Soil micromorphology.- Cap. Kubiena.- Amsterdam.
- BREWER 1964.- Soils Fabric and mineral analysis.- Sidney.

APLICACIONES PRACTICAS

Como la fertilidad depende, a) de la estructura, y b) del nivel de nutrientes del suelo, y la investigación micromorfológica permite conocer la microestructura y la identificación de los minerales primarios, de cuya degradación se obtiene la fracción mineral activa del suelo; con un buen conocimiento de estos caracteres podemos tener constancia de las reservas o carencias del suelo y aplicar las enmiendas o calidades de abonado necesarias para un aprovechamiento racional de cada suelo en función con las necesidades del cultivo a implantar.

## EDAFOGRAFIA

=====

Generalidades.- Pedografía o Edafografía según Brewer.- Material suelo.- Constituyentes de los materiales edáficos.- Granos del esqueleto.- Plasma.- Organización en los materiales suelo.

Una vez establecida la necesidad de describir adecuadamente los materiales del suelo, surge entonces el problema de la terminología.

La Edafología tiene en realidad pocos términos específicos de esta Ciencia. La mayor parte de los términos existentes fueron tomados de otras ciencias, redefinidos, o del lenguaje común también con redefinición. Por consiguiente, el significado de estos términos ha sido ampliado, reducido o cambiado en uno nuevo.

Por otra parte, algunos fenómenos específicamente edáficos, no han sido denominados con un término simple y preciso.

Resulta más inconveniente e ineficaz repetir largas descripciones para características o disposiciones que, son suficientemente específicos, que tener un nombre conciso.

La experiencia demuestra que existen en Edafología pocas dificultades mayores que el simple intercambio de datos morfológicos entre varios investigadores; los errores son inevitables a no ser de que se trate de materiales del suelo y perfiles con los cuales todos los especialistas en cuestión estén familiarizados.

Incluso en este caso más favorable, muchos detalles morfológicos no pueden ser adecuadamente comunicados de uno a otro,

si uno no tiene experiencia personal con una particular característica del suelo.

Por consiguiente, no es de extrañar que sea necesario introducir nuevos términos cuando el detalle de la observación aumenta, y no existe un término adecuado. Por ello en la actualidad se trabaja en un glosario de términos existentes en las descripciones de suelos, y en la definición de las unidades y características morfológicas (Guías para las descripciones morfológicas, etc.).

#### PEDOGRAFIA O EDAFOGRAFIA, SEGUN BREWER

La Pedología o Edafología es la "ciencia de los suelos".

Brewer razona que la Pedología o Edafología lógicamente es una rama de la ciencia más amplia, la Geología, "la ciencia que trata de la tierra en general", ya que los suelos constituyen una parte de la superficie de la tierra y tienen su origen fundamental a partir de los materiales derivados de las rocas, por procesos de alteración física, química y biológica.

Pedology o Edafology tiene el mismo rango que Petrología como una ciencia, de ahí que Brewer proponga el término Pedografía o Edafografía como el equivalente a Petrografía, dentro de la ciencia del suelo, o pedología.

Petrología y Pedología o Edafología se sitúan como ramas de la ciencia Geología.

Por una parte, Petrología consta fundamentalmente de Petrografía (descripción) y Petrogénesis (origen de las rocas); mientras que Edafología ó Pedología consta de Pedografía o Edafografía y Pedogénesis o Edafogénesis.

Geología	{	Petrología	{	Petrogénesis	
			{	Petrografía	
	{	Pedología	{	Pedogénesis ó Edafogénesis	
		ó			Pedografía ó Edafografía
	{	Edafología	{		

EDAFOLOGIA: SUELOS, SU ORIGEN, CONSTITUCION, PROPIEDADES,  
CLASIFICACION

ORIGEN = EDAFOGENESIS ó PEDOGENESIS

SISTEMATICA = PEDOGRAFIA

Aunque el objeto de la petrografía ha sido definido de manera diferente por diversos autores, todos coinciden en que principalmente se ocupa de la descripción de las rocas.

Las diferencias estriban en el objeto de la descripción, que puede ser desde una descripción puramente óptica a una descripción que incluya todos los datos analíticos posibles. Sin embargo, muchos libros de texto sobre petrografía se ocupan principalmente del análisis de la estructura y de la contextura, y de la mineralogía, forma de partículas, e identificación de minerales, usualmente con secciones o capítulos subsidiarios sobre análisis de otras clases y sobre descripción de color.

De todo ello Brewer, concluye un concepto útil para el estudio de los suelos con la siguiente definición de Pedografía o Edafografía:

Es la descripción sistemática de los suelos basada sobre la observación en el campo, sobre muestras y sobre láminas delgadas, y sobre datos de otras técnicas de determinación de tamaño, forma, disposición e identificación de los constituyentes.

Uno de los objetivos fundamentales de la edafología es el conocimiento del origen de los materiales del suelo y de la génesis de los perfiles. Esto no puede alcanzarse adecuadamente más que estudiando exhaustivamente las rocas originarias, y las modificaciones de éstas en los procesos de la formación del suelo. Por ello, el edafólogo, y más concretamente el que hace pedografía o pedógrafo o edafógrafo no puede ignorar las características petrográficas de las rocas consolidadas o duras, que pueden ser las rocas originarias del suelo o pueden haber sido la fuente del material sedimentario que llega a ser material de partida para la formación del suelo.

Algunos conceptos generales en relación con la definición de suelo, perfil del suelo, volumen, material del suelo y constituyentes de los materiales del suelo, deberán ser revisados en orden a una mejor comprensión del sistema propuesto por Brewer, para la descripción micromorfológica del suelo.

#### MATERIAL SUELO

Soil material = Material suelo, es la unidad de estudio; la unidad en la que las características que se estudian son relativamente constantes, y puede variar en tamaño con la clase y extensión de desarrollo de aquellas características; viene a corresponder con lo que llamamos "muestra",

#### CONSTITUYENTES DE LOS MATERIALES SUELOS O EDAFICOS

Constituyentes básicos son:

Minerales primarios, constituyentes de las rocas

Minerales secundarios o minerales autígenos (por alteración de los primarios)

## Fragmentos de rocas o granos complejos

	{ Humus
	{ Fitólitos (compuestos de origen orgánico pero con abundancia de sílice, en forma de ópalo)
Material de origen orgánico	{ Esqueleto de diátomas
	{ Espículas de esponjas
	{ Materia orgánica fresca reconocible

Kubiena, 1938, basándose en propiedades físicas y fisico-químicas divide los constituyentes materiales del suelo en:

EsqueletoPlasmaPartículas  $> 2 \mu$ Partículas  $< 2 \mu$ Esqueleto

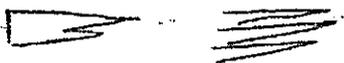
Está formado por constituyentes estables, en el aspecto físico, fisico-químico y en su posición en el perfil, como son granos minerales, restos orgánicos y silíceos, todos mayores que  $2 \mu$ .

Plasma

Constituyentes inestables, pueden cambiar con facilidad de posición a lo largo del perfil y porque a causa de sus propiedades físicas y químicas puede ser modificado por cambios relativamente pequeños del medio, es la fracción activa del material suelo, como son las sales solubles, arcilla, etc.

La diferencia entre los constituyentes de estos dos grupos Esqueleto y Plasma, viene marcada por el tamaño de grano (que sea mayor o menor que coloidal), por la forma y la composición de las partículas, lo que marca también su diferente actividad y estabilidad.

Las partículas del suelo pueden ser planas o cilíndricas. Denominándose por consiguiente de "hábito plastiforme o tubular" (varillas).



Otras sufren translocaciones en suspensión y reorganización (por presión, concentración, movimiento, etc.) como la calcita, yeso, etc., por ser inestables a causa de su relativamente alta solubilidad y pueden moverse realmente a través del perfil del suelo en solución.

Conceptos importantes a tener en cuenta pues son:

Tamaño	Actividad
	"
Constitución	Solubilidad

#### GRANOS DEL ESQUELETO

Granos individuales (los cuales son) relativamente estables y cuya reorganización, concentración o translocación por procesos formadores del suelo no ocurre con facilidad; incluye granos minerales y cuerpos orgánicos y silíceos resistentes de tamaño mayor que coloidal.

Los granos complejos no se consideran como granos del esqueleto, sino como rasgos pedológicos o separaciones edáficas.

Los granos del esqueleto son relativamente inmóviles, excepto por procesos extremos, arrastro en las grietas, pero son capaces de alterarse para formar plasma.

Plasma de un material suelo es aquella parte que es capaz de ser movida o que ha sido movida, reorganizada y/o concentrada, por los procesos de formación del suelo. Incluye todo el material, mineral u orgánico, de tamaño coloidal, y material relativamente

soluble, que no está unido a los granos del esqueleto. El material para ser considerado como plasma no necesita encontrarse en un estado adecuado para la translocación o concentración: minerales de la arcilla de tamaño coloidal que se presentan como agregados estabilizados por óxidos de hierro, son parte del plasma del suelo como también son los óxidos de hierro, ya que sus características son tales que bajo ciertas condiciones, son capaces de la translocación, reorientación y concentración.

Junto a estos dos grupos de constituyentes una muestra de un material de suelo contiene a menudo raices de plantas vivas y especies de la fauna y flora del suelo.

Estos constituyentes no son considerados como una parte del material del suelo en análisis de contextura y mineral; tampoco se consideran restos orgánicos reconocibles no descompuestos, pero sí, forma parte del plasma la materia orgánica humificada. En resumen: Los materiales suelo están compuestos de granos minerales y otros constituyentes que pueden ser identificados mineralógicamente y/o químicamente. Tienen características de tamaño, forma, color, etc. y exhiben varias clases de disposiciones con respecto uno de otro. Posteriormente estas distintas disposiciones resultan en la creación de poros de varias formas y tamaños y con diferentes disposiciones.

Considerando estas características y el objeto de la Edafografía, puede decirse que las características envueltas en análisis de contextura y minerales son el tamaño, formas y disposición de los constituyentes del suelo y de los poros asociados e identificación de los constituyentes.

### Organización en los materiales del suelo

Los procesos formadores del suelo causan reorganización de los constituyentes en los materiales del suelo, en relación con la organización en el material original o roca madre, por alteración de los minerales y por translocación y redistribución de los constituyentes más móviles.

Estos procesos pueden causar fraccionamiento, translocación y reorganización del plasma, resultando así la formación de concentraciones de constituyentes relativamente puros en las paredes de los poros y/o el cementado de la parte del material del suelo por alguna fracción del plasma; estas características pueden tener diferentes disposiciones internas de los constituyentes.

Otros procesos conducen al desarrollo de granos compuestos reconocibles, o agregados, los cuales pueden ser empaquetados conjuntamente con el tamaño y forma de los agregados.

Actividad de la fauna del suelo puede producir cavidades o canaliculos, los cuales pueden estar llenos o vacíos con material del suelo o restos de la actividad de dichos animales.

Las raíces de las plantas pueden determinar especiales distribuciones de canales.

Fuerzas diferenciales, debido a la contracción y expansión, u otros procesos, pueden causar reagrupamiento de algunos de los constituyentes, especialmente minerales de la fracción arcillosa del plasma.

Además, ciertas características pueden ser heredadas de la roca original, tales como fragmentos de rocas, o como resultado de procesos durante la deposición de un material original sedimentario.

Muchos "material suelo" tienen, por ello, una organización extremadamente compleja, como resultado de combinaciones de varias de estas características.

Los estudios pedográficos se ocupan de la sistemática descripción de todas estas manifestaciones de organización.

Fabric analysis y mineral analysis se ocupa de la identificación de los granos simples, del reconocimiento de varias clases de unidades compuestas o características; de la descripción del tamaño, forma y disposición de los granos simples, tanto en material suelo básico como dentro de diferentes clases de unidades compuestas; y del tamaño, forma y disposición de las unidades compuestas.

Los conceptos de Estructura y Contextura (fabric) varían en geología y edafología.

Las diferencias pueden resumirse así:

Los mismos términos han sido definidos con significados distintos

Diferentes términos han sido usados para el mismo concepto.

Se impone por consiguiente una revisión de estos conceptos.

SOIL FABRIC = CONTEXTURA DEL SUELO

Las definiciones usuales de contextura (fabric) en geología y edafología coinciden en la circunstancia de que el concepto se refiere principalmente a la disposición de los constituyentes.

Las diferencias entre las definiciones geológicas estriban en si debe incluirse o no la forma de los constituyentes en las descripciones de contextura.

El concepto de Kubiona tiene en cuenta solamente la disposición.

Jongorius (1957) estima que debe considerarse también los huecos en el concepto de contextura, en contraste con los criterios anteriores que estiman que los huecos deberían considerarse como un resultado complementario de la disposición y empaquetamiento de las partículas sólidas, por lo que no requerían una mención específica.

Para Brewer (1964), Soil Fabric ó Contextura ó Fábrica del suelo, es la constitución física del material suelo expresada por la disposición especial de las partículas y huecos asociados.

Según Brewer, la "Fabric" no trataría únicamente de la disposición o colocación de granos simples y huecos asociados, sino también la colocación o disposición de las partículas compuestas, las cuales son comunes en muchos materiales suelo, y los huecos entre las partículas compuestas.

### Estructura del suelo

Los conceptos petrológicos de estructura se refieren a las características regionales de rocas sedimentarias o a disposiciones específicas, de modo que no son útiles para descripciones de suelos.

En Edafología, las definiciones de estructura pueden agruparse en tres direcciones fundamentales:

- 1) Bayer y otros físicos del suelo: estructura es la disposición de las partículas del suelo, o con más detalle, "la disposición de arena, limo y arcilla y de partículas secundarias (agregados o elementos estructurales) en un modelo estructural especial". No se considera tamaño y forma de las partículas y es un concepto semejante al definido por Brewer como fabric, contextura.

- 2) Zakharov (1929), propone un concepto que satisface el interés de los agrónomos; estructura es "los fragmentos o terrones en los que el suelo se rompe". Este concepto tiene en cuenta el tamaño y la forma de las partículas compuestas, e ignora la colocación.
- 3) El concepto de los edafólogos de campo, se expresa por ejemplo, en el USDA S.S.M. (1951) "La agregación de partículas primarias del suelo en partículas compuestas o racimos de partículas primarias, que están separadas de agregados adyacentes por superficies de debilidad". Esta definición considera el tamaño, forma y disposición de las partículas asocundarias de Bawer, pero ignora las partículas primarias.

Las variaciones en las diversas definiciones de estructura se debe fundamentalmente al distinto interés de los diferentes investigadores y a la sensibilidad de sus técnicas.

Brewer : SOIL STRUCTURE - ESTRUCTURA DEL SUELO

La constitución física de un material suelo expresada por el tamaño, forma y disposición de las partículas sólidas y huecos, incluyendo tanto partículas primarias para formar partículas compuestas, como las partículas compuestas ellas mismas; fabrico (contextura) es el elemento de estructura que se ocupa de la "disposición".

Según Brewer, este concepto de estructura es el más satisfactorio de todos los propuestos. Puede aplicarse prácticamente a cualquier material natural o fabricado y a cualquier nivel de organización en estos materiales.

En los materiales suelo puede ser aplicado satisfactoriamente a partículas compuestas, y a partículas primarias (granos indi-

viduales) o incluso a niveles más específicos, tales como estructura de minerales individuales (tamaño, forma y disposición de átomos) o incluso a estructura de los átomos.

Existen varias cuestiones respecto a la naturaleza de estructura y fabric que deben ser recalçadas:

- 1) Las definiciones dadas, no están limitadas por la escala de desarrollo del fenómeno, de modo que son posibles observaciones a todas las ampliaciones. Ahora bien, conforme aumenta la ampliación, mayor detalle de la disposición (fabric) se puede describir, por lo que un mismo material puede describirse de distinta manera, con distinto detalle, según el aumento de la observación.
- 2) Fabric y estructura no tienen en cuenta la frecuencia de ocurrencia de los constituyentes de un material suelo; no son medidas cuantificadas, pero incluye descripciones de tamaño y forma de los constituyentes y una estimación de la variabilidad de estas características.
- 3) Fabric y estructura no se ocupan directamente de identificación mineralógica o química de los constituyentes del material suelo o del color de los constituyentes. Variaciones en color, sin embargo, pueden reflejar variaciones en la mineralogía, las cuales reflejan variaciones en concentración y/o disposición de ciertos constituyentes (fabric), de modo que color y mineralogía se unen en clasificar y nombrar ciertas características estructurales de manera conveniente.

PEDALITY = AGREGABILIDAD

Gran interés ha sido siempre prestado en la descripción del tamaño, forma y disposición de partículas compuestas, particularmente en estudios de campo. Este aspecto es una subdivisión útil de estructura, y es conveniente tener un nombre separado, distinto. Por ello se propone el término pedality = agregabilidad.

Agregabilidad - la constitución física de material suelo expresada por su tamaño, forma y disposición de los "peds" o agregados

(no hace referencia a partículas primarias ni a huecos)

Por esto, agregabilidad es una parte de la estructura y satisface las necesidades mostradas por los conceptos expresados por Zakharov, Butler y U.S.D.A.

SOIL TEXTURE AND FIELD GRADING

Lo mismo que se ha hecho entre fabric y estructura, en geología y en edafología, es conveniente considerar las relaciones de los conceptos de textura en petrología y pedología y las relaciones de textura a estructura y fabric.

Textura se define en petrología de rocas ígneas como "la apariencia, megascópica o microscópica de una superficie lisa de una roca homogénea o agregado mineral, debida al grado de cristalización (cristalinidad), al tamaño de los cristales (granularidad) y a las formas e interrelaciones de los cristales u otros constituyentes (fabric).

Esta definición puede ser resumida como cristalinidad, tamaño, forma y disposición de los constituyentes, esto es, estructura según ha sido definido para los materiales suelo, con la adición

de cristalinidad (estructura + cristalinidad).

En petrología sedimentaria textura se define como "el tamaño, forma y disposición (empaquetamiento y fabric) de las partículas componentes. Esta definición es sinónima con la de estructura de suelo dada anteriormente.

En Edafología textura ha sido usado como:

- a) término para expresar el porcentaje de partículas de arcilla
- b) la completa distribución de tamaño de partículas
- c) los efectos de estructura y consistencia sobre el tacto de un material suelo de determinada distribución de partícula, y
- d) otras propiedades relacionadas.

Aunque textura, como es usada en ciencia del suelo está mal definido, es un concepto fuertemente establecido que está ampliamente empleado y es una de las principales características de los materiales suelos tomados en la descripción de campo de los perfiles de suelos.

Incluso así, existe una fuerte necesidad de redefinir el término en línea con el significado petrológico, y sustituir por otro término el presente concepto edafológico.

Los siguientes términos y definiciones han sido propuestos:

Textura del suelo.- La constitución física de un material suelo expresada por su estructura y por el grado de cristalinización de las partículas sólidas; fabric es una parte de la estructura, la cual es una parte de textura.

FIELD GRADING.— La apreciación de la distribución del tamaño de partículas por el método de humedecimiento y manipulación del material suelo en el campo.

El concepto de textura no es esencial como lo es los de estructura y fabric para los estudios pedográficos; el método de descripción propuesto por Brewer puede ser aplicado dentro del mapa de estructura y fabric, y cristalinidad puede ser descrito como una característica separada. Es más conveniente, sin embargo, poder disponer del término textura en relación con pedografía, especialmente como un término petrográfico aceptado.

UNIDADES DE ORGANIZACION

=====

La organización de un material suelo se expresa mediante tres unidades de organización:

PEDS	=	AGREGADOS
PEDOLOGICAL FEATURES	=	SEPARACIONES EDAFICAS
S - MATRIXES	=	S - MATRICES

PEDS = AGREGADOS

Son las unidades usadas para la descripción de "estructura de campo" en el U.S.D.A. S.S.M.

Definición U.S.D.A.: "partículas compuestas", o racimo de partículas primarias separadas de otras adyacentes por superficies de debilidad. Los exteriores de algunos agregados tienen películas delgadas, a menudo coloreadas de oscuro que ayudan a distinguirlos. Otros agregados tienen superficies e interiores de igual color y las fuerzas que retienen los agregados individualizados aparecen completamente internas.

Se establece también que "un agregado individual se llama ped en contraste con un terrón, causado por perturbación, tal como arado o grada; un fragmento causado por rotura de la masa del suelo según una superficie natural de rotura, o una concreción causada por concentraciones locales que cementan irreversiblemente los granos del suelo unos con otros.

Los puntos más destacados de estas consideraciones son, que los peds son agregados naturales, separados de agregados adyacen-

tes por superficies de debilidad, las cuales pueden ser o no ser reconocibles por su apariencia.

### ¿ Como se ha alcanzado este concepto ?

Después de aplicación de fuerza a una masa del material suelo = unidades de igual tamaño y forma: se consigue la "rotura en fragmentos mayores que los granos de suelo sin ninguna forma y tamaño pero que no debe confundirse con estructura del suelo".

Se considera que las superficies de debilidad siempre ocurren en un modelo regular a través del material suelo; esto es lo que produce unidades de similar tamaño y forma.

Existen evidencias para considerar que las roturas en soco de materiales homogéneos de grano fino (arcilla, arcilla + limo) ocurre en un modelo uniforme. Sin embargo, los modelos de rotura son altamente irregulares en materiales más heterogéneos, como son muchos materiales suelos.

Esto es un método deductivo para reconocer las superficies de debilidad y agregados.

Sin embargo las superficies naturales en los suelos pueden distinguirse por sus características, en relación con las de aquellas superficies de fracturas producidas en el campo, en muestras de mano o en láminas delgadas.

### El criterio usado

Es el modelo de huecos en el material y las características de la superficie, incluyendo lisura, lustre, ocurrencia de pelioulas, presencia o ausencia de huecos y grietas de contracción, relación de granos del esqueleto con la superficie, "cutans", etc. Así, pues puede definirse un agregado natural o pedo.

Ped es un agregado natural del suelo que consta de un conjunto de partículas primarias, separado de agregados adyacentes por superficies de debilidad, las cuales son reconocibles como huecos naturales o por la presencia de cutanes.

Es una definición objetiva que permite reconocer los peds por los criterios de superficies sin sugerencias derivadas de la ocurrencia o producción de unidades de tamaño y/o forma relativamente uniforme.

#### PEDOLOGICAL FEATURES

##### RASGOS PEDOLOGICOS - SEPARACIONES EDAFICAS

Origen: Movilidad del plasma; procesos activos de la formación del suelo; cementado de constituyentes en localizaciones específicas. Estas características son análogas a las descritas como "sedimentary features".

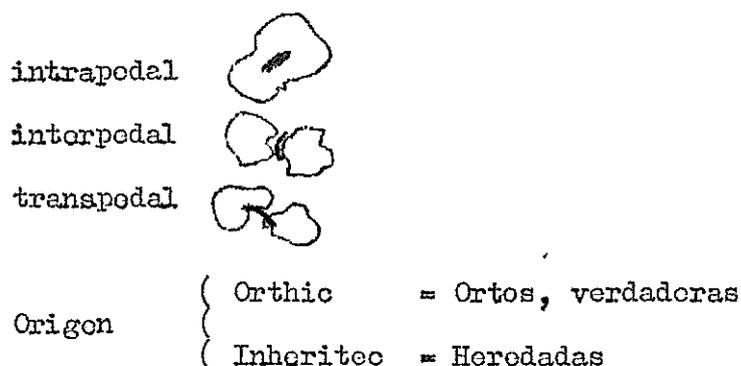
Gran parte de la complejidad de la descripción pedográfica puede ser reducida de manera relativamente simple introduciendo el concepto de características o separaciones edáficas, las cuales pueden ser descritas en término de tamaño, forma y organización interna, sin referencia al resto del material suelo, mientras que su distribución y disposición puede ser descrita en relación a la organización de los constituyentes del resto del material suelo.

Pedological feature: Unidades reconocibles dentro de un material suelo, las cuales se pueden distinguir del material incluyente por cualquier razón, tal como origen (deposición como una entidad), diferencia en la concentración de alguna fracción del plasma, o dife-

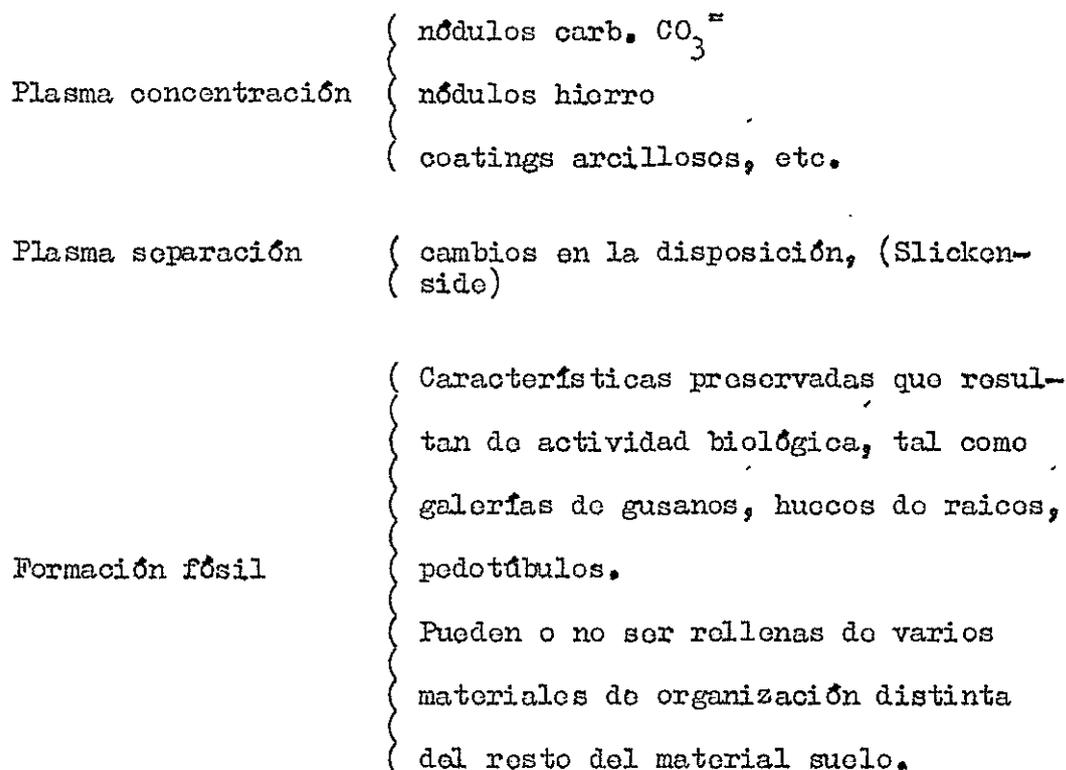
rencias en la disposición de los constituyentes (fabric).

Esta definición no incluye ped, pero sí características heredadas del material original o formadas por los procesos de deposición del material original transportado.

Pueden dividirse, de acuerdo con su disposición con respecto a los peds.



Orthic = formadas in situ en el material suelo por procesos formadores:



Características pedológicas heredadas: Relictos de la roca original o material original de los materiales subyacentes;

Litorelictos	{ Rasgos derivados de la roca madre (ejemplo, fragmentos de roca madre en horizontes superiores).
Pedorelictos	{ Rasgos formados por erosión, transporte y deposición de nódulos de un antiguo suelo (ejemplo, nódulos ferruginosos en suelos aluviales actuales). O por conservación in situ de alguna parte de un horizonte de suelo previamente existente dentro de un horizonte de nueva formación.
Relictos sedimentarios	{ Rasgos formados durante deposición de un material suelo transportado (costras, calizas, etc.).

### S. MATRIZ

Brewer encontró conveniente utilizar algún término específico para el material en el cual los rasgos pedológicos se encuentran usualmente embebidos dentro de los peds o de un material suelo no agregado; el término matriz fué propuesto para este material. Tanto matriz como masa basal han sido usados en geología para partes de rocas similar a las de un material suelo, si bien las definiciones geológicas llevan consigo algunas diferencias en concepto.

En Petrología, masa basal es la parte finamente cristalina o vítrea de una roca pofirítica en contraste con los fenocrist-

tales, por lo que el término "porfirítico" se usa solamente en rocas ígneas.

Aunque los materiales suelo son a veces algo análogos a rocas porfíricas en cuanto ellos consisten de una masa o plasma fino con granos del esqueleto embebidos, ellos usualmente tienen una continua distribución de tamaños de granos; esto es, existen algunos representativos de todos los tamaños de grano, desde los mayores a los más pequeños. Por ello masa basal no es un término útil para aplicar en materiales suelo.

Matriz no está definido muy específicamente en geología general, se considera simplemente como material que engloba otras características reconocibles o materiales.

En petrología sedimentaria, sin embargo, "matriz" tiene un significado más específico. Las rocas sedimentarias se consideran que consisten en un edificio de granos minerales con un material más fino empaquetado entre los constituyentes del armazón; estos materiales más finos se llaman matriz.

La distribución del tamaño de grano de la matriz se define únicamente en relación al tamaño de los miembros del armazón, y su uso en pedografía está seriamente limitado a causa de la continua distribución del tamaño de partículas en la mayoría de los materiales suelo. La distribución morfológica entre miembros del armazón y matriz no está claro, aunque muchos petrologistas sedimentarios aceptan el límite de 30  $\mu$  para matriz,

> 30  $\mu$  corresponde a esqueleto en rocas sedimentarias

< 30  $\mu$  corresponde a plasma en rocas sedimentarias

Matriz es preferible al término geológico masa basal más específicamente definido, pero para evitar confusión con matriz tal como se usa en petrología sedimentaria se propone s.matriz (incluyendo granos del esqueleto) en micromorfología de suelos.

S.Matriz de un material suelo es el material del interior del ped o agregado más simple (primario) o que compone los materiales de un suelo sin agregado en el cual los rasgos pedológicos ocurren; consiste de plasma, granos del esqueleto y huecos.

NIVELES DE ORGANIZACION DEL SUELO

=====

Unidades de organización básica.- Organización entre agregados.-  
Organización de las separaciones odáficas.- Organización completa.

Para considerar o tratar un material suelo, de acuerdo con los niveles de organización desarrollados o presentes en él, debe partirse de un punto que sea adecuado. De una consideración que sea punto de partida. Como sabemos los suelos pueden presentar agregados (suelo pedal) o no presentarlos (suelo apedal). En el caso de suelos pedales ocurre que los agregados se ordenan de forma que es posible dar una clasificación atendiendo a la forma, tamaño y disposición de estos agregados que deben considerarse como unidades fundamentales para la descripción, siendo la unidad básica (nivel más bajo de organización el "primary ped" o agregados primarios.

Si el suelo no presenta agregados la necesidad de organización es todo el suelo y la referencia para su estudio es la S. Matriz.

En el suelo pedal los agregados pueden usarse de una forma dada, de ahí que podemos considerar varios niveles de organización según la manera de reunirse los agregados.

Suelos	{	con agregados (pedal)	{	grupos sueltos
				reunión de grupos
	{	sin agregados (apedal)		

En los suelos con agregados hemos dicho que la unidad básica de organización es el agregado.

Este suelo muestra diversos niveles de organización, según consideremos la forma y distribución de los distintos elementos que forman el agregado primario.

Este agregado primario lo define Brewer como "agregado más simple que existe en el suelo, no puede dividirse en otros más pequeños pero puede unirse con otros para formar agregados de nivel más alto de organización, es decir, unidades compuestas".

Según el Departamento de Agricultura U.S.A., los agregados primarios son los agregados más pequeños reconocibles.

Los análisis de estructura pueden realizarse a distintos niveles de organización independientes unos de otros, o bien en una progresión lógica.

Kubicna divide la "fabric" o contextura { de elementos  
{ de alto orden  
y Brewer, de acuerdo con esto, establece distintos niveles de estructura que se refieren a distintos niveles o unidades de organización:

#### NIVELES DE ORGANIZACION DE AGREGADOS PRIMARIOS

Estos niveles dependen de la organización dentro de la S.Matriz que puede ser considerado como un todo. Por otro lado la S.Matriz está formada de poros, esqueleto y plasma, según a cual o cuales constituyentes nos refiramos tendremos distintos niveles o estructuras.

#### Estructura básica

Brewer la define como la estructura de S.Matriz, o sea, tamaño, forma y disposición de los granos simples del esqueleto, plasma y huecos. Excluye las separaciones edáficas que nos sean

separaciones del plasma.

### Estructura plasmática

Estructura del plasma de la S.Matriz y se refiere al tamaño, forma y disposición de los granos del plasma y de los huecos del empaquetamiento simple de los granos de este plasma.

### Estructura primaria

Es la estructura dentro de un agregado simple o primario o dentro de un material sin agregados referida a una integración del tamaño, forma y disposición de todas las características o separaciones edáficas, incluidas en la S.Matriz y la estructura básica o estructura de la S.Matriz: Estructura primaria = Estructura básica + separaciones edáficas.

### Estructura elemental

Se refiere a un nivel simplificado de la "estructura primaria". Es una integración de las características del tamaño, forma y disposición de una específica separación edáfica y la estructura básica. Estructura elemental = Estructura básica + la estructura de una separación edáfica típica.

Resumiendo	{	Estructura básica (S.Matriz)
		" plasmática (plasma)
		" basimérica (todo)
		" elemental

## ORGANIZACION ENTRE AGREGADOS

### Agregados secundarios o estructura secundaria

Es el tamaño, forma y disposición de agregados primarios, sus huecos o poros interagregados y las separaciones edáficas asociadas entre los agregados primarios.

### Estructura terciaria

Tamaño, forma y disposición de los agregados secundarios, los espacios o poros interagregados y las separaciones edáficas entre agregados.

## ORGANIZACIONES

Dentro de las separaciones edáficas: son análogas a las de agregados primarios pero reforzadas a separaciones edáficas.

## ORGANIZACION COMPLETA

Es la estructura completa, o sea, tamaño, forma y disposición de todas las separaciones edáficas, respecto a la estructura en todos los niveles de organización.

## BIBLIOGRAFIA

BREWER, R.-- Fabric and mineral analysis of soil

## CONCEPTOS GENERALES DE CLASIFICACION

=====

Una clasificación es una idea hecha por el hombre convenientemente a sus propósitos, no es una verdad, y por lo tanto una clasificación perfecta no debe presentar inconvenientes para el fin que fué inventada.

Dice Cline, que el propósito de una clasificación es el de organizar nuestros conocimientos de tal modo que las propiedades de los objetos puedan ser recordadas y sus relaciones comprendidas más fácilmente para un objetivo específico.

Dice Guy D. Smith, que se puede deducir o considerar de este concepto de clasificación tres consideraciones importantes:

- 1) Una clasificación es una organización del conocimiento en el momento presente y no puede ser mejor que nuestro conocimiento, lo que resulta que las clasificaciones cambian conforme cambian nuestros conocimientos.
- 2) Una clasificación tiene un objetivo y es hecha por el hombre para servir algún aspecto y la naturaleza de esta aplicación es importante en la construcción de la clasificación.
- 3) El proceso de construcción de una clasificación, lleva consigo la agrupación de objetos sobre la base de sus propiedades comunes.

Cuando existen nuevos hechos o aproximaciones cercanas a la verdad, no solo mejoran las clasificaciones, sino que permiten hacer cambios imperativos en las mismas, pues como se dijo anteriormente, cambian de acuerdo con los conocimientos, por lo tanto las

clasificaciones son el espejo de los conocimientos presentes de la ciencia.

### CLASIFICACIONES DE SUELOS, PRINCIPIOS CIENTIFICOS Y PRACTICOS

Según Alvareda y Hoyos, existen dos clases fundamentales de clasificaciones: Las filosóficas, naturales o científicas y las técnicas o prácticas.

Los pueblos antiguos carecían de un principio básico para el conocimiento del suelo; no obstante se sabe que Columella, Virgilio y Hesiodo, hablaban de diferentes suelos por su color, herrumbre, etc.

Herrera en su Agricultura General de 1620, consideraba una serie de propiedades y medidas de fertilidad en la consideración de las tierras y su mejoramiento. Después Simeo, Valerio, Zeiger, Doenis realizan esfuerzos empíricos de clasificación de suelos.

En resumen desde que surge la necesidad del cultivo, el hombre se preocupa de clasificar y escoger las tierras óptimas para tales fines.

Según Douchafour, la sistemática de los suelos debe resolver un doble problema:

- 1) Clasificar las unidades superiores en función de su génesis principalmente; se debe construir un cuadro que de alguna manera sirva de base a la ciencia del suelo.
- 2) Permitir a los cartógrafos un sistema cómodo para realizar los mapas de suelos a gran escala con fines prácticos, siendo necesario definir y crear unidades inferiores.

### CLASIFICACIONES GEOLOGICAS - PETROGRAFICAS

El primero que establece una clasificación con fundamento científico fué Thaer en el año 1811, esta clasificación es considerada como físico-química.

Posteriormente en 1818 Hausmann lanza la primera clasificación petrográfica; luego salió la de Sprengel en 1837 y siguieron una serie de clasificaciones como la de Senft en 1877 que divide los suelos en dos grupos:

- a) de erosión in situ ó de montaña; y
- b) de arrastre ó depresiones (diluviales y aluviales).

Las clasificaciones geológicas terminan con la de Fallow en 1862, la cual es bastante lógica. Después vienen las clasificaciones de Mayer y Grebe en 1871; Ferea en 1873; Hilgard en 1906 y la de Hazard en 1900.

### CLASIFICACIONES CLIMATICAS

Por los efectos de las clasificaciones geológicas surgen luego las clasificaciones basadas en los procesos formadores del suelo con el inconveniente de que solo se consideraba el proceso y no el resultado de ese proceso. Fué así como surgieron las clasificaciones climáticas.

Hilgard en 1893, clasificaba los suelos en tres grupos, basados en conceptos climáticos:

- 1) Suelos sedentarios de residuos
- 2) Suelos de arrastre o transporte (coluviales y aluviales.
- 3) Suelos eólicos

Fisher en 1913 divide los suelos en función del clima en áridos, húmedos y pluvicálidos.

En 1905 aparece la clasificación de Ramann que sigue respecto al clima y su influencia sobre los suelos las directrices de Koppen y divide los suelos en dos grandes grupos

- a) suelos húmedos
- b) suelos áridos.

Otras clasificaciones climáticas son las de Andree y Krauss en 1921, quienes dividen los suelos en la forma siguiente:

- a) suelos zonales (evolucionados)
- b) suelos azonales (poco evolucionados con características próximas a la roca madre)
- c) Suelos intrazonales.

Los trabajos de Baldwin, Kellow y Thorp de 1938, son ejemplos de estas clasificaciones.

#### CLASIFICACIONES QUÍMICAS

Corresponden al grupo que se han establecido atendiendo a las propiedades químicas del suelo dadas por el color, textura, pH, materia orgánica, etc.

Como típicos ejemplos de estas clasificaciones se citan: la clasificación de Gedroits en 1929, quien la dirige basándose en la composición química de las partículas más finas y divide los suelos en: base genética y difieren de las anteriores en que consideran como base las propiedades intrínsecas del suelo. Se consideran genéticas en la medida de que los caracteres tomados en consideración traducen en una forma efectiva los procesos que influyen o intervienen en la formación del suelo (roca madre, clima, biología, topografía, etc.).

Dice Douchafour, que la mayoría de estas clasificaciones toman en cuenta el grado de evolución y el tipo de perfil, representado esto último en la sistemática francesa y en la de Kubienska por la siguiente secuencia de horizontes: (A) C — AC — A(B)C — ABC.

## SISTEMATICA DE SUELOS

=====

Autor: Dr. W.L. Kubiena

### FUNDAMENTO Y FINALIDADES DE LAS CLASES

La sistemática de Kubiena tiene su origen en la base genética, esca, que agrupa las unidades atendiendo a un conjunto de caracteres típicos y representativos, en los cuales tiene una gran importancia la evolución del suelo (tipo de perfil).

La finalidad principal o básica radica en la ordenación de los diferentes perfiles de suelos, de manera que pueda obtenerse una visión del gran número de formas existentes.

### NOMENCLATURA Y SINONIMOS

- 1) El nombre del tipo de suelo (Dokuchaev 1879, sinónimos de tipo global, group = great soil group) se expresaba por un sustantivo. Puede proceder de cualquier lengua y tener también una significación cualquiera; no tiene otro objeto que el de ser nombre. No se deben traducir a otras lenguas, sino ser tratado como en nombre propio. Ejemplo: Solod.
- 2) La denominación del subtipo (sinónimo: subgroup) debe estar siempre en combinación con el nombre del tipo, bien sea por un prefijo, por un adjetivo, un sustantivo, un genitivo o una palabra compuesta. Puede ser traducida. Ejemplo: Xororendsina.

- 3) La designación de las variedades, que son variantes de un subtipo resultan de una adición semejante a la hecha para los subtipos al nombre del tipo de suelo. Puede ser traducida. Ejemplo: Braunerde Eutrofica.
- 4) La forma local (sinónimos: soil series, local varieties). Es una unidad de la sistemática del suelo en que adicionalmente tiene expresión la acción de los factores locales de formación de suelos. Ejemplo: Greenville arcilloso.

### FORMAS DE HUMUS

Las formas de humus más importantes clasificadas por Kubiena son las siguientes:

#### Formas de humus subacuáticas

1. Humus de suelos brutos subacuáticos
2. Dy
3. Gytja
4. Sapropel
5. Turbera baja

#### Formas de humus semiterrestres

6. Turbera intermedia
7. Turbera alta
8. Anmoor

#### Formas de humus terrestres

9. Humus de suelos brutos (humus de syrosem)
10. Humus bruto (May, Torf, Raw humus, etc.)
11. Humus de Tangel.

- 12. Moder (silikatmoder)
- 13. Moder mulliforme
- 14. Moder de rondsinas
- 15. Moder de rondsinas mulliformes
- 16. Moder de pez alpino
- 17. Mull

#### CLASIFICACION DE SUELOS

El autor ha subdividido el reino de los suelos en tres grandes divisiones:

- A : Suelos sub-acuáticos
- B : Suelos semi-terrestres
- C : Suelos terrestres

#### Suelos Subacuáticos

Son suelos que siempre están cubiertos de agua, o por lo menos su formación se realiza bajo ésta, comprende dos grandes clases:

- AA : Suelos subacuáticos no turbosos
- AB : Suelos subacuáticos turbosos

Clase no turbosa.— Son suelos primitivos que permanecen siempre bajo el agua, no turbosos, desarrollados sobre sedimentos elásticos pobres en caliza, con colonización por organismos, pero sin formación de un horizonte de humus perceptible a simple vista.

La posibilidad de formación de horizontes quedan limitadas a los tipos (A)C, AC ó (A) G. Pertenece a las formas más antiguas de desarrollo y se pueden encontrar en el Cámbrico.

Clase turbosa.— Constituyen los suelos con formación de turba, forma de suelos más jóvenes cronológicamente que los no turbosos, cuyo origen se sitúa todavía en el Paleozoico. Se forma originalmente a partir de pteridofitas en la actualidad a partir de residuos de plantas más superiores que tienen sus raíces debajo del agua y flores sobre la superficie. La formación del humus se realiza debajo del agua.

Tipos de suelo: Fen de césped (turbera de césped); Turbera de carex; Turbera de Hypnum; Fen de bosque (Turbera de bosque).

#### Suelos Semi-terrestres

Son suelos que no están cubiertos de agua o solo temporalmente; pero casi siempre están impregnados de agua estancada o temporalmente unidos por avenidas. Tienen formas de humus turboso; muestran algunos caracteres de Mull. Cuando tienen un mayor grado de madurez presentan horizonte B.

Estos suelos se dividen en las siguientes clases:

- BA : Suelos brutos semi-terrestres
- BB : Suelos anmooriformes
- BC : Suelos turbosos semiterrestres
- BD : Suelos salinos
- BE : Suelos gley con humus terrestre
- BF : Suelos no gleyzados en valles fluviales

Suelos brutos semi-terrestres.— Suelos que existen en las regiones árticas o montañas alpinas. Pobres en humus de regiones árticas. Presentan perfil de tipo (A)C, (A)G, no poseen horizonte (B) pardo o rojo claramente formado. El perfil de estos suelos es por lo general de poco espesor y poco desarrollo.

Principales tipos de suelos: La Rambla (VI); Rutomark (VII) y el Syrogley o gley bruto (VIII).

Suelos anmooriformes.— Suelos con horizonte de humus claro; si este falta se presenta al menos el horizonte (B) claramente formado; subsuelo gleyzado, determinado por un color gris, azulado o gris verdoso. Puede estar encharcado o no una parte del año hasta la superficie o por encima de ella. Sus perfiles son del tipo A(B)G, ABG.

Principales tipos de suelos: Anmoor (IX) y Marsch (X).

Suelos turbosos semiterrestres.— Suelos unidos a formaciones turbosas o procedente de ellas de una manera inmediata, generalmente descansando sobre turbas brutas.

Principales tipos de suelos: Corr (XI) y Moss (XII).

Suelos salinos.— Suelos formados bajo el influjo de aguas subterráneas ricas en sales o existentes con suelos ricos en sales y formados a partir de éstos. La condición primordial para la formación de estos suelos es la existencia de sales sódicas en el material originario; las sales pueden yacer in situ, pero lo que más dilata la formación de los suelos salinos es el transporte de las sales disueltas en el agua hacia otras áreas. Son suelos de origen local dadas las condiciones necesarias para su formación y se encuentran generalmente en áreas de estepas o semidesiertos.

El autor divide estos suelos en primarios y secundarios. Los primeros son suelos gley, en gran parte subacuáticos anteriores, que se han convertido en suelos terrestres por progresiva transformación. Los secundarios son suelos salinos, con sus características especiales, casi siempre por encharcamiento secundario y enriquecimiento de sales. Conservan su nombre original y solo se le

añado una denominación, por ejemplo: "chernosem rico en sales"

Principales tipos de suelos: Solochok (XIII); Solod (XV) y Solonets (XIV).

Suelos gley con humus terrestre.— Suelos casi siempre temporalmente encharcados o no cubiertos por agua estancada superficialmente, pero siempre con humedad de agua subterránea (capilarmente bien humedecida); con formación húmica de moder bien humificada, rica en sustancias minerales, sobre un suelo compacto, gleyzado. Perfil del tipo AG.

Principal tipo de suelo: Gley XVI.

Principales subtipos: Gley de moder; Gley de Mull y Gley empardecido.

Suelos no gleyzados en vallos fluviales.— Suelos existentes en los valles de los ríos formados a partir de sus sedimentos que no muestran en superficie acción alguna de agua estancada, pero se encuentran generalmente humedecidos e influenciados fuertemente en su economía de agua, su vegetación y biología, por la proximidad y la altura del agua del río. La mayor parte de ellos están temporalmente cubiertos por las avenidas de las aguas. Las formas que no sufren estas avenidas tienen ya un amplio carácter de suelos terrestres pero se diferencian de ellos por su distinta formación y su lugar de formación que se manifiesta en su biología y en sus relaciones de aguas.

Principales tipos de suelos: Paternia (XVII); Borovina XVIII; Smonitsa XIX y la Vega XX, la que a su vez presenta los siguientes subtipos: Vega parda, Vega de lehm pardo y Vega roja.

### Suelos terrestres

Son suelos que no están cubiertos por agua o encharcamiento, si se presentase ésto, sería debido a algunas formaciones de tránsito y en algún horizonte determinado. Son los suelos más desarrollados y presentan perfiles ricos en horizontes y subhorizontes.

Presentan formas de humus a partir de plantas superiores y predominantemente del tipo Mull. Los suelos terrestres comprenden las clases siguientes:

- CA : Suelos brutos terrestres
- CB : Suelos rankeriformes
- CC : Suelos rendsiniformes
- CD : Suelos de estepa
- CE : Suelos ~~terrae~~ ~~calcare~~
- CG : Latosol
- CH : Braunerden (Tierras pardas)
- CI : Pseudogley
- CJ : Podsol

Suelos brutos terrestres.- Suelos sin horizontes de humus diferenciables macroscópicamente, poca desintegración química y escasa vida de suelo; en general de poco espesor y sin horizonte (B) ó B bien diferenciado; esta clase presenta perfiles del tipo (A)C.

Aquellos suelos que debido a la erosión o cualquier arrastre artificial han perdido el horizonte de humus no se deben considerar como suelos brutos.

Principales tipos de suelos: Ramark (XXI); Yerma XXII y Syrosem (XXIII).

Suelos rankeriformes.- Suelos pobres en calizas, las cuales no contienen la formación de humato cálcico; descansan inmediatamente sobre el material de partida que consiste, por regla general en rocas silíceas o de silicatos pobres en calcio, muy raramente sobre rocas silícico-calizas. Perfil generalmente del tipo AC.

El único tipo de esta clase es el Ranker (XXIV), el cual a su vez se subdivide en nueve tipos, siendo estos los siguientes: Protoranker, Ranker distrófico; Ranker de tundra; Ranker de Eilag; Ranker de tangel; Ranker de mull; Ranker gris; Ranker de podsol y Ranker pardo.

Suelos Rendsiniformes.- Suelos de color negruzco, gris oscuro hasta gris claro según el contenido de humus, extremadamente rico en caliza, caracterizado por humatos cálcicos, cuyo horizonte de humus se formó inmediatamente sobre la roca madre que consiste en caliza, marmol, dolomita, magnesita, margas o yeso.

La mayor parte de los perfiles de Rendsinas se dividen en horizontes A, Ca y C. Para rendsinas muy jóvenes sobre roca compacta falta el horizonte Ca. Las rendsinas jóvenes tienen un perfil superficial y son casi siempre pedregosas. Pero las rendsinas maduras (Rendsinas de mull) alcanzan también raramente una profundidad superior a los 30 cm. Muestran también casi siempre un determinado contenido en piedras en el horizonte A, que crece fuertemente con la profundidad.

Tipos de suelos: Rendsina (XXV); Pararendsina (XXVI).  
Subtipos de suelo: Rendsina húmeda; Xerorendsina.

Suelos de estepa.— Suelos de perfil AC, formados predominantemente sobre material de partida suelto, o sobre roca madre compacta o semi-compacta de fácil desintegración y fácilmente transformable en capas sueltas de gran espesor; tienen casi siempre una formación regular y existen en superficies de estepas amplias y planas, onduladas hasta colinas, estepas desérticas o regiones de cultivo de verano seco.

Tipos de suelo: Serosom (XXVII); Burosem (XXVIII); Kastannosom o Suelo castaño (XXIX); Chernosom (XXX); Para-chernosom (XXXI) y Para-serosom (XXXI).

Subtipos de suelos: Chernosom típico y Chernosom degradado.

Suelos de terras calxis.— Son suelos muy maduros, ampliamente desintegrados, frecuentemente descalcificados, con horizonte (B) u horizonte B de color amarillo ocre, pardo ocre, hasta rojo, en el cual el Fe existe en forma de hidróxido de Fe con diferente contenido de agua.

Suelos sobre material madre de calizas o dolomitas puras, suele tener gran plasticidad, aunque existen variedades no plásticas.

Estos suelos, a medida que aumenta la desintegración, el suelo aumenta de espesor, aumentando el contenido de arcilla, esto hace posible la colonización por lombrices que profundizan y mullen el suelo y dan lugar con sus excrementos a la formación de humus de tipo Mull, caracterizado por la unión íntima de la arcilla y el humus, formando complejos. Suelos con perfiles del tipo A(B)C ó ABC.

Subtipos de suelos: Terra fusca y Terra rossa.

Variedades de suelo: Terra fusca típica; Terra fusca decolorada; Terra fusca terrosa; Terra rossa sialítica; Terra

rossa alítica.

Plastosols.-- Suelos de los trópicos y subtropicos, casi siempre pobres en humus, fuertemente desintegrados con colores que varían del amarillo ocre intenso, pardo ocre, rojo pardo hasta rojo vivo, casi siempre con gran plasticidad. Las principales características microscópicas de estos suelos son: estructura densa, peptización del hidróxido de Fe en una sustancia fundamentalmente compacta, rica en ácido silícico coloidal, gran capacidad de emigración de hidróxidos de Fe, separación local en formas de concreciones floculosas; existe amplio paralelismo tanto en las propiedades físicas como en las químicas.

Estos suelos se hallan extendidos por Europa, aunque solo en forma de depósitos, a veces de gran espesor; de suelos fósiles o en forma de suelos rehechos, presentan perfiles del tipo A(B)C.

Tipos de suelos: Braulehm (XXXIV) y Rotlehm (XXXV).

Subtipos de suelo: Braulehm común; Braulehm decolorado; Rotlehm tipo y Rotlehm terroso.

Latosol.-- (denominación dada por Kellog 1948).-- Suelos tropicales que solo existen en forma de fósiles en Europa en colores pardo rojizo hasta rojo; de textura suelta, plasticidad muy pequeña, poco contenido de ácido silícico y alto en hidróxido de Al e hidróxido de Fe en el complejo coloidal.

El perfil característico es del tipo A(B)C y cuando se presentan en formas parecidas a las lateritas tiene una costra semejante a una coraza con contextura parcialmente petrificada. También se pueden presentar en algunos perfiles, zonas fósiles de desintegración y de manchas.

Tipo de suelo: Roterder laterítica (XXXVI)

Braunerde.— Suelos con perfil A(B)C, de pH neutro a ácido, de clima templado, con sustancias coloidales predominantemente floculadas, no movibles, cuyo horizonte B de color pardo hasta ocre claro no es un horizonte de enriquecimiento, sino que se forma por desintegración química profunda, con buena aireación y buen humedecimiento.

Entre las tierras pardas y otros tipos de suelos existen numerosas formaciones de tránsito, acidificación fuerte y una fuerte formación de moder fuerte, así como un principio de cluvificación con ácidos húmicos, conduce a las tierras pardas podsolizadas; peptización parcial y movilidad del hidróxido de ácido silícico, lleva a las Braunlehm; encharcamiento conduce a la gleyzación.

Tipos de suelo: Braunerde (XXXVII) ó tierra parda.

Subtipo de suelo: Tierra parda meridional; Tierra parda de cespéd alpino ; Tierra parda Centro-europea.

Variedades de suelo: Tierra parda caliza; Tierra parda ferrítica; Tierra parda eutrópica y Tierra parda oligotrópica.

Pseudogley.— Suelos con apariencia de gley, osca, horizonte gris claro de textura compacta; sin encharcamiento predominante, solo un fuerte cambio de encharcamiento y sequía superficial donde predomina el carácter seco. Tienen por regla general concreciones de hidróxido de hierro en la parte superior, zonas manchadas y algunas veces marmorizadas; movimiento de hidróxido férrico en más o menos extensión. En la formación de los pseudogleys hay una reducción posterior a la oxidación.

Según Mückenhausen los pseudogleys tienen un perfil del tipo A - g<sub>1</sub> - g<sub>2</sub> - C ó D; para otros autores la ordenación del perfil es A(B)g C.

Tipo de suelo: Pseudogley (XXXVIII).

Subtipos de suelo: Pseudogley de Krauss y Pseudogley marmorizado.

<sup>(\*)</sup>  
Podsoles.— Suelos con perfil ABC, fuertemente ácidos, pobres en sustancias nutritivas, que presentan por regla general humus bruto o moderado distrófico, así como una intensa eluviación de las sustancias coloidales bajo la acción coagulante de las sales húmicas ácidas que han conducido a la formación de una capa de decoloración acusada en la parte superior del suelo y una o varias capas de acumulación (horizontes iluviales) en el subsuelo.

---

(\*) Del ruso Sols = ceniza. Formado sobre rocas pobres en bases

(\*)  
 CLASIFICACION FRANCESA  
 =====

por G. Aubert y P.H. Douchafour (1956)

Los suelos han sido agrupados en diez clases principales, de acuerdo a las siguientes características fundamentales de la evolución:

Grado de evolución del perfil

Conduce a una diferenciación del perfil, cada vez mayor:

(A).C    —    B.C.    —    A(B).C    —    y    A.B.C.

Naturaleza fisico-química de la evolución

La cual está ligada a tres características esenciales:

- a) condiciones de alteración
- b) tipo de humus
- c) quimismo del complejo absorbente.

Subclases

Se separan considerando como base principal el factor ecológico que condiciona la evolución (clima, roca madre, condiciones de la estación influenciando el régimen hídrico).

Grupos

Se diferencian entre sí por una particularidad del

---

(\*) Cahiers O.R.S.T.O.M. - Serie Pédologie - 1965, III, nº 3, pp. 269-288

proceso evolutivo; por su intensidad de la alteración o grado de lavado de los coloides.

### Subgrupos

Ofrecen el mismo perfil de conjunto, y caracteriza una fase precisa de la evolución del grupo; aquí se le designará tipo genético (en contraposición con tipo textural de la clasificación americana).

Se describe a continuación la tabla de Clases, Subclases, Grupos y Subgrupos:

## CLASE I: SUELOS MINERALES BRUTOS

### Suelos de Perfil (A)C

#### GRUPO A: SUELOS MINERALES BRUTOS DE ORIGEN ESTERILIZADO

Pedoclima muy seco, o muy frío durante todo el año, que impide la evolución del suelo.

### Grupo A: Suelos poligonales de países fríos

#### Subgrupos:

#### Suelos Poligonales típicos

Suelos Reticulados: donde los polígonos están o son alargados a lo largo de la pendiente.

### Grupo B: Suelos minerales brutos de desiertos

#### Subgrupos:

Suelos de aporte de desierto: ergs, baskhanes, nebkhas, mantos arenosos.

Suelos de absorción de desiertos: superficie del suelo recubierta

de guijarros y gravas, a veces mezclados con arena gruesa.

Suelos no sometidos a movimientos de desiertos: conglomerado de piedras y rocas fracturadas

SUBCLASE 2: SUELOS MINERALES BRUTOS DE ORIGEN NO CLIMATICO:

Pedoclima ni muy seco ni muy frio durante todo el año, permitiendo la evolución del suelo.

Grupo A: Suelos brutos de erosión o esqueléticos

Subgrupos:

Lithosoles: sobre rocas blandas, friables, o bastante troceados, que permiten una facil penetración de raíces.

Grupo B: Suelos brutos de aporte:

Suelos evolucionados sobre materiales aún en formación por aluviamiento, coluviamiento, etc.

Subgrupos:

Fluviales

Marinos

Eólicos

Continental (coluvial)

CLASE II : SUELOS POCO EVOLUCIONADOS DE ORIGEN CLIMATICO:

Suelos de perfil AC; El A poco profundo y pobre en materia orgánica; grado de alteración de los minerales poco diferenciados en el A y en el C.

## SUBCLASE 1: SUELOS POCO EVOLUCIONADOS DE ORIGEN CLIMATICO

Pedoclima frio o bastante frio y muy húmedo, o seco durante la mayor parte del año, limitando la evolución del suelo.

Grupo A: Tundras:

Suelos holados durante una gran parte del año, humus en general poco evolucionado.

Grupo B: Rankers:

Suelos ricos en materia orgánica, con tránsito abrupto de A a C.

Subgrupos: (Propuestos)

Rankers alpinos

Rankers atlánticos

Rankers tropicales

Grupo C: Suelos Subdesérticos:

Suelos de perfil en general poco espeso, con ligera cantidad de materia orgánica pero que disminuye progresivamente en profundidad; contenido en caliza prácticamente constante; complejo absorbente saturado. Muy a menudo la superficie está endurecida en algunos centímetros, y enriquecido en elementos solubles.

Subgrupos:

Suelos subdesérticos típicos o modales

Suelos subdesérticos ligeramente salinos o alcalinos

Suelos subdesérticos eólicos por deflación

Suelos subdesérticos eólicos en microdunas

## SUBCLASE 2: SUELOS POCO EVOLUCIONADOS DE ORIGEN NO CLIMATICO

Suelos jóvenes rejuvenecidos, pero donde el pedoclima permite la evolución del suelo

Grupo A: Suelos poco evolucionados de erosión:

Suelos poco espesos formados sobre pendientes, la materia orgánica generalmente bastante evolucionada.

Subgrupos:

Suelos litéricos: sobre rocas que no son penetrables por las raíces.

Suelos regosólicos: se puede decir Suelo Régique o Suelo Rególico.

Grupo B: Suelos poco evolucionados de aporte:

Suelos generalmente formados sobre aluviones recientes.

Subgrupos:

Modal: a veces suelos divididos en fases, calcimorfo, iso-húmico, ompardecido.

Hidromórfico: con gley o pseudogley.

Ligeramente salino o alcalino

Vértico: con estructura prismática ancha, al menos en profundidad, y color relativamente oscuro.

Podría ser adecuado incluir en esta subclase otro grupo:

Grupo C: Andosoles:

Suelos ricos en alophana.

CLASE III: SUELOS CALCOMAGNESIMORFOS:

Suelos caracterizados por la presencia en cantidad importante en el conjunto del perfil, e influencia dominante de carbonato cálcico o de calcio y magnesio, o de sulfato de Ca.

SUBCLASE 1: SUELOS RENDSINIFORMES:

Suelos calizos o dolomíticos, relativamente ricos en humus, con estructura netamente definida.

Grupo A: Rendsinas verdaderas:

Suelos calizos o dolomíticos, poco espesos, de perfil AC, con estructura de elementos medios a finos, de tipo granular a nuciforme (pero raramente monoparticular).

Subgrupos:

Rendsinas negras o grises

Rendsinas blancas

Rendsinas rojas

Suelos humocarbonatados: formados por elementos gruesos, mezclados de pequeños agregados húmicos.

Grupo B: Rendsinas con horizontes:

Suelos calizos de perfil A(B)C ó A<sub>0</sub> A<sub>1</sub> C ó AB(Ca)C.

Subgrupos:

Rendsinas con humus bruto: con horizonte de humus bruto poco espeso, en la parte superior de un perfil de rendsina.

Rendsina de costras: llevando consigo en la parte superior del horizonte C, numerosos nódulos calizos o una costra caliza de por lo menos algunos centímetros de espesor.

Rendsinas degradadas: con horizonte profundo, más rico en compuestos ferruginosos.

Suelos pardos calizos: con estructura típica polihédrica o prismática al menos en el horizonte (B).

Suelos pardos calizos hidromórficos o vérticos: son análogos al anterior, pero presentan una estructura extensa o ancha en el (B) y un color relativamente oscuro.

Un tercer grupo ha sido propuesto:

Suelos aluviales calcimorfos

Subgrupos:

Típico

Vértico

Anteriormente estaba reconocido un Grupo C: Rendsinas dolomíticas o magnésicas, comprendiendo dos subgrupos: Rendsinas dolomíticas verdaderas y Rendsinas dolomíticas degradadas. La diferencia entre Rendsinas calizas y Rendsinas dolomíticas o magnésicas parece poder hacerse perfectamente a nivel de familia.

El problema de la clasificación de los suelos rendsiniformes no calizos, no ha sido resuelto definitivamente. Estos actualmente indicados entre los suelos pardos con mull de las regiones templadas.

SUBCLASE 2: SUELOS CON ACUMULACION DE YESO:

La acumulación yesosa es debida a una evolución pedológica de los cristales de yeso sin la acción de una napa freática.

Grupo con acumulación de yeso localizado

Subgrupos:

Con encostramientos yesosos: aún friable

con costra yesosa dura

CLASE IV: VERTISOLES Y PARAVERTISOLES:

Suelos con perfiles A(B)C ó A(B)gC más o menos homogéneo o irregularmente diferenciados por causa de movimientos internos, se expresan a menudo por la presencia de un microrrelieve "gilgai" y de humedecimiento.

Estructura poliédrica o prismática ancha, al menos en el (B) donde la macroporosidad es muy débil y la cohesión, así como la consistencia, muy fuertes cuando el suelo está seco. Suelos frecuentemente muy arcillosos y con dominio de arcilla hinchada. Suelos de color en general oscuro, relativo a su contenido en materia orgánica. El complejo absorbente es frecuentemente muy rico en Mg.

SUBCLASE 1: VERTISOLES Y PARAVERTISOLES TOPOMORFOS (o topolito-  
morfos):

Suelos formados en zonas planas o de depresiones y presentan un pedoclima muy húmedo, durante largos periodos; siempre hidromórficos (este calificativo podría reemplazar el de topomorfo en la denominación).

Grupo A : Vertisoles y Paravertisoles topomórficos grumosólicos:

Suelos con horizontes superficiales con estructura fina durante los primeros 20 cm. o más.

Grupo B: Vertisoles y Paravertisoles topomórficos no grumosólicos :

Suelos ampliamente estructurados desde al menos 20 cm. de la superficie.

SUBCLASE 2: VERTISOLES Y PARAVERTISOLES LITOMORFICOS

Suelos sobre pendiente más o menos pronunciada y siempre ricos en arcillas del tipo 2/1.

Grupos :

Grumosólicos

No Grumosólicos :

Como el anterior.

Subgrupos propuestos : Para cada uno de los grupos.

Típico: con características vérticas medianamente acentuadas.

Con concreciones grandes de hidromorfismo

Con características salinas

Se ha propuesto reemplazar los términos "topomorfo" y "litomorfo" por "sin drenaje externo" y "con drenaje externo".

CLASE V : SUELOS ISOHUMICOS

Suelos de perfil AC ó A(B)C, con contenido regularmente decreciente en materia orgánica bien evolucionada; horizonte húmfero notable al menos en la mitad del perfil y sobre más de 50 cm. (esposor reducido a 30 cm. para los suelos de perfil inferior a los 50 cm.).

SUBCLASE 1: SUELOS ISOHUMICOS CON COMPLEJO PROPORCIONALMENTE DE-  
SATURADO:

Suelos con estructura poliédrica fina casi desde la superficie.

Grupo de los Brunizems

Subgrupos:

Brunizems típicos

Brunizems con B textural

Brunizems con pseudogley

Brunizems vórticos: con (B) de estructura extensa y prismática.

Brunizems con costras: presentando un encostramiento calizo formado "in situ" en la parte superior del C.

SUBCLASE 2: SUELOS ISOHUMICOS CON COMPLEJO SATURADO (principal-  
mente en Ca):

Evolucionado bajo un pedoclima muy frío durante una parte del año.

Suelos con contenido en materia orgánica relativamente elevado. Muy fuerte actividad de la fauna del suelo.

Grupo A : Chernozems :

Suelos con un contenido de materia orgánica inferior al 5 % bajo vegetación natural, al menos sobre 20 cm.; estructura granular o nuciforme en el conjunto del perfil; horizonte superior no o muy poco calizo, incluso sobre roca madre caliza.

Subgrupos:

Chernozems típicos

Chernozems muy humíferos: contenido de materia orgánica superior al 10 % en 20 cm.

Chernozems poco profundos: perfil no superior a los 60 cm., y al mismo tiempo poco humífero.

Chernozems con B textural

Grupo B : Suelos castaños o castanosem:

Suelos con contenido en materia orgánica del 3 al 6 % en los primeros 20 cm. bajo vegetación natural; estructura grumosa a nuciforme en el horizonte superior y prismático en los inferiores, perfil descarbonatado, no siempre en su totalidad, en una gran profundidad (alrededor de 60 cm. o más).

Subgrupos:

Suelos castaños típicos

Suelos castaños rojos: con perfil de matiz más rojo, debido a un contenido más elevado de hierro libre.

Suelos castaños vórticos: con estructura prismática más grande en el (B).

Suelos castaños con gley (ó pseudogley): presentando manchas o concreciones ferruginosas en profundidad.

Suelos castaños encontrados: con fuerte acumulación de caliza en profundidad, constituyendo un encontramiento característico.

Suelos castaños débilmente alcalinos (ó salinos)

Grupo C : Suelos pardos isohúmicos :

Suelos cuyo porcentaje de materia orgánica está comprendido entre 1 y 3 % en los 20 cm. superficiales, bajo vegetación natural, estructura grumosa a nuciforme en el conjunto del perfil,

a veces poliédrica en profundidad sobre material calizo, perfil parcialmente lavado de caliza en superficie que se acumula a mediana profundidad.

Subgrupos: Como en el grupo anterior, del primero al sexto.

SUBCLASE 3 : SUELOS ISOHUMICOS CON COMPLEJO SATURADO (principalmente en Ca):

Evolucionando bajo un pedoclima fresco durante las estaciones lluviosas.

Suelos con contenido de materia orgánica más reducido, pero alteración mineral más fuerte en profundidad que en la subclase precedente; frecuente formación de arcilla, de preferencia en profundidad.

Grupo A : Suelos castaños subtropicales :

Suelos con contenido de materia orgánica superior a 1,8 % en los primeros 20 cm. bajo vegetación natural; estructura grumosa a nuciforme en el horizonte superior (en general fina a media) y prismática en profundidad, descarbonatación muy pronunciada a total del horizonte superior.

Subgrupos:

Suelos castaños subtropicales típicos: con estructura fina a media en profundidad.

Suelos castaños rojos subtropicales: más ricos en Fe libre.

Suelos castaños subtropicales vérticos: con estructura prismática grande en profundidad.

Suelos castaños subtropicales con gley o pseudogley: presentando manchas o concreciones ferruginosas.

Suelos castaños subtropicales con encostramiento: con costras calizas en profundidad.

Suelos castaños ligeramente alcalinos (ó salinos)

Grupo b : Suelos pardos subtropicales :

Suelos con contenido de materia orgánica del orden de 0,8 a 1,8 %, bajo vegetación natural; estructura grumosa a nuciforme en el horizonte superior (a veces laminar en superficie) pero poliédrica media a fina (en general) en el horizonte profundo. Descarbonatación parcial en la parte superior del perfil, cuando está formado sobre un material calizo o muy calizo; acumulación del calcio a muy poca profundidad (salvo que esté sobre material muy permeable).

Subgrupos: Como en el grupo precedente, del primero al sexto.

Grupo C : Sierozems (subtropicales):

Suelos con contenido de materia orgánica baja (menos del 1 % en los primeros 20 cm. bajo vegetación natural, pero pudiendo ser más elevado bajo cultivos); descarbonatación reducida del perfil sobre material calizo; estructura del mismo tipo que en el grupo precedente, pero en general menos desarrollada.

Subgrupos:

Sierozems típicos

Sierozems con encostramientos

Sierozems debilmente alcalinos (o salinos)

SUBCLASE 4 : SUELOS ISOHUMICOS CON COMPLEJO SATURADO (principalmente en Ca), evolucionando bajo un pedoclima cálido durante las estaciones lluviosas :

Suelos con contenido de materia orgánica más reducido, pero alteración mineral más fuerte que en la Subclase 2; individualización más notoria de los sesquióxidos de Fe.

Grupo : Suelos pardos subáridos

Subgrupos: diferenciados como los anteriores en:

Suelos pardos subáridos típicos

Suelos pardos rojos subáridos

Suelos pardos subáridos vérticos

Suelos pardos subáridos con pseudogley

Suelos pardos subáridos débilmente alcalinos (ó salinos)

Se ha propuesto hacer de los suelos pardos rojos subáridos un grupo más que un subgrupo.

CLASE VI : SUELOS CON MULL

Suelos formados bajo la influencia de una materia orgánica fuertemente evolucionada con humus de tipo "mull" con perfil A(B)C ó ABC; proporción limitada de sesquióxidos libres, que quedan ligados al complejo arcillo-húmico.

SUBCLASE 1 : SUELOS CON MULL DE PAISES TEMPLADOS :

Pedoclima fresco durante todo el año, o al menos durante la estación lluviosa.

Grupo A : Suelos lavados :

Suelos con perfil ABC, índice de lavado inferior a  $1/1,4$  (gradiente textural); variación absoluta del contenido de arcilla superior o igual al 4 o 5 %. Revestimientos arcillosos frecuentes sobre los agregados del B. Presencia de un  $A_2$  más claro pero no creciente.

Subgrupos:

Suelos lavados ligeramente podsólicos:  $A_2$  muy claro, frecuentemente blanquecino; B de color ocre o rojizo un poco más acusado; índice de lavado débil, en general inferior a  $1/3$ .

Suelos lavados típicos:  $A_2$  claro pero no blanquecino; índice de lavado entre  $1/2$  y  $1/3$ .

Suelos pardos lavados:  $A_2$  netamente marcado pero menos diferenciado, índice de lavado entre  $1/1,4$  y  $1/2$ .

Suelos lavados hidromorfos: manchas (o concreciones) de pseudogley, más raramente de gley en B y en la base de  $A_2$ .

Subgrupos propuestos:

- Suelos con lavado oblicuo, suelos en los que el horizonte A situado sobre una pendiente está empobrecido en arcilla con relación al C; en la base de la pendiente se ~~haya~~ constituido el horizonte B de acumulación de arcilla.
- Suelos rojos y amarillos blancuzcos, comprendiendo a los suelos rojos y amarillos podsólicos del U.S.D.A. Soil Survey. La posición de estos suelos como grupos o subgrupos de esta Clase o de otra tiene que definirse. Parecen a menudo cerca de los suelos lavados ligeramente podsolizados sobre materiales ferralíticos.

- Suelos grises forestales, suelos lavados en los que el horizonte  $A_2$  está poco diferenciado del  $A_1$  como consecuencia de su riqueza en materia orgánica; suelos formados bajo clima con carácter continental muy acentuado.

- Suelos lavados con fragipan

Los suelos "Dermo-podsólicos" no forman un subgrupo particular. Estos son suelos lavados ligeramente podsolizados.

Grupo B : Suelos pardos :

Suelos de perfil AC ó A(B)C, emigración de arcilla prácticamente nula, índice de lavado comprendido entre 1/1,4 y 1; B ligeramente o no diferenciado, sin  $A_2$ .

Subgrupos :

Suelos pardos típicos : perfil de textura prácticamente constante, y con reacción cercana a la neutralidad (pH mayor de 6)

Suelos pardos ligeramente lavados : B visible, pero índice de lavado comprendido entre 1/1,1 y 1/1,4 o diferencias de contenido en arcilla inferior al 4 ó 5 %.

Suelos pardos ácidos : reacción ácida (pH menor de 6) al menos en B y C; pH cerca de 6 en A.

Suelos pardos hidromorfos : presentando manchas, huellas e incluso concreciones, debidas a fenómenos de pseudogley en la base del perfil.

Subgrupos propuestos :

- Suelo pardo eutrópico o cálcico, con perfil poco espeso de tipo AC ó A(B)C, con estructura fuertemente marcada, media a fina, grumosa a nuciforme en superficie, poliédrica en profundidad; no calizo, pero complejo saturado en calcio; roca madre caliza.

SUBCLASE 2 : SUELOS CON "MULL" DE LOS PAISES TROPICALES:

Pedoclima cálido y húmedo a la vez, o al menos temporalmente.

Grupo : Suelos eutróficos tropicales :

Suelos con humus mullíceo bien ligado a la materia mineral, bastante abundante en  $A_1$ ; estructura bien desarrollada, grumosa a nuciforme en  $A$ , cúbica a poliédrica mediana en (B); complejo saturado en bases alcalino-terrosas; reserva mineral alterable abundante; color con tendencia a pardo rojizo a consecuencia de los sesquióxidos de hierro liberados.

Subgrupos propuestos:

- Típico
- Ferruginoso
- Vértico
- Hidromórfico
- Poco evolucionado

CLASE VII : PODSOLES Y SUELOS PODSOLIZADOS :

Suelos que presentan en el conjunto del perfil o en profundidad un enriquecimiento en sesquióxidos metálicos, principalmente  $Fe$ , bajo influencia de un humus grosero (mor) perfil ABC ó A(B)C.

SUBCLASE 1 : SUELOS CON "MOR" ENRIQUECIDOS EN SESQUIOXIDOS SIN

HORIZONTES GLEY EN PROFUNDIDAD :

Estos suelos nunca presentan la acción de una napa freática.

Grupo A : Podsoles :

Suelos con horizonte  $A_2$  netamente cenizoso, de estructura y color.

Subgrupos :

Podsoles húmicos: Horizonte  $B_1$  húmico muy neto; acumulación ferruginosa nula o muy débil, no apareciendo prácticamente en el perfil.

Podsoles húmico-ferruginosos: Horizonte  $B_1$  de acumulación húmica y  $B_2$  de acumulación ferruginosa, netamente diferenciado el uno del otro.

Podsoles ferruginosos: neta acumulación ferruginosa; acumulación húmica prácticamente nula.

Podsoles con alios: horizonte de acumulación muy endurecida en su totalidad o con bloques anchos.

Grupo B : Suelos podsolizados :

Suelos con horizonte  $A_2$  menos netamente cenizo, pueden tener una estructura cenicienta, pero con un espesor delgado (algunos centímetros solamente); o más espeso, pero estructura solamente con tendencia cenicienta; acumulación húmica rara y menos importante; acumulación arcillosa frecuentemente más pronunciada.

Subgrupos:

Suelos podsólicos humíferos: presentan una ligera acumulación de humus.

Suelos podsólicos ferruginosos

Suelos podsólicos con pseudogley: horizonte B presentando moteados o manchas de color gris o verde azulado, por la reacción de los compuestos de hierro y manganeso, originando una masa ocre-rojiza, algunas veces con concreciones ferro-magnésicas;  $A_2$  presentando muy a menudo

estructura laminar o masiva, con colocaciones muy claras, blancas o gris ceniza.

Suelos podsólicos con acumulación difusa: horizonte de acumulación pasando progresivamente a profundidades mayores de 35 cm. al material de origen.

Suelos podsólicos con lavado oblicuo: horizonte  $A_2$  ceniciento, poco espeso, situado sobre pendientes en la parte baja de la cual se encuentra el horizonte de acumulación, rico en sesquióxidos metálicos sobre todo en hierro.

Subgrupo propuesto:

- Suelos nucio-podsólicos; son suelos con características de podsólico en algunos centímetros, apareciendo en la parte superior de un suelo lavado (en los horizontes  $A_1$  y  $A_2$ ).

Grupo C : Suelos ocre podsólicos :

Suelos desprovistos de horizonte  $A_2$ .

Subgrupos:

Típico: horizonte  $A_1$ , tan rico en hierro libre como el (B).

Lavado: horizonte B enriquecido en Fe libre en comparación al A.

Grupo A : Podsol con gley

Subgrupos:

Típico: con horizonte  $A_0$  y  $A_1$  rico en humus bruto y humus grosero; horizonte  $A_2$  netamente ceniciento y bastante espeso.

Con Alios:

Grupo B : Pseudopodsol de capa :

Suelos con  $A_2$  muy espeso, muy blanco y poco ceniciento; acumulación hámica y ferruginosa debido sobre todo a las concentracio-

nes a causa de la mape freática en una zona bastante reducida de elementos anastrados de una zona más amplia.

Grupo C : Suelos podsólicos con gley :

Suelos con horizonte  $A_2$  muy blanquecino con ligera tendencia cenicienta.

Subgrupos :

Con manchas, veteado y concreciones

Con Alios

Con Fragipan

CLASE VIII : SUELOS CON SESQUIOXIDOS Y CON MATERIA ORGANICA RAPI-

DAMENTE MINERALIZADA :

Suelos caracterizados por la rápida descomposición de su materia orgánica (humus bien evolucionado) y con individualización de los sesquióxidos metálicos (cantidad relativamente elevada en sesquióxidos de Fe y Al).

SUBCLASE 1 : SUELOS ROJOS Y PARDO MEDITERRANEOS :

Suelos ricos en sesquióxidos de hierro, que originan un color generalmente de rojo a pardo rojizo; el complejo arcilloso se compone en proporción importante de minerales distintos a la caolinita. Formados principalmente sobre material calcáreo o fuertemente calizo, por ello presentan una saturación elevada en calcio, pero sin llegar a ser calizo o ligeramente calizo. Estructura formada por elementos bien individualizados, nuciformes a poliédricos bastante finos.

Grupo A : Suolos rojos mediterráneos no lavados :

Textura practicamente homogénea en el conjunto del perfil (relación de lavado entre 1/1,4 y 1). Color general rojo en el conjunto del perfil.

Subgrupos :

Típico

Encostrado : con horizonte más o menos endurecido de acumulación generalizada de caliza en profundidad.

Hidromórfico : con motas y concreciones de hidromorfismo en profundidad.

Estépico : con características isohúmicas, la materia orgánica se encuentra repartida en el perfil.

Vértico : con colores muy oscuros y estructura alargada en profundidad.

Grupo B : Suolos rojos mediterráneos lavados :

Suelos que presentan un horizonte B textural, donde el contenido de arcilla es superior a 1,4 con respecto al A.

Subgrupos :

Típico

Encostrado

Hidromórfico

Con lavado oblicuo : cuyo horizonte B, se constituye en un punto topográficamente por debajo del horizonte A y no de la vertical.

Vértico

Grupo C : Suelos pardos mediterráneos :

Estos suelos presentan las características generales de la subclase, salvo que éstas presentan colores de pardo a pardo rojizo en lugar de rojo.

Subgrupos propuestos:

- Típico
- Hidromórfico con pseudogley
- Vértico

SUBCLASE 2 : SUELOS FERRUGINOSOS TROPICALES:

Estos suelos son muy ricos en sesquióxidos de hierro individualizados y repartidos en el conjunto del perfil o muy a menudo acumulados dentro de los horizontes inferiores, caracterizados por el color rojo, rojizo u ocre, y también por la riqueza en concreciones repartidas en un espesor bastante considerable.

Los minerales arcillosos se hallan formados por Illitas además de caolinitas, siendo estas últimas las más frecuentes. Sin presencia de alúmina libre. El complejo absorbente es ligeramente desaturado (S/T superior al 40 %).

La estructura es frecuentemente degradada en superficie y la compactibilidad es ahí elevada.

Grupo A : Suelos ferruginosos tropicales no lavados :

Suelos donde el contenido en coloides minerales es aproximadamente constante en todo el perfil.

Subgrupos:

Suelos con contenido constante en sesquióxido de hierro

Suelos un poco lavados en compuestos de hierro

Suelos ferruginosos tropicales amarillos: con ferruginización poco acentuada; generalmente poco espesos.

Grupo B : Suelos ferruginosos tropicales lavados :

Suelos que presentan uno o varios horizontes B enriquecidos a la vez en arcilla y en sesquióxidos de hierro.

Subgrupos:

Sin concreciones

Con concreciones en el conjunto del horizonte B o al menos en su parte media.

Hidromórfico, con moteados y concreciones de pseudogley encima del B y a menudo también en la base de A.

Endurecido, en forma de caparazones o corazón, por la individualización esencial de los elementos en el lugar.

SUBCLASE 3 : SUELOS FERRALITICOS :

Suelos generalmente muy profundos, caracterizados por una evolución muy rápida de la materia orgánica, una descomposición muy intensa de los minerales, aún del cuarzo, y un fuerte contenido en sesquióxidos de hierro acompañado de sesquióxidos de aluminio. Fuera de estos compuestos, los minerales arcillosos no se descomponen más que la caolinita.

El valor o la relación de  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  es superior o casi igual a 2. El complejo absorbente es muy saturado, la capacidad de cambio es baja, el contenido en limo es ligero.

La estructura en elementos netamente individualizados, en general bastante fina de forma poliédrica o nuciforme, algunas veces granular (hormosa) confiere a los horizontes (B) o B una gran

friabilidad, cuando no están "indures" en caparazón o corazas.

Grupo A : Suelos ligeramente ferralíticos :

Contenido en alúmina libre muy débil (principalmente bajo formas amorfas); relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  del orden de (superior a 1,7). Suelos ricos en pseudoarenas.

Subgrupos:

Típico

Ferrisóllico: suelos que contienen en la fracción fina una proporción importante (mayor del 10 %) de illita o de minerales alterables con cõte de Caolinita y de sesquióxidos. Estructura muy acusada.

Hidromórfico: con moteados y concreciones de pseudogley en profundidad.

Suelos ferralíticos pardos amarillos: en general poco profundo, ricos en materia orgánica (4-6 %) y que contienen cierta proporción de minerales alterables.

Grupo B : Suelos ferralíticos típicos :

Suelos ricos en sesquióxidos de hierro y aluminio; muy pobres en minerales alterables, relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  inferior a 2 (generalmente inferior a 1,7).

Subgrupos:

Suelos ferralíticos rojos

Suelos ferralíticos amarillos

Suelos ferralíticos con horizontes amarillos encima de horizontes rojos

Suelos ferralíticos "indure" endurecidos, en caparazas o corazas donde los elementos son esencialmente individualizados in situ.

Grupo C : Suelos ferralíticos rojos :

Suelos muy desaturados que presentan siempre una reacción más ácida en superficie que en profundidad.

Subgrupos:

Típico, suelos lavados solamente en bases y no en arcilla

Lavado en arcillas, con horizonte B característico.

Podsolíticos, con humus grosero y horizonte  $A_2$  muy blanquecino, más o menos ceniciento.

Lavado endurecido, con caparazones o corazas en profundidad.

Hidromórfico lavado, con manchas y concreciones de pseudogley en la base del horizonte  $A_2$  ó encima del horizonte B.

Grupo D : Suelos ferralíticos humíferos :

Suelos muy ricos en humus con un horizonte  $A_2$  bastante esoso (más de 7 a 8 % de materia orgánica bien evolucionada a menos de 20 cm. de superficie. El horizonte humífero con una estructura granular o nuciforme muy acusada.

Subgrupos:

Suelos ferralíticos pardos muy ácidos, muy lavados en bases; relación muy baja de  $SiO_2/Al_2O_3$ ; estructura muy a menudo de pequeños gránulos muy redondeados.

Suelos ferralíticos pardos, mayormente desaturados (grado de saturación 50 %).

Suelos ferralíticos pardos rojizos, netamente desaturados y muy evolucionados.

Subgrupo propuesto:

- Suelos ferralíticos humíferos de altitud, con horizonte oscuro en profundidad.

CLASE IX : SUELOS "HALOMORFOS "

Suelos cuya evolución está dominada por:

- 1) Ya sea por la presencia de sales solubles, donde el contenido elevado de éstos provoca una importante modificación en la vegetación; la conductividad de un extracto de pasta saturada es por lo menos inferior a 4 mm./cm. a 25° C; se ha propuesto subir este límite a 7 mm; conductividades comprendidas entre 4 y 7 mm.; los suelos estarían clasificados en subgrupos (caracterizados por una débil salinidad o alcalinidad) de grupos de otras clases.
- 2) Ya sea por la riqueza del complejo absorbente de uno de sus horizontes en iones ( $\text{Na}^{++}$   $\text{K}^{++}$  Cationes  $\text{Mg}^{++}$ ) capaces de provocar la dispersión de las arcillas y la aparición de una estructura masiva, difusa y de una compacidad muy elevada  $\frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{T}}$ .

SUBCLASE 1 : SUELOS HALOMORFOS CON ESTRUCTURA NO DEGRADADA

Grupo : Suelos salinos

Subgrupos :

Suelos salinos con encostramiento, salinidad superficial.

Suelos salinos con horizonte superficial friable (débil)

Suelos salinos acidificados (oxidación de los sulfuros).

SUBCLASE 2 : SUELOS HALOMORFOS CON ESTRUCTURA DEGRADADA :

La degradación es provocada por los iones alcalinos absorvidos.

Grupo A : Suelos con álcalis no lavados:

El contenido de arcilla en los diferentes horizontes es constante en todo el perfil.

Subgrupos:

Suelos muy salinos con álcalis, con estructura pulverulenta en granos finos en el horizonte superficial durante la estación seca.

Suelos poco o medianamente salinos con álcalis, estructura difusa y masiva en superficie.

Subgrupo propuesto:

- Suelos muy salinos con álcali y con hidromorfismo de capa.

Grupo B : Suelos con álcali lavados :

Acumulación de arcilla sódica en profundidad por emigración.

Subgrupos:

Solonetz con estructura columnar en el horizonte B.

Solonetz con estructura prismática o masiva en el B.

Grupo propuesto : Suelos con álcali y con arcilla dogradada, bajo la acción de los iones alcalinos absorvidos.

Subgrupos propuestos:

- Solonetz - solodizado, horizonte A<sub>2</sub> muy blanquecino poco espeso (1 a 2 cm. genoralmento).

- Solonetz - solodizado, con acción de capa
- Solods.

CLASE X : SUELOS HIDROMORFICOS :

Suelos cuyas características se deben a una evolución dominada por el exceso de agua a causa de un encharcamiento temporal en la superficie, o bien de profundidad, o sea, el conjunto de los dos a causa de la presencia o de la elevación de una capa freática.

SUBCLASE 1 : SUELOS HIDROMORFICOS ORGANICOS :

Materia orgánica del tipo poco fragmentada y débilmente evolucionada, con estructura esponjosa constituyendo el principal elemento del suelo; más del 30 % de materia orgánica total si el resto del suelo es de textura arcillosa; más del 20 % si es de textura arenosa; todo esto en la parte esencial del perfil o al menos encima de 20 cm. Hidromorfismo total y permanente.

Grupo : Suelos turbosos

Subgrupos :

Suelos turbosos oligotrópicos, donde el pH del horizonte turboso es inferior a 5,5 (medido en el terreno).

Suelos turbosos mesotrópicos, donde el pH es comprendido entre 5,5 y 7.

Suelos turbosos eutrópicos, igual que el anterior, pero el pH es igual o superior a 7.

SUBCLASE 2 : SUELOS HIDROMORFOS MEDIANAMENTE ORGANICOS :

Suelos con materia orgánica evolucionada del tipo anmoor superior o del orden de 10 % (materia orgánica total) al menos encima de 20 cm.; hidromorfismo total pero temporal.

Grupo : Suelos húmicos con gley, (algunas veces denominados suelos semi-turbosos).

Subgrupos:

Suelos húmicos con gley, salinos, ya sea con pedoclima cálido en las regiones litorales tropicales (suelos de foto ), o sea, con pedoclima frío o fresco (suelos de polders).

Suelos húmicos con gley con anmoor ácido

Suelos húmicos con gley con anmoor cálcico

SUBCLASE 3 : SUELOS HIDROMORFICOS MINERALES O POCO HUMIFEROS :

Suelos con materia orgánica total, inferior o alrededor del 10 %, al menos encima de 20 cm., y, en general inferior a 4 o 5 % aproximadamente.

El hidromorfismo se expresa por características del color (manchas de compuestos reducidos o oxidados) o de redistribución de elementos solubles: óxidos de Fe y Mn (en medio reducido) caliza, yeso, etc. generalmente en los primeros 100 cm. o de intensos en profundidad (entre 1 y 2 m.)

Grupo A : Suelos hidromórficos poco humíferos con gley :

Horizonte de gley dominado por los procesos de reducción.

Subgrupos:

Suelos con gley de superficie o de conjunto, presentando, desde la superficie, o debajo del horizonte humífero, un horizonte muy reducido

gris-blanqueado; rastros húmicos frecuentes en la base del horizonte humífero.

Suelos con gley de profundidad

Suelos con gley salinos, los procesos de halomorfismo no se presentan sino en los horizontes profundos, los horizontes superficiales pueden ser débilmente salinos o alcalinos.

Suelos con gley lavados, presentan en profundidad un horizonte de acumulación de arcilla (el contenido de arcilla del B es menor o igual a 1,4 veces la del horizonte y la diferencia del contenido de arcilla en  $A_2$  y B es menor o igual de 4 a 5 %), al mismo tiempo con características de hidromorfismo en el conjunto de  $A_2$  y algunas veces en A.

Grupo B : Suelos hidromórficos poco humíferos con pseudogley :

Los horizontes hidromórficos de estos perfiles son caracterizados esencialmente por los procesos de pseudogley (seoxidación dominante después de la reducción).

Subgrupos:

Suelos con manchas y concreciones, (de óxidos de Fe y Mn) de color rojizo, negro, etc. desde la superficie, o al menos desde la base del horizonte humífero.

Suelos con caparazas o corazas

Grupo C : Suelos hidromórficos poco humíferos con redistribución de caliza de yeso

Subgrupos:

Suelos con nódulos calizos o yesosos

Suelos con encostramientos o costras calizas o yesosas

SUELOS MINERALES BRUTOS

CLASE I.

Constituyen la 1ª clase (I) de la sistemática francesa. Son del tipo (A)C, (A)R o incluso R sólo.

Tienen un contenido muy bajo en materia orgánica ( $< 1,5 \%$ ) en los primeros centímetros de perfil. En los suelos de aporte pueden existir perfiles enterados. El material subyacente C se encuentra normalmente físicamente alterado, por lo que no se da movilización en el horizonte A.

Según el clima, podemos distinguir varias subclases:

- a) Subclase de los "no climáticos". Sin diferenciación del perfil. Su origen se debe a acciones puramente mecánicas de erosión, de aporte o antrópicas.
- b) De orígenes "climáticos" {  
   de desiertos fríos.  
   CRISOLES BRUTOS  
   de desiertos cálidos  
   XERICOS

Los CRISOLES, pueden ser "inorganizados" u "organizados".

En los XERICOS, la evolución se detiene por la sequedad del clima. Las subclases. Se determinan por la presencia de piedras o algún tipo de acumulación.

Los grupos son:

- Litosuelos de desiertos cálidos
- Suelos brutos xéricos inorganizados
- Suelos brutos organizados por ablación
- Suelos brutos organizados de aporte
- Suelos brutos inorganizados de aporte

En la sistemática de Kubierna, se distinguen tres clases: A, B y C : subacuáticos, semiterrestres y terrestres.

Suelo bruto	{	AA : Protopedon (tipo)	{	RAMBLA : S.M. bruto "no climático"
		BA : Tipos		(arenoso)
				RUTMARK: Zonas árticas o alpinas
CA : Tipos	{	RAMARK	{	YERMA
		SYROSEM		SYROSEM

## CLASE II.

### Suelos poco evolucionados ó diferenciados.

Tienen ya un perfil del tipo AC. Su contenido en M.O. es pequeño (1,5 %), a excepción de los Rankers húmíferos. Una parte de la M.O. está bien humificada y otra mineralizada.

### Subclases.

- a) Capa helada permanente { Fuerte agregación de hielo:  
Grupos { ordenados.  
{ Sin agregación de hielo  
{ Pardos árticos
- b) Húmíferos (...de interés agrícola { Rankers  
ó forestal) { Litocálcicos  
{ Alofanos
- c) Xéricos: pequeña diferenciación del perfil, por la sequedad del clima:

Grupos { Sub-desérticos (relacionados con los SERO  
{ ZEM : Salinos, Eolizados.  
{ XERORANKER (introducidos por el suizo  
{ Frank en 1.956)

d) No climáticos:

grupos

( De erosión  
De aporte aluvial  
De aporte coluvial  
Edáfico  
Volcánico suelto  
Antropico )

VERTISOLES

CLASE III.

Los Vertisoles incluyen las arcillas que se hinchan y que fueron consideradas bajo distintos nombres. Entre ellos están los Grumosoles, al menos una parte de los Regur y Tirz, los Black Cotton, las arcillas negras tropicales (Tropical Black Clayz), los suelos grises y pardos de textura pesada, y los Smontza. Los Vertisoles también incluyen algunos de los que se llamaban Aluviales, particularmente los que poseen grandes cantidades de arcillas y secos. Poseen perfil A (B) C, A (B)g C ó A (B) Cg.

Las características comunes de los suelos de este orden son: alto contenido de arcilla de retículo expandible (más de un 35 % y usualmente más del 40 %); más de 30 miliequivalente de capacidad de intercambio en todos los horizontes por debajo de los 5 cm. superficiales; grietas en cierta estación del año, a menos que se los riegue, de 1 a 25 cm. de ancho que se extienden hasta la mitad de cualquier solum que se encuentre; y con gilgai, o con slickensols bastante cercanos como para cortarse en ciertos lugares, o en alguna profundidad entre los 20 y 100 cm.; con agregados estructurales en cuña o en paralelepípedos que tengan su eje mayor inclinado entre 10 y 60 ° de la horizontal. Los Vertisoles pueden tener un epipecton mólico a umbrico. Si alguno de éstos está presente, el límite no es diagnosticado, puesto que puede ser el resultado de la acción

de la escarcha.

Puede haber también un horizonte que reúna las condiciones de un horizonte argítico, siempre que su límite superior se encuentre dentro de los 5 cm. de la superficie. Un horizonte álbrico o menos 5 cm. de espesor, puede encontrarse por encima del horizonte argítico. Son comunes los horizontes cálcicos y los horizontes Ca.

Los Vertisoles normalmente están desarrollados sobre materiales originarios montmorilloníticos derivados de caliza o de rocas ígneas básicas, pero también pueden encontrarse en áreas graníticas. Los climas pueden ser subhúmedos hasta ácidos, pero normalmente existen fuentes de agua estacional adecuados para saturar el suelo, con el consecuente hinchamiento y cierre de las grietas. El agua puede provenir de la lluvia o de inundaciones. En casos extremos, parecería que algunos Vertisoles están completamente húmedos sólo una vez cada tantos años. Sin embargo, todos los Vertisoles que no se riegan tienen, en cierta estación, un contenido de humedad suficientemente bajo como para que se produzcan grietas anchas. Los temp pueden ir desde las trópicas hasta las templadas. Son normales las estaciones secas y cálidas y en la mayor parte de los años, los temp del aire en cierto momento exceden los 38° C.

## CLASE IV.

## ANDOSOLS.

Existencia de productos amorfos, ricos en alófanos, en relación con los suelos volcánicos sobre los que se forman. Alto contenido en materia orgánica, las características morfológicas de los perfiles son:

- A. (15-60 cm. de espesor). Color oscuro. Consistencia muy friable "linkage" : materia orgánica-materia mineral.
- B. (30-100 cm.). Textura limosa, poco agregada (tipo vacuolar). Cuando está seco, es difícilmente humedecible. Húmedo y algo grasiento.

Las propiedades físicas, composición mecánica, no están bien definidas. Densidad aparente  $< 0,8$ . Gran superficie, gran capacidad de retención, porosidad...

Las principales propiedades químicas se refieren al alto contenido en materia orgánica (3-30 %); pH ácido, unión de las alófanos con la materia orgánica. Alta capacidad de cambio de bases, la razón  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  se mantiene entre 1 y 2, variando en función de los productos secundarios.

Propiedades mineralógicas.— Suelos ricos en sustancias coloidales amorfas del tipo de las alófanos:

- I Grupo: minerales primarios, ortosilicatos poco estables, piroxenos y blendas de alteración lenta y feldespatos estables.

- II Grupo: Alófanas (pdtos. secundarios amorfos).
- III Grupo: Pdtos. secundarios cristalizados minerales arcillosos e hidróxidos de aluminio del tipo gibbsite.

SUBCLASES:

IV-1<sup>a</sup>. Andosoles de clima frío.

El contenido en materia orgánica es muy alto (alrededor de un 30 %). El grupo fundamental es el de los andosoles humíferos desaturados /A(B)C/. Como excepción : A.C. los subgrupos son auténticos andosoles con características de suelos de otras clases. Por ejemplo andosoles humíferos desaturados podsolizados.

IV-2<sup>a</sup>. Andosoles de clima tropical.

Materia orgánica  $\leq 10$  % /A(B)C/.

Grupos { Andosoles de clima tropical saturados  
(IV-2.1) pH 7  
{ Andosoles de clima tropical desaturados  
(IV-2.2) pH  $\leq 7$

En el área mediterránea, los andosoles se con funden con las tierras de buen contenido en bases.

SUELOS CALCIMORFICOS

CLASE V.

También llamados calcimorfos ó calcimaquísicos (desde 1.967).

Alta proporción en iones alcalinos-ferreos y en  $\text{CO}_3^{=}$ . Están desarrollados sobre calizas, pizarras-calizas, rocas basálticas ricas en bases, etc. Se diferencian en el subsuelo de otros suelos (vertisoles, iso-húmicos...) que tengan elevada proporción en bases.

Perfil Ar, AC, A(B)R, A(B)C. Normalmente no hay B (argílico), y si presencia de material originario R.

A causa de la riqueza en bases, hay unión íntima materia orgánica-materia mineral (formación de complejos) en el horizonte A, la materia orgánica está bien humificada (ácidos húmicos grises), la razón  $\frac{\text{C}}{\text{N}}$  es baja (8-12).

Las bases se laban en el perfil, pero se asegura una buena saturación por el arrastre ascendente de las mismas.

Buena actividad biológica, síntesis de minerales arcillosos que incluso pueden heredarse del material subyacente.

Subclases.

V-1ª. Suelos carbonatados.

Cantidades superiores a trazas de  $\text{CO}_3^{=}$  en el perfil ( $\text{Ca}^{++}$   $\text{Mg}^{++}$ )  $\text{pH} > 7$ .

Estructura granular o poliédrica :  $\phi < 2 \text{ mm.}$

- Grupos :
- a) Rendsinas: AC, AR. calizos (10-20 % materia orgánica. Fuerte efervescencia)
  - b) Pardo-calizos : A(B)C (caracteres vérticos, con costra, con pseudogley, típicos).
  - c) Criptorendsinas (rendsinas ocultas) A, C, A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub>, C, pH > 7.

V-2a. Suelos saturados.

Con trazas de CO<sub>3</sub>Ca en tierra fina (pH > 6,8, pH < 8). No dan fuerte efervescencias con ClH diluido.

- Grupos :
- a) Pardos cálcicos. Perfil A(B)C, materia orgánica < 20 %, pH > 7. Si el perfil es AC existe el subgrupo de la rendsina emparecida.
  - b) Húmico-carbonatados: (A)C, AC, A(B)C, AO-20 % de materia orgánica, pH neutro. Se forman sobre material calizo puro.
  - c) Cálcicos ("melanizés"). Estructura poliédrica. Muestran un horizonte A<sub>3</sub> de transición que tiene un color claro.

V-3 . Suelos yesosos.

Con yeso en el horizonte superior. Poco espesos. AC ó AB(C).

- Grupos :
- a) suelos yesosos rendsiniformes AC
  - b) pardos yesosos AB(C). Suelos de "alvero"

## CLASE VI.

Suelos isohúmicos.

Llamados "suelos de estepa" en la clasificación de Kubiena. Tienen alto ó medio contenido en materia orgánica, íntimamente incorporada al suelo (la proporción disminuye al profundizar en el perfil).

Los procesos de Humificación y Mineralización son evidentes, y hay formación de humus biológicamente activos. La mayor parte de los horizontes están influenciados por la materia orgánica.

Perfiles: AC (algunos), A(B)C, ABC.

El complejo de cambio está saturado en bases, igual que las Rendzinas y Vertisoles.

La vegetación fundamental es la "gramínea xerofila" de rápido crecimiento. Los principales géneros: STIPA, KAELERIA, FESTUCA.

La alteración es mínima, se limita a la creación de un horizonte B, más estructural que cámbico.

Subclases.

VI-1. "Suelos isohúmicos con complejo de cambio  $\begin{pmatrix} S \\ T \end{pmatrix}$  parcialmente desaturado y clima relativamente húmedo". La desaturación afecta sobre todo el horizonte A<sub>1</sub>. Desde aquí, la estructura es poliédrica y fina.

Grupo fundamental : BRUNIZEN (transición de la estepa al bosque...).

Subgrupos: a) con H. B textural, b) con pseudogley,

c) con costra caliza y d) lavado, incluso con álcalis.

VI-2. "Suelos isohúmicos con complejo saturado, principalmente en calcio, que evoluciona en un clima muy frío durante una parte del año". (S. de ESTERA). Alta proporción de materia orgánica bien humificada.

Grupos: 1) Chernozoms. Perfil :A<sub>0</sub> A<sub>1</sub> Ca C. El material de partida es loess. Acumulación de CO<sub>3</sub>Ca. Horizonte A, nada o poco calizo con estructura grumosa fina y profundo (pH = 7-7,5). A<sub>0</sub> = acumulación de restos vegetales. Subgrupos: muy humificados y degradados (ión B tostural).

2) Castaños Materia orgánica 3-6 %. Grumos en el horizonte superior y es prismática en profundidad. El perfil está descarbonatado.

3) Pardos isohúmicos Materia orgánica 4-3 %. Es grumosa en la superficie y poliédrica en el subsuelo. Parcialmente descarbonatada. Se distinguen, igual que en el grupo de los castaños, una serie de subgrupos:

Grupos	{	Típico
		Con pseudogley
		Con caracteres vórticos
		Con costra caliza
		Ligeramente salinos

VI-3. "Suelos isohúmicos con complejo de cambio saturado ( $\text{Ca}^{++}$ ) y clima de suelo fresco durante las estaciones de lluvia."

La proporción en materia orgánica es ligeramente inferior a la de otras subclases. La alteración es más intensa en profundidad y pueden aparecer horizontes casi argílicos.

Grupo. 1) Suelos Marrones. (Guerasimov 1.956). Poco o nada calizos en el horizonte superior. Cierta liberación en sesquióxidos (empiezo de rubificación). Algunos subgrupos: Típico con H.B. textural.

2) Sierozems, ligeramente descarbonatados en la superficie. Bajo contenido en materia orgánica. Estructura grumosa, a veces laminar en superficie y prismática en profundidad.

VI-4. "Suelos isohúmicos con complejo saturado bajo clima con temperatura elevada en el período de lluvia. Poca materia orgánica, pero muy concentrada (A.H. grises) la alteración mineral es más intensa: hierro libre (color rojo).

El grupo principal es el de los suelos pardos sub-áridos.

	{	Típico
	{	Rojo sub-árido
Subgrupos	{	Con pseudogley
	{	Vórtico
	{	Salino o alcalino

SUELOS EMPARDECIDOS

## CLASE VII.

También llamados "Suelos con MULL".

Perfil : A(B)C ó ABC, según la naturaleza cambica (sin lavado) ó argílica (lavado) del horizonte B,

El contenido en materia orgánica no es muy elevado (buena mineralización). Hay presencia de Humus, por lo general del tipo Mull.

El espesor de A<sub>1</sub> no es muy grande y a veces es difícil distinguir el horizonte intermedio de estructura poliédrica.

La alteración no es muy intensa.

Subclases.

VII 1) De climas templados húmedos. Hay dos grandes grupos : 1.- "Suelos PARDOS". Perfil A(B)C. A, tiene estructura grumosa y B poliédrica, pH > 5,5 en el horizonte B. Mínima emigración de arcillas.

Subgrupos	{	Típicos	{	Entropos
			{	Mesotropos
		{	Oligotrópicos: pH (B) < 5,5	
		{	Andicos	
		{	Pardo ligeramente lavado. Tránsito al segundo grupo B estructural.	

2.- "Suelos LAVADOS". Perfil ABC. Presencia de un horizonte B, similar al definido en la clasificación americana como "argílico": acumulación de arcilla sin

alterar y de Hierro libre. En estos suelos, la razón arcilla H.B. / arcilla H.A. debe estar en unos límites, determinados por el "índice de lavado",  $\% A / \% B$  ó su recíproco  $1 / i.l.$

Hay lavado, si el valor del índice es 1,4 o mayor, la cantidad de arcilla en B es 4-5 % superior a A.

Están bien definidas las condiciones de génesis. Se encuentran en climas templados con alta pluviosidad después del estío. La roca madre es limosa. La vegetación es la típica de clima atlántico, p.ej. el robledal. El Humus, es Mull forestal. El complejo absorbente no alcanza la desaturación que en los podsoles.

Subgrupos	{	Suelos pardos lavados. Tienen un horizonte A <sub>2</sub> , poco diferenciado. El índice de lavado del H.B. es de 1,4-2
	{	Suelos lavados ácidos. pH (B) < 5,5 índice de lavado > 2.
	{	Suelos lavados ligeramente podsolizados. El índice de lavado > 3.
	{	Suelos lavados hidromorfos

VII-2) Suelos empardecidos de climas templados continentales.

Grupos	{	Dernopodsólicos (Rusia)	:	más humíferos e hidromorfos que los suelos de clima atlántico.
	{	Gris forestal		

VII-3) De climas boreales (alpinos). "Grey, Wooded Soils". Sustituyen sobre calizas a los podsoles. pH = 7. Alta saturación, A<sub>0</sub> Humus bruto, poco espeso y poco ácido. Saturado en bases.

A<sub>1</sub> casi no existe. A<sub>2</sub> decolorado y blanco, parecido al podsol pero menos arcilloso. B arcílico. Sin materia orgánica. C caliza.

VII-4) De países tropicales.

Grupo: Pardos entrogos tropicales A<sub>1</sub>(B), C.

El H. B es rojizo porque la alteración química es más acentuada que en los suelos pardos de clima templado.

SUELOS PODSOLIZADOS

## CLASE VIII.

Los Podsoles son suelos de perfil A, B y C. La evolución es condicionada por la presencia de humus bruto tipo Mor. Se incluyen todos los horizontes minerales que poseen un horizonte spódico. La podsolización es esencialmente un proceso de alteración química intensa sobre los elementos silicatados, se produce por la acción del humus bruto y la liberación de sesquióxidos.

Condiciones de formación

- A. Clima.-- Se desarrolla dentro de un clima frío y húmedo que hace que los procesos de descomposición sean lentos dentro de la acidificación de la materia orgánica. La intensa pluviosidad favorece un lavado intenso que favorece así el proceso de podsolización.
- B. Vegetación.-- La podsolización se realiza bajo una vegetación forestal de tipo de coníferas o resinosas produciendo una relación C/N elevada y pobre en elementos orgánicos indisolubles.
- C. Roca madre.-- La roca madre es del tipo pobre en alcali no terrosos y muy permeable.

Proceso de formación.- La podsolización se produce bajo la acción de bosques de coníferas y ericáceas o igualmente se observa en ciertas partes montañosas. La podsolización es un resultado de la acidificación del humus (Mhor) que producen gran cantidad de compuestos orgánicos solubles y rendolubles que emigran en profundidad, esta emigración, se debe a los ácidos fúlvicos libres, los ácidos húmicos más polimerizados se acumulan en el B<sub>1</sub>. Estos compuestos solubles se dispersan y seguramente barren la totalidad del horizonte libre en A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> más aún provoca una degradación química más o menos compleja de las partículas minerales del complejo absorbentes liberando la alúmina que vuelve a encontrarse en B y la sílice que emigra (TAMM), los óxidos de hierro y aluminio son complejos pero los compuestos orgánicos solubles resisten a la descomposición microbiana y provocan su arrastre.

SUELOS COM SESQUIOXIDOS DE HIERRO Y MANGANESO

CLASE IX.

Perfil : ABC ó A(B)C.

Se da una manifiesta individualización de sesquióxidos, como lo muestra la acentuación del color, la alteración química de los minerales, es menor que en los suelos ferralíticos, la razón :  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  es mayor de 2. No existe apenas Al libre (no se  $\text{Al}_2\text{O}_3$  forma pues, gibsita). La materia orgánica se mineraliza rápidamente y a diferencia con los ferralíticos la saturación en bases es superior al 50 %.

Subclases.

IX - 1) "Suelos ferruginosos tropicales". Intensa individualización de sesquióxidos. La saturación en bases es  $\leq 65$  %.

Perfil : A(B)C, ABC, ó AEBC.

Según el gradiente de lavado. El color del horizonte B es rojo o amarillo, la estructura de A y B es compacta, excepto si domina el contenido en arena fina los grupos, se distinguen por el lavado: "Empobrecidos". Entre A y B, igual proporción de arcillas. También la hay entre B y C. "Tropicales pero lavados" (índice de lavado  $\leq 1,4$ ). El contenido absoluto de arcillas  $\leq 5$  %. Subgrupos : modal, con pseudogley, con caracteres vérticos, con complejo casi saturado (7-8 % arcilla). "lavados". Tienen un horizonte B con acumu

lación de arcillas y óxidos de hierro. La variación en el contenido de arcilla es  $\geq 5\%$ ; y de lavado  $\geq 1,4$ . La estructura de A es compacta y tiene más de 15 cm. de espesor. Subgrupos : con concreciones, con costra, hidromorfo, removido.

IX - 2) "Suelos Ferrialíticos". Los óxidos de hierro se distribuyen de manera similar a la arcilla, acompañándola. Tienen un valor vivo en B (10 R, 2,5 YR, 5 YR..) Hay un horizonte Cca, A y B no tienen  $\text{CO}_3\text{Ca}$  en la fracción  $< 2 \text{ nm } \phi$ . El complejo arcillosos lo forman minerales del tipo ilita y concreciones de Montmorillonita S/T (complejo de cambio)  $\geq 65\%$ .

SUELOS FERRALITICOS

## CLASE X.

Si da una completa alteración de los minerales primarios, e incluso a veces de los minerales heredados. Abundancia de Cuarzo, Hay eliminación de minerales con reserva en bases, y presencia de productos secundarios de síntesis: caolinita, gipsita, hidróxidos y óxidos de Fe, Al y Mn, hematites, pátos. amorfos.

Perfil : ABC.    A - Tiene materia orgánica bien evolucionada.  
                   B - Espeso y con minerales secundarios  
                   C - Variable en espesor y caracterizado por su intensa alteración y su fragilidad a la presión de los dedos.

Las propiedades principales son:

- Baja capacidad de cambio de bases, y por ende saturación baja de bases : pH ácido.
- Clima de alta pluviosidad y alta temperatura, lo que justifica la gran alteración.

Subclases:    X-1) Suelos ferruginoso fuertemente saturado. Saturación baja en bases: pH bajo (5,5).  
                   X-2) Suelos ferruginosos medianamente saturados. Base de cambio = 1-3 meq/g.

de suelo. pH : 4,5-6. Sat: 20-40 %

X-3) Suelos ferruginosos debilmente saturados

Base de cambio : 2-8 meq/g. de suelo.

Saturación fuerte : pH = 6,5.

Dentro de cada clase hay grupos y subgrupos,  
perfectamente diferenciados.

SUELOS HIDROMORFICOS

## CLASE XI.

Estos suelos se caracterizan por un encharcamiento temporal o permanente por el agua: Esta agua, más o menos rica en materia orgánica provoca la reducción parcial de los óxidos de hierro. El hierro ferroso o bien sufre un lavado localizado (pseudogley) o bien se acumula en el perfil y da lugar a migraciones ascendentes (gley).

La génesis de estos suelos está, pues, esencialmente condicionada por la economía del agua: los pseudogley resultan de un encharcamiento temporal del perfil o de la formación de una capa de agua estancada que reposa sobre un nivel impermeable. Los gley típicos, al contrario, están ligados a la presencia de una capa freática permanente.

El origen de estos dos grupos de suelos es diferente: mientras el pseudogley resulta frecuentemente de la degradación de un suelo forestal el gley, es un interzonal caracterizado por sus asociaciones especiales.

## CARACTERES GENERALES DE LOS PSEUDOGLEY.

Condiciones de formación.— Estos suelos se observan en épocas lluviosas en una pendiente suave o nula sobre la roca madre compacta o poco permeable. Los sedimentos de textura fina son favorables a su formación.

La estructura frecuentemente inestable y la dispersión de la segmentación húnica provoca fácilmente su degradación.

Hay grupos de pseudogley según su origen:

- A.- Pseudogley con hidromorfia profunda. Perfil ABg ó AgB. Procede de un suelo forestal lavado.
- B.- Pseudogley con una hidromorfia de superficie. Perfil Ag.

#### SUELOS CON GLEY

Caracteres de formación.- Se caracterizan por una capa freática permanente. Se encuentran en algunas llanuras aluviales por ejemplo ranas muertas de río.

La formación de los gley está condicionada esencialmente por: suaves oscilaciones de la capa freática de 0-1 metro como máximo; y circulación nula o muy lenta de la capa.

Perfil típico.- El perfil se caracteriza por la presencia Fe<sup>++</sup> el gley típico se forma en el seno de la capa freática, es decir en profundidad. Comprende tres horizontes:

Horizonte hufifero en superficie.

Horizonte intermedio A<sub>2</sub>G caracterizado por la precipitación de óxido férrico bajo forma de manchas o pequeñas concreciones rojas bajo fondo gris.

Horizonte de gley G donde dominan los fenómenos de reducción en el nivel más bajo de la capa.

## CLASE XII

## SUELOS SALINOS

La génesis de los suelos salinos está condicionado por la presencia de sal: el ion  $\text{Na}^+$  ejerce una influencia determinante en la evolución, bien si se encuentra en estado de cloruro (suelos salinos blancos) o bien en el estado de ión absorbido en el complejo de cambio (suelos alcalinos).

Estos suelos están ligados a las siguientes condiciones del medio:

- 1.- Presencia de una capa salada, por ej. suelos que bordean el mar o próximos a estanques salados y en regiones calientes y secas.
- 2.- Presencia de sal de origen geológico en las rocas madres desprovistas de capa, a condición de que esta sal, si se disuelve por las lluvias no pueda ser arrastrado por un drenaje profundo. En este caso los suelos salinos están localizados en las regiones de climas estáticos, áridos y semi-áridos en los cuales la evaporación es superior a la percolación durante casi todo el año.

Existen cuatro tipos fundamentales de suelos salinos que pueden clasificarse por grado creciente de lavado y dispersión de los coloides. Los Solontichalez, los suelos con alcalis, los Solonetz y los Salmoths.

- a) Solontichalez . Suelos salinos blancos.- Estos suelos se caracterizan por afloroscencias salinas blancas

en la superficie y ofrecen horizontes poco diferenciados y una estructura poco grumosa. El suelo es rico en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  ( $\text{CO}_3\text{H}$ ) $_2\text{Ca}$  algunas veces  $\text{SO}_4\text{Ca}$  pero no hay  $\text{CO}_3\text{Na}_2$ . El pH varía de 7 a 8,5. El complejo absorbente está casi saturado de calcio.

b) Suelos con alcalis. Suelos salinos negros..- El perfil está poco modificado todavía, pero la estructura grumosa llega a ser inestable y tiende a destruirse, el suelo es más compacto y se observa la formación de grietas en la superficie, el pH puede llegar a 10, pueden algunas veces formarse en superficie afloramientos negros de humatos alcalinos.

c) Solonetz..- Son suelos con coloides dispersos y la arcilla se acumula en profundidad en un horizonte B muy compacto. Se trata en realidad de suelos alcalinos lavados. Perfil A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>. El pH es muy elevado y puede pasar de 9 en el horizonte B. El ión Na, es dominante en el complejo absorbente de este horizonte.

Al contrario en el horizonte A los cationes están parcialmente lavados y el pH es casi 7.

d) Soloths. Soloti..- Estos suelos, raros, resultan de la degradación de los anteriores por podsolización, la totalidad de la arcilla es arrastrada del horizonte A y no subsiste más que elementos gruesos y de  $\text{SiO}_2$ ; el pH puede bajar en la superficie a 5.

El perfil se caracteriza por la presencia en la superficie de un horizonte A<sub>0</sub> de humus ácido debajo en horizonte A<sub>2</sub> gris claro lavado y por fin un horizonte B muy compacto.

## CARTOGRAFIA DE SUELOS

### Definición e importancia.

La Cartografía o trazado de suelos, consiste en la ubicación geográfica de las distintas unidades de suelos, de modo que se puedan conocer gráficamente su distribución. Para su realización, es necesario localizar, identificar y dar forma gráfica a las distribuciones de los suelos, por medio de recorridos sistemáticos en el campo y con la ayuda de fotografías aéreas.

Puede decirse que la Cartografía de los suelos, conocidas sus propiedades fundamentales, su productividad potencial y su clasificación, es necesario evaluar la productividad de cada suelo, después, conocer la extensión y la distribución de cada uno de ellos. Esto se consigue gracias a la Cartografía de Suelos, que, puede proporcionar a través de los mapas de suelos confeccionados, el porcentaje de extensión de cada uno de ellos en la zona estudiada.

Cuando la cartografía de suelos se extiende con detalle a todo un país, los mapas obtenidos constituyen un inventario completo, de los recursos principalmente agrícolas con que puede contar un país.

Sin embargo, el objeto fundamental de la clasificación y cartografía de los suelos, es dar a conocer el origen y las propiedades de los suelos, así como también su distribución, dependiendo en definitiva de estos cono-

oimientos, la utilidad que se pueda obtener, establecimiento de relaciones entre la vegetación y el terreno con miras a aumentar la productividad, facilitar la conservación de las tierras y el abonado de las mismas.

Por todo ello la utilidad de los mapas de suelos, está en relación con la escala adoptada.

Así, en los países que se encuentran en las primeras etapas de su desarrollo, antes de emprender cualquier plan agrícola, es necesario conocer la naturaleza, aptitudes y distribución de sus tierras. Por tanto la primera operación a realizar, consiste en estudiar los suelos y confeccionar los mapas generales y de detalle en las zonas que lo merezcan, orientando sobre la diferente aptitud de los suelos una región, pudiéndose determinar "a priori" y con el mayor acierto posible, los tipos de vegetación y abonos adecuados que necesitan las zonas vírgenes.

En zonas donde se proyecta colonizar por primera vez o en las que se prevé una modificación del uso de las tierras, la cartografía de los suelos representados en mapas generales, es la base para ordenar el plan de trabajo a seguir.

Posteriormente, estudios cartográficos más detallados de las zonas aptas en general para cultivos darán los mapas de suelos más precisos sobre los que se pueda planificar la explotación más adecuada en cada caso, las zonas donde conviene situar los poblados, tipos y distribución de los cultivos, modificaciones a realizar en el terreno para evitar la erosión, áreas que admiten

cultivos de riego, conocimiento a priori de las necesidades de abonos, etc.

El establecimiento de nuevas zonas de riego debe ir precedido de un estudio cartográfico de los suelos de la zona y de la evolución de su aptitud para el riego, resolviendo de esta manera, los mapas el problema de conocer la productividad de los terrenos, que de otra manera, habría de conocerse a través de varios años de experiencias.

A su vez los datos y aptitudes de suelos que reflejen los mapas, pueden hacerse extensivos a otras zonas no cartografiadas pero que se comprueven que poseen suelos similares a los del mapa.

También en Riegos se utilizan los mapas de suelos junto con los mapas hipsométricos para el trabajo de los canales de riego.

En los casos en que la salinidad pueda existir en una zona que se vá a dedicar a riegos, o pueda producirse por la implantación de estos la salinificación de tierras que antes no lo eran a causa de la subida a la superficie por capilaridad de soluciones salinas del sub suelo; los mapas de suelos en donde se indican las áreas salinas pueden orientar para la distribución de los riegos y para las obras de saneamiento a realizar, (desagües, drenajes, etc.).

Los mapas de suelos son una gran ayuda para indicar las zonas en donde existen suelos cuya carencia en microelementos, pueden originar en los animales enfermedades carenciales, por alimentarse de pastos existentes

en estos suelos, pudiendose determinar las correcciones a realizar o la dedicación a otro tipo de explotación.

En silvicultura, los mapas se utilizan para decidir la conveniencia de repoblar los bosques naturales o no seguir la explotación a causa de las propiedades desventajosas del suelo.

En muchos países el impuesto fiscal sobre la propiedad lo establece el Gobierno, según los suelos que posee ella, para lo cual, los mapas de suelos son la base del conocimiento de la calidad y distribución de los mismos y de ésta manera en el establecimiento de un determinado impuesto.

Modificaciones edáficas.

Como en el mapa de suelos (especialmente en los mapas detallados) las características de los suelos vienen dadas por las propiedades de sus distintos perfiles, se conoce pues, la distribución de los distintos suelos y las diferencias que presenta cada una de las unidades cartográficas, puestas de manifiesto (estas diferencias) por el estudio y descripción de cada uno de los horizontes.

Así pues teniendo a la vista un mapa de suelos y su explicación, se puede trazar el plan para modificar alguno de los horizontes que dificulten la utilización del suelo. Por ejemplo se puede saber que extensión de terrenos de la zona necesita una labor de subsulado para romper capas duras del subsuelo (hard pan).

### Obras de Ingeniería.

En obras de construcciones, trazados de carreteras, de ferrocarriles, cimentación de edificios, poblados, pistas de aeródromos, ampliaciones urbanas, etc., son necesarios los estudios de suelos y en muchos casos los mapas para determinar las obras necesarias a realizar en esas construcciones.

### Aspecto Científico.

Un papel muy importante, quizás el de mayor relieve, fuera del campo de la aplicación práctica que cumplen los mapas de suelos es el de contribuir al conocimiento científico de los suelos, permitiendo profundizar en el conocimiento de la génesis y evolución de los mismos al estudiar sus perfiles y conociendo sus distribución.

Las informaciones, derivadas de cada estudio, se pueden ir incorporando al estudio general de regiones más amplias de países y continentes, pudiendo llegar a formar los criterios que definen la génesis completa y morfología de los suelos a nivel mundial, cuyos datos, pueden recogerse en un Atlas Mundial.

## MAPAS DE SUELOS

Un mapa de suelos es un mapa dibujado para mostrar la distribución de los tipos de suelos u otras unidades cartográficas de suelos en relación a otros aspectos importantes físicos y agrícolas de la superficie de la tierra. Las unidades pueden presentarse separadamente o como asociaciones de suelos denominadas y definidas en términos de unidades taxonómicas. Esta definición se ha intentado con el fin de excluir los mapas que presentan una sola de las características de los suelos tales como textura, pendiente, profundidad, color o combinaciones arbitrarias o dos o más de estas propiedades conjuntamente; mapas que muestran cualidades de los suelos tales como fertilidad o erosionabilidad; ó mapas que representan factores genéticos individuales de los suelos o combinaciones de ellos.

Los mapas de uno o varios aspectos del suelo pueden hacerse directamente a partir de las observaciones de campo o por selección de un verdadero o completo mapa de suelos preexistente. En un mapa de suelos, sin embargo, las combinaciones de todas las características observables concernientes a la naturaleza y comportamiento del suelo sin incluir en el concepto de unidades taxonómicas -unidades naturales con un conjunto diverso de las características del suelo.

Interpretaciones seleccionadas de las condiciones del suelo se pueden representar en los mapas. A partir de un mapa de suelos se pueden derivar una serie de

mapas más simples del mismo área, representando por la adaptación relativa de los suelos para cultivos de alfa-alfa, trigo u otras plantas, riesgos de erosión bajo determinadas clases de explotación, exigencias de drenaje para producciones óptimas, posibilidades de riego, y muchas otras aplicaciones. En la relación de las generalizaciones puede suprimirse muchas líneas de separación de suelos; por ej.: se suprimirán los límites entre dos suelos distintos que presenten un mismo grado de erosión o que se encuentren dentro de un intervalo de erosión, en un mapa que represente distintas clases de erosión.

Muchas de estas interpretaciones son efímeras. Pueden cambiar con los cambios de las prácticas agrícolas y con las relaciones de cultivos. Si un mapa de suelo base hecho con garantía tales mapas interpretativos pueden revivarse de tiempo en tiempo según sea necesario. Pero si solo se hace un mapa de "concepto" sin la base de un mapa de suelos, con un cambio importante que ocurra en la zona en relación con la agricultura, se necesitará realizar de nuevo todo el trabajo de campo para corregir estos cambios.

En el planteamiento de los estudios de suelos este caso apenas puede ser previsto. Ocasionalmente se hacen estudios de terrenos rurales simplificados para algún fin determinado, quizás a un costo inferior que el originado por un estudio básico de suelos, pero que pueden quedar anticuados en un corto espacio de tiempo. Estos mapas no pueden ser corregidos porque los datos

de tales son ignorados, porque los datos se mezclaron con las interpretaciones, porque los límites de las unidades cartográficas fueron trazados con poca precisión o por combinación de algunos de estos motivos muchas áreas rurales han sido cartografiadas en otras épocas por estos procedimientos simples a un costo total que se aproximaba o aún excedía al de un estudio completo y ciertamente no eran utilizables estos mapas para hacer predicciones o recomendaciones a los agricultores en relación con la adaptación de cultivos, variación de cosechas, y prácticas de manejo del suelo.

Un mapa de suelos por si mismo, sin un texto guía para su interpretación no puede ser útil a cualquiera, excepto para los científicos de suelos íntimamente impuestos en el conocimiento de las unidades que se especifiquen en la leyenda del mapa. Para toda otra persona es esencial el texto explicativo así como la leyenda del mapa. El estudio de suelos incluye siempre el mapa con su leyenda y la memoria correspondiente. En el texto de esta memoria se describen los rasgos naturales y "culturales" (labores y transformaciones agrícolas) del área examinada; las características, capacidades de uso, predicción de las cosechas de cultivos precoces, y predicción de los efectos de los sistemas prolongados de manejo del terreno para cada tipo de suelo, fases y otras unidades cartográficas; y los factores principales responsables de la formación del suelo.

El caracter y forma de los estudios de esos suelos varían con las condiciones del suelo, las posibi

lidades agronómicas y los problemas que pueden originar. También aún combinando en el transcurso de los años con los avances de la ciencia del suelo, y de las técnicas cartográficas. Aún más importante ha sido la creciente demanda de precisión en orden a hacer efectivo el uso de los grandes avances en la tecnología agrícola.

## UNIDADES REPRESENTADAS EN LOS MAPAS

### Identificación de unidades.

El primer paso en la realización de un estudio de suelos es el establecimiento de las unidades de clasificación que se representarán en los mapas. Su nomenclatura dentro del sistema general de clasificación proporciona su segura definición basada en las observaciones hechas en el campo que se suplementan con los datos de laboratorio. La unidad básica es el tipo de suelo natural, la unidad más baja en el sistema natural o genético de clasificación de suelos. Por sistema natural se entiende aquel en el que se consideran todos los rasgos importantes de los suelos como único conjunto de relación mutua de las características, incluyendo las más importantes para fines prácticos que sirven para los mapas de suelos, pero sin conceder excesiva importancia a ninguna de ellas.

Cada tipo de suelo es único. Se define como única combinación de las propiedades de superficie, igual pendiente y pedregosidad y de características internas la textura, estructura, color, composición química, espesor y otras propiedades de los horizontes que ocurre el per-

fil del suelo en toda su profundidad.

Estas unidades se caracterizan por las observaciones de campo y de laboratorio que consideran las propiedades químicas físicas, biológicas y mineralógicas de los horizontes, la naturaleza geológica del material original y las características geomorfológicas del paisaje.

Un tipo de suelo determinado incluye los suelos que son iguales en caracteres que tienen significación relacionada con la naturaleza y funcionamiento del suelo en el paisaje natural. Las diferencias en los aspectos que no son significativos en el paisaje natural pero que tiene relación con el uso de los suelos en cultivos, silvicultura o dehesas se conocen como divisiones dentro del tipo de suelos (o serie de suelos).

Comúnmente las diferencias en pendiente, pedregosidad o grado de erosión dentro del tipo de suelo que influyen en su uso se conocen como fases de suelos. Considerando que los tipos de suelos se definen, dentro de un estrecho margen, como un completo conjunto de características, incluyendo todas las de significado genético o aplicado, las distinciones de fases dentro de los tipos de suelos que se basan totalmente en consideraciones aplicadas. Así los tipos de suelos son definidos en todas partes de la misma manera; pero las fases son más estrechamente definida donde la agricultura es intensiva y menos estrechamente definida donde es extensiva. La guía para la descripción de fases es totalmente práctico.

En la definición de las unidades de clasificación que incluye la distinción de las fases se da importancia a los aspectos relativamente permanentes que afectan la respuesta al manejo y uso a efímeros y transitorios aspectos, con las diferencias en nutrientes en las plantas causadas por recientes fertilizaciones, enmiendas calizas, o prácticas similares de manejo de suelos. Se debe reconocer que la inmediata productividad de áreas del mismo tipo de suelo o fase, puede variar a causa de recientes manejos del terreno. Esto es especialmente cierto en los tipos de suelos que responden fácilmente a los fertilizantes. Sin embargo no deben existir diferencias importantes en productividad para cultivos climáticamente adaptados, en áreas de la misma clase de suelos, correctamente cartografiados, cuando se les ha dado el mismo tratamiento. En áreas agrícolas muy antiguas no obstante, las labores han cambiado los suelos fundamentalmente y su clasificación.

#### Propiedades observables y cualidades deducidas.

En la realización de un estudio de suelos es necesario distinguir entre las propiedades observables directamente en el terreno de las propiedades deducidas.

En la memoria del estudio estas propiedades están relacionadas. Entre las observadas directamente se encuentran: la pendiente, pedregosidad, profundidad y color, textura y estructura junto con otras señaladas características de cada horizonte del perfil del suelo. Otras observaciones indican la temperatura del suelo,

clases de plantas y enraizamiento habitual, efectos causados por la erosión etc. Muchas características son determinadas parcialmente por medio de instrumentos científicos. Entre estos se encuentran el contenido de arcilla, materia orgánica, nivel de nutrientes, cationes cambiables, y los varios minerales de la arcilla en los horizontes del suelo. El pH de cada horizonte también se determina. Si es necesario se determina también, el grado de agregación, permeabilidad, clases y cantidad de sales solubles, y los efectos al añadir agua. Conviene destacar que las unidades de suelos diferentes pueden ser agrupadas en virtud de una o dos propiedades comunes y hacer mapas de acuerdo con una de estas características agrupadas pero tales mapas no constituyen mapas básicos de suelos.

#### Clases de mapas de suelos.

Según el detalle con el que los límites entre las unidades cartográficas se hayan trazado en el campo se pueden considerar tres clases, en general, de mapas de suelos: 1) Detallados. 2) De reconocimiento. 3) Detallado-reconocimiento. De ellos, los estudios detallados de suelos son los más útiles y los más importantes. El tercer tipo de mapas no es una clase diferente sino una mezcla de los dos primeros.

Además de los mapas de suelos hechos originalmente en el campo, hay mapas de suelos de escala realmente pequeña que muestran asociaciones de unidades taxonómicas. Los mapas de suelos generalizados (o generales)

constituyen una ordenada abstracción de los estudios originales de campo ya sean detallados o de reconocimiento. Los mapas de suelos esquemáticos son una recopilación de las observaciones en el campo de manchas de suelos y de sus factores genéticos, así como de mapas geológicos, climáticos, topográficos, de vegetación y de formas del terreno. Los mapas de suelos generales de áreas representativas guían la confección de mapas esquemáticos y se incluyen usualmente en muchas partes de ellos.

#### Mapas de suelos detallados.

En un mapa detallado de suelos moderno, los tipos y las fases están cartografiadas en detalles para mostrar todos los límites entre las unidades cartográficas, incluyendo áreas de una unidad dentro de otra que son de interés en el uso potencial (generalmente para un plan de sistemas de manejo del terreno). Las unidades de clasificación están aquí definidas precisamente de tal modo que sean genéticamente homogéneas y que permitan hacer predicciones importantes; y los límites entre las unidades cartográficas son dibujados en mapas base o fotografías aéreas a partir de las observaciones hechas durante el trabajo de campo, en donde se han observado los aspectos naturales como arroyos y lagos y aspectos importantes como diques, carreteras, vías férreas y casa.

Mapa base.- Sobre el cual se delinean las líneas de suelos, este debe tener un detalle de acuerdo con la escala de trabajo de forma que pueda siempre identificarse con facilidad cualquier actuación en el terreno (según la

escala). Un trabajo cartográfico de suelos hecho con gran precisión perderá gran parte de su validez si no se refleja sobre el mapa base detallado porque al carecer de referencias, la persona que usa el mapa no podrá con facilidad situar una mancha o límites dentro de los suelos en un lugar determinado.

El detalle requerido de los límites de suelos depende en parte del uso futuro del mapa. Si pequeñas posiciones de una clase de suelos existen dentro de áreas de otras clases y por esta causa se afecta significativamente el manejo del terreno, estas pequeñas áreas de suelos deben separarse o indicarlas en el mapa por símbolos definidos aún si son de media Ha. o de menos extensión. El criterio seguido en la Cartografía de tales manchas está también influenciada por el relativo contraste entre las dos clases de suelos que se separan.

Aún en mapas de escalas amplias, algunas unidades taxonómicas se presentan frecuentemente tan completamente entrelazadas unas con otras que la asociación de ellas necesita ser reconocida como una unidad cartográfica. En la cartografía de áreas de conjuntos complejos donde todos los suelos existentes en régimen de prados o de campos de cultivos son tratados del mismo modo puede ser más útil indicar complejos de suelos bien definidos que indicar en el mapa cada una de las unidades taxonómicas con un intrincado detalle.

La escala adoptada en la cartografía depende del fin a que se destina el mapa que se pretende realizar de la intensidad de uso del suelo del cuadro o

mosáico de suelos y de la escala de otros elementos cartográficos utilizados con ayuda. Comúnmente se trabaja a una escala doble que la de publicación.

Estudios de suelos poco detallados, sin embargo que encuentran reglas modernas, pueden hacerse en escala de campo menores que 1: 20.000 excepto para suelos comparativamente homogéneos.

Para el planeamiento del desarrollo de riego y en áreas de muy intenso cultivo las escalas de trabajo de campo necesitan ser más amplias 1: 5.000 ó 1: 2.000.

Para trabajos de ingeniería como son el planeamiento de la construcción de grandes rutas o aeropuertos, el detalle necesario exige o puede exigir un estudio cartográfico de campo a escala 1: 2.500 ó 1: 1.000.

#### Mapas de reconocimiento.

En un mapa de suelos de reconocimiento, los límites entre las unidades cartográficas se dibujan basándose en observaciones hechas a intervalos y no necesariamente de manera más continua como en un mapa detallado. Los mapas de reconocimiento varían ampliamente desde mapas semidetallados de suelos que se aproximan a un estudio detallado de suelos hasta mapas de asociaciones de suelos hechos a intervalos de varias millas (1 milla = 1,6 Km.).

Los mapas de reconocimiento son generalmente planeados con fines exploratorios para descubrir y perfilar áreas de suelos aptos para un desarrollo más intensivo. Son especialmente útiles en regiones nuevas y re-

lativamente poco desarrolladas para identificar áreas que ofrezcan la posibilidad de instalación de un uso más intenso.

En muchos estudios de reconocimiento las unidades de clasificación son menos precisamente definidas que en un estudio detallado de suelos. Usualmente la escala de trabajo es menor y menos unidades cartográficas pueden corresponder a las unidades taxonómicas.

En los modernos mapas de reconocimiento, las unidades taxonómicas se buscan, se definen y se numeran como en un estudio detallado de suelos.

Estas se cartografían luego en grupos como asociaciones geográficas. Una asociación tal puede contener fuertes contrastes incluyendo tipos de suelos y fases. Cada asociación se define en los términos de una unidad taxonómica determinada de su proporción relativa y de su distribución. El nombre de cada asociación corresponde al de la más prominente unidad taxonómica.

Durante el desarrollo del trabajo, se cartografía con detalle el tipo de cada asociación de suelos con la precisión que exigiría un trabajo detallado de suelos. Estas áreas se sitúan cuidadosamente en el mapa y aparte en mapas más detallados se vuelven a reproducir separadamente acompañando al texto. Los datos de laboratorios comunes suplementarios y otros datos quedan incluidos en las unidades taxonómicas. Las predicciones sobre adaptación de cultivos, evaluación de suelos y manejo así como otros aspectos se determinan así mismo para estas unidades y se incluyen en el estudio detalla-

do.

El técnico agrícola puede examinar las áreas tipo y saber cómo identificar las unidades taxonómicas individuales que existan dentro de una asociación determinada que le concierna.

Este esquema de Cartografía de suelos de reconocimiento tiene una gran aplicación en áreas nuevas y relativamente no desarrolladas. Ello hace posible una mejor valoración de las posibilidades regionales más fácilmente que con los antiguos mapas de reconocimiento con unidades cartográficas pobremente definidas. Ello permite la rápida inspección en áreas amplias donde el desarrollo no puede llevarse a cabo y no estaría justificado el estudio detallado de suelos.

Solamente puede hacerse buenos mapas de reconocimiento si hay bastante cartografía detallada de las áreas tipo representativas para establecer las definiciones modales de las unidades taxonómicas y ser permisible escala de variabilidad. Las especificaciones para los mapas individuales varían grandemente. En regiones montañosas otras áreas que no vayan a usarse probablemente de manera intensiva, los itinerarios se realizan a intervalos menos frecuentes que en terrenos aptos para cultivos.

### Mapas de suelos de detalle-reconocimiento.

En un mapa de esta categoría muchas partes satisfacen las exigencias de un mapa de detalle mientras que otras corresponden a las características de un mapa de reconocimiento. Esto ocurre cuando en la zona del estudio existen áreas aptas para su explotación intensiva en agricultura y otras que no lo son. La parte cubierta por el mapa de reconocimiento puede corresponder a terrenos montañosos accidentados, suelos turbosos, ácidos, áridos, suelos desérticos pedregosos, llanuras o mesetas arenosas secas, u otras formas del terreno no aptas para el cultivo.

Los límites entre los tipos de reconocimiento y de detalle del trabajo en un mapa de esta clase, pueden hacerse de una o de otra manera:

1.- Los límites pueden seguir líneas de sección u otras líneas del terreno y presentarse en un mapa esquemático más pequeño en la margen del mapa de suelo.

2.- La leyenda del mapa puede dividirse en dos partes. Las unidades cartográficas seleccionadas relacionadas en la leyenda de reconocimiento y los límites entre ellas se definen en el mapa de acuerdo con las características del mapa de reconocimiento; por el contrario, aquellas unidades relacionadas en la leyenda detallada y los límites dentro de ellas y entre ellas, así como las unidades relacionadas en la leyenda de reconocimiento o general se cartografiarán de acuerdo a las prescripciones de un mapa detallado de suelos.

Cuando el área cubierta por el estudio de reconocimiento es considerablemente mayor que la del estudio detallado es más conveniente publicar ambas zonas en mapas separados. Los mapas detallados pueden ser después publicados en una escala mayor en hojas aparte.

## FOTOINTERPRETACION

### Introducción.

El uso de las fotografías aéreas para estudio de suelos se inició en los E.E.U.U. hacia el año 1,929 (estudio de los suelos de Jennings Cuntty -Indiana). Esta técnica se acreditó como poderoso instrumento de la Cartografía de Suelos donde el momento en que el concepto de suelo pasó de la idea unidimensional del perfil a la de ser un cuerpo tridimensional de la superficie de la tierra.

El uso de las fotografías aéreas hace posible, en primer lugar, aumentar la seguridad del trazado de los límites de los suelos, pues permiten identificar con más precisión que cualquier mapa un determinado punto en el terreno.

Ademas del uso de las fotografías como base, en las que se dibujan los resultados de las experiencias del campo, el científico de suelos debe poseer la suficiente pericia en la interpretación de las fotografías para conocer las clases y localizar los límites de suelos antes y durante el trabajo de campo. Los mejores estudios de suelos a escala de reconocimiento se hacen con las fotografías aéreas. Tales mapas de suelos son una guía para establecer las áreas que necesitan estudio más detallado.

Dos problemas tiene que resolver el científico:  
1.- A qué clase de suelo pertenece el que se está observando.

2.- Cuales son sus límites.

Factores a considerar.

Antes de realizar un trabajo aereofotográfico, hay que considerar una serie de factores, geográficos, físicos, técnicos y económicos que marcarán la índole o envergadura del trabajo. Aunque no entramos en estos, se puede relacionar una serie de factores con objeto de tener una idea sobre las dificultades que entrañan la realización de un trabajo de esta especialidad que, en realidad son muy costosos y generalmente son abordados por el gobierno de cada país.

Principales factores:

Tiempo de vuelo

Cámaras y lentes

Films

Altitud de vuelo y escala de los negativos

Líneas de vuelo y bordes

Colocación y soporte de las cámaras

Inclinación

Identificación o notación de las exposiciones

Indices de fotos

Reproducción de las fotos

Tiempo despejado, sin nubes ni niebla

Hora del medio día para evitar luz indirecta

Sentido E.O. y O.E. alternando

Cobertura 60 % y 30 %

Perspectivas de las fotografías:

- Desplazamientos originados por la elevación del nivel de base (relieve)
- Estereoscopia
- Paralaje
- Visión binocular
- Vista estereoscópica de las fotos aéreas
- Auto-entrenamiento
- Otros procedimientos y artificios
- Vistas estereoscópicas
- Clases de estereoscopos
- Otros medios para obtener efectos estereoscópicos.

Caracteres de perspectivas de las fotografías aéreas.

En una fotografía aérea todos los objetos no presentan su verdadera posición. Las lentes de posición modernas, y los negativos de base estable, no originan distorsiones apreciables de las imágenes en fotografías para uso general, sin embargo la causa principal del desplazamiento de imágenes reside en las elevaciones del terreno.

En una región plana los desplazamientos de las imágenes son despreciables. En terrenos hondulados tampoco se producen desplazamientos en el centro de la foto. Los sucesivos cambios de elevación del terreno dentro del área fotografiada originan continuos cambios en la escala de la fotografía. Las cúspides o cimas de cerros y montañas, se hallan más cerca de la cámara que los valles, excepto en las

áreas onduladas, las variaciones de escala no deben ser importantes, pero para hacer un uso efectivo de las fotografías de áreas onduladas las características de perspectiva de las imágenes deben ser completamente no distorsionada.

La figura representa el desplazamiento de la imagen. Ej.:

Donde:

$d = a$ . Desplazamiento

$a = n$ . Distancia nadir foto a imagen

$A - A' = h$ . Elevación en el terreno

$x - x' = H$ . Altitud de vuelo

$$\frac{d}{n} = \frac{h}{H}$$

$$H = \frac{f}{n} = \frac{f \cdot A \cdot x}{n}$$

$$d = \frac{h \cdot n}{f \cdot A \cdot x}$$

El desplazamiento radial de la imagen de un punto se puede calcular a partir de la siguiente fórmula:  $d = \frac{n \cdot h}{H}$

$d$  = longitud del desplazamiento medida en la foto

$n$  = distancia medida desde el nadir de la fotografía hasta la imagen del punto

$h$  = diferencia de elevación entre el punto del terreno y el plano (positivo entre A y x, negativo entre x y o

H = la altura (altitud del vuelo) de la cámara hasta el plano considerado y en donde d y n están dados en las mismas unidades de medida y h y H en iguales unidades también entre si

$$E = \frac{f}{H} \quad H = \frac{f}{E}$$

Debido a que la altitud de vuelo H es igual a la distancia focal de la lente, dividida por la razón de la escala del estudio; se necesitará una lente de mayor distancia focal cuando la altura de vuelo sea mayor, •on objeto de mantener una determinada escala de vuelo. Una mayor altitud de vuelo reduce el desplazamiento cau

$$d = \frac{n \cdot h}{H}$$

### Estereoscopia.

La Estereoscopia es la Ciencia que se ocupa de producir efectos tridimensionales a partir de fotografías bidimensionales de objetos que poseen 3 dimensiones y de los métodos por medio de los cuales se consiguen esos efectos.

Con la visión normal cada ojo enfoca un objeto desde una posición diferente y transmite una imagen ligeramente diferente al cerebro. En el interior del ojo las dos imágenes recibidas en cada uno, se combinan

en una sola imagen parcial tridimensional. Si se observa alternativamente con un solo ojo, solo se aprecia la imagen plana ó bidimensional.

Este principio extereoscópico se usa para producir una imagen tridimensional de la superficie terrestre, por medio de pares de fotografías aéreas verticales.

La oportunidad de poder estudiar las vegetaciones, dedicación a cultivos, drenaje y otros aspectos de los terrenos en tres dimensiones, da un mayor valor a la fotografía aérea.

### Paralaje.

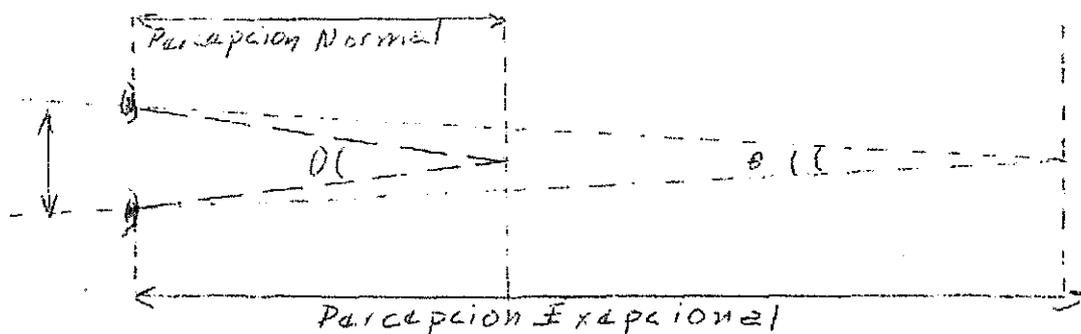
El paralaje se define como un aparente desplazamiento de un objeto debido a un cambio de la posición desde la que dicho objeto es observado. Los ojos ven un objeto desde dos posiciones ligeramente diferentes porque están separados. Esta separación se denomina distancia interpupilar y tiene un valor de 5,7 a 6 cm. para la mayoría de las personas aunque oscila entre 5 y 7 cm. para diferentes personas. Ciertasa partes de un objeto vistas por un ojo no lo son por el otro. Además la imagen de objetos próximos mirada alternativamente por ambos ojos parece desplazada lateralmente con relación a su posición. Este desplazamiento lateral es el "Paralaje". El paralaje es un factor importante para determinar la relativa distancia entre varios objetos de unas escena.

Cuando los ojos captan un objeto los diferentes planos del mismo son separados por el desplazamiento

de paralaje y la impresión del relieve se obtiene entonces.

### Visión binocular.

Muchas personas pueden distinguir entre líneas verticales bien definidas, si la distancia en las líneas mantiene un ángulo de convergencia de un minuto de arco por lo menos:



Una persona altamente entrenada, sin embargo, puede distinguir entre líneas que mantienen un ángulo de solo 15'' a 20''.

### Visión estereoscópica.

Cualquier persona que tenga una visión normal o con visión corregida puede ver tres dimensiones o ver estereoscópicamente. Esta capacidad puede ser comprobada observando un pequeño objeto a simple vista colocado a una distancia de 6 m. Extendiéndose el dedo índice de cada mano y enrásese el objeto mirando con un solo ojo. Sin cambiar el foco de los ojos hacia el objeto distante acerque las puntas de los dedos una contra otra en la línea de visión.

### Clases de estereoscopos.

- 1) Estereoscopios de prisma
- 2) Estereoscopios de lentes
- 3) Estereoscopios de espejos
- 4) O combinación de ellos

### Otros medios de producir efectos estereoscópicos.

Proyección simultanea en dos colores, azul y rojo y visión con gafas de cristales azul y rojo.

### Identificación en las fotografías aéreas.

Antes de ser interpretada una fotografía aérea deben identificarse en ella los diferentes aspectos del terreno. La identificación se hace por reconocimiento directo, por deducción o por combinación de ambos procedimientos.

Los objetos que puedan ser bien definidos o las imágenes familiares pueden ser identificados por su forma, tamaño y tono en las fotos simples o en los pares estereoscópicos. Las redes de carreteras, instalaciones agrícolas, campos, vegetación y cursos de agua, pueden ser identificados en una foto simple por su forma y variaciones de tono. La posición de los objetos en relación con otros aspectos permiten su identificación muchas veces. También pueden conocerse en la foto simple las formas de uso del terreno y trabajos practicados. Otros aspectos son necesarios identificarlos por visión estereoscópica.

### Variación en el tono.

El tono de una imagen en una fotografía depende de la cantidad de luz reflejada por el objeto que forma la imagen. Los objetos que reflejan más intensamente la luz aparecen luego más claros en la fotografía mientras que aquellos que reflejan solo una pequeña cantidad de luz aparecen oscuros.

En las fotografías los tonos son generalmente de colores grises, pero pueden oscilar entre toda la gama de grises comprendidos entre el negro y el blanco.

La cantidad de luz reflejada por un objeto depende de la naturaleza y color de su superficie del grado de exposición de ese objeto al Sol y del ángulo de reflexión entre el objeto y la cámara.

Las superficies lisas de las carreteras y de zonas secas se reproducen en las fotografías de color generalmente blanco por que reflejan mucha luz en todas direcciones. Sin embargo los suelos húmedos o mojados aparecen en la foto de color más oscuro.

Las superficies de agua que actúan como espejos, reflejan una alta proporción de luz en una sola dirección y la fotografía es blanca si la toma se realiza en el sentido de esta reflexión y negra si se toma en otro sentido.

### Evidencia de la pendiente.

Una superficie refleja la mayor cantidad de luz cuando esta se refleja en ella totalmente.

Según la pendiente del terreno la reflexión de la luz del sol será variable originando diversos

tonos de grises en la fotografía tomada, de acuerdo con la variación de la pendiente.

Así en una fotografía simple, si las diferencias de pendiente en el terreno son suficientes, estas diferencias causan variaciones de tono en la fotografía. De las diferencias de tono se pueden deducir las pendientes. Frecuentemente las diferencias de pendientes no detectables por la inspección de una sola fotografía pueden descubrirse comparando dos fotografías del mismo área tomadas en tiempos diferentes. El cambio de posición del sol cambia el ángulo de reflexión y proporciona el conocimiento de la inclinación o pendiente.

El cálculo de la pendiente por la variación en el tono de las fotos es de gran interés en las áreas forestales donde las variaciones menores quedan ocultas por los árboles y no se pueden ver por observación estereoscópica. Los árboles aparecen más claros en las áreas cuya pendiente o inclinación se halla hacia el sol que en áreas inclinadas contra el sol.

#### Sombras.

Las sombras que cubren áreas relativamente extensas indican que el paisaje tiene pendientes acusadas y fuerte relieve. La longitud de las sombras varían con la estación del año así como con la hora del día. Las formas de las sombras pueden usarse para identificar estructuras y algunos otros aspectos naturales o de cultivos. Por ejemplo, la imagen de un puente puede identificarse si el puente está soportado por un caballete o por

un arco, pero la sombra arrojada por el puente puede hacerlo notar.

### Contraste.

El contraste se puede definir por la nitidez que pueda existir entre dos tonos por oposición a la gradación de tonos. Negro y blanco constituyen los extremos de contraste. Las fotografías con tonos muy oscuros y muy claros y con solo pocos medios tonos tienen un alto contraste.

La cuantía del contraste es determinada en parte por la distinta capacidad de los objetos para reflejar la luz y también por la claridad de la atmósfera y por las técnicas fotográficas usadas. La bruma atmosférica difunde la luz y reduce el contraste. El contraste en fotografías tomadas en días soleados es mayor que el de fotografías hechas en días nebulosos. Los suelos en estado húmedo absorben la luz y las fotos resultan más oscuras que cuando están secos. Los contrastes cambian de una estación a otra pero no uniformemente de una región a otra.

Una superficie de terreno variable por tener distintas clases de pendientes, por diferencias en el suelo, en la vegetación, o en su uso y por la presencia de objetos no naturales o hechos por el hombre, tendrá más contraste que aquellas superficies francamente uniformes en topografía, suelos y uso.

El contraste puede ser aumentado o disminuido variando el tiempo de exposición o el tiempo de revelado del film y según el tipo de papel utilizado para las

copias.

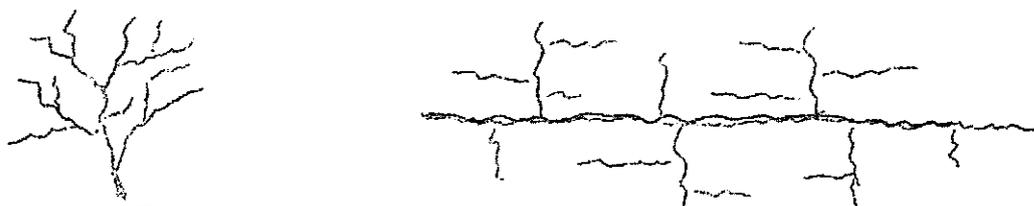
### Nitidez de los límites

La nitidez de los límites entre los tonos está determinada muchas veces por las técnicas fotográficas usadas pero la distinción de los límites será diferente en objetos distintos. Los límites de bosques, áreas húmedas y los aspectos fotográficos se presentan generalmente difusas; los límites de campo; capas de agua, caminos y carreteras, v.g. dan siempre límites netos.

### Ejemplos de tonos.

Ciertas formas del terreno y cultivos tienen unos tonos característicos en las fotografías aéreas.

Los bosques, praderas, campos de cultivo y huertos ofrecen frecuentemente esquemas distinguibles así como las redes de cursos de agua, de caminos o zanjas



El interprete de la foto conoce las características del ejemplo que estudie de una determinada zona que puede ser, dendritica o paralela en cuanto se refiere a las formas de los cursos de drenaje y puede usar estas características para tratar de identificar los objetos.

### Percepción de la profundidad.

Algunas dificultades que se presentan para conocer la topografía de una zona por el examen de fotos simples quedan facilmente eliminadas por la visión de

pareos estereoscópicos. Que en los casos en que se pueda distinguir el relieve en fotos simples con la visión estereoscópica se pueden precisar claramente los detalles y variaciones del mismo. En la visión estereoscópica cada cosa que se manifiesta por su forma y aún las ligeras diferencias de tono pueden generalmente identificarse con mayor exactitud.

Percibiendo la profundidad el científico de suelos cuenta con una valiosa ayuda para establecer la separación entre las áreas montañosas y las profundas, las elevadas, onduladas o planas y puede comparar la topografía real del terreno con la que aparece en el fotograma examinado.

#### Identificación de las formas del terreno y otros aspectos naturales.

Los aspectos naturales son generalmente más difíciles de detectar que los objetos de origen artificial o que los campos cultivados u otras áreas en las que la acción humana haya alterado la cobertura natural. Pequeños cerros naturales, por ejemplo, son generalmente más difíciles de reconocer que una pieza o diques por que estos tienen pendientes más marcadas, y líneas más regulares.

Algunas formas simples del terreno tales como terrazas, llanuras y dunas de arenas pueden identificarse por forma, altura relativa, pendiente y red de drenaje del fotograma. La identificación de aspectos tales como morrenas del terreno, llanuras de pizarras y cerros

de margas y calizas, es dificultosa y solo pueden deducirse parcialmente en un simple estudio de la fotografía aérea.

#### Morrenas del terreno.

Las morrenas del terreno en muchos casos producen contraste fotográfico debido a que forman depresiones pequeñas, superficiales y con ligera inclinación. Las pequeñas diferencias entre las elevaciones y depresiones y la intervención de la pendiente pueden caracterizarse por medio del par estereoscópico.

Los suelos de las depresiones pueden aparecer oscuros en las fotos, otros se ven claros. Si hay casos de drenaje este se ve debilmente marcado y generalmente con aspecto groseramente dendrítico.

Las morrenas que tienen escasas depresiones y los suelos que en la fotografía aparecen generalmente de color gris, no producen contraste fotográfico. A pesar de tener depresiones irregulares estos suelos tienen un drenaje dendrítico que no está fuertemente expresado.

#### Planos o terrenos o llanuras de pizarras.

Aparecen más rugosos y cortados en una fotografía que las morrenas. Cuando las pizarras se sitúan en planos acostados el mosaico de drenaje es dendrítico. Los valles son profundos y todos, excepto aquellos de corrientes mayores, son de forma de V. Las indicaciones de los valles, cerros y divisorias están dominadas por el clima, y la relativa dureza de las pizarras.

En áreas áridas en donde la lluvia se desliza rápidamente y la vegetación se encuentra esparcida o escasa (blando o pizarras arcillosas labradas en tierras inoultiyables(baldias)que tienen valles de paredes angulosas.

En áreas húmedas las zonas montuosas de pizarras tienen forma redondeadas y las divisorias de aguas son estrechas y sinuosas. Los cerros son más bajos y redondeados en las pizarras blandas que en las pizarras duras.

#### Terrenos ondulados margoso.

Producen unos mosaicos fotográficos diferentes. Esta diferencia se hace más patente por observación estereoscópica. La mayor parte de los terrenos cuya base está constituida por margas con poco material silíceo presentan numerosos huecos o cárcava. Los cerros son más redondeados que los constituidos por pizarras, las corrientes son más escasa y más ampliamente espaciadas y los valles fluviales presentan una forma en U más acentuada. En las margas silíceas se forman menos cárcavas y hay más tributarios de la corriente principal y valles (excepto los de corrientes mayores) que tienden a ser mas estrechos y profundos que los que se encuentran en margas puras.

#### Afloramientos rocosos.

Los afloramientos rocosos, excepto aquellos de color muy oscuro aparecen como manchas claras. Una sombra es a menudo indicio de un escaerpe; en un par

estereoscópico aparece como un cambio abrupto de elevación. Las cercas de piedras son indicios de pedregosidad, pero en las fotografías aéreas es difícil distinguir entre una fila de cercas y las lindes de distintos campos.

#### Valles aluviales.

Los valles aluviales producen fotos mas claras que las llanuras inundadas adjuntas, pero los valles aluviales aparecerán más oscuros si contienen más humedad que las áreas adyacentes. Si la otra orilla del valle se encuentra mojada por filtración esta aparecerá más oscura que la parte interior.

#### Áreas alcalinas y salinas.

Estas áreas aparecen en las regiones áridas como manchas claras en estado seco y como manchas oscuras con bordes claros en estado húmedo. Cuando no hay incrustaciones blancas u otra evidencia directa de sales o alcalis, la salinidad del área se puede deducir por la ausencia de vegetación o por la presencia de vegetación salina.

#### Mosaicos de drenaje.

En una foto simple el curso de agua principal puede ordinariamente identificarse con facilidad pero las líneas curvadas de los arroyos tributarios son más difíciles de reconocer. El éxito en la identificación del mosaico de drenajes depende del relieve del área, del número de tributarios de cuanto más fácilmente puedan verse en la fotografía, y de su orientación hacia

la corriente principal. Los tributarios pueden reconocerse por su profundidad y forma de los valles así como de la pendiente de las lomas de estos valles.

Estereoscópicamente los cursos fluviales en las áreas densamente forestales pueden localizarse por la fotografía de los valles. Cuando el gradiente es escarpado la dirección de la corriente puede determinarse estereoscópicamente anotando las diferencias en altitud a lo largo de la corriente. Si se usa una fotografía simple la dirección del flujo puede sacarse de otros aspectos. El ancho, profundidad y forma de un canal de corriente de agua se observan mejor estereoscópicamente. Los mosaicos de drenaje se detectan más fácilmente por visión estereoscópica aún en las zonas de escaso relieve o sensiblemente llanas.

Cuando no existen sombras en tales áreas solo pueden reconocerse los cursos de agua más importantes si se usa una fotografía simple.

#### Suelos erosionados.

Un conocimiento del clima local, topografía y suelos ayuda en el reconocimiento de la erosión laminar y de la formación de cárcavas en la fotografía aérea.

La erosión laminar se puede reconocer por las diferencias de tono y manchas de luz. Áreas seriamente erosionadas que no están cubiertas de vegetación aparecen en tonos claros. Los tonos claros, sin embargo, no son siempre indicadores de erosión laminar. El científico de suelos conoce que los suelos de pendientes

escarpadas son más fácilmente erosionables que los suavemente inclinados, que en áreas donde la erosión del relieve está mayormente dominada constituyen crestas de sierras bajas y que las áreas erosionadas pueden estar cubiertas por cultivos o vegetación natural. Aplica sus conocimientos de sucesión de plantas y su capacidad para reconocer las diferentes clases de vegetación en las fotografías aéreas. Por ejemplo, cuando la vegetación climax es de tipo de madera dura, las manchas de pinos jóvenes pueden marcar las áreas erosionadas que han sido repobladas después de estar abandonadas.

Las cárcavas aparecen como largas cicatrices con bordes definidos irregulares. Contrastan con las áreas de erosión laminar, las cuales presentan contornos más difusos y más lisos. Las cárcavas son frecuentes en las direcciones de drenaje natural y en los límites de campo.

Ciertas características de las cárcavas están relacionadas a la naturaleza de los suelos. La inclinación (gradiente) y la sección transversal pueden indicar la clase de roca madre y la textura del suelo.

Las cárcavas producidas en suelos arenosos bien drenados presentan una sección transversal en forma de V y tienen inclinación fuerte (gradiente escarpado). Las que se forman un suelo de textura fina, pobremente drenadas tienden a tener forma de  "cajón" en sección transversal y una inclinación suave. Las cárcavas en suelos estratificados tienen formas irregulares y abruptos cambios de pendiente.

### Vegetación.

La vegetación se identifica en una fotografía simple generalmente por el tono, pero en muchas ocasiones no se les puede distinguir solo por el tono a no ser que se utilice la visión estereoscópica. Las praderas, bosques y campos de cultivo se distinguen bien en fotografías simples. Los bosques y no bosques, árboles de hojas caducas y coníferas y la vegetación joven y madura generalmente pueden distinguirse por el tono.

Muchos silvicultores pueden identificar las especies dominantes en los diferentes tipos de bosques comparando alturas de árboles y tamaños y formas de sus copas. Por comparación de la imagen de los árboles en la fotografía con los árboles del bosque real el especialista puede mejorar o perfeccionar su técnica para identificar las diferentes clases de árboles que cubran el terreno.

El aspecto de la vegetación cambia con la estación del año. Los árboles de hoja caduca fotografiados en invierno tienen una apariencia de ramas en agujas y son unos tonos más claros que los árboles de coníferas.

Las hierbas altas, bajas y mezcladas son difíciles de distinguir entre ellas aún en amplias zonas de vegetación natural, mientras que la vegetación esparcida de zonas desérticas es más fácil de reconocer.

Para identificar la vegetación el científico de suelos debe estar familiarizado con las plantas de la zona y su relación con los alrededores.

Un conocimiento de la sucesión de plantas proporciona unos indicios muy útiles para la identificación de los suelos.

#### Identificación de objetos artificiales.

Puesto que los objetos artificiales suelen tener límites definidos son, generalmente, fáciles de reconocer en las fotografías aéreas, destacando de los rasgos naturales y siendo reconocidos mucho más fácilmente en los pares estereoscópicos.

#### Haciendas forestales, campiñas y huertos.

Basandose en las características que presente el tono el fotointerprete puede deducir como está utilizado el campo que examina. Las áreas forestales aparecen moteadas. Los campos de cultivo pueden identificarse por sus límites distintos y su mosaico de cuadros claros y oscuros. Los campos de heno segados, granos pequeños y montones de trigos (haces de trigo) pueden identificarse por la aparición de manchas oscuras regularmente espaciadas. Las huertas tienen un mosaico más abierto de manchas más amplias. Los campos aterrizados y los desprovistos de cultivos presentan tiras alternadas claras y oscuras.

La alineación, tamaño y forma de los campos varían de acuerdo con el tipo de agricultura.

Los campos son más amplios y están más uniformemente espaciados en áreas secas que en áreas húmedas. Los límites de campos pueden aparecer como líneas rectas entre manchas de tonos contrastantes diferentes. Los

tonos oscuros de los setos vivos y otra vegetación marcan, a menudo límites y cercas, pero generalmente la escala de la fotografía es demasiado pequeña para destacar las cercas.

#### Edificaciones.

Los edificios pueden conocerse por sus formas angulosas y contrastes de tonos. La parte de los tejados directamente expuesta al sol da tonos claros en la fotografía.

Los edificios de granjas o cortijos aparecen generalmente en forma de pequeños grupos rectangulares al lado o al final de los caminos. En las zonas áridas se encuentran aislados. En la "Great Plains" los edificios pueden estar entre bosquecillos de árboles o entre árboles dispersos; en las zonas escarpadas o de sección montañosa de las áreas húmedas aparece o pueden aparecer espacios claros rodeados de bosques.

#### Carreteras, pistas y calles.

Las carreteras y pistas generalmente aparecen como líneas claras. Las mejores carreteras tienen una anchura uniforme, tramos rectos, y pequeñas y suaves curvas, mientras que las peores carreteras son más irregulares con numerosas y pronunciadas curvas.

#### Líneas ferreas.

Comparadas con las carreteras aparecen con tonos más oscuros y más estrechas en las fotografías aéreas.

### Puentes, túneles, líneas de alta tensión, etc.,

Los puentes suelen destacarse bien en la intersección de carreteras con cursos de agua. Los túneles por la mancha oscura de sus portales o por la brusca terminación de una vía ferrea. Las líneas de alta tensión no se detectan bien salvo a escala más detallada que la normal.

### Deducciones de los aspectos identificados.

Para hacer útiles las deducciones al científico del suelo debe relacionar los rasgos de la fotografía aérea con las características del suelo observadas en el campo. Un conocimiento de la génesis del suelo, especialmente en cuanto se relaciona con la geomorfología ayuda a comprender las correlaciones hechas en el campo. Una persona que esté bien preparada en las fases de la ciencia del suelo y que tenga un buen conocimiento de los suelos del área estudiada puede obtener mucho más provecho de una foto aérea que por otra persona que esté menos versada.

### Diferencias de suelos.

Muchas diferencias existentes entre suelos pueden detectarse a partir de las variaciones de tono en las fotografías aéreas; otras pueden dedicarse al análisis de los rasgos de la superficie que reflejan diferencias de suelos. Indicios de tales diferencias se encuentran en aspectos tales como formas del relieve, estudio de las corrientes, redes de drenaje, vegetación y uso del terreno. La combinación de estos aspectos puede coinci-

dir con las características morfológicas usadas en la separación de las clases de suelos tales como grandes grupos de suelos o series de suelos. Así, suelos de zonas montuosas que tienen distintos horizontes pueden distinguirse de los suelos aluviales con débiles o ningún horizontes en llanuras inundables. Los suelos pobremente drenados que aparecen oscuros en las depresiones pueden verse bien diferenciados de los suelos bien drenados con pendientes convexas. Sin embargo muchos aspectos morfológicos, así como la mayoría de las propiedades químicas no se pueden deducir de la observación fotográfica. Estas solo se pueden distinguir por las investigaciones de campo y otras veces, por análisis de laboratorio.

Las diferencias de tono pueden indicar variaciones de suelos pero no siempre, así como no siempre las variaciones de suelos van acompañadas de las correspondientes variaciones de tono en la fotografía. El científico de suelo debe ser capaz de distinguir los cambios de tono causados por los ángulos de reflexión de la luz de los cambios producidos por distintos aspectos del terreno. Para evitar errores lo mejor es trabajar en la zona de estudio con la fotografía aérea.

Los suelos de colores oscuros dan tonos oscuros en la fotografía y los de colores claros los dan claro. Un tono más claro indica generalmente un mejor drenaje natural de los suelos, pendiente más fuerte, erosión más intensa, o textura más gruesa. Sin embargo una zona de tonalidad clara puede ser también un

área de pobre drenaje cubierta de una ligera capa de agua en el momento en que se tomó la fotografía. Por otra parte áreas de tonos oscuros pueden provenir de suelos arados poco antes de que la foto fuese tomada.

En muchos lugares, las diferencias en el relieve y red de drenaje indican amplias diferencias entre los suelos y entre sus materiales originales. El científico de suelo con experiencia de campo reconoce tierras bajas, terrazas, valles aluviales, llanos elevados, cerros y montañas en las fotos aéreas de muchas regiones. Generalmente los límites de suelos y pendientes coinciden con los límites de la topografía por lo que pueden ser localizados con seguridad en la fotografía. El científico de suelos debe recordar, sin embargo, que muchos de los límites que separan suelos no siguen un paralelismo con los cambios de relieve.

Los mosaicos fotográficos son a menudo confusos y la interpretación puede ser incorrecta si no existe una comprobación en el campo. Algunos que aparecen uniformes pueden incluir asociaciones de suelos diferentes o distintas formas de terreno. Mosaicos de color (colores abigarrados) pueden ser asociaciones de suelos erosionados y no erosionados, suelos de textura fina y gruesa, suelos bien y mal drenados, y otras combinaciones.

El científico de suelos que es conocedor de estas posibilidades podrá determinar que es lo más cierto, por medio de la combinación del trabajo de campo

con la foto interpretación.

Del tipo de vegetación que cubra una zona puede determinarse, por medio de la fotografía aérea, que clases de suelos pueden existir y donde existen. En muchas áreas pueden hacerse correlaciones más consistentes entre la vegetación y los suelos; en otras la probable correlación es pequeña. En un área predominantemente agrícola se podría esperar la existencia de suelos diferentes en una mancha de bosque de la otra zona cultivada durante largo tiempo. Pero en muchas áreas las fotografías aéreas de la vegetación no pueden reflejar las características del suelo que llegarían a ser importantes si el suelo fuese cultivado.

El fuego modifica la vegetación sin afectar inmediatamente al suelo. También ciertos indicios que pudieran aparecer en una fotografía pueden ser enmascarados por la vegetación.

Esto hace necesario el tener siempre en toda fotointerpretación, el complemento del trabajo de observación directa en el campo.

Zonas diferentes de vegetación natural implican diferencias en los suelos. Por ejemplo, anillos concéntricos que progresan desde vegetación herbácea y matorral (juncos) hasta bajo bosque y árboles extendiéndose hacia fuera desde los bordes de un estanque indica que los suelos van progresivamente siendo mejor drenados a medida que aumenta la distancia desde el estanque.

### Expresiones de los factores formadores del suelo.

El relieve y la vegetación, tal y como eran en el momento del vuelo, pueden sin duda observarse en una fotografía aérea. El relieve preexistente y la vegetación que han tenido una profunda influencia en la formación del suelo pueden solamente ser deducidos. Esto es extensible también al material original, y antigüedad de las formas del terreno.

Relieve.- El relieve cambia lentamente y probablemente a cambiado muy poco desde los primeros estados de la formación del suelo hasta el momento en que la foto fué tomada.

Se debe exceptuar, sin embargo, los cambios producidos por la erosión y por el hombre en el relieve.

Vegetación. Para evaluar las relaciones de vegetación y suelo, el edafólogo debe estar familiarizado con la ecología local de la zona, incluyendo la sucesión de plantas. Puede después comparar la vegetación presente con la pasada y determinar si la vegetación identificada es representativa de tipos más primitivos. El edafólogo debe conocer si el bosque original se alteró por el fuego o por el talado.

La identificación de la vegetación natural puede conducir a obtener importantes deducciones sobre los suelos y su génesis. Así por ejemplo los bosques de pino en Maine (norte de N. York) son indicios de podzoles o de la formación de podzoles. Bosques de

árboles de hojas caducas y pinos en terrenos ondulados o elevados se encuentran relacionados con la formación de "Red - Yellow Podsolio soils". En el norte de "Great Spains" las hierbas altas o pasto alto es la cubierta natural de Chesnozems cuando se están formando.

#### Material original.

El material original se puede deducir de las fotografías aéreas después de estudiar las formas del terreno y, en muchas áreas, la vegetación. Pero tales deducciones pueden resultar poco seguras debido a que una específica clase de vegetación o una determinada forma del terreno no se corresponde exactamente con una sola clase de materiales originales. En Appaladrian Highland, v.g., valles ondulados y sierras son distintos de los abruptamente cortadas planicies de pizarras. Estas son desiguales áreas montañosas de rocas cristalinas.

#### Clima.

El clima de un área está reflejado en la forma del relieve y en la red fluvial, pero el más útil dato para conocer el clima es el de la vegetación. El efecto del clima en la vegetación puede verse en un gran país como EE.UU. las zonas vegetativas se corresponde con amplias zonas climáticas.

La relación de suelos, clima y vegetación en muchas zonas es también fuerte. Los Gray-Brown Podzolio-soils se encuentran en valles forestales húmedos;

Los Brunizems se encuentran en los terrenos menos húmedos dedicados a pastos.

#### Antigüedad de las formas del terreno.

Las referencias sobre la antigüedad del terreno de un área en el mejor de los casos de un modo muy general, se basan mayormente en las deducciones hechas después de estudiar los datos fisiográficos y de adquirir algunos conocimientos de la geología. Sue los jóvenes pueden desarrollarse tanto en sitios altos como en llanuras aluviales. Con fuertes pendientes la diferenciación de horizontes difícilmente se compaginar con la erosión geológica. En los llanos aluviales el continuo aporte de materiales frescos mantiene la juventud de los suelos.

#### Plan para un estudio detallado de suelos.

Las fotografías aéreas se utilizan en estudios de reconocimiento de suelos como en estudios detallados. Los principios de la fotointerpretación son los mismos en ambos casos aunque sus aplicaciones difieren algo.

Se concede mayor seguridad a los indicios dados por la fotografía para estudios de reconocimiento que para estudios de detalle. Esto es cierto especialmente en la identificación de las distintas clases de suelos y en el trazado de sus límites. En los estudios detallados los exámenes de campo se hacen en intervalos frecuentes y los límites se van trazando de manera continua.

En los estudios de reconocimiento las deter-

minaciones de campo están, por esto, diversos procedimientos de utilización de las fotografías aéreas en tales estudios. Estos procedimientos se relacionan a continuación. Ellos incluyen la evaluación de las fotografías aéreas existentes. Apreciación de la necesidad de procurarse otras nuevas. Operaciones diarias (al día) y determinaciones de las relaciones entre los aspectos fotográficos con los elementos del relieve local.

#### Obtención de las fotografías aéreas.

Los planes para procurar la obtención de las fotografías aéreas deben hacerse aproximadamente dos años antes de la puesta en marcha de un estudio de suelos. Existen servicios del Estado en muchos países que hacen los vuelos para la toma de fotos de tiempo en tiempo cuando por cambios ocurridos se juzga necesario la obtención de nuevas fotos.

#### Selección de fotografías.

Ordinariamente los datos de los estudios de suelos se anotan en fotografías alternas pues esto reduce el trabajo de delineación de suelos y de otros aspectos de una foto de la siguiente. Ello también reduce el costo de la reproducción del estudio completo de suelos pues se habrán necesitado al final la mitad de las fotos que cubren la zona estudiada. Pero para áreas de terrenos montañosos, en donde la diferencia en la elevación del terreno es superior a 750 pies en una gran parte del área del estudio los datos del

estudio de suelos deben anotarse en cada una de las fotos que cubren la zona.

Todos los trabajos cartográficos existentes (topográficos, geológicos, vegetación, clima antiguos de suelos) deben reunirse antes pues serán de gran ayuda después.

#### PROCEDIMIENTOS PARA EL USO DE LA FOTOINTERPRETACION DURANTE LA REALIZACION DE UN ESTUDIO DE SUELOS.

##### Uso de hojas de índices fotográficos.

Las hojas de índices de fotos son generalmente de escala 1: 63.360 (1 pulgada = 1 milla) en el Reino Unido y EE.UU.. De esta forma cada hoja cubre un área extensa y puede mostrar sobre todo las relaciones suelos-geología no visibles fácilmente en fotografías individuales. Las hojas "índices fotográficos" son también útiles en la preparación de un mapa preliminar de asociaciones de suelos. Un mapa de tales características es una ayuda para el establecimiento de la base de la leyenda del estudio de suelos.

Deben seleccionarse fotografías de secciones representativas de las áreas para las hojas índices. Estas deben estudiarse estereoscópicamente para elegir una con topografía general, relieve, erosión, red de drenaje, uso del terreno, y aspecto de vegetación general. Es preferible que puedan elegirse en el campo para determinar el grado y significado del tono y conocer las causas locales de las diferencias de tono tales como humedad, textura del suelo, vegetación, roca madre

y cultivos.

### Líneas de Unión.

Antes de poner en marcha un estudio de suelos se trazan líneas de unión en cada fotografía seleccionada para la delimitación de los datos de suelos. Estas líneas son límites del área que va a ser cartografiada en la fotografía. Ellas pueden trazarse con o sin la ayuda de un estereoscópio. Usando el método estereoscópico se dibuja una línea recta por el centro paralela a la observada en la fotografía. La línea recta se transfiere luego estereoscópicamente a la fotografía adyacente. En terrenos ondulados o montañosos estas líneas se transfieren generalmente marcando su localización en los puntos elevados, o sierras, y en los puntos bajos o depresiones y conectando estos puntos por una serie de líneas rectas. En áreas de terreno ondulado, una línea de unión recta en una fotografía se transforma en una línea muy irregular cuando se transfiere a la fotografía adyacente.

Las líneas de unión pueden ser transferidas sin usar el estereoscópio.

En terrenos planos las líneas de unión pueden transferirse conectando los mismos puntos de referencia con una línea recta.

En ambos métodos, el proceso se continúa por todo el área estudiada transfiriendo las líneas de unión a la fotografía próxima en la línea de vuelo y a la adyacente fotografía de las siguientes líneas de vuelo.

Las líneas de unión pueden seguir prominentes aspectos del terreno, tales como carreteras, vías ferreas, rios o lindes de campo. Si los rasgos culturales y físicos se concentran a lo largo de la carretera la línea de unión debe dibujarse por donde pueda producir menos dificultades en el trazado de los suelos y otros aspectos. Las líneas de unión se dibujan generalmente con lápiz verde.

#### Revisión estereoscópica.

Debe hacerse una cuidadosa revisión estereoscópica cada día antes de reanudar el trabajo. En primer lugar el área de revisar debe determinarse. Si ésta corresponde a una finca o rancho sus límites deben trazarse en la fotografía. Con un estereoscópico se limita la zona para hacer una breve retención mental de las características más significativas, tales como tipo de explotación agrícola, topografía, formas del terreno, suelos que se suponen, condiciones de drenaje y trabajos agrícolas.

#### Preliminar delineación de los rasgos observados.

Antes de comenzar el trabajo de campo todos los rasgos importantes que puedan identificarse con seguridad en el gabinete deben delinearse en la fotografía. Algunos pueden determinarse con más certeza que otros, dependiendo de la familiaridad que se tenga con las condiciones locales y de la pericia en el manejo de un estereoscópico.

Los rasgos más fácilmente identificable deben trazarse primero.

CLASIFICACION DE TIERRAS CON FINES DE RIEGO SEGUN EL  
BUREAU OF RECLAMATION MANUAL DIRECCION DE MEJORAMIENTEN  
TO DEL MINISTERIO DEL INTERIOR DE LOS ESTADOS UNIDOS.

(Department of the Interior Bureau of Reclamation)  
Vol. V Uso de tierras regadas  
Part. 2 Clasificación de tierras.

DEFINICIONES

La clasificación de tierras que hace el Bureau of Reclamation está destinada al fin específico de establecer la extensión y grado de aptitud de la tierra para su utilización en agricultura permanente de riego.

Por aptitud se entiende aquí el conjunto de características de la tierra que determinan los límites dentro de los cuales puede ser aprovechada para una dedicación económica y permanente a cultivos en régimen de regadío.

Esta aptitud se mide en función de la capacidad de pago previa o relativa, considerando la capacidad productiva potencial, los costos de producción y los costos de explotación de la tierra.

A continuación se definen los siguientes términos:

- A. Tierra arable: La de capacidad productiva suficiente para: cubrir todos los gastos de producción, cubrir un cierto reembolso de las inversio-

nes realizadas, proveer al agricultor de un nivel satisfactorio.

B. Tierra regable: Es la arable bajo un plan específico por medio del cual y aprovechando una fuente de agua esta tierra puede proveerse de riego, drenaje, protección contra inundaciones, u otros medios para su utilización en riego permanente.

La tierra regable se determina dentro del área arable considerando:

- a) Limitaciones impuestas por la disponibilidad del agua.
- b) El costo de las instalaciones y servicios necesarios para el riego.
- c) Las tierras requeridas para propósitos adicionales no productivos.

C. Tierra productiva: Es la máxima extensión del área regable que puede ser cultivada excluyendo la tierra que será ocupada por los servicios (acequias, canales, depósitos, caminos y otras construcciones afines al proyecto).

Así pues  $A \geq B > C$ .

Existen además los conceptos de

- D. Tierra con servicio completo de riego.
- E. Tierra con servicio suplementario de riego.
- F. Área bruta de clasificación.
- G. Clases de tierra o categoría de tierra con características físicas y económicas similares y que determinan su aptitud para el riego.

- H. Subclase o categoría de tierra dentro de la clase que señala una o más deficiencias.
- I. Apreciación informativa o evaluación de factores físicos seleccionados para suministrar información suplementaria.

La clasificación de tierras que hace el Bureau of Reclamation de EE.UU. tiene pues el propósito específico de conocer su capacidad productiva teniendo en cuenta los problemas agronómicos, económicos y de ingeniería que influyen en el costo de explotación o de preparación de dicha explotación.

#### PRINCIPIOS BASICOS

Separación de las tierras regables de las que no lo son, que comprende:

- 1º Análisis de las condiciones de arabilidad y regabilidad.
- 2º Comparación de los recursos económicos y de la tierra de la zona con los de otra zona similar en características físicas y climáticas.
- 3º Análisis de la posible influencia de los factores físicos individuales de la tierra sobre la economía de la producción en el área estudiada.

Las consideraciones fundamentales son: Capacidad productiva de la tierra y los costos de producción y explotación de la tierra en función de los factores de suelo topografía y drenaje.

4º División de los factores físicos (s. t. y d.) en categorías con igual significado económico.

Etapas principales.

- a) Estudio de los recursos de la tierra y de las experiencias en un área completamente desarrollada con condiciones físicas y climáticas similares al área investigada.
- b) Análisis de la influencia probable de los factores físicos específicos en la economía de producción y costos de desarrollo de la tierra en el área investigada
- c) Separación, por categorías, de los factores físicos que tienen aproximadamente igual significado económico y el desarrollo del proyecto de las normas para la clasificación de la tierra.
- d) Aplicación de las normas de clasificación de la tierra en la clasificación por su arabilidad.
- e) Modificación de la clasificación de arabilidad, a medida que se obtiene la información suplementaria correspondiente a los aspectos físicos, de ingeniería, hidrológicos y económicos.
- f) Conclusión de la clasificación de la tierra regable o localización en el plano del proyecto de las tierras específicas que han sido halladas aprovechables para riego.

## CLASES DE TIERRA

Se establecen seis clases:

- Cuatro regables
- Una temporalmente no regable
- Una no regable.

Estas clases representan grados de aptitud y son necesarias para señalar el uso de la tierra y establecer la diferente capacidad de pago.

Clase 1 - Tierras que tienen, potencialmente, una capacidad de pago alta relativamente.

Clase 2 - Tierras con capacidad de pago intermedia.

Clase 3 - Tierras con capacidad de pago baja.

Clase 4 - Tierras con ciertas deficiencias excesivas.

Clase 5 - No aprovechables para riego con las condiciones actuales pero pueden potencialmente ser productivas o son tierras cuyo uso depende de un programa adicional.

Clase 6 - No son aprovechables para riegos bajo ninguna condición.

La clasificación de la tierra que realiza el Bureau of Reclamation o Dirección de Mejoramiento se creó con la aprobación del Acta "Fact Finders" el 5 de diciembre de 1.924.

El estudio continuo y la experiencia acumulada durante los años transcurridos han dado por resultado el desarrollo de las técnicas y normas actuales.

La clasificación está basada pues, en experiencias agronómicas y económicas y se usa principalmente con fines económicos. Aunque la distinción entre las clases está basada en diferencias de características físicas las normas cartográficas que expresan estas diferencias se desarrollan tomando como base los factores económicos. La clasificación de la tierra está también condicionada por consideraciones suplementarias de economía e ingeniería, relativas a los costos de desarrollo de cada proyecto.

Factores económicos: para establecer las normas de clasificación de las tierras.

- A Capacidad productiva
  - B Costos de producción
  - C Costos de desarrollo de la tierra o de preparación de la tierra.
- $A = f \left( \begin{matrix} \text{condiciones climáticas,} \\ a \end{matrix} \begin{matrix} \text{características del suelo} \\ b \end{matrix} \right.$
- $\left. \begin{matrix} \text{características topográficas,} \\ c \end{matrix} \begin{matrix} \text{disponibilidad de} \\ d \end{matrix} \right)$
- $\left. \begin{matrix} \text{agua, drenaje) excluyendo el manejo.} \\ e \end{matrix} \right)$

A su vez estas variables son función de otras, a saber:

- a : distribución de las lluvias
- temperaturas
- movimiento del aire
- b : textura
- profundidad

alcalinidad  
 salinidad  
 permeabilidad  
 fertilidad

c : posición  
 pendiente  
 relieve

d : cantidad de agua disponible  
 calidad del agua disponible

e : clases de drenaje

B = mano de obra  
 enmiendas al suelo  
 equipo y agua

C = costos de desmonte y limpieza  
 costos de nivelación  
 costos de emparejamiento  
 construcción de regueras y drenajes  
 acondicionamiento de la tierra.

Factores físicos: Suelo, Topografía, Drenaje.

La distinción entre las diferentes clases de tierra y la delineación de sus características específicas en el campo se hacen sobre la base de los factores físicos entre los que destacan el suelo, la topografía y el drenaje.

Cada uno de estos factores, así como sus relaciones recíprocas se consideran desde el punto de

vista de sus características convenientes para la agricultura de riego y de las características limitantes que indican una baja aptitud.

#### Factor Suelo.

- A. El factor suelo, con sus muchas características físicas, químicas y biológicas, constituye uno de los principales criterios para evaluar la tierra con fines de riego.

Ciertas características son relativamente estables, v.g. la textura del suelo y por lo general no están sujetas a cambios. Otras pueden ser raramente modificadas, tal como la estructura del suelo. A menudo están relacionadas entre sí como capacidad de retención con textura y composición. Sin embargo la experiencia ha demostrado que las características del suelo están directamente relacionadas con la capacidad de producción, adaptabilidad de cultivos y costos de producción y desarrollo de la tierra. La relativa importancia de una característica individual puede variar de un lugar a otro dependiendo de factores como: clima, topografía, cantidad y calidad del agua y uso de la tierra.

#### Características del suelo:

- a) Características físicas
- profundidad efectiva
  - textura
  - estructura
  - consistencia

- color
- permeabilidad
- drenabilidad
- grado de infiltración
- susceptibilidad a la erosión
- capacidad de retención de humedad
- pedregosidad

b) Características químicas

- fertilidad (macro y microelementos)
- pH
- capacidad de cambio
- salinidad
- tipo de arcilla
- carbonatos totales
- yeso
- boro y selenio

c) Características biológicas

- tipo y cantidad de materia orgánica
- fijadores de nitrógeno y otros organismos beneficiosos.
- nemátodos y organismos patológicos

Condiciones requeridas por el suelo óptimo para ser usado en riego permanente:

- a) Capacidad de retención de agua relativamente alta.
- b) Rápida penetrabilidad del agua para permitir
  - Aireación
  - Eliminación rápida del exceso de agua
  - Lavado de sales solubles.

- c) Grado de infiltración relativamente bajo para evitar excesiva percolación y sequedad.
- d) Profundidad para permitir el desarrollo radicular
- e) Facil manejo para permitir las labores
- f) Carencia de sales y otras sales perjudiciales
- g) Alto o mediano nivel de nutrientes
- h) Resistencia a la erosión por el riego.

#### Factor topografía,

- grado de pendiente
- relieve
- posición
- tamaño y forma
- cobertura

#### Pendiente.

Las pendientes satisfactorias para el riego a pié debem considerar lo siguiente:

- a) Susceptibilidad de los suelos a la erosión
- b) Tipos de cultivos previstos
- c) Grado de infiltración y capacidad de retención de humedad.
- d) Areas excesivamente planas
- e) Los métodos de riego

#### Relieve.

Según los suelos las nivelaciones podrán efectuarse o no. En vegas profundas se podrán realizar fuertes nivelaciones con solo disminución temporal de la fertilidad. En suelos más evolucionados (con hori-

zontes calizos de acumulación en el subsuelo v.g.) no podrá profundizarse demasiado.

#### Posición:

Se considera este factor cuando las tierras están aisladas o son altas o bajas que crean un aumento de los costos de preparación de la tierra. El grado de aptitud puede rebajarse por las dificultades de hacer llegar el agua y con las posibilidades de operación de la maquinaria agrícola.

#### Tamaño y forma:

El tamaño y extensión de un área puede inferir en la evaluación p.ej. pequeñas áreas regables dentro de grandes áreas no aprovechables.

#### Cobertura:

Comprende

Vegetación

Roca a remover

lo que origina { reducción de la capacidad productiva, o aumento del costo de producción

lo cual influye en la clasificación.

#### Factor drenaje.

Es la eliminación o descarga de agua por: simple escurrimiento laminar o por canales (drenaje externo).

Y la eliminación del agua hacia a bajo o lateralmente a través del suelo, subsuelo y substrato (drenaje interno).

También se emplea el término drenaje para referirse a los medios de poner en movimiento el agua de la superficie y del interior de los suelos.

También es un factor que puede afectar grandemente a la capacidad productiva y a los costos de producción y costos de preparación de la tierra.

#### Criterios de drenaje.

Los criterios más útiles para apreciar la necesidad de drenaje existentes y potenciales son:

1. Conductividad hidráulica del suelo del subsuelo y del substratum.
2. Profundidad de las capas impermeables.
  - La topografía { relieve de la superficie, pendiente y de las capas intermedias
  - Posición de la tierra
  - Profundidad del nivel frático o manto de agua incluyendo su fluctuación y dirección del movimiento.
  - Calidad del agua.
  - Salinidad y alcalinidad del suelo.
  - Vegetación.
  - Tipo y localización de la salinidad de los desagües existentes.

1. La conductividad hidráulica es el grado de movimiento del agua a través del suelo. Dicha medida, relacionada con la porosidad que es función de la estructura, textura y composición del suelo.

2. Los substratos poco permeables o impermeable son considerados de acuerdo con:

- a) su profundidad
- b) su grosor, relieve y gradiente
- c) su existencia o forma como diques o escollos
- d) la posibilidad de dar lagunas altas subterráneas.
- e) su composición química.

Requerimiento de drenaje:

En todo proyecto de riego han de ser previstas algunas construcciones de drenajes.

Es responsabilidad, tanto del clasificador como del especialista, determinar la relación que existe entre el drenaje de la parcela y el drenaje del proyecto.

Drenaje de la parcela:

a) es el que realiza, a sus expensas, el usuario del agua. Generalmente se refiere al drenaje externo.

Drenaje del proyecto:

b) lo realiza la dirección del proyecto y recoge las aguas eliminadas en todas las parcelas para hacer la evacuación de los excesos de agua generales de la zona.

Requerimientos suplementarios relativos al drenaje:

Los problemas de drenaje se agravan por,

- precipitación y la correspondiente escorrentía.

- pérdidas por filtración de canales y depósitos
- pérdidas por oscarrentia y percolación del agua de riego
- desbordamiento de acequias, canales y rios.

Tipos básicos de estudios de aptitud de tierras.

Estudios de Reconocimiento	Diferencias entre si por
" Somidetallados	nº de detalles considerados
" Detallados	exactitud resultados

Reconocimiento:

Esbezo general de las características de la tierra.

Escala 1: 25.000.

Se describen las clases 1, 2 y 3 y las subclases pertinentes. El resto se engloba como clase 6.

Pueden delinearse las clases 4 y 5 si las condiciones del proyecto lo especifican así.

El estudio se destina a:

- A. Para clasificar grandes áreas donde solo se precisa una información general de la extensión de la tierra arable.
- B. Para determinar la extensión, localización y calidad de las áreas arables.

Somidetallado:

Cuidadoso examen de las características de la tierra cada 800 metros. Escala 1: 12.000

en el mapa cada 6,6 cm. un sondeo o cada 500 metros

Escala 1: 10.000

en el mapa cada 5 cm un sondeo

Delimitan las clases, 1, 2 y 3 y sus subclases y la clase 6. Las subclases de la clase 4 y 6 se separan cuando las condiciones lo justifican.

Estos mapas se harán:

- A- Cuando la complejidad del área no permita obtener resultados satisfactorios de un estudio de reconocimiento.
- B- Cuando el análisis preliminar de la fase de ingeniería del proyecto requiera una base más detallada que la de reconocimiento.
- C- Cuando en principio se declara como irrealizable un proyecto y se desea apoyar el informe desfavorable con datos más precisos.
- D- Cuando es necesario decidir el riesgo de áreas arables comprendidas en la última parte del plan de desarrollo del proyecto.

Detallado:

Datos de examen del terreno con detalle, con mayor intensidad de muestreo. Escala 1: 5.000

Se cartografían todas las clases y subclases.

Requerimientos mínimos. Ver tabla de pag. 72, 73.

Especificaciones para clases y subclases:

Los datos han sido recopilados de la historia de granjas individuales, rendimientos y costos de desarrollo.

Interpretación de las especificaciones:

A. Cada especificación representa un mínimo junto con las otras condiciones al óptimo.

Es esencial hacer una evaluación en particular de cada factor para su debida interpretación relativa o de conjunto.

#### CLASES BASICAS

Se han establecido tomando como base los aspectos económicos de la producción y del desarrollo de la tierra dentro de áreas ecológicas específicas.

Son 4 clases básicas:

- 1 clase provisional
- 1 clase de tierras no arables
- 1, 2 y 3 representan las tierras con capacidad progresivamente menor para reintegrar los costos de construcción del proyecto.
- Las subclases de la clase 4 de excesivas deficiencias y de restringida utilidad, por tanto, pueden dar un margen de beneficios muy variable.

CLASES BASICAS

	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4	CLASE 5
	Arable	Arable	Arable	Arable limitada	no arable bajo condiciones naturales
Aptitud	Máxima	Moderada	Ligera		Deficiencia en suelo
Rendimiento	Alto	Menor	Escaso		
Cultivos	Numerosos	Determinados	Limitados		
Costo	Bajo	Mayor	Alto		
Superficie	Suave o llana	Costo moderado de nivelación irregular	Puede ser llana a ondulada o accidentada	Muy irregular pedregosa	Muy irregular excesiva pedregosidad alta cubierta de árboles
Pendiente	Poca	Más pronunciada	Fuertes	Posición desfavorable con inundaciones periódicas	
Profundidad	Grande	Mediana	Media a escasa		
Textura	Media	Ligera	Muy ligera o pesada		
Consistencia	Friable	Suelta o firme	Muy suelta o firme		
Estructura	Bien estructurado, bien desarrollada	Menos estructurado, menos desarrollada	Masiva o no estructurado		



	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4	CLASE 5
Permeabilidad	Buena	Mediana o poco permeable	Excesiva		
Penetrabilidad	Buena	Mediana	o nula		
Capacidad de retención	Alta	Más baja	Excesivamente alta o excesivamente baja		
Salos	No o de fácil lavado	Moderada	Alto contenido	Excesivo	Excesivo
Drenaje	Bueno	Medio	Excesivo o deficiente	Deficiente	Deficiente
Erosión	Mínima	Moderada	Moderada o fuerte		
Costo de desarrollo de la tierra	Bajo	Moderado	Alto		
Capacidad de pago	Alta	Intermedia	Baja		

Con deficiencias en cuanto al s, t, d, igual que en 2 pero en mayor grado.

CLASE 6: No arable por:

- a) No cumplir requisitos mínimos para las otras
- b) No disponer de agua, o no poder drenarlas
- c) Incluye a las clases 4 y 5 cuando no se puedan mejorar.

SUBCLASES BASICAS

Las razones para colocar áreas en una clase inferior a la I deben ser incluidas por las letras s t y d añadiéndolas al número de la clase para mostrar si la deficiencia reside en el suelo en la topografía o en el drenaje.

Las subclases básicas de la clase de tierra son: s, t, d, st, sd, td, y std

Subclases de la Clase Cuatro:

pasto	P	
frutos	:	F
Arros	R	
hortícola	V	
desarrollo suburbano		H
riego por aspersión		S
riego a pie		U

Las razones para ser incluidas las tierras en cada una de las dedicaciones P,F, etc. se señalarán por s, t, d.

V.g. tierras 4Pst

indican que las razones por la que la tierra ha sido clasificada como 4Pst (4 para pastos) son las deficiencias del suelo y la topografía.

Subclases de la Clase Cinco:

Son designaciones tentativas para estudios de campo solamente en espera de completar la información a través de otras investigaciones que decidan

su inclusión en otra clase por poder ser recuperable el terreno el terreno para riego previos trabajos de mejora que pueden radicar en la eliminación de las deficiencias que presente el terreno en el momento del estudio o bien pueda no ser recuperable debido a que los costos de recuperación del terreno no sean rentables.

Además se reconocen subclases con deficiencias específicas de posición y drenaje.

Lo que sigue es un bosquejo de los pasos a seguir en esta delineación estereoscópica preliminar.

1. Los desagües mayores, desagües menores, arroyos intermitentes y drenajes principales y estanques deben ser delineados aproximadamente antes de ir al campo. Estos deben pintarse con lápiz azul de modo que puedan hacerse después correcciones en el campo.
2. Si los estudios de suelos hubiesen sido hechos en fotografías adyacentes, todos los suelos y aspectos cartografiados pueden ser transferidos estereoscópicamente al otro lado del borde de las líneas de unión. Muchos límites entre clases de suelos, incluyendo las fasces de pendiente y erosión, pueden ser provisionalmente continuados o cerrados. Si es posible, las líneas de unión. Una cuidadosa selección de las líneas de unión reduce al mínimo esta necesidad.
3. Las carreteras pueden colorearse y clasificarse de acuerdo con un mapa reciente de rutas importantes de la comarca. Sin embargo las autopistas que destacan en la foto no es necesario colocarlas.

4. Siempre que puedan identificarse casas u otras edificaciones fuera de áreas urbanas deben ser señaladas en las fotografías. En las áreas urbanas solo deben señalarse los edificios públicos importantes para la agricultura.
5. Deben señalarse provisionalmente a lápiz lo siguiente:
- Terrenos en depresión y áreas inundables
  - Terrazas de ríos
  - Canteras de gravas y de tierra
  - Líneas de sierras
  - Vaciaderos y áreas mojadas
  - Límites de zonas pantanosas y de marismas
  - Otras formas de terreno importantes tales como escarpes y rocas desnudas.

#### Subclases de Posición.

Siempre que la dotación de agua a la tierra arable constituye un problema particular debido a su posición aislada (i), alta (h) ó baja (L) la tierra se clasificará primero con respecto a su arabilidad y segundo respecto a los factores que puedan afectar a su regabilidad

5 h (1), ó 5 h (2st) indican que la clase 1 ó 2st ocupan posición alta.

#### Subclase de drenaje

Se indican primeramente entre paréntesis la clase de tierra arable con sus deficiencias y se le antepone la clase 5d en tanto se investiga si es posible superar esta deficiencia de drenaje del proyecto,

caso negativo quedará definitivamente como clase 6d  
( ) y entre paréntesis la clase arable evaluada.

Especificaciones para las apreciaciones informativas.

Incluyen: uso, productividad y desarrollo.

Se indican las siguientes:

- A - Uso de la tierra
- B - Productividad y desarrollo de la tierra
- C - Demanda de agua de las parcelas
- D - Drenabilidad de la tierra
- E - Apreciaciones suplementarias

Generalmente los límites de la delimitación de la evaluación coinciden con los límites de las clases y subclases de tierra. Cuando esto no se cumpla, es necesario hacer subdelimitaciones.

A - Uso de la tierra:

Se usa la siguiente simbología

Tierras cultivadas con riego	C
Tierras cultivadas sin riego	L
Tierras de pasto permanentes con riego	P
Tierras de pastos permanentes sin riego	G
Matorral o bosque	B
Áreas suburbanas	H
Tierras sin uso	W

Los datos suplementarios relativos al uso de la tierra tales como tipo y condición de los cultivos serán incluidos en las descripciones de los perfiles y sondeos.

## B -- Productividad y desarrollo de la tierra:

Los clasificadores realizan estimaciones preliminares del nivel de productividad de cada clase y costo de desarrollo asociados a parcelas específicas.

La "Productividad" como se usa en el Manual considera la interacción de los factores económicos de capacidad productiva y costos de producción.

Se define la productividad como la capacidad de la tierra para producir un cultivo o una secuencia de cultivos.

El "Desarrollo de la tierra" consiste en la preparación de la misma para ser regada.

Debe considerarse aproximadamente los costos para tener anticipadamente una estimación de la productividad y capacidad de pago de cada clase. Esto se verá más adelante.

1, 2, 3, 4, ó 6 señala el nivel de la clase. Ej. "22" clase 2 de productividad, clase 2 de costo de desarrollo de la tierra.

## C -- Demanda de agua:

Las apreciaciones sobre este concepto consistirán en una evaluación de los relativos requerimientos de agua de la finca expresados así:

A = bajo

B = medio

C = alto

tomando en cuenta las condiciones de: suelo, topografía y drenaje, probable uso de la tierra, método de

riego y otros factores relativos al tipo, frecuencia y profundidad del riego en una determinada superficie de tierra.

Esta estimación servirá al hidrólogo para averiguar los requerimientos de agua de la parcela a partir también de los datos de capacidad de retención, grado de infiltración y conductividad hidráulica, pendiente, largo de los surcos, conductividad hidráulica del subsuelo y substratos y de las condiciones generales de los mantos de agua existentes.

#### D - Drenabilidad de la tierra:

La participación del clasificador de la tierra en los estudios de drenaje del proyecto está regida por las características del proyecto y por el estado de las investigaciones del drenaje. Generalmente serán suficientes las indicaciones relativas al movimiento del agua tanto en los perfiles corrientes como en los hoyos profundos.

Las apreciaciones consistirán en una evaluación de la drenabilidad relativa de la tierra expresada así:

X = buena

Y = restringida

Z = pobre

Considerando los factores físicos y químicos que contribuyen a la velocidad de movimiento del agua, suministrada en el riego, a través de los suelos, subsuelos y substratos.

## E - Apreciaciones suplementarias:

Pueden hacerse en casos en que se estime necesario bajo la aprobación de la dirección del proyecto. Estas apreciaciones pueden hacer referencia a los casos siguientes:

## Referencia a suelo:

- k - Poca profundidad a la arena gruesa, grava o guijarro.
- b - Poca profundidad al substrato relativamente impermeable.
- z - Poca profundidad a la zona de concentración de cal.
- v - Textura muy gruesa (arenosos, arenos francos).
- l - Textura moderadamente gruesa (franco, franco arenosos).
- m - Textura moderadamente gruesa (franco arcilloso, franco limoso).
- h - Textura muy fina (arcilla).
- e - Estructura.
- n - Consistencia.
- q - Capacidad de retención de humedad aprovechable.
- i - Infiltración.
- p - Conductividad hidráulica.
- x - Pedregosidad.
- y - Fertilidad.
- a - Salinidad y alcalinidad.

## Topografía:

- g - Pendiente.
- u - Superficie.
- j - Patrón de riego.

c - Vegetación de cobertura.

r - Rocas en la superficie.

Drenaje:

f - Drenaje superficial - inundación.

w - Drenaje interno - mesa de agua.

o - Salida de drenaje.

Nota: Estas evaluaciones pueden ser definidas más detalladamente usando subíndices, tales como  $k_1^2$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , indicando rangos.

GRUPOS DE PERFILES

Grupo I.

Suelos sobre sedimentos aluviales recientes, llamas inundadas u otros depósitos secundarios que tienen perfil no desarrollado sobre material no consolidado. Estos suelos no muestran acumulación de arcilla o caliza en el subsuelo.

Grupo II.

Suelos sobre sedimentos aluviales jóvenes, llamas inundadas u otros depósitos secundarios que tienen perfil de pequeño desarrollo sobre materiales no consolidados. Estos perfiles muestran ligera compactación del subsuelo y pequeña acumulación de arcilla o caliza en el subsuelo como resultado del lavado que es el movimiento descendente de partículas muy finas desde la superficie.

Grupo III.

Suelos sobre sedimentos aluviales más viejos, llamas aluviales o terrazas que tienen perfiles moderadamente desarrollados sobre material no consolidado. Estos perfiles de suelos tienen moderada acumulación de arcilla (moderadamente densos) o concreciones de caliza en el subsuelo como resultado del movimiento continuado de partículas finas de las capas superficiales del suelo.

Grupo IV.-

Suelos sobre antiguos llanos o terrazas que tienen fuerte acumulación de arcilla en el subsuelo, sobre material no consolidado. Estos suelos tienen capas de arcilla relativamente cerca a la superficie. Son muy ligeramente permeables al movimiento descendente del agua.

Grupo V.-

Suelos sobre antiguos llanos o terrazas que tienen capas endurecidas (hardpan) en el subsuelo y que generalmente se encuentran sobre material no consolidado. Estas capas de "hardpan" parecidas a rocas pueden estar cementadas por caliza, caliza-hierro o hierro y no se desintegran en agua.

Grupo VI.-

Suelos sobre antiguas terrazas que tienen subsuelo arcilloso denso sobre material moderadamente consolidado.

Grupo VII.-

Suelos en áreas elevadas desarrollados in situ por la alteración de rocas duras (rocas igneas). Estos suelos ocupan topografía ondulada, de cerros o escarpadas.

Grupo VIIc.-

Suelos en áreas elevadas desarrollados in situ por alteración de rocas duras igneas que tienen fuerte acumulación de arcilla en el subsuelo. Estos

suelos ocupan topografía ligeramente ondulada, ondulada o de colinas.

Grupo VIII.-

Suelos en áreas elevadas desarrollados in situ por alteración de rocas sedimentarias duras. Estos suelos usualmente ocupan topografía ondulada, montañosa hasta muy escarpada.

Grupo VIIIc.-

Suelos en áreas elevadas desarrollados sobre rocas sedimentarias duras que tienen fuerte acumulación de arcilla en el subsuelo. Estos suelos ocupan topografía de pendiente pequeña a ondulada.

Grupo IX.-

Suelos en áreas elevadas desarrollados in situ por la alteración de rocas sedimentarias ligeramente consolidadas o material margoso. Estos suelos ocupan topografía ondulada, montañosa hasta muy escarpada.

Grupo IXc.-

Suelos en áreas elevadas desarrollados sobre material ligeramente consolidado que tienen fuerte acumulación de arcilla en el subsuelo. Estos suelos ocupan topografía ligeramente inclinada o de colinas.

TIPO DEL TERRENO NATURAL

Los grupos definidos en este apartado representan una generalización de los factores que se han de emplear en la evaluación final del suelo.

Cada uno de estos símbolos expresa: posición fisiográfica, textura del horizonte superior, profundidad del perfil, densidad y permeabilidad del subsuelo.

A : Valles aluviales

Textura de la superficie del suelo

Profundidad del suelo

Densidad del subsuelo

- A<sub>1</sub> : Suelo aluvial de textura media, profundo y subsuelo permeable.
- A<sub>2</sub> : Suelo aluvial de textura media, poco profundo y subsuelo denso.
- A<sub>3</sub> : Suelo aluvial de textura pesada, profundo y subsuelo permeable.
- A<sub>4</sub> : Suelo aluvial de textura pesada, profundo y subsuelo moderadamente denso.
- A<sub>5</sub> : Suelo aluvial de textura ligera, profundo y subsuelo permeable.
- A<sub>6</sub> : Suelo aluvial de textura ligera, profundo y subsuelo moderadamente denso.
- A<sub>7</sub> : Suelo aluvial de textura gravosa, profundo y subsuelo permeable.
- A<sub>8</sub> : Suelo aluvial de textura gravosa, profundo y subsuelo moderadamente denso.

- A9 : Suelo aluvial de textura media, con "hardpan".  
 A10: Suelo aluvial de textura pesada, con "hardpan".  
 A11: Suelo aluvial de textura ligera, con "hardpan".  
 A12: Suelo aluvial de textura gravosa, con "hardpan".  
 A13: Suelo aluvial, heterogeneo (Grava + piedra/grava +  
 + piedra).  
 A14: Suelo aluvial, heterogeneo, no agricola.

B : Depresiones

Textura de la superficie del suelo

Profundidad del suelo

Densidad del subsuelo

- B1 : Suelo de textura media, profundo y subsuelo permea-  
 ble.  
 B2 : Suelo de textura media, profundo y subsuelo modera-  
 damente denso.  
 B3 : Suelo de textura pesada, profundo y subsuelo permea  
 ble.  
 B4 : Suelo de textura pesada, profundo y subsuelo modera  
 damente denso.  
 B5 : Suelo de textura ligera, profundo y subsuelo permea  
 ble.  
 B6 : Suelo de textura ligera y subsuelo moderadamente den  
 so.  
 B7 : Suelo de textura gravosa, profundo y subsuelo permea  
 ble.  
 B8 : Suelo de textura gravosa, profundo y subsuelo modera  
 damente denso.  
 B9 : Suelo de textura media, y subsuelo denso arcilloso.

- B10: Suelo de textura pesada y subsuelo denso arcilloso.  
 B11: Suelo de textura ligera, subsuelo denso arcilloso.  
 B12: Suelo de textura gravosa, subsuelo denso arcilloso.  
 B13: Suelo de textura media, con "hardpan".  
 B14: Suelo de textura pesada, con "hardpan".  
 B15: Suelo de textura ligera, con "hardpan".  
 B16: Suelo de textura gravosa, con "hardpan".  
 B17: Suelo heterogeneo, no agrícola.

C : Terrazas bajas

Textura de la superficie del suelo

Profundidad

Densidad del subsuelo

- C1 : Suelo de terraza, de textura media, profundo y subsuelo permeable.  
 C2 : Suelo de terraza, de textura media, profundo y subsuelo moderadamente denso.  
 C3 : Suelo de terraza, de textura pesada, profundo y subsuelo permeable.  
 C4 : Suelo de terraza, de textura pesada, profundo y subsuelo moderadamente denso.  
 C5 : Suelo de terraza, de textura ligera, profundo y subsuelo permeable.  
 C6 : Suelo de terraza, de textura ligera, profundo y subsuelo moderadamente denso.  
 C7 : Suelo de terraza, de textura gravosa, profundo y subsuelo permeable.  
 C8 : Suelo de terraza, de textura gravosa, profundo y subsuelo moderadamente denso.

- C<sub>9</sub> : Suelo de terraza, de textura media, subsuelo denso arcilloso.
- C<sub>10</sub>: Suelo de terraza, de textura pesada, profundo, sub suelo denso arcilloso.
- C<sub>11</sub>: Suelo de terraza, de textura ligera, profundo, sub suelo denso arcilloso.
- C<sub>12</sub>: Suelo de terraza, de textura gravosa, profundo, sub suelo denso arcilloso.
- C<sub>13</sub>: Suelo de terraza, de textura media, con "hardpan".
- C<sub>14</sub>: Suelo de terraza, de textura pesada, con "hardpan".
- C<sub>15</sub>: Suelo de terraza, de textura ligera, con "hardpan".
- C<sub>16</sub>: Suelo de terraza, de textura gravosa, con "hardpan".
- C<sub>17</sub>: Suelo de terraza, heterogeneo, no agrícola.

## E Colinas

Textura de la superficie del suelo

Profundidad del suelo: Topografía

- E<sub>1</sub> : Suelo de colina, textura media, profundidad mayor de 60 cm., topografía ondulada.
- E<sub>2</sub> : Suelo de colina, textura pesada, profundidad mayor de 60 cm., topografía ondulada.
- E<sub>3</sub> : Suelo de colina, textura ligera, profundidad mayor de 60 cm., topografía ondulada.
- E<sub>4</sub> : Suelo de colina, pedregoso, profundidad mayor de 60 cm., topografía ondulada.
- E<sub>5</sub> : Suelo de colina, textura media, profundidad menor de 60 cm., topografía ondulada.
- E<sub>6</sub> : Suelo de colina, textura pesada, profundidad menor de 60 cm., topografía ondulada.

- E7 : Suelo de colina, textura ligera, profundidad menor de 60 cm., topografía ondulada.
- E8 : Suelo de colina, pedregoso, profundidad menor de 60 cm., topografía ondulada.
- E9 : Suelo de colina, textura media, profundidad mayor de 60 cm., topografía escarpada.
- E10 : Suelo de colina, textura pesada, profundidad mayor de 60 cm., topografía escarpada.
- E11 : Suelo de colina, textura ligera, profundidad mayor de 60 cm., topografía escarpada.
- E12 : Suelo de colina, pedregoso, profundidad mayor de 60 cm., topografía escarpada.
- E13 : Suelo de colina, textura media, profundidad menor de 60 cm., topografía escarpada.
- E14 : Suelo de colina, textura pesada, profundidad menor de 60 cm., topografía escarpada.
- E15 : Suelo de colina, textura ligera, profundidad menor de 60 cm., topografía escarpada.
- E16 : Suelo de colina, pedregoso, profundidad menor de 60 cm., topografía escarpada.
- E17 : Suelo de colina, heterogéneo, no agrícola.
- D : Terrazas altas.
- Textura de la superficie del suelo
- Profundidad del suelo: densidad del subsue-  
lo.
- Topografía.
- D1 : Suelo de terraza, textura media, profundo, subsuelo permeable.

- D<sub>2</sub> : Suelo de terraza, textura media, profundo, subsuelo moderadamente denso.
- D<sub>3</sub> : Suelo de terraza, textura pesada, profundo, subsuelo permeable.
- D<sub>4</sub> : Suelo de terraza, textura pesada, profundo, subsuelo moderadamente denso.
- D<sub>5</sub> : Suelo de terraza, textura ligera, profundo, subsuelo permeable.
- D<sub>6</sub> : Suelo de terraza, textura ligera, profundo, subsuelo moderadamente denso.
- D<sub>7</sub> : Suelo de terraza, textura gravosa, profundo, subsuelo permeable.
- D<sub>8</sub> : Suelo de terraza, textura gravosa, profundo, subsuelo moderadamente denso.
- D<sub>9</sub> : Suelo de terraza, textura media, profundo, subsuelo denso arcilloso.
- D<sub>10</sub> : Suelo de terraza, textura pesada, profundo, subsuelo denso arcilloso.
- D<sub>11</sub> : Suelo de terraza, textura ligera, profundo, subsuelo denso arcillosos.
- D<sub>12</sub> : Suelo de terraza, textura gravosa, profudno, subsuelo denso arcilloso.
- D<sub>13</sub> : Suelo de terraza, textura media, profundo, subsuelo permeable, inclinado.
- D<sub>14</sub> : Suelo de terraza, textura media, profundo, subsuelo moderadamente denso, inclinado.
- D<sub>15</sub> : Suelo de terraza, textura pesada, profundo, subsuelo permeable.
- D<sub>16</sub> : Suelo de terraza, textura pesada, subsuelo moderadamente denso, inclinado.

- D17: Suelo de terraza, textura ligera, profundo, subsuelo permeable, inclinado.
- D18: Suelo de terraza, textura ligera, profundo, moderada mente denso, inclinado.
- D19: Suelo de terraza, textura gravosa, profundo, subsuelo permeable, inclinado.
- D20: Suelo de terraza, textura gravosa, profundo, subsuelo moderadamente denso, inclinado.
- D21: Suelo de terraza, textura media, subsuelo denso arcilloso, inclinado.
- D22: Suelo de terraza, textura pesada, subsuelo denso arcilloso, inclinado.
- D23: Suelo de terraza, textura ligera, subsuelo denso arcilloso, inclinado.
- D24: Suelo de terraza, textura gravosa, subsuelo denso arcilloso, inclinado.
- D25: Suelo de terraza, textura media, con "hardpan".
- D26: Suelo de terraza, textura pesada, con "hardpan".
- D27: Suelo de terraza, textura ligera, con "hardpan".
- D28: Suelo de terraza, textura gravosa, con "hardpan".
- D29: Suelo de terraza, textura media, con "hardpan", inclinado.
- D30: Suelo de terraza, textura pesada, con "hardpan", inclinada.
- D31: Suelo de terraza, textura ligera, con "hardpan", inclinado.
- D32: Suelo de terraza, textura gravosa, con "hardpan", inclinado.
- D32: Suelo de terraza, textura gravosa, con "hardpan", inclinado.

D<sub>33</sub>: Suelo de terraza, heterogéneo, no agrícola.

A estos símbolos, añado, separados por un guión los siguientes denominados Factores de corrección, que en su Soil-Ratinf Chart están comprendidos en el factor X; todos ellos actúan disminuyendo el coeficiente de productividad.

Factores de corrección

1.- Drenaje	{ 1f.- Drenaje mediano 1p.- Drenaje pobre 1e.- Drenaje nulo (encharcado)
2.- Salinidad	{ 2s.- Ligera salinidad o alcalinidad 2m.- Moderada salinidad o alcalinidad 2a.- Alta salinidad o alcalinidad
3.- Erosión	{ 3s.- Erosión ligera 3m.- Erosión moderada 3mb.- Erosión moderada/fuerte 3 b.- Erosión fuerte
4.- Fertilidad	{ Mediano nivel de nutrientes Bajo nivel de nutrientes
5.- Microrelieve	{ Relieve "hogwallowmicro" Microrelieve de dunas Acanalado

A partir de estos datos y delimitando las zonas correspondientes en el campo, obtiene un mapa en el que con gran simplicidad y sin recargo de símbolos están representadas la casi totalidad de las variables que influyen en la productividad.

### EL INDICE DE STORIE

Storie considera las siguientes variables que agrupa en los cuatro factores A, B, C y X:

- A.- Profundidad y permeabilidad del suelo
- B.- Textura del suelo
- C.- Pendiente del terreno
- X.- Características del ambiente y del perfil modificables por el hombre más fácilmente:
  - Drenaje
  - Novedades tóxicas tales como salinidad y alcalinidad
  - Nivel de nutrientes (fertilidad)
  - Acidez del suelo
  - Condiciones de erosión
  - Microrrelieve.

Para la condición más favorable o ideal, asigna el valor 100, deduciendo puntos según la característica considerada se aleje más o menos de este ideal. El producto final de todos estos valores dividos por  $100^{n-1}$  siendo n el número de factores considerados nos da el Índice de Storie para el suelo. Un

suelo, para que todas las condiciones estén en grado óptimo tendrá como Índice de Storie 100.

La ventaja del método de Storie que multiplica entre sí los factores asignados para cada característica sobre los métodos más frecuentes en los que el índice final se obtiene por la suma de puntos dados a cada propiedad en que si un factor se encuentra en grado limitante el producto final viene decidido por él.

El factor A comprende las características del perfil del suelo, en el está implicado un factor fisiográfico : Valles aluviales, Depresión, Terrazas bajas, Terrazas altas y Colinas. Un factor Genético subdividido a su vez en factor de origen (suelos Primarios o Secundarios); otro factor de Edad Terraza aluvial reciente, Terraza aluvial joven, Terraza aluvial antigua, Terraza antigua; y otro de Grado de Desarrollo condicionado por el anterior: Perfil poco desarrollado, moderadamente desarrollado y fuertemente desarrollado, etc.

Un factor de Cantidad, masa total del suelo expresada por la profundidad útil, 30 cm., 60 cm., 90 cm., etc. El efecto del grado de Consolidación de la roca madre se pone de manifiesto comparando los índices para los grupos VII y VIII con los del IX. Observese como los índices para el grupo IX son superiores, para igualdad de profundidad en los grados de profundidad menor; igualándose para profundidades de unos 1,50 cm. a partir de la cual su acción sobre la mayoría de las cosechas deja de hacerse notable.

Storie tiene en cuenta el factor Geológico, pero no encuentra diferencias de productividad para las características consideradas en el factor A - entre los suelos formados sobre la roca ignea o roca ignea dura o sedimentaria compacta (compárese índices para los grupos VII y VII).

El cuadro de evaluación del factor A es el siguiente:

Factor A. Evaluación del Caracter Físico del Perfil.

I.- Suelos de abanicos aluviales recientes, llanos u otros depósitos secundarios que tengan perfiles no desarrollados 100 X fases superficiales (sobre material consolidado) 2 pies de profundidad.

3 pies de profundidad . . . . .	70
subsuelo extremadamente pedregoso . . . . .	80-95
subsuelo de arcilla estratificada . . . . .	80-95

II.- Suelos de abanicos aluviales jóvenes, llanos inundables u otros depósitos secundarios que tienen perfiles ligeramente desarrollados . . . . . 95-100

X fases superficiales (sobre material consolidado) 2 pies de profundidad . . . . .	50-60
3 pies de profundidad . . . . .	70
g subsuelo extremadamente pedregoso . . . . .	80-95
s subsuelo de arcilla extratificada . . . . .	80-95

III.- Suelos sobre abanicos aluviales, más antiguos, llanos aluviales ó terrazas que tienen perfiles moderadamente desarrollados (subsuelos moderadamente densos) . . . . . 80-95

## X fases superficiales sobre material consolidado.

2 pies de profundidad . . . . .	40-60
3 pies de profundidad . . . . .	60-70
g subsuelo extremadamente pedregoso . . . . .	60-70

## IV.- Suelos de llanuras más antiguas con perfiles fuertemente desarrollados

(subsuelo de arcilla densa) . . . . .	40-80
---------------------------------------	-------

## V.- Suelos de llanuras más antiguas que tienen capas de "hardpan" en el subsuelo a menos de 1 pie.

entre 1 y 2 pies. . . . .	5-20
entre 1 y 2 pies. . . . .	20-30
entre 2 y 3 pies. . . . .	30-40
entre 3 y 4 pies. . . . .	40-50
entre 4 y 6 pies. . . . .	50-80

## VI.- Suelos sobre terrazas más antiguas y áreas onduladas que tienen arcilla densa en el subsuelo sobre material consolidado o moderadamente consolidado.

## VII.- Suelos de áreas onduladas desarrollados sobre un

manto rocosa ígneo duro	
a menos de 1 pie . . . . .	10-30
de 1 a 2 pies. . . . .	30-50
de 2 a 3 pies. . . . .	50-70
de 3 a 4 pies. . . . .	70-80
de 4 a 6 pies. . . . .	80-100

## VIII.- Suelos de áreas onduladas desarrollados sobre rocas sedimentarias consolidadas

a menos de 1 pie. . . . .	10-30
de 1 a 2 pies . . . . .	30-50

de 2 a 3 pies. . . . .	50-70
de 3 a 4 pies. . . . .	70-80
de 4 a 6 pies. . . . .	80-100
a mas de 6 pies. . . . .	100

IX.- Suelos de áreas onduladas desarrollados sobre material blando consolidado.

a menos de 1 pie. . . . .	20-40
de 1 a 2 pies. . . . .	40-60
de 2 a 3 pies. . . . .	60-80
de 3 a 4 pies. . . . .	80-90
de 4 a 6 pies. . . . .	90-100
a mas de 6 pies. . . . .	100

IX C.- Suelos de areas onduladas desarrollados sobre material blando con fuerte acumulación de arcilla en el subsuelo.

de 1 a 2 pies. . . . .	20-35
de 2 a 3 pies. . . . .	35-55
de 3 a 4 pies. . . . .	55-70
de 4 a 6 pies. . . . .	70-85

Factor B. Condición del perfil en su horizonte superior, es un factor de calidad que viene a complementar el de cantidad del Factor A (profundidad del perfil).

Puede parecer extraño el que sólo se considere la textura de este horizonte, esto es debido a que las texturas de los horizontes inferiores, en los suelos profundos y poco evolucionados, es reflejo de

la superior; en los casos de suelos evolucionados, la acumulación de arcilla en el subsuelo ya viene considerada en el factor A, haciéndose notar la diferencia de textura de ambos horizontes en la evolución final.

En la evolución de este factor, los suelos de textura tales como loams y silty loams tiene un índice más alto, los de textura extrema arenas y arcillas, lo tienen mas bajo.

También tiene en cuenta la fracción mayor de 2 mm. y dá índices para suelos gravillosos y pedregosos con diferente textura de finos.

Factor B. Evaluación basada en la textura del horizonte.

Textura media : 100 - 85

Limo-arena fina. . . . .	100
Limosa . . . . .	100
Limosa-franca. . . . .	100
Limo-arenosa . . . . .	95
Limo-arcillosa-franca-caliza . . . . .	95
Limo-arcillosa-caliza. . . . .	95
Limo-arcillosa-franca. . . . .	90
Limo-arcillosa . . . . .	85-90
Limo-arenosa-gruesa. . . . .	90

Textura pesada o fina

Arcillo-limoso-calcaréo. . . . .	70-90
Arcilloso-calcaréo . . . . .	70-80
Arcillo-limoso . . . . .	60-70
Arcilloso. . . . .	50-70

Textura ligera o gruesa

Arenoso-franco. . . . .	80
Arena muy fina. . . . .	80
Arena fina. . . . .	65
Arena . . . . .	60
Arena gruesa. . . . .	30-60
Arena-calcárea. . . . .	70

Textura gravosa

Franco-arenosa fina-pedregosa . . . . .	70
Franco-pedregosa. . . . .	70
Franco-limosa-pedregosa . . . . .	70
Franco-arenosa-pedregosa. . . . .	65
Franco-arcillosa-pedregosa. . . . .	55-60
Arcillosa-pedregosa . . . . .	35-55
Arenosa-pedregosa . . . . .	20-30

Textura rocosa

Areno-limosa fina-rocosa . . . . .	70
Limo-rocosa . . . . .	70
Franco-limoso-rocosa. . . . .	70
Areno-limoso-rocosa . . . . .	65
Arcillo-limoso-rocosa . . . . .	60-70
Arcilla-rocosa. . . . .	35-55
Arena-rocosa. . . . .	10-40

## Factor C.

Complementa el factor A en lo que respecta al ambiente general del suelo (falta el microrrelieve y erosión que incluye en el factor X); con el que

da cerrada la evaluación sobre las características del perfil.

Factor C. Clasificación basada en la pendiente.

100 A.	— Casi olano (0-2 %)	100 <sup>%</sup>
95-100 AA.	— Suavemente ondulado (0-2 %)	95-100
95-100 B.	— Suavemente inclinado (3-8 %)	95-100
85-100 BB.	— Ondulado (3-8 %)	85-100
80-95 C.	— Moderadamente inclinado (9-15 %)	80-95
80-95 CC.	— Fuertemente ondulado (9-15 %)	80-95
70-80 D.	— Fuertemente inclinado (16-30 %)	70-80
70-80 DD.	— Montañoso (16-30 %)	70-80
30-50 E.	— Escarpado (30-45 %)	30-50
5-30 F.	— Muy escarpado (más de 45 %)	5-30

Factor X.

Comprende las características del ambiente y del perfil sobre las que el hombre puede actuar con obras de ingeniería prácticas de cultivo y fertilización. Son, pues condiciones más fácilmente modificables que los considerados en los factores A, B, y C.

La salinidad y el nivel de nutrientes son estimaciones basadas sobre la cosecha establecida y sobre las plantas espontáneas indicadoras de salinidad o tolerantes a ella.

Si existen 2 o más condiciones de las consideradas en el factor X, los índices para cada una se tratan independientemente, es decir, se multiplican todos ellos para conseguir el índice del factor X.

Factor X. Evaluación de otras condiciones aparte de las de los factores A, B y C.

Drenaje:

B - bien drenado. . . . .	100
M - Ligeramente bien drenado. . . . .	80-90
D - Moderadamente inundado. . . . .	40-80
Nocivamente inundado . . . . .	10-40
Sujeto a inundación . . . . .	variable

Alcali:

Sin alcalis . . . . .	100
Ligeramente afectados . . . . .	60-95
Moderadamente afectados . . . . .	30-60
De moderada a fuertemente afectados	15-30
Fuertemente afectados . . . . .	5-15

Nutrientes (Fertilidad):

Alta. . . . .	100
Moderada. . . . .	95-100
Baja. . . . .	80-95
Muy Baja. . . . .	60-80

Acidez: De acuerdo al grado del pH. . . . . 80-95

Erosión:

Ninguna a ligera. . . . .	100
Depósitos nocivos . . . . .	75-95
Moderada erosión laminar. . . . .	80-95
Cárcavas superficiales ocasionales.	70-90
Moderada erosión laminar con cárcavas superficiales. . . . .	60-80

Cárcavas profundas . . . . .	10-70
Moderada erosión laminar con cárcavas profundas . . . . .	10-60
Fuerte erosión laminar . . . . .	50-80
Fuerte erosión laminar con cárcavas superficiales . . . . .	40-60
Fuerte erosión laminar con cárcavas profundas . . . . .	10-40
Erosión muy fuerte . . . . .	10-40
Moderada erosión del viento . . . . .	80-95
Fuerte erosión del viento . . . . .	30-80

Microrrelieve:

Liso . . . . .	100
Con surcos . . . . .	60-95
Tierras removidas por animales . . . . .	60-95
Montículos pequeños . . . . .	80-95
Montículos grandes . . . . .	20-60
Dúnas . . . . .	10-40

B I B L I O G R A F I A

Tratado general

- ALBAREDA, J.M. 1940.- El suelo. Madrid.
- DOUCHAUFOUR, P. 1960.- Précis de Pedologie.- Masson. Paris.
- 1960.- La vegetación y el problema.- Conf. Relación suelo vegetación. Tomo 42.
- PEREZ MATEOS, J. 1965.- Análisis mineralógico de arenas. C.S.I.C. Madrid.
- RANGUIN, E. 1957.- Geologie du granite.- Masson. Paris.
- ROBINSON, W.G. 1940.- Soil, their origin, constitution and clasification.- Thomas Murby. London.

Clasificación del suelo

- KUBIENA, W.L. 1952.- Clave sistemática de suelos.- C.S.I.C. Madrid.
- Soil Survey Staff. 1960. 7ª Aproximación. Soil conservation service U.S.D.A.
- TRAVAUX, C.P.C.S. 1967.- Clasification des sols. Paris.