

1. Introducción

En este capítulo veremos las principales propiedades físicas de los suelos y algunas otras muy relacionadas con ellas, como algunas propiedades químicas y las inferidas, consideradas éstas últimas, como más complejas y una consecuencia de las primeras.

Como se ha venido analizando en los capítulos anteriores, físicamente considerados, los suelos minerales son una mezcla más o menos suelta de **partículas minerales** (fase sólida), **materia orgánica** (también fase sólida), **agua** (fase líquida) y **aire** (fase gaseosa), que interactúan y que están dispuestos en un arreglo especial en el volumen de suelo. Aquellos, constituyen un sistema muy complejo y disperso de carácter poroso, con algunos constituyentes muy estables, otros que no lo son tanto y aún otros muy inestables.

Las partículas minerales están por lo común íntimamente mezcladas entre sí y con la materia orgánica, total o parcialmente humificada, en el denominado **COMPLEJO ORGANO – MINERAL** del suelo.

La fracción mineral puede predominar, como en el caso de los suelos livianos (arenosos o gravillosos). En otros casos, pueden dominar los materiales coloidales, encontrándonos entonces frente a los suelos arcillosos o pesados.

En este capítulo veremos algunas de las propiedades físicas de los suelos, entre las que encontramos: TEXTURA, ESTRUCTURA, COLOR, CONSISTENCIA, TEMPERATURA, DENSIDAD, POROSIDAD, así como la propiedad química de la acidez o pH del suelo.

El Ing. Agr. Ricardo Cayssials nos dice en su *“Resumen de (las) principales propiedades físicas de los suelos”*, que la simple observación de cualquier suelo nos permite comprobar que:

1) Está constituido por partículas sólidas de distinto tamaño. Esta característica primaria da lugar al concepto de **Textura**.

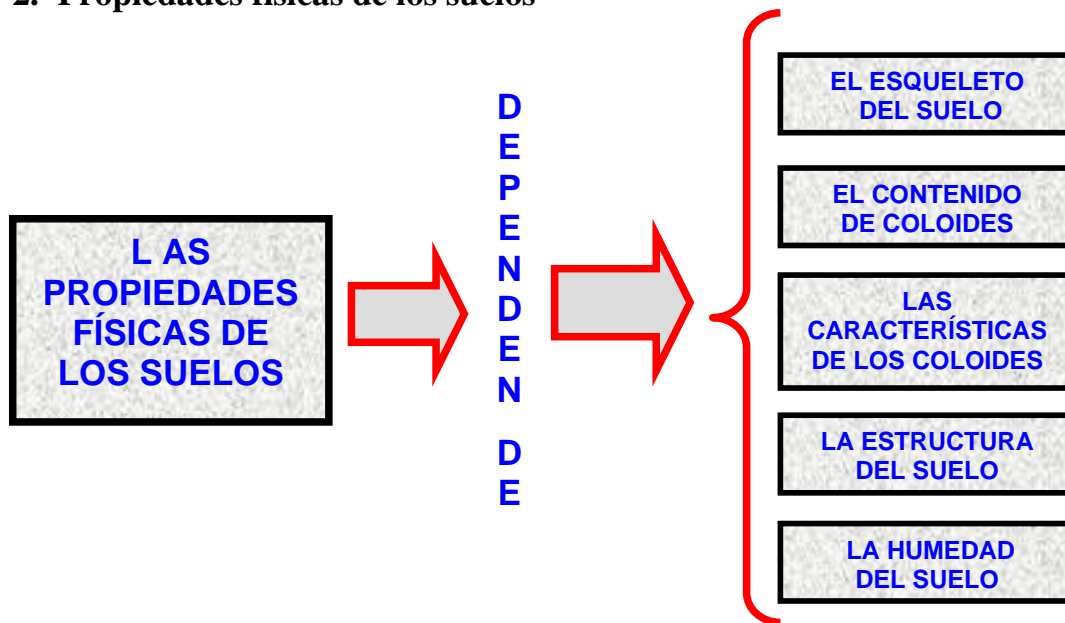
2) Dichas partículas se encuentran agrupadas dando origen a unidades estructurales. Este segundo grado de organización, nos lleva al concepto de **Estructura**.

3) Como consecuencia parcial de la Textura y la Estructura, queda definido el **Espacio Poroso**, dónde se producirán todos los fenómenos hidro-gaseosos y se instalarán las muy variadas especies vivientes que pueblan los suelos.

4) Dicho sistema complejo se modifica en el tiempo, pudiéndose detectar cambios cualitativos y cuantitativos de gran importancia en muy cortos períodos de tiempo.

5) A su vez, dichos cambios provocarán transformaciones de importancia variable en toda la actividad biológica del suelo.

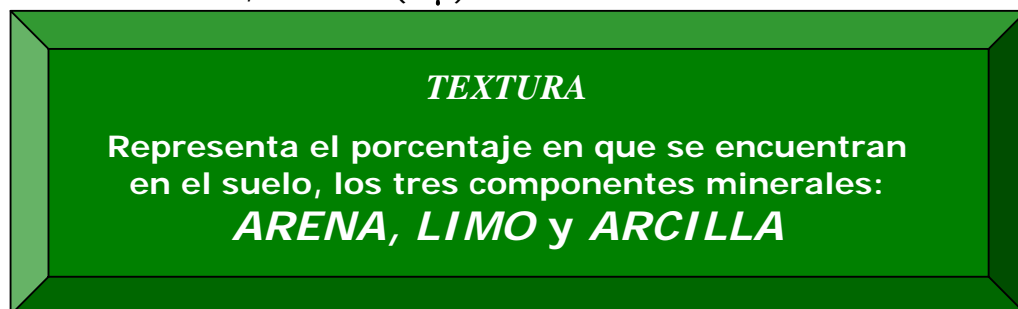
2. Propiedades físicas de los suelos



Las propiedades físicas y químicas de los suelos resultan de la acción combinada de los factores de formación y en los suelos bajo agricultura se agrega la consecuencia de la acción humana. A su vez, también determinan en gran medida, la actividad química y la biológica y por lo tanto, afectan la capacidad productiva de los mismos.

2.1. Textura

Las partículas que componen la fracción mineral del suelo, se pueden agrupar según su tamaño en: **ARENA, LIMO y ARCILLA**. Mientras que la primera se puede observar a simple vista pues su tamaño oscila entre 0,10 y 2 mm de diámetro, la última es una partícula sub-microscópica con un diámetro menor a 0,002 mm (2μ).



El conocimiento de la textura se realiza mediante el estudio de la composición mecánica de un suelo y por lo tanto, es el análisis de la composición relativa de los tres elementos componentes. En la práctica, se plantea el problema de establecer el número de fracciones que deben distinguirse y de definir las de acuerdo con el tamaño de las partículas componentes.

El tamaño de las partículas puede variar a escala no humana, sino geológica (en miles de años), por lo que seguramente será imposible observar los cambios en las texturas en el poco tiempo que dura nuestra vida.

A pesar de que el número de fracciones y los tamaños en que se dividen las partículas constituyentes y por lo tanto sus denominaciones, varían bastante de un país a otro, en general internacionalmente se aceptan como las principales: la clasificación de la **Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo** (International Soil Science Society) que ha adoptado la de A. Atterberg (1912) y la desarrollada por el **Departamento de Agricultura de Estados Unidos** (US Department of Agriculture, USDA). Ha sido necesario uniformizar los criterios que permitan la comparación entre un lugar y otro o entre un tamaño de partícula y otro. En el **Cuadro N° 1** observamos la comparación entre ambos sistemas.

Cuadro N° 1.- Límites de las fracciones según ambas escalas

ESCALA DEL U.S.D.A.		ESCALA INTERNACIONAL	
Nombre de la fracción	Diámetro de las partículas (mm)	Nombre de la fracción	Diámetro de las partículas (mm)
Arena muy gruesa	de 2,0 a 1,0	I	2,0 a 0,2
Arena gruesa	1,0 a 0,5		
Arena media	0,5 a 0,25		
Arena fina	0,25 a 0,10	II	0,2 a 0,02
Arena muy fina	0,10 a 0,05		
Limo	0,05 a 0,002	III	0,02 a 0,002
Arcilla	Menos de 0,002	IV	Menos de 0,002

Fuente: "Cuaderno práctico de Edafología". Kaplán, A. Rucks, L. y Telechea, L. AEA. Facultad de Agronomía.

Es difícil encontrar que los diferentes horizontes de un mismo perfil de suelos evolucionado, tengan una sola textura, sino que en los hechos, cada horizonte tiene (y hay que describirla) su textura particular.

Esta propiedad física, en cada horizonte proviene de la combinación o combinaciones que pueden existir entre las fracciones limo, arcilla y arena. La expresión gráfica de dichas combinaciones, forman las llamadas **CLASES TEXTURALES**, que a su vez en conjunto, pueden reunirse a los efectos prácticos, en el conocido **TRIANGULO TEXTURAL**.

El diagrama triangular equilátero de la **Figura N° 1**, muestra la composición mecánica del suelo por un punto, en lugar de una línea de distribución, como lo hacen las curvas de acumulación. En este triángulo, los porcentajes de las tres fracciones principales (arena, limo y arcilla) se indican sobre cada uno de los lados. Las texturas extremas se encuentran hacia los vértices de dicho diagrama y las equilibradas en el centro. Todo el diagrama a su vez, está dividido en casilleros que se corresponden con las distintas clases texturales.

Por lo general, una muestra de suelo también está constituida por una cierta proporción de gravillas y cantos que son eliminados luego del tamizaje con malla o tamiz a 2 mm. La totalidad del análisis clásico, es efectuado sobre la "tierra fina" donde los elementos son menores a 2 mm de diámetro. Estos constituyentes minerales son agrupados por clases según las escalas presentadas.

La proporción relativa de estas clases definirán la textura de la muestra

usando a tales efectos, el diagrama triangular. Con este esquema general obtenemos una relación entre tipos de suelos y clases texturales. Cuando nos referimos a las "partículas gruesas del suelo", "partículas bastas", "groseras", nos referimos en forma general a las **ARENAS**. Cuando hablamos de "texturas finas", "materiales finos", "partículas pequeñas", nos referimos a las **ARCILLAS**. Los **LIMOS** los consideramos en cuanto a tamaño, propiedades y características, intermedias entre ambas. Las arenas muy finas tienen bastante en común con los limos.

Figura N° 1.- Triángulo equilátero mostrando las familias texturales.

(US. Department of Agriculture)

Fuente: "Carta de Reconocimiento de Suelos de Suelos del Uruguay". Tomo 1. Clasificación de Suelos. MAP. Dirección de Suelos y Fertilizantes.

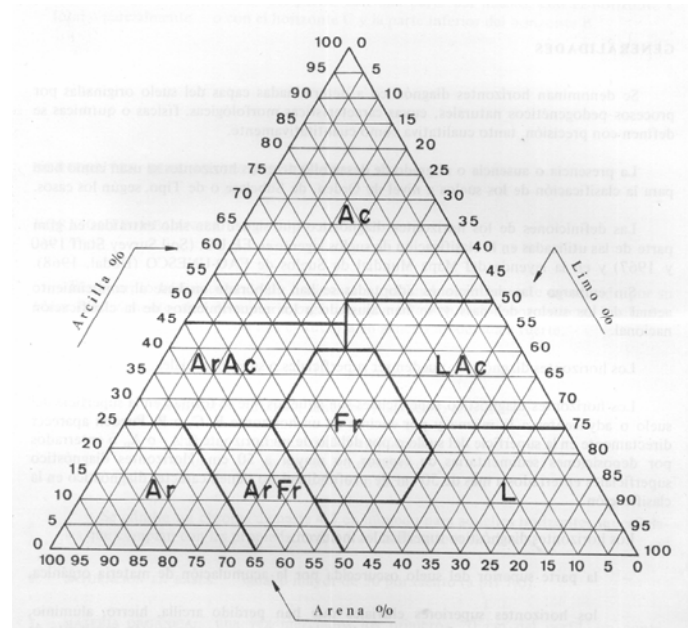
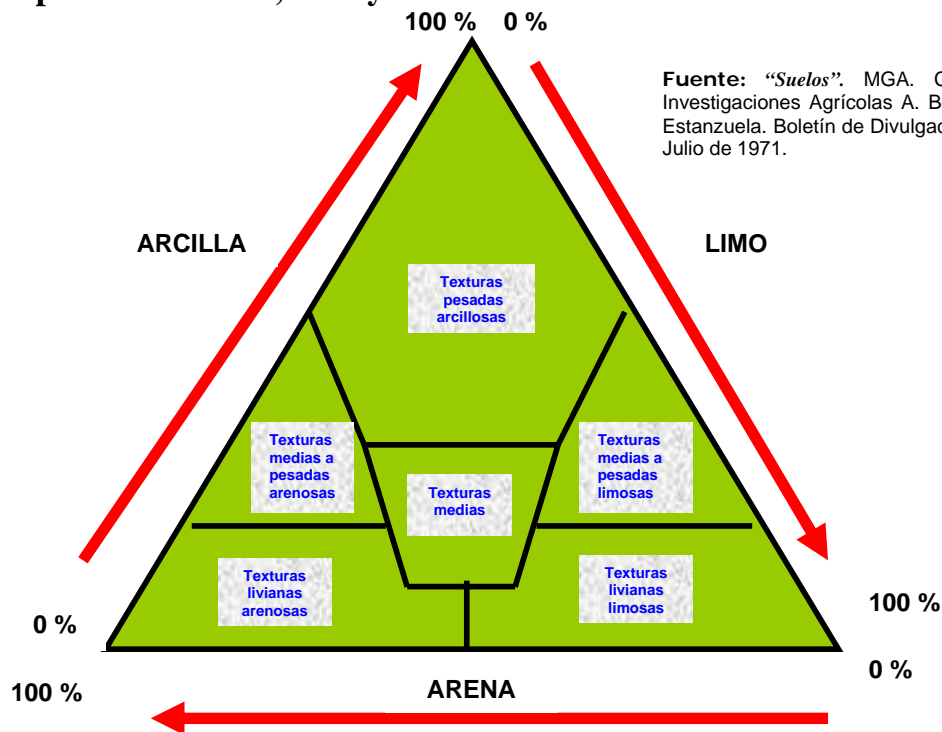


Figura N° 2.- Representación esquemática de la textura según la proporción de los componentes: arena, limo y arcilla.



Fuente: "Suelos". MGA. Centro de Investigaciones Agrícolas A. Boerger. La Estanzuela. Boletín de Divulgación N° 11. Julio de 1971.

2.1.1. Propiedades y naturaleza física de las distintas fracciones

2.1.1.1. Las fracciones más gruesas (partículas y fragmentos mayores a 2 mm).

Este tipo de fracciones más gruesas que son eliminadas con el tamizaje a 2 mm (son más gruesas que las propias arenas gruesas), como las gravillas o los cantos rodados, pueden en algunos casos, cumplir un rol de gran importancia en la organización interna del suelo.

Será necesario pues, conocer la proporción relativa de estas fracciones gruesas, pues pueden aparecer en grandes cantidades, con respecto a las otras del suelo. Es importante conocer sus diferentes tamaños, sus formas, sus composiciones mineralógicas, sus características petrográficas así como también, sus distribuciones espaciales dentro del perfil de suelo. El valor de uso de ciertos suelos, dependerá en gran medida, del tipo de información señalada.

Cuadro N° 2 .- Proporciones de las distintas fracciones en los suelos

Clases de suelo	Proporciones en el suelo		
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Franco	Menos de 52	28 – 50	7 – 27
Franco limoso	Menos de 50	50 ó más	17 – 27
Franco limoso	Menos de 50	80 ó más	Menos de 12
Limoso	Menos de 20	80 o más	Menos de 12
Franco arcillo arenoso	45 ó más	Menos de 28	20 – 35
Franco arcilloso	20 - 45		27 – 40
Franco arcillo limoso	Menos de 20		27 – 40
Arcillo arenoso	45 ó más		35 ó más
Arcillo limoso		40 ó más	40 ó más
Arcilloso	Menos de 45	Menos de 40	40 ó más
Arenoso	85 ó más	% de limo, no más de 1½ partes de arcilla, no superior al 15 %.	
Arenoso franco Límite superior	85 – 90	% de limo, más de 1½ partes de arcilla, menor que el 15 %.	
Límite inferior	70 – 85	% de limo, más 2 partes de arcilla, no superior al 30 %.	
Franco arenoso	52 ó más	% de limo, no más de 2 partes de arcilla, menor que el 30 % y 20 % de arcilla como máximo.	
Franco arenoso	43 – 52	Menor que el 70 % de arcilla y menor que el 50 % de limo.	

Fuente: Rodríguez Suppo, F. "Riego por goteo". AGT. Editor S.R.

Su presencia también es importante, pues influyen en el almacenamiento de agua, su infiltración, escurrimiento, aireación, aptitud para el laboreo etc. Estos fragmentos gruesos los clasificamos en:

☐ **GRAVILLAS** → Incluyen las gravas y gravillas. Son fracciones de 2 a 75 mm de diámetro. Producen los "suelos gravillosos".

□ **GUIJARROS** → Comprende los guijarros propiamente dichos, los cantos rodados y también los cascajos. Son fracciones de 75 mm a 25 cm de diámetro. Producen los “**suelos gijarrosos**”.

□ **PIEDRAS** → Incluyen las piedras y bloques, aunque desde el punto de vista de las clases texturales, no las consideramos parte de la masa del suelo. Sin embargo es importante tenerlas en cuenta por la relación que tienen con el uso del suelo. Los tamaños de las piedras pueden superar los 25 cm de diámetro y producen los “**suelos pedregosos**”.

2.1.1.2. **Fracción arcilla** (partículas de hasta 2 μ de diámetro).

La fracción arcilla cumple un rol muy importante en las propiedades texturales de los suelos. Estos elementos finos son los que tienen mayor superficie específica, siendo a veces llamados también “coloides minerales”. Por su tamaño, estas partículas solo son observables con el microscopio electrónico.

Presentan propiedades particulares en cuanto a la **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), fijación del agua, plasticidad y cohesión**, propiedades éstas de gran importancia agronómica. Cabe señalar que las propiedades de la fracción arcilla no son constantes y dependen de la composición mineralógica. Desde este punto de vista, las arcillas son silicatos de aluminio más o menos hidratados, con una estructura finamente cristalina, dispuesta en hojas (filosilicatos).

Las tierras serán permeables o no, dependiendo del estado de la arcilla (floculada o dispersa). Los minerales arcillosos pueden ser agrupados en clases, siendo las más comunes las siguientes:

□ **Caolinita** → Se caracteriza por ser pobre en sílice, tener un bajo poder de expansión y una baja Capacidad de Intercambio Catiónico (baja CIC).

□ **Montmorillonita** → Espectitas. Presenta mayor riqueza de sílice y el distanciamiento intercapa es variable, de allí su alto poder de expansión-retracción, según sus condiciones de hidratación. Además presenta un alto poder de intercambio catiónico (alta CIC) y de fijación de agua.

□ **Illita** → Presenta propiedades cercanas a las micas o sea intermediarias entre la caolinita y la montmorillonita.

□ **Atapulgita** → Es un mineral arcilloso con estructura fibrosa y no laminar como las anteriores.

Los suelos ricos en partículas finas, conocidos como suelos arcillosos o pesados, son por lo general plásticos al estado húmedos y muy duros y tenaces, en estado seco. Tanto muy secos como muy húmedos, son entonces suelos con grandes dificultades para el laboreo, por lo que es importante trabajarlos con el estado justo de humedad.

Los suelos arcillosos retardan el movimiento del agua y del aire dentro del perfil y cuando se secan, quedan “terronudos”, duros y no sueltos. Poseen una capacidad alta de imbibición de agua o de otros líquidos y en general son considerados más fértiles que los suelos arenosos.

2.1.1.2.1. **El fenómeno de Expansión – Retracción**

La “**expansión**” es la propiedad que presentan ciertos suelos de aumentar su volumen cuando incorporan agua. Los resultados

experimentales indican que el aumento de volumen es al principio, menos que proporcional a la cantidad de agua fijada, luego aumenta en forma brusca para posteriormente anularse y perder significación cuando el suelo se licua. La variación inversa sucede con el desecamiento, denominándose entonces, “fenómeno de **retracción**”.

La expansión está directamente atribuida a la presencia de los coloides orgánicos y a los arcillosos que, según su proporción y naturaleza, son más o menos expandibles. Así por ejemplo, la montmorillonita (arcilla tipo 2:1) es más expandible que la caolinita (arcilla tipo 1:1) y como predomina en muchos suelos de nuestra geografía, este fenómeno que se observa en casi todos lados, pero sobre todo en el sur de nuestro país, adquiere una real significación para las características productivas de los suelos.

Por otra parte, la expansión de los mismos, depende de la riqueza de los coloides en cationes intercambiables, siendo por ejemplo más expandible una arcilla sódica que una cálcica. Se recuerda así mismo, que los fenómenos de dispersión están favorecidos por las mismas condiciones. Si hay dispersión, al provocarse la expansión, puede haber desaparición de la estructura y gran susceptibilidad a la compactación.

Por último cabe señalar, que muchos suelos del Uruguay presentan esta propiedad de ser expandibles en la totalidad de sus horizontes o en parte de ellos. Tal es el caso de los Vertisoles, los Brunosoles de fase vértica y algunos Planosoles a nivel del horizonte B_{2t}.

2.1.1.3. Fracción limo (partículas de 2 a 20 μ de diámetro).

Los porcentajes muy elevados de limo se corresponden en general, con propiedades físicas pobres, sobre todo si dicho suelo tiene bajo contenido de materia orgánica. Por su tamaño, son observables con microscopio óptico común con muy buen aumento o con el electrónico.

Estos suelos tienen tendencia a encostrarse fácilmente en la superficie, empeorando por consiguiente, las condiciones de aireación y haciendo al suelo más susceptible a la erosión hídrica, debido a que disminuye la infiltración del agua.

La composición mineralógica de la fracción limo puede tener mucha importancia desde el punto de las reservas de nutrientes. Los suelos limosos son considerados de una categoría intermedia entre los arenosos y los arcillosos, pues poseen algo de plasticidad y de cohesión (tenacidad) y esto es debido a que en su composición tienen algo de arcilla.

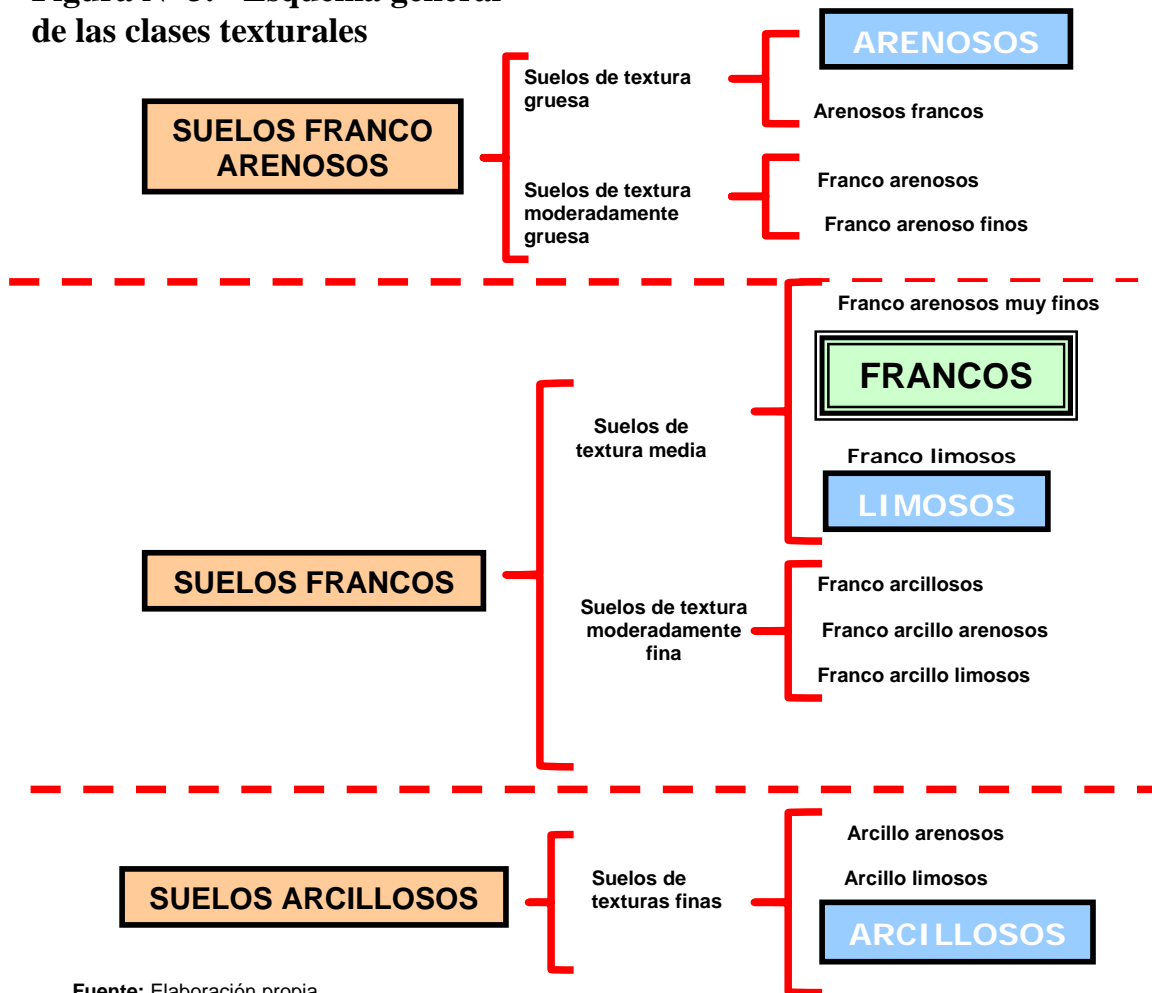
2.1.1.4. Fracción arena (partículas de 20 a 200 μ de diámetro).

Los suelos que tienen predominancia de fracciones gruesas, como ser las arenas, gravas etc., son llamados también “**suelos abiertos**” y poseen buenas propiedades físicas, alta velocidad de infiltración (buen drenaje), alta permeabilidad, buena aireación y fácil laboreo, porque se desmenuzan fácilmente por su poca plasticidad y tenacidad. Su principal limitante será la baja fertilidad natural, claramente observable por ejemplo en muchos suelos formados sobre areniscas.

Dependiendo del tipo de producción y proyecto, se tienen también en cuenta: las facilidades de acceso al/los predio/s, fuentes de agua de buena calidad y con altos caudales, facilidad y condiciones de laboreo en

condiciones extremas de clima, cercanía a puertos de embarque, etc.

Figura N° 3.- Esquema general de las clases texturales



Fuente: Elaboración propia

Las fracciones gruesas consisten principalmente en minerales primarios, entre los que domina el cuarzo (al contrario de lo que sucede en los suelos con textura fina en los que predominan los minerales secundarios). Contribuyen a darle soltura al suelo y son considerados una reserva de elementos nutritivos (K^+ , Ca^{++} , Mg^{+++}) los cuales se encuentran en forma insoluble y por lo tanto son inaprovechables por la planta, pero que mediante los procesos de alteración química, se solubilizan y son liberados al medio. O sea que se las considera inactivas químicamente mientras no son alteradas, lo que hace casi nula su asimilación por las raíces de las plantas.

Otros minerales, como ser los óxidos de hierro (Fe_2O_3) y de aluminio (Al_2O_3), predominan en las fracciones finas de la arena y en las gruesas de las propias arcillas.

En el *Cuadro N° 3* observamos la falta de reactividad química de las arenas debido a su composición mineralógica, así como su diferencia con las fracciones finas, que presentan mayor disponibilidad de nutrientes.

Cuadro N° 3.- Relación entre la composición química y la textura (%)
 (“Suelos” de Montalto, J.S. Joffe y r. Kumin, 1942, citado por Buckman y Brady en 1965)

Texturas	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
Arenas	86,30	5,19	6,77	0,37	1,02
Limo grueso	81,30	3,11	7,21	0,41	0,82
Limo fino	64,00	9,42	12,00	0,32	2,22
Arcilla gruesa	45,10	13,50	21,10	0,38	2,09
Arcilla fina	30,20	17,10	22,80	0,08	1,77

Fuente: “*Propiedades físicas del suelo.*”. Rucks, L. García, F. Kaplán, Ponce de León, J. “Curso de edafología”

2.1.2. Génesis textural

El origen de las distintas fracciones que se presentan en los suelos en sus diferentes proporciones, proviene en primer lugar de la roca madre, de allí que pueda ser considerada la textura como una característica física de herencia, comprobándose en la mayoría de los casos, una relación causa-efecto de alta evidencia.

En segundo lugar, la textura estará determinada por los complejos procesos de pedogénesis donde intervendrán los cinco factores de formación: **CLIMA, ROCA MADRE, RELIEVE, SERES VIVOS y TIEMPO** (cronológico).

La tendencia congénita determinada por las características litológicas de la roca madre, podrá ser favorecida o contrarrestada por procesos de **hidrólisis, quelación y traslocación** mecánica. Interesa pues resaltar que las características texturales de un suelo no sólo nos permiten inferir ciertas propiedades de interés agronómico, sino que además nos pueden proporcionar valiosa información para interpretar su génesis y evolución.

Cuadro N° 4.- Principales clases de partículas minerales y algunas de sus propiedades

Dimensión	Nombre común	Visibilidad	Composición dominante
Muy gruesas	Piedras y gravas	Simple vista	Fragmentos de rocas
Gruesas	Arenas	Simple vista o lupa de bajo aumento	Minerales primarios
Finas	Limos	Lupa de gran aumento o microscopio óptico	Minerales primarios y secundarios
Muy finas	Arcillas	Sólo microscopio electrónico	Casi siempre sólo minerales secundarios

Fuente: elaboración propia en base a “*Propiedades físicas del suelo.*”. Rucks, L. García, F. Kaplán, Ponce de León, J. “Curso de edafología”.

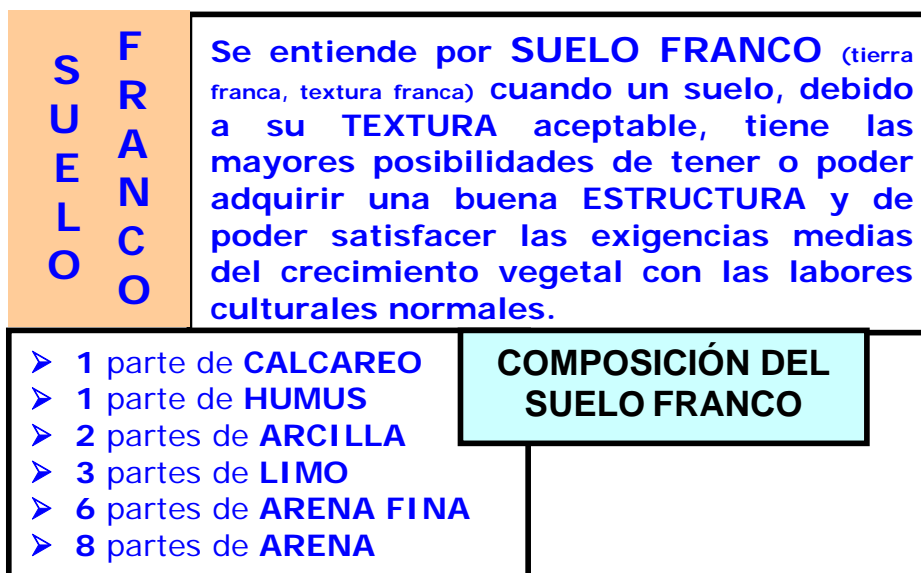
2.1.3. Suelo franco e interacción entre los constituyentes

Interesa definir un concepto que ya fue mencionado anteriormente y es el de **SUELO FRANCO**.

Repartidas las fracciones en sus diversas proporciones, se observa que

cada fracción ejerce en el suelo, una influencia igual en intensidad llamado **COEFICIENTE DE INFLUENCIA**, cuyo valor es inversamente proporcional al lugar que ocupa en la tierra franca. Por ejemplo para ejercer la misma influencia que 100 gr de humus, se necesitan 200 gr de limo en la tierra franca.

Esta mención que hemos hecho de la tierra franca o suelo franco, sería en condiciones ideales, pero debemos decir también ahora, que en el suelo se dan lo que se conoce como **interacciones entre los diversos constituyentes**. Sabemos que el suelo es una mezcla de distintos constituyentes y cada uno ejerce una influencia en forma separada, pues en el mismo existen **fenómenos de neutralización y refuerzo de efectos**.



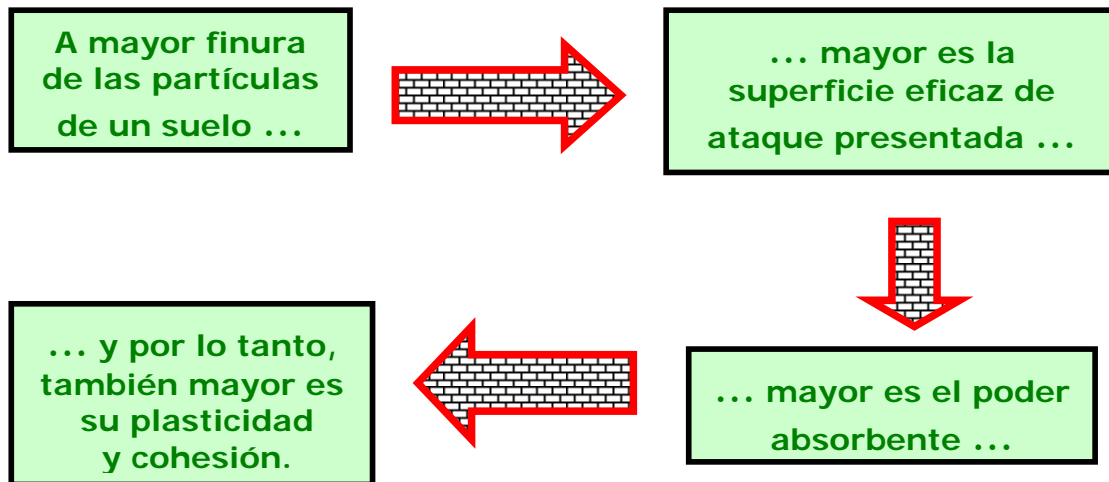
Si por ejemplo tomamos la relación **ARCILLA-HUMUS**, sabemos que la arcilla reduce la porosidad y por el contrario, la arena la aumenta. Si la arcilla se encuentra en mayor proporción, las propiedades de la arena serán anuladas por la arcilla y dicho suelo presentará las propiedades de la arcilla o sea con mayor cantidad de microporos, poca permeabilidad etc.

Hay otra relación importante a tener en cuenta y es la interacción **LIMO-ARCILLA**. Si en el suelo predomina el primero, frente a la arcilla, esta no va a ejercer una acción suficiente y como el limo no tiene propiedades coloidales, el suelo tiende a dispersarse y a poseer una mala estructura e inestabilidad.

Si la proporción de arcilla en ese suelo es buena, el comportamiento mejora, corrigiéndose la estabilidad estructural y el limo balanceará el exceso de cohesión de la arcilla.

Otra relación que también podemos encontrar, es la de la **ARCILLA-HUMUS**. Esta interacción provoca una asociación de propiedades de cada una de ellas, para favorecer la composición química y física del suelo.

Tomando en consideración algunos de los conceptos vertidos anteriormente, podríamos concluir que: **a mayor finura de las partículas de un suelo, mayor es la superficie eficaz de ataque presentada, mayor es el poder absorbente y también mayor es su plasticidad y su cohesión.**



O sea el óptimo será el coloide mineral arcilloso y la textura de menor actividad y con menor número de propiedades sería la arenosa. En general se puede admitir que un suelo debe tener un mínimo de un 12 % de arcilla y cuando el tenor de este elemento desciende por debajo de 6 %, los riesgos de estabilidad de la estructura de dicho suelo, son grandes.

2.1.4. Análisis de campo de la textura

En el propio campo, puede determinarse en forma aproximada la textura de un perfil determinado. Para esto se extrae una pequeña porción (muestra) del horizonte que se está analizando, se humedece un poco, amasa y se forma una "**bolita de tierra**". Esta se coloca entre el pulgar y el índice y se presiona entre los dedos, tratando de que se deslice y se forme "**una cinta**". Su observación, nos dará una idea aproximada de los porcentajes de las fracciones. Lo que observamos de la cinta es: **su formación, brillo, continuidad y también otras características etc.**

○ Si la textura es predominantemente **ARENOSA**, la cinta ...

- ✓ ... *tiene tacto áspero y abrasivo sobre todo en las fracciones más gruesas.*
- ✓ ... *o la bolita, si se muerden con los dientes, se notan los granos de arena. Puede saberse en forma aproximada, cantidad y tamaño de los mismos.*
- ✓ ... *carece de cohesión y brillo y no se forma bien.*
- ✓ ... *o la bolita, hacen ruido al amasarse entre los dedos debido al rozamiento entre los granos.*

○ Si la textura es predominantemente **LIMOSA**, la cinta ...

- ✓ ... *se presenta escamosa.*
- ✓ ... *tiene tacto y aspecto suave y untuoso.*
- ✓ ... *o la bolita, no presentan plasticidad y pegajosidad en estado húmedo.*

○ Si la textura es predominantemente **ARCILLOSA** la cinta ...


- ✓ ... *se presenta bien formada.*
- ✓ ... *se presenta lisa y brillante.*
- ✓ ... *o la bolita, presentan mucha cohesión.*

✓ ... se presenta muy plástica y con pegajosidad en estado húmedo.

Es importante decir que existe correspondencia entre el tipo de bolita y la cinta que se forma y el porcentaje de arcilla que posee la textura en cuestión. Con estos datos se puede ingresar fácilmente al triángulo textural (siempre se ingresa por la arcilla) y obtener datos mucho más precisos.

Las fracciones minerales del suelo, como la arcilla, el limo y la arena (o sea las partículas primarias), rara vez se presentan separadas unas de otras, sino que lo normal es que se encuentren en el perfil de suelo, como agregados o formando parte de partículas secundarias, íntimamente asociados entre ellas y con la materia orgánica. A éste conjunto o agregación de partículas es lo que llamamos estructura de un suelo.

Con estas relaciones prácticas



ingresamos al **TRIANGULO TEXTURAL**

CINTA LISA Y BRILLANTE	Tiene más de 40 % de arcilla
CINTA ESCAMOSA	Tiene entre 21 y 40 % de arcilla
CINTA NO CONTINUA O NO FORMADA	Tiene menos del 21% de arcilla

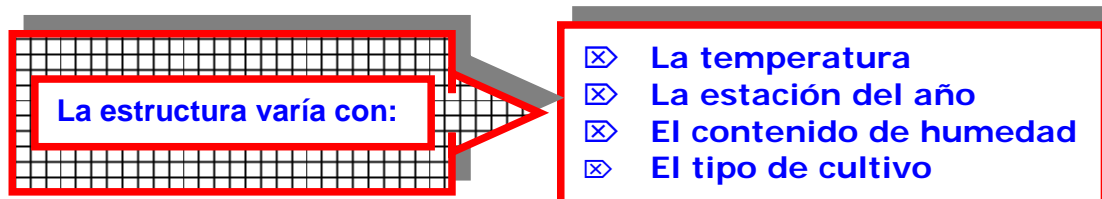
Fuente: Elaboración propia

2.2. Estructura

ESTRUCTURA

Es el arreglo de las diferentes partículas del suelo (minerales y materia orgánica). Tanto las partículas primarias en compuestas o en grupos de partículas primarias solas, que se hallan separadas de los agregados vecinos por planos de mayor fragilidad.

Es un carácter fundamental de la morfología del suelo y tiene una importancia muy grande en la aptitud productiva del mismo. No constituye un valor constante, sino variable bajo diferentes circunstancias.



Existe una muy estrecha relación entre esta propiedad física y el contenido de humedad, siendo el agua el principal agente destructor de la misma.

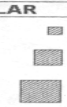



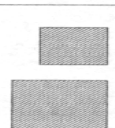
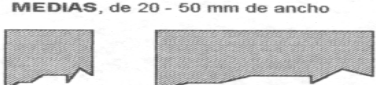
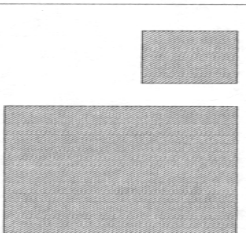
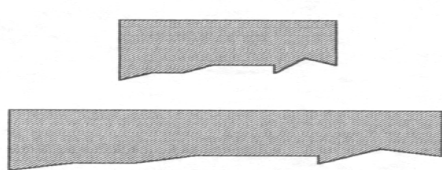
La primera condición para la formación de agregados, es la existencia de sustancias que den cohesión al suelo como la arcilla y la materia orgánica. Las arenas no forman agregados, debido justamente a la ausencia o el contenido muy bajo de dichos coloides.

2.2.1. Clasificación de la estructura

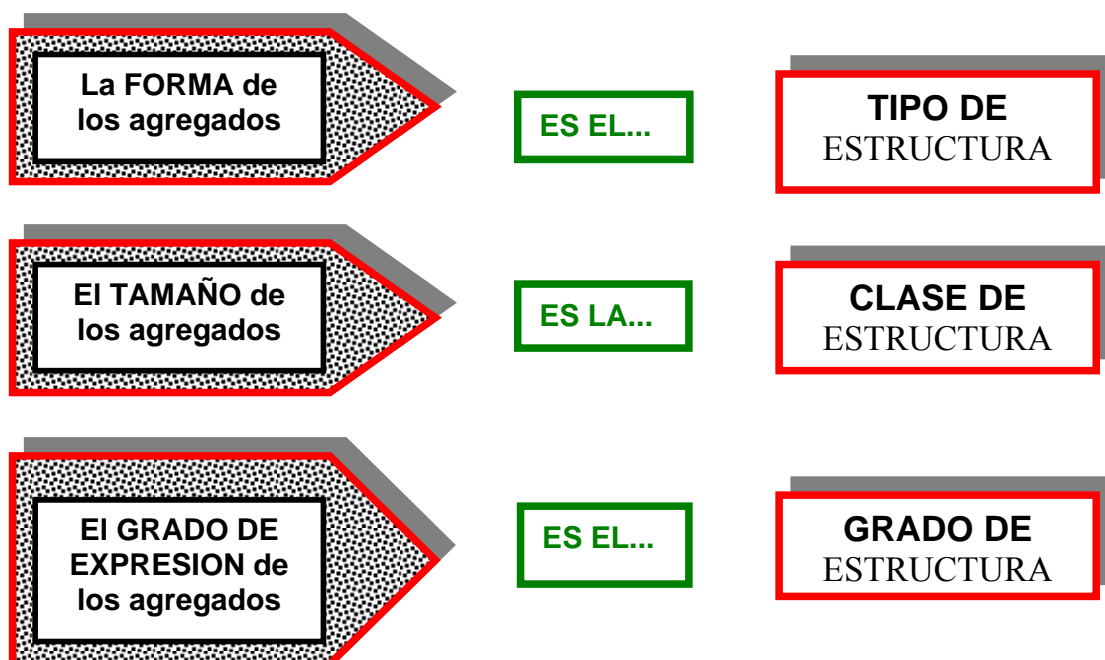
Para la clasificación o mejor la descripción de la estructura de los diferentes horizontes, se debe tener en cuenta **SIEMPRE** el siguiente orden:



Cuadro N° 5

TIPOS Y CLASES DE ESTRUCTURA (I)	
ANGULAR Y SUBANGULAR	PRISMÁTICA O COLUMNAR
MUY FINAS menos de 5 mm de diámetro 	MUY FINAS , menos de 10 mm de ancho 
FINAS 5 - 10 mm de diámetro 	FINAS , de 10 - 20 mm de ancho 
MEDIAS 10 - 20 mm de diámetro 	MEDIAS , de 20 - 50 mm de ancho 
GRUESAS 20 - 50 mm 	GRUESAS , 50 - 100 mm de ancho 

Fuente: "Cuaderno práctico de Edafología". Kaplán, A., Rucks, L. Telechea, L. Mandl, A. AEA.



Por ejemplo si tenemos un suelo dónde la estructura presenta agregados

unidos con flojedad, redondeados, no muy porosos y que predominan los de tamaño de 1 a 2 cm de diámetro, bien definidos, decimos que la estructura es granular, fina y fuerte, manejando siempre primero el **tipo**, luego la **clase** y por último el **grado** de estructura.

Cuadro N° 6.-

TIPOS Y CLASES DE ESTRUCTURA (I)	
ANGULAR Y SUBANGULAR	PRISMÁTICA O COLUMNAR
MUY FINAS menos de 5 mm de diámetro	MUY FINAS , menos de 10 mm de ancho
FINAS 5 - 10 mm de diámetro	FINAS , de 10 - 20 mm de ancho
MEDIAS 10 - 20 mm de diámetro	MEDIAS , de 20 - 50 mm de ancho
GRUESAS 20 - 50 mm	GRUESAS , 50 - 100 mm de ancho

Fuente: Elaboración propia en base al "Cuaderno práctico de Edafología". Kaplán, A., Rucks, L. Telechea, L. Mandl, A. AEA

2.2.1.1. Tipos de estructura

✓ **LAMINAR** = son agregados que se disponen siguiendo un plano horizontal y donde el eje horizontal es más largo que el vertical. Es conocida también como "tipo planar" o "plátifforme"

✓ **PRISMOIDAL** = los agregados tienen ejes horizontales más cortos que los verticales. Podemos subdividirlo en:

- ❑ **Estructura en prismas** = los agregados, bajo forma de prismas, presentan su base superior o "cabeza", plana.
- ❑ **Estructura columnar** = los agregados, bajo la forma de prismas, presentan su base superior o cabeza en forma redondeada.

✓ **POLIEDROS REGULARES O BLOQUES** = los agregados tienen ejes horizontales y verticales más o menos iguales. Las partículas que forman los agregados, están dispuestas alrededor de un punto y están limitadas por superficies planas o redondeadas. Se reconocen dos sub-tipos de poliedros:

- ❑ **Bloques angulares** = los agregados están limitados por caras planas que se intersectan en ángulos agudos y poseen aristas bien definidas.
- ❑ **Bloques sub-angulares** = los agregados están limitados por caras planas y curvas y tienen aristas redondeadas.

✓ **ESFEROIDAL** = los agregados se presentan más o menos redondeados. Las partículas están dispuestas alrededor de un punto y limitadas por superficies curvas o muy irregulares, que no están acomodadas a la forma de los agregados vecinos. También los podemos subdividir en:

- ❑ **Granular** = cuando la estructura no es porosa
- ❑ **Migajosa** = si ésta se presenta muy porosa

2.2.1.2. Clases de estructura

Observamos que dentro de cada tipo de estructura, se pueden reconocer cinco clases de estructura:

Cuadro N° 7.- Clases de estructura

CLASE	TAMAÑO DE LOS AGREGADOS
Muy finas	menos de 1 mm de diámetro
Finas	de 1 a 2 mm de diámetro
Medias	de 2 a 5 mm de diámetro
Gruesas	de 5 a 10 mm de diámetro
Muy gruesas	más de 10 mm de diámetro

Fuente: elaboración propia

2.2.1.3. Grados de estructura

Por último, para terminar de definir la estructura de los suelos, usamos el término de **GRADO DE ESTRUCTURA**.

Es el grado de agregación de las partículas de suelo. Expresa la cohesión dentro del agregado y la adhesión entre los agregados.



GRADO DE ESTRUCTURA

O sea es el grado de expresión de la estructura y se habla por lo tanto de:

✓ **GRADO 0 (SIN ESTRUCTURA)** = Se llama también masiva o de grano fino, según halla algo de cohesión o no. No existe en general agregación observable ni un arreglo definido de las superficies naturales de disyunción.

✓ **GRADO 1 (ESTRUCTURA DEBIL)** = En ella los agregados son poco definidos, mal formados y si se perturba el material, se rompe en una mezcla de pocos agregados enteros, muchos rotos y una gran parte aparece sin agregación.

✓ **GRADO 2 (ESTRUCTURA MODERADA)** = La estructura aparece formada por agregados precisos y bien formados y cuando se

perturba el material, éste da una mezcla de muchos agregados enteros bien netos y también algunos agregados rotos.

✓ **GRADO 3 (ESTRUCTURA FUERTE)** = En este grado, la estructura aparece formada por agregados durables, totalmente evidentes en un suelo no perturbado, que soportan el desplazamiento cuando el suelo es movido. Cuando éste se remueve, el material resultante consiste en agregados enteros, con muy pocos rotos y sin nada de material sin agregar.

2.2.1.4. Tipos de estructura según la escuela francesa

La escuela francesa reconoce los siguientes tipos de estructura:

□ **PARTICULAR** = en este tipo de estructura, los elementos constituyentes, no están asociados entre ellos, debido a la falta de cohesión entre las partículas (por ejemplo la arena).

□ **MASIVA O CONTINUA** = el conjunto del suelo constituye un bloque. Es la estructura tipo "cemento".

□ **FRAGMENTARIA** = es la más frecuente. En ella, las partículas están ligadas por un cemento y los conjuntos se desprenden fácilmente los unos de los otros. Se pueden diferenciar:

- **Formas redondeadas** = estructura granular y migajosa
- **Formas angulares** = estructuras poliédricas, cúbicas, prismáticas y laminares.

2.2.2. Relación entre horizontes y estructura

Si realizamos una relación general entre los distintos horizontes y el perfil de suelos, vamos a encontrar que es frecuente la estructura de tipo granular, en los **horizontes A**, siendo en ellos menos frecuentes las laminares o las estructuras de bloques.

En cambio, en los **horizontes tipo B**, es frecuente encontrar estructuras más fuertes, del tipo de prismas, bloques o columnas.

El **horizonte C**, por estar formado por restos del material madre en desagregación, no posee en general estructura definida.

También se da el caso de que muchos horizontes tienen la estructura compuesta por agregados de más de un tipo, lo que también debemos tener en cuenta en la descripción de dichos horizontes.

2.2.3. Génesis o formación de la estructura

2.2.3.1. Floculación.

Es un proceso de naturaleza electrocinética. La floculación de los coloides tiene lugar cuando se encuentran saturados por iones de calcio (Ca^{++}). En éstas circunstancias, la materia coloidal tiende a formar flóculos o gránulos que precipitan y constituyen el comienzo de la agregación del suelo. Si el catión dominante en el medio es el sodio (Na^{++}), los coloides tenderán a absorber una proporción alta del mismo y dado que el efecto del sodio es contrario al del calcio, habrá dispersión y no floculación. En este caso no hay formación de agregados y el suelo permanece disperso, siendo su permeabilidad baja y su aireación muy pobre.

La génesis de la estructura está íntimamente ligada a los fenómenos de floculación de los coloides y a la cementación por los mismos de las partículas más gruesas, que llevan a una estabilización de aquellos.

2.2.3.2. Estabilización y cementación.

Una vez formados los agregados por el fenómeno de la floculación, su estabilización es producida por diversos agentes cementantes, que mantienen unidos los agregados, evitando su dispersión. Estos agentes son:

- **ORGANICOS** ➔ Materia orgánica (MO)
- **INORGÁNICOS** ➔ Arcilla, óxidos de hierro (Fe^{++} y Fe^{+++}) y óxidos de aluminio (Al^{+++})

La materia orgánica es más efectiva que la arcilla en promover la formación de agregados estables. Además, los suelos con buen contenido de hierro (como es el caso de ciertos suelos tropicales) éste junto a la MO, puede ser el principal cementante.

2.2.4. Procesos que favorecen la formación de agregados.

Entre los procesos descritos que favorecen la formación de agregados, se debe citar:

2.2.4.1. Humedecimiento y secado alternados.

El mojado y el secado alternados, de una masa de suelos, produce agregación, como consecuencia de las fuerzas y tensiones desiguales creados por éstos procesos de hinchazón y contracción alternados, junto con la acción del aire que queda atrapado entre los poros durante el mojado. El secado, causa una cementación de las partículas de arcilla cuando el suelo se contrae.

En general, la formación de este tipo de agregados no es permanente, puesto que si se someten a un exceso de agua, al re-hidratarse, se puede volver a romper la agregación.

2.2.4.2. Congelamiento y descongelamiento alternados.

Este proceso, aunque no se encuentra presente en nuestro país por la ausencia de temperaturas tan bajas, se reconoce como más efectivo para generar agregación, que el secado y mojado alternados, aunque son similares en sus efectos. Forma también agregados temporales, salvo que exista mucha materia orgánica que los estabilice. El congelamiento produce agregación, debido a la formación de cristales de hielo, que actúan como centro de crecimiento, pues las partículas se deshidratan.

2.2.4.3. Efectos de la actividad microbiológica y la microfauna.

Hemos dicho que en el suelo existe una gran actividad microbiológica que interviene en muchos procesos internos y que acompaña a la flora y fauna de mayor porte.

En el estiércol, la hojarasca en estado de putrefacción, en los restos de vegetales, frutos, ramas, etc. en general y en los primeros 20 ó 30 cm de suelo (y decreciendo en profundidad), existen millones de diminutos

organismos uni y pluricelulares, patógenos o no, viviendo, reproduciéndose y muriendo y en general formando parte de la materia orgánica, en muy activo estado de agregación, desagregación y reprocesamiento.

Las bacterias superan el 60 % de todos los demás seres vivos del suelo y se considera que sin ellas no existirían otras plantas, por su importante papel en el proceso. Los hongos, levaduras y mohos, tejen largos caminos dentro de la masa de desechos orgánicos, degradando la celulosa, la lignina (que es la fracción más resistente) y las demás moléculas de los glúcidos o hidratos de carbono. Se consideran que dichos hongos sintetizan diversos compuestos orgánicos que actúan como cementantes (gomas, ceras, azúcares, etc) de los agregados del suelo.

Se puede observar también la presencia de algas, protozoarios, ácaros, invertebrados, hormigas, ciempiés, larvas, piojos, insectos en general en todos sus estadios de desarrollo y también de lombrices y gusanos de todo tipo.

2.2.4.4. Efectos del laboreo agrícola.

El laboreo agrícola actúa de dos formas íntimamente relacionadas, al comienzo favorable (**corto plazo**) y luego perjudicial (**largo plazo**), para la estructura del suelo.

○ **A corto plazo:** Para el suelo en el corto plazo, el laboreo de la tierra es beneficioso, favoreciendo la agregación, porque la acción de los implementos lo afloja y deja mullido. Incorporan además, los residuos orgánicos que están en la superficie, mezclándolos en el perfil, rompiendo los terrones mayores, afinando la tierra y permitiendo la circulación del aire y del agua.

○ **A largo plazo:** Sin embargo en el largo plazo, el laboreo de la tierra en forma continua o durante períodos prolongados, tiene efectos perjudiciales porque acelera la oxidación de la materia orgánica agotándola. Además destruye los agregados especialmente por el constante y continuo uso y tránsito de maquinarias muy pesadas y con rodados inadecuados, produciendo una excesiva compactación del suelo, desfavorable desde todos los puntos de vista.

En tales circunstancias hay una disminución de la infiltración del agua en el suelo y un consecuente aumento del escurrimiento superficial, lo que favorece la erosión. La disminución de la porosidad dificulta la aireación del suelo, que se vuelve así un medio asfixiante y poco adecuado para el crecimiento de las raíces.

2.2.5. Estabilidad estructural de los suelos del Uruguay

La estabilidad de la estructura parece ser una característica esencial del estado físico de los suelos. En los horizontes cultivables, la estabilidad estructural dependerá en gran medida de la cantidad y la forma de la materia orgánica presente, siendo más estable cuanto más alto sea su contenido y mayor sea el poder polimerizante de sus ácidos húmicos.

Por lo general, la estabilidad estructural también dependerá de la actividad biológica del suelo, así como del tipo de cationes de intercambio presentes en el suelo:

Ca  **ALTA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL**

Na → **BAJA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL**

$$IIE = \frac{\text{Arcilla + limo}}{X \text{ agregados} - 0,9 \text{ corrección por arena gruesa}}$$

El **Índice de Inestabilidad Estructural (I.I.E.)** surge de un método de laboratorio ideado por S. Henin en 1960, que pretendía

evaluar la mayor o menor sensibilidad de los suelos a la acción del agua. Este índice, que aumenta a medida que la estabilidad estructural disminuye, puede variar desde valores muy próximos a cero, en los casos de suelos muy estables (0 a 0,5) para los horizontes superficiales de los suelos ricos en materia orgánica y calcio, a valores superiores a 5 en el caso de suelos con menor estabilidad como los alcalinos.

El I I E es un prueba que evalúa la cualidad y no se asemeja, a lo que sucede en la realidad. Mide la susceptibilidad de una estructura del suelo a la acción del agua. Es muy importante para evaluar procesos erosivos.

Back y Cayssials en 1974, realizaron este tipo de medidas para una serie de suelos representativos del Uruguay, habiéndose obtenido los resultados de las investigaciones que se observan en el **Cuadro N° 6**, del análisis de más de 360 muestras, provenientes todas ellas de suelos bajo campo natural.

El análisis estadístico de los resultados, comprobó que la materia orgánica juega un rol principal en la estabilidad estructural de los **horizontes A**, mientras que el contenido de arcilla lo hace a nivel de los **horizontes B**. Kaemerer, M. y Sacco, G. en 1977, haciendo un estudio de las características de los principales suelos del Uruguay, en cuanto a las distintas fracciones de la Materia Orgánica, encontraron en forma colateral que el IIE variaba según el suelo, estuviera bajo campo natural o cultivado, constatando además el efecto negativo del laboreo de suelos sobre la estabilidad estructural.

Cuadro N° 9.- Inestabilidad estructural de algunos suelos del Uruguay
(bajo campo natural) Back y Cayssials

Suelos	I. I. E.	Estabilidad estructural
Grumosoles Praderas negras Suelos superficiales sobre Basalto	< 0,5	Excelente
Praderas Pardas / Negras Brunosoles	< 1,5	Buena
Planosoles / Gley Húmicos	< 5	Indíces buenos a débiles
Suelos alcalinos	> 5 / > 10	Muy débil

Fuente: Elaboración propia en base a Cayssials, R. "Resumen de las principales propiedades físicas de los suelos". MGAP Dirección de suelos y Fertilizantes.

Por lo expresado en estos párrafos, está claro que desde el punto de vista agronómico, la existencia de una buena estructura es fundamental para obtener una productividad alta del suelo.

Cuadro N° 10.- Índice de Inestabilidad Estructural (I I E) en algunos suelos del Uruguay (bajo campo natural y campo cultivado)

Suelos	I. I. E.		Diferencia (A - B)
	Campo natural (A)	Campo cultivado (B)	
Vertisoles	1,48	1,61	- 0,13
Brunosoles éútricos	1,90	2,79	- 0,89
Brunosoles sub-éútricos	2,78	5,60	- 2,82
Planosoles	2,94	4,22	- 1,38
Gleysoles	2,05	5,60	- 3,55

Fuente: Cayssials, R. "Resumen de las principales propiedades físicas de los suelos". MGAP Dirección de suelos y Fertilizantes.

La condición ideal para la capa arable, desde el punto de vista físico, supone la existencia de una estructura granular estable y porosa, que proporcione soltura al suelo, favoreciendo la aireación e infiltración del agua y facilitando las operaciones de laboreo. El manejo adecuado del suelo, supone también el mantenimiento o mejoramiento de estas condiciones, impidiendo el deterioro de la estructura, mediante las operaciones adecuadas.

Cuando la estructura es desfavorable, debe buscarse su mejoramiento mediante prácticas convenientes como: el encalado, la incorporación de residuos orgánicos, la selección cuidadosa de los cultivos, la implantación de praderas permanentes y de rotaciones cortas o largas (fundamentalmente éstas últimas, si las condiciones son muy difíciles), incorporación de abonos verdes, etc.

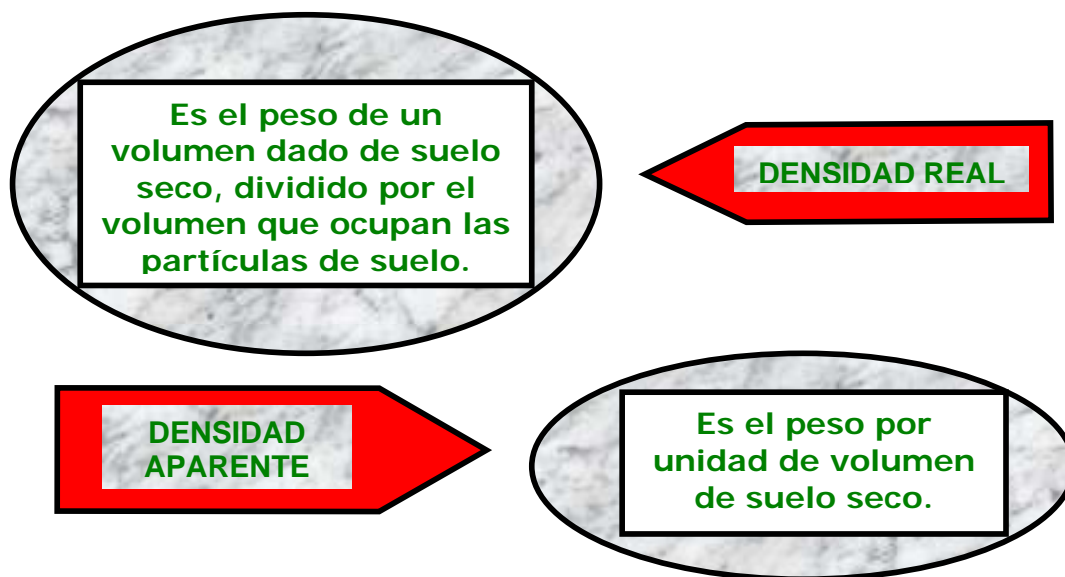
La estructura de los horizontes profundos es también importante en la práctica. En ellos, las unidades estructurales son siempre mayores que en los horizontes superficiales, siendo frecuentes las estructuras en bloques gruesos o en prismas. Estas estructuras son desfavorables si están muy desarrolladas y si la textura es pesada, porque en este caso la permeabilidad es baja. El carácter compacto de estos horizontes puede incluso impedir o al menos dificultar, el desarrollo radicular, afectando a todo lo que depende de éste.

El mejoramiento de la estructura del **horizonte B**, es generalmente muy difícil y a menudo impracticable o imposible. Si éste es compacto y poco permeable, en épocas lluviosas, el horizonte superficial se puede saturar de agua por lapsos más o menos prolongados, lo que perjudica las plantas que se ven así sometidas a períodos (que pueden ser también más o menos largos), de excesos de agua y déficit de aire en el suelo.

2.3. Densidad real y Densidad aparente

Si consideramos un determinado perfil o un volumen de suelo, en sus condiciones naturales, observamos que solamente cierta proporción de dicho volumen está ocupado por partículas simples sólidas, el resto lo forman los espacios intersticiales que en condiciones ordinarias de campo están

ocupados en parte por agua y en parte por aire. Dicho aire forma lo que se conoce como **atmósfera** del suelo, mientras que el agua forma parte de **la solución** del mismo.



Entonces, al considerar la densidad del suelo, manejamos dos valores distintos, que corresponden a dos conceptos diferentes, pero relacionados: **DENSIDAD REAL** y **DENSIDAD APARENTE**.

En la primera consideramos el peso por unidad del volumen ocupado por las partículas sólidas del suelo, en tanto que en la segunda, tenemos en cuenta el peso por unidad de volumen del suelo no perturbado.

Al calcular la densidad real, que es la densidad de la fracción sólida del suelo, no se tiene en cuenta el volumen correspondiente al espacio poroso del mismo. Este tipo de densidad también llamada **densidad de las partículas**, es obviamente entonces, una función de la densidad de los constituyentes minerales y orgánicos del suelo y por lo tanto está ligada a sus proporciones relativas.

Siendo **P** el peso de una muestra de suelo y **V** el volumen ocupado por la muestra desecada, podemos establecer la relación siguiente:

$$D_r = \frac{P}{V}$$

En general, para aproximarnos a la densidad real de los suelos, usamos la densidad real de la sílice **$D_r = 2,6$** o la de los feldespatos, que es **$D_r = 2,7$** pues son los que se encuentran en mayor proporción entre los minerales.

Si bien hay variaciones considerables en la densidad de los minerales, la misma para la mayoría de los suelos es sin embargo, un valor casi fijo, de alrededor de **2,65**. Esto se debe a que el cuarzo, las arcillas y parcialmente también los feldespatos, constituyen la casi totalidad de la fracción mineral del suelo.

Cuadro N° 11.- Densidades de algunos minerales presentes en la naturaleza

Mineral	Densidad real	Mineral	Densidad real
Cuarzo	2,65	Olivina	3,40
Feldspatos	2,55 – 2,76	Micas	2,76 – 3,20
Apatito	3,19	Hematita	5,10
Magnetita	5,00	Limonita	3,80
Anfíboles y pirruenos	2,90 – 3,60	Arcillas	2,60 – 2,70

Fuente: Elaboración propia

Pero hay constituyentes, como por ejemplo la materia orgánica (MO), que la hacen variar bastante. La densidad real de ésta es menor que la de los minerales, aun la de los más livianos. Según Robinson, oscila entre **1,2** y **1,7**. Pero como la mayoría de nuestros suelos de origen mineral, poseen contenidos relativamente bajos de MO, los mismos no afectan el valor de **2,65**. Ocasionalmente observamos, que la densidad real puede bajar a **2,4** en los horizontes superficiales de suelos muy ricos en materia orgánica.

Cuadro N° 12.- Densidades reales de algunos suelos.

Suelos	Densidad real
De constitución media	2,5 – 2,6
Calcáreos	2,45
Humíferos	1,8 – 2,4
Turbosos	1,2

Fuente: Elaboración propia

Siendo la densidad real del suelo, un valor relativamente constante para la mayoría de nuestros suelos, rara vez resulta de utilidad tanto desde el punto de vista práctico como del científico. Contenidos muy altos de materia orgánica, que disminuyen la densidad real o de óxidos de hierro, que la aumentan, puede detectarse por métodos muy sencillos, lo que hace innecesario recurrir a determinaciones de la densidad real. A los efectos de todo

tipo de cálculos prácticos, se considera que los suelos minerales tienen una **Dr = 2,65**.

En el cálculo de la densidad aparente, se tiene en cuenta el volumen ocupado por las partículas sólidas, más el volumen ocupado por el espacio poroso que existe entre los elementos constituyentes del suelo.

Como el espacio poroso de cualquier suelo, es bastante variable y diferente entre suelos e incluso entre horizontes del mismo suelo, la densidad aparente (**Da**) es un valor mucho menos constante que la densidad real (**Dr**). En el caso ideal de un suelo con 50 % de espacio poroso, la densidad aparente es la mitad de la densidad real o sea aproximadamente **1,32**.

La densidad aparente varía según la textura, estructura, contenido de materia orgánica y la compactación. Los suelos más sueltos y porosos, tendrán una densidad aparente menor, pues poseen mayor volumen que aquellos más compactos, donde las partículas están en íntimo contacto, tienen un espacio poroso menor y en consecuencia, una densidad aparente mayor.

Los suelos de texturas finas (arcillosas) presentan una granulación menor y un contenido de materia orgánica suficiente, por lo que las partículas no están en contacto estrecho, por lo tanto dada la mayor porosidad, la **Da** será mayor. Los suelos de textura liviana (arenosa) poseen una densidad

aparente relativamente alta, porque en ellos las partículas tienden generalmente a estar en contacto más estrecho unas con otras. A su vez, el contenido bajo de materia orgánica aumenta este efecto.

La granulación o estado de agregación de un suelo, puede variar según el manejo que se le dé y por lo tanto variará también la densidad aparente. Dos suelos con la misma textura y el mismo tenor de humus, presentarán diferentes **Da**, si su estado de agregación es distinto: el suelo más desagregado será más compacto o menos poroso y por lo tanto su densidad aparente será mayor.

En el perfil de suelos, la **Da** toma distintos valores. En general tiende a aumentar en profundidad, debido a que disminuye la materia orgánica y disminuye la agregación del suelo y la porosidad total en los horizontes más profundos. Estos, son por lo general más compactos que los superficiales, que se presentan bien granulados y ricos en humus. Por otra parte, en profundidad aumenta la compactación causada por el peso de las capas superiores y aumenta la acumulación y el taponeamiento con materiales finos en los poros mayores, por lo que disminuye el volumen.

El laboreo agrícola también aumenta la densidad aparente, pues afecta las capas superficiales, provocando en el largo plazo, la destrucción de la agregación del suelo con pérdida de la materia orgánica (aumento de la oxidación de ésta). El espacio poroso disminuye y la densidad aparente aumenta.

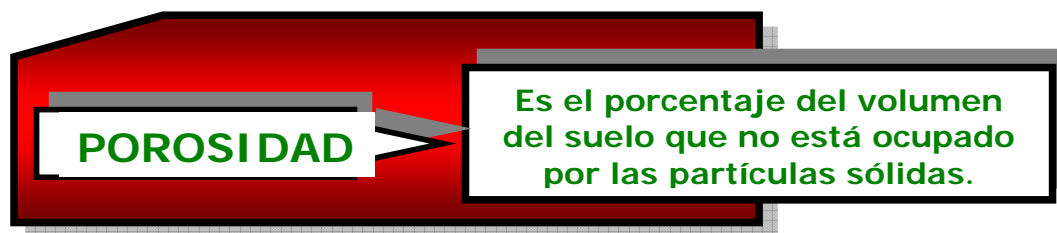
Las raíces de la vegetación también afectan la **Da**. Un buen sistema radicular explora mejor el suelo, favorece la agregación, rompe las capas duras (en la medida que no lo sean tanto y que se trate de raíces fuertes y sanas y si es posible pertenecientes a plantas perennes) y con ello se favorece la disminución de la densidad aparente.

Al aumentar el espacio poroso, es indudable que se dan mejores condiciones para el buen desarrollo vegetal, se favorece también el intercambio suelo-planta, la difusión del aire en el suelo y el movimiento del agua. Como concepto muy general, podríamos decir que con densidades aparentes menores, se estarían creando mejores condiciones para los cultivos.

2.4. Porosidad

Decíamos anteriormente que la densidad aparente es una propiedad física muy valiosa, mucho más que la real, ya que está relacionada con la porosidad del suelo.

Este parámetro presenta un valor promedio de **1,45**, lo que corresponde a un 45 % de porosidad total. En el caso de suelos muy compactos, se pueden alcanzar valores de **1,80**, lo que corresponde a un 32 % de porosidad total.



Los poros son las vías por las cuales el agua penetra y circula en el suelo. Muchos de ellos se encuentran conectados entre sí, formando verdaderos canales. El aire necesario para las raíces de las plantas, se encuentra llenando parcialmente dichos espacios junto al agua.

El suelo ideal es el que tiene el espacio poroso dividido por igual entre poros grandes y pequeños. Se dice entonces, que tiene las mejores condiciones para una buena aireación, permeabilidad y retención de agua. El volumen de los poros llenos de aire, se puede medir directamente a nivel de laboratorio con un aparato denominado: **“picnómetro de aire”**.

Encontramos dos tipos de poros:

❑ **Macroporos** = son los poros grandes que permiten el libre movimiento del agua y del aire del suelo. Dependen mucho de la textura y estructura de cada suelo y son de mayor tamaño y más numerosos en los suelos arenosos que en los arcillosos.

❑ **Microporos** = son poros muy pequeños por los que la circulación del aire y el agua se ven notoriamente dificultadas. Son característicos de los suelos de texturas finas o arcillosas.

Conociendo la densidad real de un suelo, podemos calcular el espacio poroso o sea la densidad total, mediante la relación entre **Da** y **Dr**.

$$Pt = 100 \left[1 - \frac{Da}{Dr} \right]$$

Pt = porosidad total
Da = densidad aparente
Dr = densidad real

La porosidad total de un suelo promedio oscila en un 50 %. Los suelos arenosos tienen una porosidad total entre 35 y 45 %, mientras que los suelos arcillosos varían entre un 40 y un 60 %. Todas las medidas de manejo que ayuden a mejorar la estructura del suelo, favorecen la macroporosidad y con ella la aireación. En cambio el cultivo continuo (el tipo de cultivo, el exceso de laboreo, etc) la afecta, pues disminuye la materia orgánica, la agregación etc.

Un ejemplo de ello se presenta en el **Cuadro N° 10**.

Cuadro N° 13.- Ejemplo de la cantidad de poros y el porcentaje de materia orgánica

Profundidad	Tratamiento del suelo	MO %	Porosidad %		
			Total	Macroporos	Microporos
0 – 15	Virgen	5,6	58,3	32,7	25,6
0 – 15	Cultivados	2,9	50,2	16,2	34,2

Usando la fórmula que relaciona ambas densidades, si $Da = 1,15$ y si sabemos que la densidad real es de $2,65$, el cálculo del espacio poroso total sería:

$$\text{Porosidad total} = 1 - \frac{1,15}{2,65} \times 100 = (1 - 0,434) 100 = 0,566 \times 100 = 56,6 \% \text{ de porosidad}$$

Estos tres parámetros, básicos para caracterizar el espacio poroso, el Pt, la Da y la Dr, presentan tres particularidades de mucha importancia para saber interpretar los resultados obtenidos:

□ Son **variables de posición**, pues dependen de la localización de la muestra dentro del perfil del suelo. La variación de los parámetros en el perfil nos podrá aportar valiosa información en cuanto a la repartición y la organización de los diferentes constituyentes del suelo.

□ Son **variables de dimensión**, puesto que el valor de dichos parámetros varía por lo general, según el tamaño de la muestra analizada.

□ Son **variables estacionales**, dado que pueden variar según sean las condiciones ambientales del suelo considerado, que se modifican durante el año. Las condiciones de humedad pueden provocar expansiones o retracciones que hacen variar los valores de Pt y Da. También ya vimos que la estructura evoluciona según las condiciones de manejo de los suelos.

Estas tres propiedades deben ser tenidas en cuenta cada vez que queremos caracterizar el espacio poroso de un suelo, recomendándose en particular, realizar una buena descripción de las condiciones de muestreo. Cabe señalar que para realizar una completa caracterización de la porosidad de un suelo, no basta con el dato de la porosidad total, sino que es necesario conocer la morfología, organización y orientación de dichos espacios libres.

2.4.1. Los diversos tipos de porosidad y la aireación del suelo

El llenado de un suelo por agua hasta la capacidad de campo, permite definir la microporosidad y su complemento a la porosidad total: la macroporosidad. Esta se corresponde con los poros de mayor tamaño, que son utilizados para la circulación gravitacional del agua y la aireación. La microporosidad, por otro lado, se corresponde con el volumen de poros más finos, utilizados para el almacenaje del agua, en el rango de humedad donde el agua se desplaza bajo el efecto de las fuerzas de unión que la retienen al suelo. Diversos autores localizan el límite entre ambos tamaños de poros, en 8 μ . aproximadamente.

Desde el punto de vista agronómico, la macroporosidad constituye un parámetro de gran trascendencia en la evolución de la función de la productividad de un suelo para determinados cultivos. García y Canale, en 1975, así como Domínguez y Lazbal en 1976, encontraron buena correspondencia entre los valores de la macroporosidad y la producción de papa.

García, F. et al en 1979, evaluaron la macroporosidad y la densidad aparente de un suelo en rotaciones de 16 años (Bunosol éutrico a sub-éutrico). Los resultados obtenidos indican que al aumentar la duración de las pasturas, aumenta la recuperación de las propiedades físicas. Mientras que Kaplan, A. et al en 1977, señalaba que la macroporosidad del suelo

superficial era una propiedad muy dinámica, variando con las condiciones climáticas, la intensidad del laboreo y el sistema de cultivos.

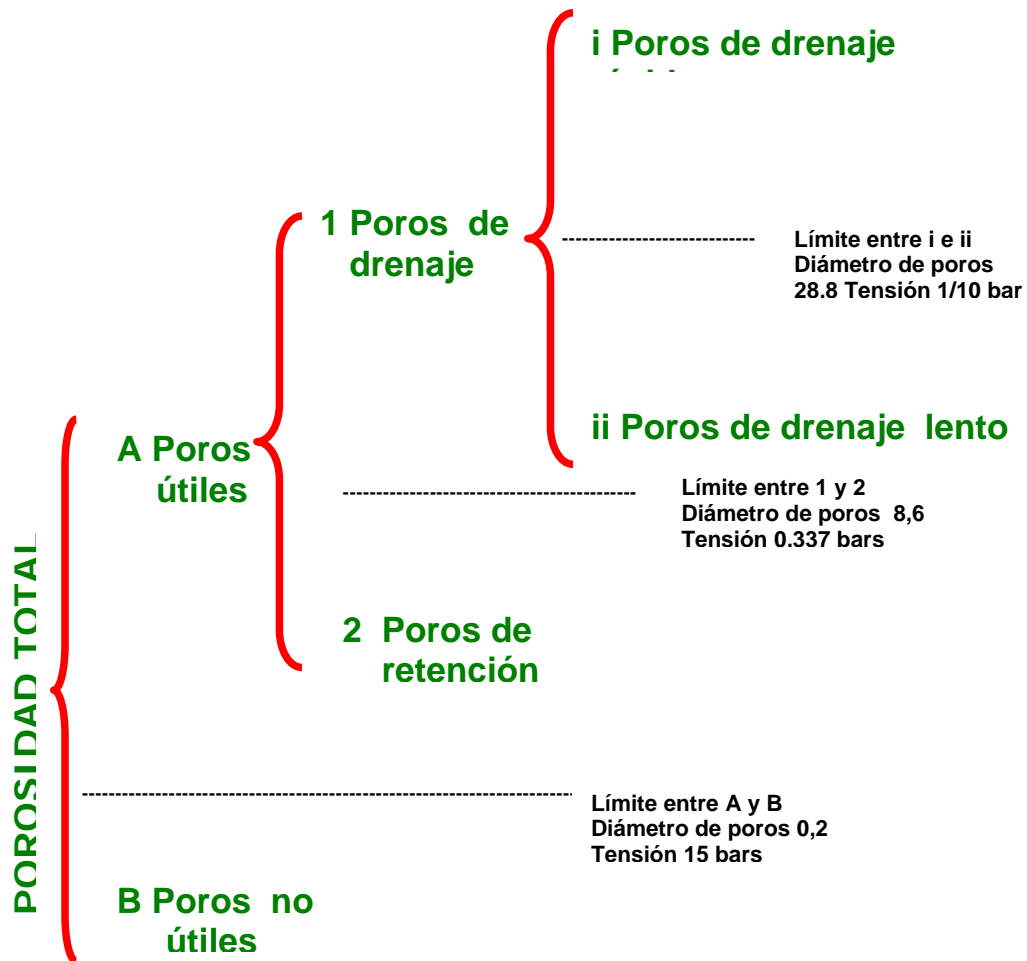
Gras, en 1969, mencionaba que la porosidad total de los agregados puede ser dividida en:

□ Porosidad cerrada = está constituida por los canalículos, que a su vez comprenden: los poros en “fondo de bolsa” y los “dedos de guante”, abiertos en un extremo y cerrados por el otro, ya sea por la cara externa del agregado o por otro canalículo. Estos poros no intervienen casi nada en la circulación del agua, pero juegan un rol importante en la retención de la misma y en las condiciones de aireación.

□ Porosidad abierta = éstos son considerados los poros realmente abiertos, de formas diversas, tubos o vacíos comunicantes entre ellos. Son más o menos sinuosos, presentando variadas conexiones, formando una red que atraviesa los agregados. Estos canalículos son esenciales en la circulación de los fluidos y en los fenómenos de retención.

Figura N° 4.- POROSIDAD TOTAL DE UN SUELO

(Esquema de De Boodt y De Leenher, 1959)



2.5. Consistencia de los suelos

La “**consistencia**” es otra de las propiedades físicas del suelo. Si bien

la consistencia y la estructura, son propiedades físicas muy relacionadas, la segunda se refiere a la forma, tamaño y grado de definición de los agregados naturales, que resultan de variaciones de las fuerzas de atracción dentro de la masa del suelo, en tanto que la consistencia se refiere a la energía y naturaleza de las fuerzas en sí.

La consistencia designa las manifestaciones de las fuerzas físicas de cohesión y adhesión, que actúan en el suelo, a diferentes contenidos de humedad. Es necesario ahora definir algunos otros términos relacionados con esta propiedad física.

La consistencia se determina para tres contenidos de humedad del suelo: MOJADO, HUMEDO y SECO.

2.5.1. Consistencia en mojado.

Se determina a un contenido de humedad correspondiente a la capacidad de campo del suelo o ligeramente superior a la misma. Pero la consistencia en mojado requiere la determinación de la pegajosidad y plasticidad:

❑ **Pegajosidad** = es la propiedad del suelo a adherirse a otros objetos. De acuerdo a esta propiedad, los suelos los podemos clasificar en: *pegajosos, ligeramente pegajosos o muy pegajosos.*

❑ **Plasticidad** = es la propiedad del suelo de cambiar de forma al aplicarse una fuerza y mantener la forma adquirida una vez que cesa la fuerza. Hablamos entonces de suelos: *no plásticos, ligeramente plásticos, plásticos o muy plásticos.*

CONSISTENCIA

Comprende los atributos del material del suelo que son expresados por el grado de cohesión y adhesión o por la resistencia a la deformación.

2.5.2. Consistencia en húmedo.

Se determina a un contenido de humedad situado aproximadamente en la mitad del intervalo comprendido entre la capacidad de campo y la sequedad del aire. A este contenido de humedad, una masa de suelo se rompe con mayor o menor facilidad en fragmentos menores, cuando se presiona entre los dedos. Estos fragmentos se pueden volver a unir entre sí, cuando se oprimen unos contra otros.

COHESIÓN → se entiende por cohesión en suelos mojados, a la atracción que existe entre las moléculas de la fase líquida que actúan como puentes o films entre las diferentes partículas minerales adyacentes.

ADHESIÓN → es la atracción de la fase líquida sobre la superficie de la fase sólida. Las moléculas de agua se pueden adherir tanto a la superficie de las partículas de suelo, como a los objetos que se ponen en contacto con él (arados, ruedas etc).

COHERENCIA → es la atracción entre las partículas sólidas del suelo.

Al evaluar la consistencia en húmedo, los suelos se clasifican en: **suelos** (no adherentes), **friables**, **firmes** o **muy firmes**. La **friabilidad** o **firmeza**, se refiere a la fuerza que es necesario aplicar a una masa de suelo, para que se rompa en fragmentos menores.

2.5.3. Consistencia en seco.

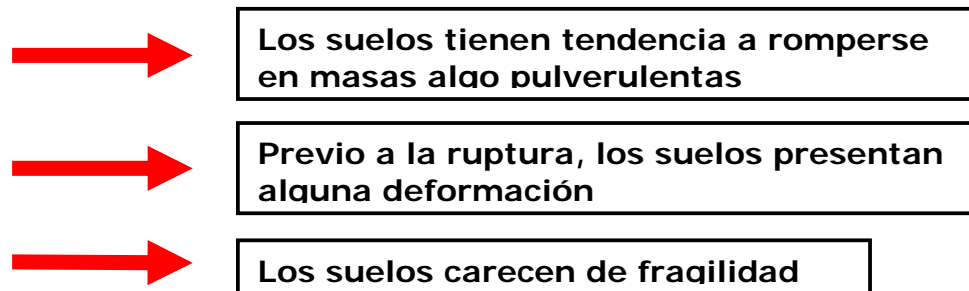
Se evalúa en una masa de suelo seco al aire. A este contenido de humedad, la resistencia a la ruptura es máxima. Los fragmentos producidos por la ruptura son relativamente angulosos y no se pueden volver a unir entre sí, aunque se opriman unos contra otros.

Los suelos se clasifican según su consistencia en seco en: suelos (no coherentes), blandos, ligeramente duros o muy duros.

Vemos que a bajo contenido de humedad, el suelo es duro y muy coherente, estando muy cementado y si lo trabajamos (aramos, rastreamos etc), se forman terrones duros de diversos tamaños, pero no se granula. Estos suelos secos, que presentan una gran resistencia a la ruptura, tienen también la característica, de que una vez que el material es roto, no puede volver a unirse cuando es prensado.

Si aumentamos el contenido de humedad del suelo, decrece la coherencia de estos suelos duros, volviéndose friables. **Friable es entonces la característica de desmenuzarse.**

La mejor aptitud para el laboreo, la presentan los suelos friables y mullidos y en dicha condición de friables, la consistencia presenta las siguientes características:



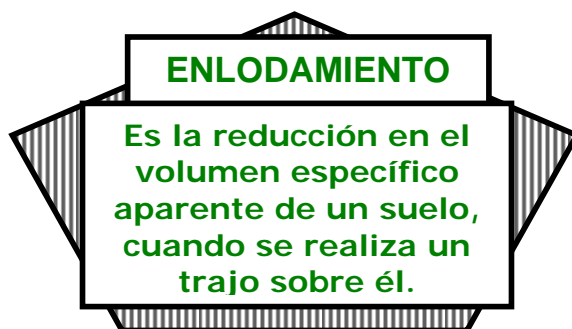
2.5.4. Cambios de estado. Estados de consistencia. Constantes de Atterberg.

Las arenas que no son plásticas, al aumentar el contenido de humedad, no se vuelven cada vez más plásticas. Esto es contrario a lo que sucede con los suelos con diferentes contenidos de materiales finos.

Se han definido los siguientes **LIMITES DE PLASTICIDAD:**

⊗ **Límite superior de plasticidad.**

Es el contenido de humedad al cual el suelo se deforma muy poco al aplicarse una fuerza.



⊗ **Límite inferior de plasticidad.**

Es el contenido de humedad al cual el suelo puede escasamente ser arrollado en forma de "fideo".

Con los dos límites, podemos definir el llamado **INDICE O NUMERO DE PLASTICIDAD**, que es simplemente la diferencia entre los dos límites y es una medida indirecta de la tensión existente o sea la fuerza requerida para moldear un suelo.

El llamado límite inferior, representa el contenido de humedad del suelo en el cual un cambio de consistencia del mismo (de friable a plástico), representa el punto dónde la cohesión disminuye y el suelo fluye al aplicarse una fuerza.

Tiene un significado práctico importante, pues indica cual es el máximo de humedad de un suelo, al cual se despegan de los implementos agrícolas (arados, rastras, rejas, ruedas etc).

El **estado líquido** se caracteriza teóricamente, por el hecho de que depositado sobre una superficie a la que se moja, la sustancia se extiende en forma de una lamina infinitamente delgada.

No se puede caracterizar de una manera absoluta los tenores de agua, delimitando los tipos de comportamiento: frágil, plástico y líquido. En el esquema que se presenta a continuación, se pueden apreciar los distintos puntos de interés en los ensayos de plasticidad concebidos por Atterberg.

Figura N° 5.- Estados de consistencia



El límite plástico pretende separar el estado frágil del plástico. Para su determinación, se agregan cantidades de agua variables a las muestras de un mismo material, luego se amasan y se forman bastoncitos. Al ser éstos rodados sobre una superficie plana, bajo la suave presión de los dedos de la mano, se quiebran en trozos de 1 a 2 cm. En ese momento se determina la humedad de los bastoncitos de tierra formados.

El procedimiento para su determinación es básicamente el siguiente:

a) Se agregan cantidades variables de agua a la muestra de suelo y se mezclan bien con una espátula hasta lograr una pasta espesa y suave.

- b) De esta pasta se extrae una muestra que es colocada en la cuchara estándar del aparato de límite líquido.
- c) Se divide con un firme trazo del acanalador, a lo largo del diámetro de la cuchara, de tal manera que se forma un surco claro y bien definido de dimensiones adecuadas.
- d) Se procede a efectuar el golpeteo necesario para que dicho surco se cierre.

2.5.4.1. Índice de plasticidad (IP)

Se refiere a la diferencia numérica entre el LIMITE LIQUIDO (LL) y el LIMITE PLASTICO (LP).

$$IP = LL - LP$$

Este parámetro permite caracterizar la extensión del estado plástico y depende de la composición granulométrica y de la naturaleza de la arcilla. Skempton (1959) define un índice de actividad de las arcillas dado por la relación IP/A, donde IP se expresa en porcentaje y A en porcentaje de arcilla. En el cuadro siguiente, aparecen los valores de este índice de actividad (IP/A) para diversas arcillas.

Los factores que inciden sobre los índices de Atterberg son: el contenido de materia orgánica y la naturaleza y el contenido de arcilla. Los resultados experimentales indicarían que la fijación de cationes monovalentes eleva los límites de plasticidad y el índice de plasticidad para la montmorillonita y la atapulgita y tiende a disminuir para la caolinita.

Asociamos entonces el enlodamiento, con un cambio estructural del suelo, manejado junto a su consistencia y a la reducción del volumen específico del mismo.

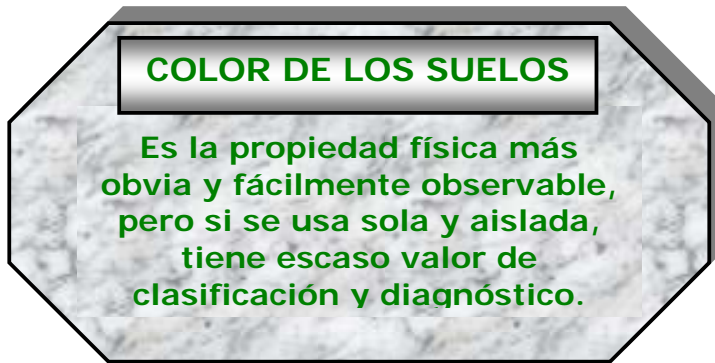
El punto de despegado, representa aquel contenido de humedad en el cual el suelo no se adhiere más a un objeto externo. Está situado por encima del límite superior de plasticidad en una escala de contenidos de humedad.

Cuadro N° 14.- Índice de actividad para diversas arcillas

Tipo de arcilla	IP / A
Caolinita	0,33 a 0,46
Illita	0,9
Montmorillonita + Ca	1,5
Montmorillonita + Na	7,2

Fuente: Cayssials, R. "Resumen de las principales propiedades físicas de los suelos".

2.6. Color de los suelos



El **color** es otra propiedad física de los suelos y constituye sin lugar a dudas, la característica más obvia y fácilmente observable y determinable de los mismos, siendo lo primero que vemos. Pero sin embargo, se considera que posee escaso

valor de clasificación a nivel de los grandes tipos de suelos, cuando se lo considera en forma aislada. Tomado en cuenta en combinación con otros caracteres, permite apreciar o deducir varias propiedades importantes del suelo.

El color es una medida indirecta de otras características más importantes, que no pueden determinarse en la práctica con tanta facilidad y precisión.

Generalmente esta propiedad física, está en relación con el proceso de la pedogénesis o con algunos de los factores que integran dicho fenómeno. Pero como se dijo anteriormente, el proceso que colorea el suelo, no es siempre fundamental y además, la misma coloración o los matices vecinos, pueden resultar de causas diferentes.

Casi todos los perfiles de suelos pueden estar formados por más de un horizonte. Estas "capas" difieren entre sí, entre otras cosas por su color. Por lo tanto, cada perfil de suelo examinado en el campo, debe presentarse con una descripción completa de los colores de cada horizonte.

El color de un horizonte puede ser único y uniforme o puede ser complejo, presentándose rayado, manchado, abigarrado o con moteados diferentes, de distintas formas y dimensiones. También puede variar mucho entre los diferentes tipos de suelos. Pueden ser heredados de la roca madre, como el color rojo impartido por una arenisca de dicho color, al suelo formado a partir de ella (ej. suelos sobre areniscas de la Formación Geológica Tacuarembó) o pueden ser el resultado de los procesos edáficos, como el color rojo de un suelo formado a partir del granito. En este último caso, decimos que el color es adquirido o genético.

2.6.1. Elementos colorantes

Las principales sustancias que imparten los diversos colores a los suelos se pueden observar en el **Cuadro N° 15**.

Los colores claros, es decir los blancos y blancuzcos, son debidos a la abundancia de minerales blancos o incoloros. Raramente los encontramos en los horizontes superficiales, pero si en los sub-superficiales en nuestros suelos. Muchas de las coloraciones se muestran altamente dependientes de las condiciones del medio.

El drenaje natural se refiere a la rapidez con que el agua es eliminada del perfil por precolación y escurrimiento. La relación entre la eliminación y el

aporte (precipitaciones, escurrimiento etc) da como resultado el tiempo en que el suelo está saturado de agua.

Cuando un suelo está permanentemente saturado de ella, la exclusión del aire de los poros, provoca la reducción de los compuestos de hierro, provocando la aparición de formas ferrosas (colores verdes, grises etc). Los suelos bien drenados, por el contrario presentan compuestos de hierro férrico (colores rojos y rojizos). Los suelos sometidos a condiciones de saturación periódicas (procesos de reducción y oxidación alternados), presentan colores moteados o abigarrados. Su drenaje se considera imperfecto. El color es entonces una característica fundamental a tener en cuenta, al determinar el drenaje del suelo.

2.6.2. Examen y apreciación del color

Cuadro N° 15.- Principales sustancias colorantes y los colores predominantes

Sustancias colorantes	Colores principales
Materia Orgánica	Oscuros
Humus	Negros o castaños muy oscuros
Oxidos y otros compuestos de hierro, (salvo los sulfuros)	Oscuros, rojos, granates, beige, amarillo, anaranjado, castaño claro
Carbonatos de calcio y otras sales	Blancos y claros en general
Sulfuros ferrosos	Negros o castaños muy oscuros
Silicio	Claros
Materiales calcáreos	Claros
Yeso	Claros
Cloruros	Claros
Arcilla	Castaños claros
Manganeso	Negros o muy oscuros
Oxidos férricos anhidro (hematita) Fe_2O_3	Rojos y rojizos
Oxidos férricos hidratados (limonita) $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$	Colores amarillentos. Cuanto más hidratados, son más amarillentos
Oxidos ferrosos (FeO)	Grises, verdosos, azulados
Oxidos de Fe (forma férrica). Hematita y Goethita	Pardo y rojizos

Fuente: Elaboración propia

La materia orgánica imparte generalmente colores oscuros al suelo, aunque el color considerado aisladamente, no es una medida exacta y confiable del contenido de materia orgánica. Esto se debe a que existen también compuestos minerales que también imprimen colores muy oscuros al suelo y al hecho de que la presencia de óxidos de hierro de color rojo, puede enmascarar el color oscuro.

En ciertas regiones de clima templado, como es el caso del Uruguay, la

materia orgánica con su abundante y constante deposición, es la principal responsable del color oscuro de los suelos, pero no posee siempre el mismo color, por variaciones en su composición química. Cuanto mayor es el tenor de humus, más oscuro se presenta aquel.

La determinación y correcta valoración y apreciación del color, es muy importante, pues puede indicar también otras características, además del drenaje de los suelos. Pero se debe ser muy cuidadoso para evitar sacar conclusiones erróneas, evitando sobrevalorar los colores que observamos. A veces la coloración general del suelo, puede estar en reacción con el tipo genético de los mismos o con el clima predominante.

Cuadro N° 16.- Relación entre la coloración general y el tipo genético

Región (no implica exclusividad)	Tipo de suelo	Colores predominantes
Arida	Pobres en humus	Claros, grises, y beige
Tropicales	Latosoles o suelos lateríticos	Rubificados, rojos, y/o rojizos
Templadas	Brunosoles, suelos brunificados	Castaños o marrones
Templadas	Gleysoles (características de gleyzación)	Colores grises o verdosos y/o verde-azulados
Templadas	Humíferos	Negros, castaño oscuros

Fuente: Elaboración propia

Los términos: *“verde, verdoso, beige, castaño, marrón oscuro o claro, rojo claro”* etc. u otros parecidos, a los que también a veces, agregamos calificativos como *“amarillo yema de huevo”, o “negro humo”, negro azabache”, “amarillo patito” o “pardo chocolate”*, son totalmente incorrectos y extravagantes, por lo que no debemos usarlos en las descripciones de suelos y/o de sus perfiles y aún menos en las comparaciones entre ellos. Aquí los hemos usado en forma coloquial y solamente a los efectos de su mejor descripción y comprensión, por parte del estudiante.

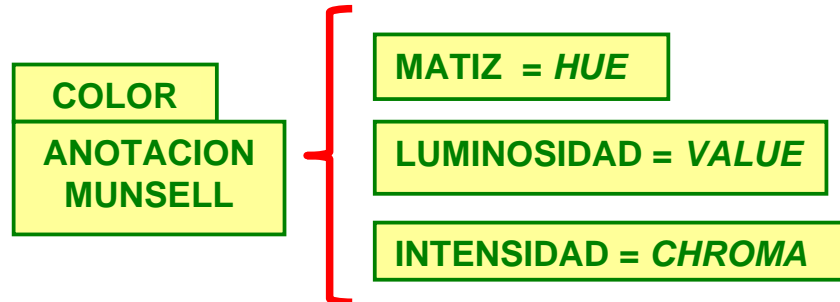
Estos términos normalmente también pueden llevar a confusión, pues la apreciación visual de cada persona es comunmente diferente de los distintos matices y está cargada de subjetividad. Además los mismos, pueden estar relacionados con el contenido de humedad (más húmedo es más oscuro) y la incidencia de la luz. Téngase en cuenta también, la complicación que significa llevar a otros idiomas y/o dialectos, términos como los descritos, sobre todo en un lenguaje técnico o científico.

La forma más conveniente y exacta de determinar el color de los horizontes y/o de las partes constituyentes de un suelo, es mediante la comparación con una carta de colores estándar. La carta que se usa generalmente, es la CARTA DE COLORES DE MUNSELL. Esta incluye alrededor de 175 cuadros de los diferentes colores y sus matices, sistemáticamente ordenados. Dado el número muy elevado de cuadros, resulta imposible darle un nombre específico y diferente a cada uno de ellos. Cada color se describe por una fórmula numérica individual, indicada en la tabla para cada cuadro por separado. Esta notación numérica se complementa con un nombre, pero por lo expresado anteriormente, un

mismo nombre debe aplicarse a varios colores, que pueden ser muy similares pero no iguales.

Esta fórmula numérica individual, tiene en cuenta para cada color:

- 1) El matiz, denominado HUE. Color dominante del espectro, que está relacionado con la longitud de onda de la luz. Se usa una abreviatura del color del espectro en idioma inglés: **R** por red (rojo), **Y** por yellow (amarillo en inglés) etc, precedido de un número entre 0 y 10.
- 2) La luminosidad, denominada VALUE. Está relacionado a la iluminación del color y por lo tanto con la cantidad de luz incidente.
- 3) La intensidad o saturación, denominado CHROMA. Es la pureza o intensidad de color del espectro.



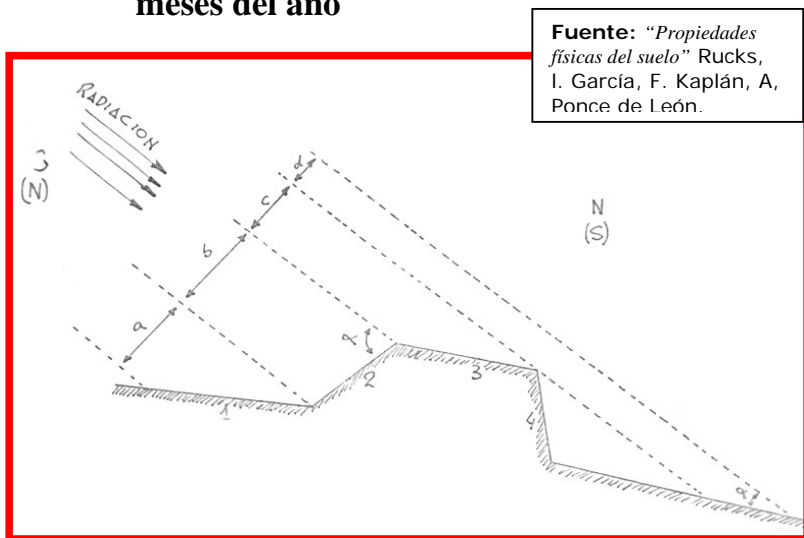
Este sistema consiste en notaciones distintas del **HUE**, del **VALUE** y del **CHROMA** que combinadas (en este sentido), forman el símbolo del color.

El sistema de notación **MUNSELL** es de gran valor práctico en los trabajos de correlación internacional, porque evita la traducción a otros lenguajes, sumado a las apreciaciones personales, muchas veces equivocadas, de los nombres de los colores.

2.7. Temperatura de los suelos

Figura N° 6.- Temperaturas del suelo en el Hemisferio Norte en los diferentes meses del año

La **TEMPERATURA** es otra propiedad física a tener en cuenta para caracterizar un suelo y es la que nos genera las propiedades térmicas de los mismos. En este capítulo se rozarán apenas algunos conceptos referidos a esta propiedad física, sin profundizar demasiado en ellos, debido a que no es el tema de este curso.



Cuadro N° 17.- Símbolos usados para las propiedades físicas

Transición entre horizontes

d = + 12⁵
g = 12⁵ - 6⁵
c = 6⁵ - 2⁵
a = 2⁵ - 0

Color (Anotación de Munsell)

H = Húmedo
S = Seco
A = Húmedo amasado
T = Seco triturado

Estructura (Grado)

n = Sin estructura
d = Débil
m = Moderada
f = Fuerte

Textura

Ar = Arena **L** = Limo
Ac = Arcilla **F** = Franco
I = Liviano **p** = Pesado

Motas

Cantidad

Pc = 2 %
Cm = 2 a 20 %
Ab = 20 %

Tamaño (mm)

1 = 1
2 = 1 a 2
3 = 2 a 5
4 = 5 a 15
5 = + 15

Contraste

t = Tenue
n = Neto
s = Sobresaliente

Límites

a = Abrupto
c = Claro
d = Difuso

Estructura (Tipo)

la = Laminar **pr** = Prismática
co = Columnar **ba** = Bloques angulares
bs = Bloques sub-angulares
gr = Granular (s/poros) **mi** = Migajosa (c/poros) **m** = Masiva

Estructura (Clase)

	Espesor mm	Altura mm	Ancho mm	Diámetro mm
1	1	10	5	1
2	1 - 2	10 - 20	5 - 10	1 - 2
3	2 - 5	20 - 50	10 - 20	2 - 5
4	5 - 10	50 - 100	20 - 50	5 - 10
5	+ 10	+ 100	+ 50	+ 10

Concreciones

Cantidad (%)

Consistencia

fr = friables
d = duros
Si = silicificados

Concreciones

Tipo Ca, Fe, Mn, Si / **Tamaño** (mm)
1 = 1/ **1** - **2** = 2 / **2** - **5** = 3 / **5** - **15** = 4 + **15** = 5

Fuente: "Cuaderno Práctico de Edafología".
 AEA. Facultad de Agronomía.

Cuadro N° 18.- Símbolos usados para las propiedades físicas (cont).

<i>Revestimientos</i>	<i>Intensidad de reacción al HCl</i>
D = Delgado M = Medio G = Grueso Mg = Muy grueso	= 10 %, H ₂ O ₂ 10 vol - ausente - + débil (oído) - ++ moderado (visual) - +++ fuerte (visual)
V = Vertical H = Horizontal P = Pocos C = Granos de arena T = Todos	
1 = Continuos 2 = Discontinuos 3 = Manchas	
P = Películas de arcilla D = Slickensides R = Otros revestimientos	

Fuente: "Cuaderno Práctico de Edafología". AEA. Facultad de Agronomía.

No hay vida posible en la superficie terrestre sin la radiación solar que cada medio biológico recibe y utiliza a su manera. El suelo es un medio biológico por excelencia y por lo tanto no escapa a esta ley. En éste existen también otras fuentes de calor que son capaces de ceder calorías al medio edáfico, pero por importantes que puedan resultar, son generalmente despreciables, al lado de la radiación solar. Estamos hablando específicamente de fuentes de calor de origen químico.

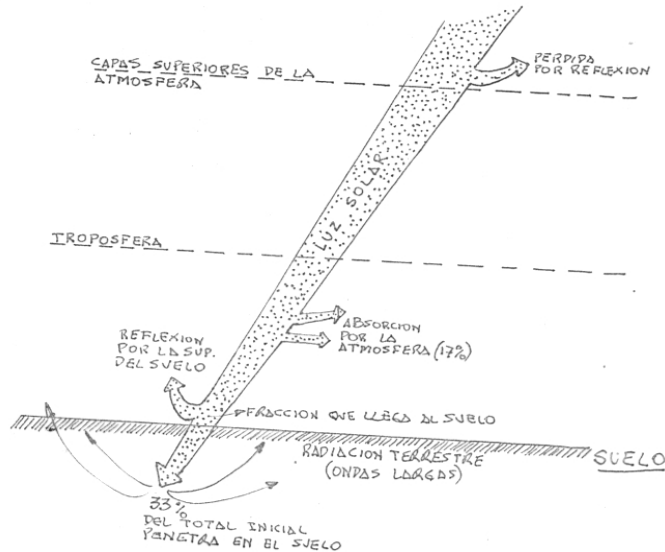
La temperatura de un suelo está íntimamente relacionada con la del aire, las variaciones estacionales y diarias, se muestran diferentes, según la profundidad del perfil. Por debajo de cierta profundidad, los cambios de temperatura atmosféricos, no afectan la temperatura del suelo.

La respuesta de los suelos, depende principalmente de su calor específico y de su contenido de humedad. Este es cinco veces más importante en la fijación de la temperatura del suelo, que el material o materiales constituyentes del mismo. Un suelo pobremente drenado, será necesariamente más frío que un suelo seco, lo mismo en uno cubierto por vegetación de tipo forestal, que con vegetación de pradera o de un cultivo.

Otro factor importante en el calentamiento del suelo, es su color. Los oscuros absorben mejor las radiaciones solares, que los colores claros. La altura y exposición de los suelos, también afectan su temperatura. Cuanto mayor es la altitud, menor es la temperatura del aire y menor, será por lo tanto, la temperatura del suelo. En el Hemisferio Sur, las laderas orientadas al norte, reciben mayor radiación solar, que las orientadas al sur.

La **Figura N° 5** nos muestra las variaciones de las temperaturas en profundidad en relación con los diferentes meses del año. Las zonas **a** y **a'**, nos muestran los meses durante los cuales, las temperaturas aumentan en profundidad. La zona **b**, en cambio, muestra los meses durante los cuales disminuye. El trazado punteado muestra la oscilación a un metro de profundidad.

Figura N° 7.- Pérdidas de la radiación solar incidente sobre el suelo



Fuente: "Propiedades físicas del suelo" Rucks, I. García, F. Kaplán, A. Ponce de León.

2.8. Propiedades inferidas de los suelos

A partir de las propiedades físicas de los suelos que hemos visto con anterioridad, como la textura, la estructura, el color, la consistencia etc, e interpretándolas, podemos inferir otras propiedades muy importantes, que aunque no pueden observarse en forma directa, están muy relacionadas con la producción agropecuaria tales como: fertilidad, productividad, resistencia a la sequía y a la

erosión. O sea tratamos de asociar la morfología y las propiedades, con caracteres de importancia agrícola.

Particularmente en las propiedades complejas, debemos tener en cuenta no solo las físicas, sino también las inferidas.

2.8.1. Propiedades físicas inferidas

2.8.1.1. Aireación.

Cuadro N° 19.- Propiedades inferidas de los suelos

Propiedades físicas inferidas	<input type="checkbox"/> Aireación <input type="checkbox"/> Capacidad de retención de agua en forma disponible <input type="checkbox"/> Permeabilidad <input type="checkbox"/> Velocidad de infiltración
Propiedades relacionadas al desarrollo radicular	<input type="checkbox"/> Profundidad efectiva de las raíces <input type="checkbox"/> Profundidad de arraigamiento
Propiedades complejas	<input type="checkbox"/> Drenaje natural <input type="checkbox"/> Riesgo de sequía <input type="checkbox"/> Riesgo de erosión hídrica <input type="checkbox"/> Fertilidad natural <input type="checkbox"/> Productividad del suelo

Fuente: Elaboración propia en base al "Cuaderno Práctico de Edafología". AEA. Kaplan, A. Rucks, I., Telechea, I., Mandl, A.

Debemos decir que el aire del suelo, que forma lo que conocemos como atmósfera del mismo, tiene una constante renovación a través de los poros que se encuentran libres de agua. Por ello es que el contenido de gases de la atmósfera libre y la del suelo son similares, con cierta diferencia en las proporciones de los mismos debida a los procesos metabólicos de los seres que la habitan y fundamentalmente de las raíces vegetales.

Debemos decir que el aire del suelo, denominado mejor como atmósfera del mismo, tiene una constante renovación a través de los poros que se encuentran libres de agua. Por ello es que el contenido de gases de la atmósfera libre y la del suelo son similares, con cierta diferencia en las proporciones de los gases debida a los procesos metabólicos de los seres que la habitan y fundamentalmente de las raíces vegetales.

La proporción de arena, limo y arcilla, así como la cantidad y disposición de los agregados, están directamente relacionados con la capacidad de aireación. Los suelos livianos o arenosos, tendrán una mejor aireación que los pesados y a su vez éstos, dependerán de la estructura de los horizontes.

El drenaje es otra condición indispensable que condiciona la aireación de los suelos, por el lugar que ocupa el agua en los poros, eliminando el aire. Sin embargo, suelos con el mismo drenaje, pueden presentar diferentes condiciones de aireación a nivel del sistema radicular, lo que está directamente asociado con la textura de los horizontes dónde se encuentran las raíces.

2.8.1.2. Capacidad para retener agua en forma disponible

CMP = Coeficiente de Marchitez Permanente
 CC = Capacidad de Campo
 Ψ = Potencial de Matriz

$$H_2O = CC - \frac{CMP}{\Psi - 1/3} - \frac{CMP}{\Psi - 1/5}$$

$$H_2O \text{ DISPONIBLE (mm)}$$

$$\frac{\text{Porcentaje por volumen de humedad disponible}}{10} \times \text{espesor (cm)}$$

Esta propiedad está directamente relacionada con la proporción de los diferentes componentes de la textura, asociada a cada uno de los horizontes.

Mediante la fórmula que presentamos a continuación, tomada del “Cuaderno Práctico de Edafología” de la Facultad de Agronomía, podemos conocer la humedad disponible en milímetros en los diferentes horizontes de un perfil de suelos y cuya sumatoria, nos daría la humedad disponible para las plantas de todo el suelo.

Labella y Alvarez, en 1969, lograron ajustar un modelo lineal, que nos muestra la humedad disponible de un suelo, dependiendo de la textura de los horizontes.

$$H_2O \text{ DISPONIBLE (Labella y Alvarez)}$$

$$T = \% \text{ Arena} \times 0,29 + \% \text{ Limo} \times 0,61 + \% \text{ Arcilla} \times 0,53 - 34,71$$

$$\text{Humedad disponible total} = \text{gr. de agua} \cdot \text{gr}^{-1} \text{ de suelo} \times 100$$

Cuadro N° 20.- Relación entre la humedad disponible y la textura de los suelos

Textura	Humedad disponible (%) (cm ³ de H ₂ O . cm ⁻³ de suelo x 100)
Franca arenosa	+/- 5
Franca	+/- 10
Franca limosa	15 a 20
Franca arcillo limosa	20 a 25
Arcilla limosa	20 a 25
Arcillosa	15 a 20

Fuente: Cuaderno Práctico de Edafología. AEA. Kaplan, A. Rucks, I., Telechea, I. Mandl, A.

2.8.1.3. Permeabilidad

Es la velocidad con que el agua atraviesa el perfil del suelo en flujo saturado y está determinada por la permeabilidad del horizonte menos permeable, o lo que es lo mismo por su conductividad hidráulica. Esto último está asociada al tamaño y cantidad de los poros más grandes.

Cuadro N° 20.- Relación entre permeabilidad, textura y estructura

Clase	Velocidad (cm/hora)	Caracteres probables	
		Textura	Estructura
Muy lenta	- 0,10	Pesadas	Dispersa, planar, columnar, prismáticas
Lenta	0,10 – 0,5	Pesadas y moderadamente pesadas	Planar, bloques, prismática
Moderadamente lenta	0,5 – 2,0	Medias a pesadas	Bloques angulares y sub-angulares
Moderada	2,0 – 6,0	Medias	Granular, bloques
Moderadamente rápida	6,0 – 12,0	Medias a livianas	Granular, bloques pequeños sub-angulares
Rápida	12,0 – 25,0	Moderadamente livianas y livianas	Grano simple
Muy rápida	+ 25,0	Muy livianas	Grano simple

Fuente: Cuaderno Práctico de Edafología. AEA. Kaplan, A. Rucks, I., Telechea, I. Mandl, A.

2.8.1.4. Velocidad de infiltración

Es la velocidad a la cual el agua penetra en el suelo y va a estar determinado especialmente por las características propias de la superficie del suelo.

Aunque todos los suelos tienden a encostrarse, en ciertos suelos de textura muy fina (relación limo/arcilla muy alta), la tendencia a formar esta superficie dura, influye en la velocidad de infiltración, en la difusión de los gases atmosféricos y en la emergencia de las jóvenes plantitas. El golpeteo de las gotas de agua (lluvia o riego) es la principal causa de la formación de esta capa endurecida.

La estructura y la textura de cada horizonte del perfil, van a incidir directamente también en la infiltración del agua.

Dividimos la infiltración en: alta, media y baja.

2.8.2. Propiedades relacionadas al desarrollo radicular

2.8.2.1. Profundidad efectiva de las raíces

Se denomina así la zona hasta dónde pueden llegar las raíces vegetales.

<u>Roca consolidada.</u>
Roca fragmentada con menos de un 15 % de material fino y no más de 5 % de limo más arcilla.
<u>Napa de agua permanente.</u>
<u>Estrato de gravas conteniendo menos de 15 % de material fino y no más de 5 % de arcilla más limo</u>

En general éstas tienen una muy alta capacidad de penetración a través de muchos obstáculos: sortéandolos o atravesándolos. Como ejemplo tenemos las raíces de algunos árboles que rompen o fracturan capas duras de suelo o incluso rocas.

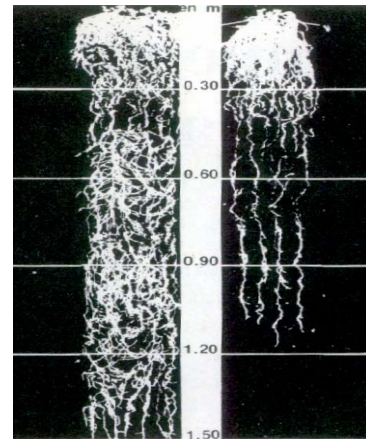
De todas maneras, las dificultades de desarrollo radicular afectan siempre la productividad de los cultivos. Menor cantidad y tipo de "obstáculos" (pedregosidad, suelas de arado, capas duras o compactadas, etc) que se opongan a las

raíces en cada horizonte, es mejor para las mismas en cuanto a su desarrollo y funcionamiento.

Cuadro N° 21.- Profundidad efectiva de las raíces

Profundidad	Cm
Muy profundo	+ 150
Profundo	150 a 100
Moderadamente profundo	100 a 50
Superficial	50 a 25
Muy superficial	- de 25

Fuente:
Elaboración propia en base al Cuaderno Práctico de Edafología. AEA. Kaplan, A. Rucks, I., Telechea, I. Mandl, A.



Las raíces sanas de profundo desarrollo, utilizan la humedad disponible con mayor eficacia. En la foto de arriba a la derecha, tomada de *Agricultura de las Américas* (enero de 1977), puede verse en forma clara, el desarrollo de una raíz en un suelo franco con el de otra en un suelo más arcilloso o compactado. Se observa además, que las raíces además, tienden a "empobrecerse" en profundidad.

2.8.2.2. Profundidad de arraigamiento

Cuadro N° 22.- Profundidad de arraigamiento

Profundidad (cm)	Características
0 – 15	Arraigamiento superficial
15 - 30	Arraigamiento medio
+ de 30	Arraigamiento profundo

Es la zona más apta del perfil para el desarrollo de las raíces. A diferencia de la profundidad efectiva en que generalmente se alcanza todo el solum, en este caso sólo alcanza al **horizonte A**.

2.8.3. Propiedades complejas

Para la determinación de otras propiedades más complejas, necesitamos basarnos en las propiedades de los suelos ya vistas.

2.8.3.1. Drenaje natural

Se refiere a la frecuencia y duración de los períodos en que el suelo está libre de saturación (desaturado) con agua en su perfil.

Podemos inferirlo en función del color del suelo. Los suelos de drenaje pobre, son los que tienen una napa colgada en su perfil y presentan una zona de gleyzación, con los colores respectivos.

Cuadro N° 23.- Relación de los colores y el drenaje de los suelos

Drenaje	Características
Pobre	Colores verdes, azulados, etc. producto de la gleyzación
Bueno	Colores rojos, amarillos, pardos
Imperfecto	Colores de reducción. Pueden presentar un horizonte A ₂
Moderado	Colores ligeramente grises sin llegar a un gleyzado

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 24.- Clases de drenaje natural

Tipo	Drenaje	Características
0	Muy pobremente drenado	El agua no desaparece por la presencia cerca de la superficie de una napa cercana a ella
1	Pobremente drenado	El agua desaparece muy lentamente y el suelo permanece mojado durante casi todo el año
2	Drenaje imperfecto	El agua desaparece en forma lenta y el suelo está saturado por largos períodos en el año
3	Moderadamente bien drenado	El agua desaparece del suelo en forma algo lenta y el suelo se ve saturado por periodos importantes del año.
4	Bien drenado	El agua desaparece del suelo fácilmente pero no tan rápido
5	Excesivamente drenado	El agua desaparece tan rápidamente que los suelos presentan un alto riesgo de sequía.

Fuente: Elaboración propia en base al *Cuaderno Práctico de Edafología*. AEA. Kaplan, A. Rucks, I., Telechea, I. Mandl, A.

El agua es removida por: percolación hacia dentro del horizonte, por escurrimiento superficial y por evapotranspiración. La primera depende más que nada de la textura y la estructura de los horizontes del perfil, la segunda está asociada a la pendiente y la última al clima imperante y la cubierta vegetal.

2.8.3.2. Riesgo de sequía

Durante los períodos de falta de agua (ausencia de lluvias o de riego), las deficiencias de los cultivos y las consecuencias, están asociados directamente a los propios cultivos y a las propiedades de los suelos dónde está asentado.

Este riesgo depende de:

- El arraigamiento de las plantas
- La humedad disponible en la zona de arraigamiento
- El carácter de la curva de succión de matriz-humedad
- Los problemas de infiltración
- Los problemas de agrietamiento de los suelos

2.8.3.3. Riesgo de erosión hídrica

Todos los factores que de una forma u otra controlen la acción de los agentes erosivos, afectan en forma directa la erosión de los suelos. No tomamos en cuenta la vegetación (natural o espontánea o cultivada) pues para comparar entre suelos, los suponemos bajo la misma cubierta vegetal.

a) Factores que regulan el escurrimiento

- Velocidad de infiltración
- Permeabilidad
- Profundidad del horizonte A
- Pendiente y topografía

b) Resistencia a los agentes erosivos

- Estabilidad de la estructura

2.8.3.4. Fertilidad natural

Cantidad de nutrientes que en forma químicamente disponibles, el suelo puede ofrecer a las plantas

FERTILIDAD NATURAL

Es diferente el hecho de que los nutrientes estén disponibles, a que las plantas los puedan aprovechar para desarrollarse sin problemas. Diferentes impedimentos pueden impedir o limitar esta absorción. Así mismo, al hablar de fertilidad natural, nos referimos a la potencial y no a la actual u observada. El que se exprese o no, la fertilidad natural está íntimamente asociada al manejo pasado, presente y futuro de los cultivos.

Cuando agregamos fertilizantes de cualquier tipo o forma o cuando modificamos algunas características naturales (como el pH por ejemplo), estamos modificando esa fertilidad natural en la dirección que necesitamos a

los efectos de aumentar y/o mejorar la productividad de los suelos. Pero debemos ser conscientes que también podemos estar creando o aumentando otros problemas asociados de tipo secundarios (como acumulación de fósforo, modificación de la acidez o contaminación con nitratos).

2.8.4. Productividad

Podemos medir la productividad de los suelos, por el rendimiento de los cultivos. Observamos que la misma depende de varios factores no solamente asociados a los suelos: la fertilidad, propiedades físicas, manejo, sanidad, etc.