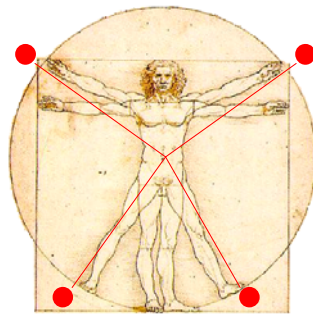


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN II. AÑO 2004

SEPARATA



INTRODUCCIÓN A LA EDAFOLOGÍA: ORIGEN, EVOLUCIÓN, ESPECIES
MINERALES, CLASIFICACIÓN Y RECONOCIMIENTO DE SUELOS.

José M^a Storch de Gracia y Asensio y Tomás García Martín



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior

Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: José M^a Storch de Gracia y Asensio y Tomás García Martín
Junio, 2004

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECTIN04_003.pdf

© De la edición: *Revista Tecnológí@ y desarrollo*

Escuela Politécnica Superior.

Universidad Alfonso X el Sabio.

28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).

ISSN: 1696-8085

Editor: Julio Merino García tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

Tecnológí@ y Desarrollo. ISSN 1696-8085. Vol.2. 2004.

INTRODUCCIÓN A LA EDAFOLOGÍA: ORIGEN, EVOLUCIÓN, ESPECIES MINERALES, CLASIFICACIÓN Y RECONOCIMIENTO DE SUELOS

José M^a Storch de Gracia y Asensio y Tomás García Martín

Drs. Ingeniería Química, Departamento de Tecnología Industrial, Escuela Politécnica Superior, Universidad Alfonso X el Sabio, Avda. de la Universidad nº 1, Villanueva de la Cañada, 28691 Madrid, Tf.: 918109779, e-mail: tgarcmr@uax.es

RESUMEN

Existen dos fuentes de interés de la aplicación de la edafología en la industria química. Fuente directa: los suelos y rocas sedimentarias resultan una fuente de materias primas muy relevantes para diversas industrias (cerámicas, cementos, vidrios, etc.); y fuente indirecta: basada en los suelos como soporte de las plantas vegetales y como medio para la nutrición de las mismas mediante fertilizantes. El empleo de ciertos términos con significados diversos dificulta el conocimiento y la clasificación de los suelos. El presente trabajo contempla el origen y la evolución de los suelos, así como de las especies minerales que contienen. Se explican las diversas acepciones de ciertos conceptos y se abordan dos tipos de clasificaciones: granulométrica o textural y química, considerándose la conexión entre ambas. También se esboza el reconocimiento de diferentes tipos de suelos y finalmente, se contemplan las aplicaciones agrícolas e industriales de todo lo anterior. Desde el punto de vista académico, el enfoque de este artículo pretende ser eminentemente práctico de cara a familiarizar al alumno con los conceptos básicos en relación con la edafología.

PALABRAS CLAVE: Edafología, Clasificación de suelos, Granulometría, Análisis de suelos.

ABSTRACT

Edaphology has two sources of interest for the chemical processing industries. Direct: soils and sedimentary rocks as sources of raw materials for several productions (ceramics, cement clinkers, glass and others) and indirect: soils as plant bearers (for agriculture and forestry) and as intermediate vehicle for nutrient substances (in plant fertilization). The use of some words with different meanings makes not easy the understanding and the classification of soils. This paper considers the origin and evolution of soils as well as of the concerned mineral species. Certain meanings of common use words are explained. Two different soils classifications are proposed: textural or by particle sizes and chemical or by mineral species. Connection between these classifications are considered. The recognition of actual types of soils is outlined. Finally, both industrial and agricultural issues are introduced. From academic point of view, the aim of this article tries to be practical in order to acquaint the reader with edaphology basic concepts.

KEY-WORDS: *Edaphology, Soils classification, Size particles classification, Soil analysis.*

SUMARIO: 1. Introducción, 2. Origen y génesis macroscópica, 3. Transformaciones físicas y químicas de los minerales, 4. Especies minerales presentes en suelos y rocas sedimentarias: origen y características, 5. Clasificaciones, 6. Reconocimiento de tierras o suelos y sus componentes, 7. Particularización para ámbitos agrícolas y forestales, 8. Particularización para el ámbito industrial, 9. Glosario, 10. Bibliografía.

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECTIN04_003.pdf

1. Introducción

En general, se aplica el término SUELO al conjunto de sedimentos “suelos” (no compactos), también denominados TIERRAS, que se encuentran en la litosfera seca. Tal concepto se contrapone al concepto de ROCA sedimentaria compacta. Dentro de la disciplina de Química industrial, materia fundamental para el ingeniero químico, el estudio de los suelos interesa principalmente desde dos puntos de vista:

- Como fuente de materias primas industriales: sílice (SiO_2), calizas (CaCO_3), feldespatos ($6 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{M}_x\text{O}$, siendo M: Na, K, Ca y/o Mn), arcillas ($m\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) y/o mezclas y combinaciones de los anteriores. Las industrias interesadas son las productoras de: vidrios, cerámicas, cales, cementos, etc. En el caso de la obtención de cementos pueden interesar tanto las tierras sueltas como las rocas compactas. Por otra parte, las arcillas interesan también como materiales adsorbentes (decolorantes), o como catalizadores y soportes para la obtención de materiales catalíticos.
- Como soporte de actividades agrícolas y medio para la nutrición vegetal: suelo receptor, acumulador y dispensador de nutrientes para las plantas. En este caso interesan mayoritariamente las tierras sueltas y la incorporación de materia biológica (humus, bacterias, etc.)

En el presente trabajo se van a atender los asuntos mencionados en el título así como la introducción a las aplicaciones industriales y agrícolas citadas anteriormente.

2. Origen y génesis macroscópica

Para comprender el origen de los suelos conviene remontarse a las rocas más primitivas (ígneas o magmáticas) y seguir las transformaciones físicas y químicas que pueden haber sufrido en lo que se denomina “ciclo geodinámico externo”.

Especies minerales	Rocas magmáticas primitivas	Granito
Feldespatos ($6 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{M}_x\text{O}$)	60%	50%
Cuarzo o Sílice (SiO_2)	12%	30%
Micas ($3 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot a\text{MgO} \cdot b\text{K}_2\text{O}$, etc: Fe_2O_3 ...)	17%	20%
Calizas (CaCO_3)	0%	0%

Tabla 1. Composición media de las rocas magmáticas y del granito (% peso)

La secuencia correspondiente a dicho ciclo, y que puede haberse detenido en un momento u otro, puede resumirse en el cuadro recogido en la Figura 1.

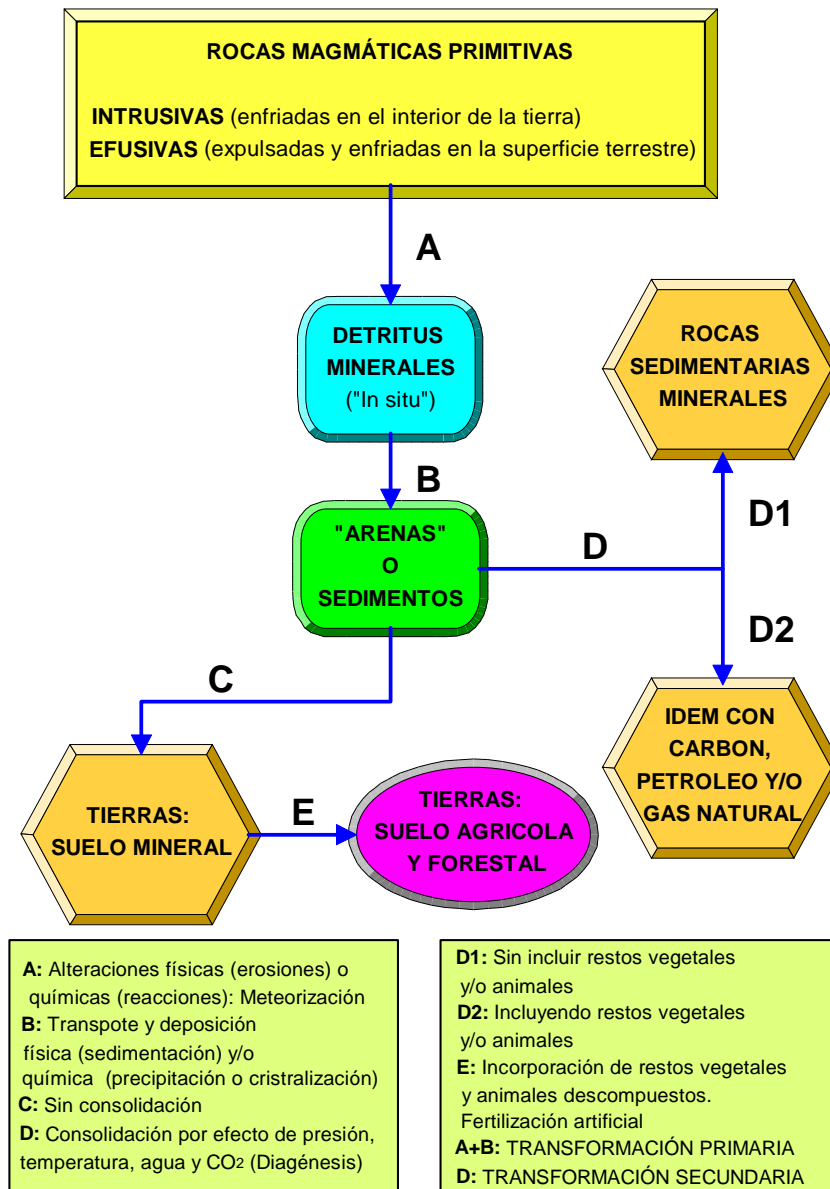


Figura 1. Diagrama del ciclo geodinámico externo.

A fin de poder estudiar, con posterioridad, las transformaciones químicas conviene considerar las composiciones medias y orientativas de las rocas magmáticas y del granito que es la más frecuente de entre ellas. En la Tabla 1 se recoge dicha composición considerando porcentajes sobre el peso total de material.

Los suelos y rocas sedimentarias más importantes, resultantes de las transformaciones anteriormente consideradas, se pueden clasificar inicialmente según sus componentes minerales predominantes como sigue:

- Silíceas: predomina la sílice (SiO_2)
- Arcillosas: predominan las arcillas ($m\text{SiO}_2 \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot p\text{H}_2\text{O}$)
- Margosas: predominan las arcillas y las calizas (CaCO_3)
- Cálccicas: pueden ser, a su vez, de dos tipos; Calizas cuando predomina la caliza (CaCO_3), o Yesíferas cuando predomina el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

En cuanto al origen de las rocas y suelos cálcicos puede considerarse que provienen de acumulaciones de conchas calcáreas o de los fenómenos de lixiviación y precipitación posterior (mediante evaporación del agua disolvente y/o reacción con CO_2) de iones Ca^{2+} procedentes de feldspatos o de otras rocas portadoras del mismo. En el caso en el que haya concurrido la presencia, en su origen ígneo, de dióxido de azufre (SO_2) y oxígeno (O_2) se habrán producido suelos yesíferos.

3. Transformaciones fisicoquímicas de los minerales

Las transformaciones fisicoquímicas son fenómenos que dependen de las condiciones en que se encuentren los minerales. Así pueden ser incompletas o completas, por lo que en un suelo o en una roca cabe esperar la presencia de minerales total o parcialmente transformados en otros. También es posible que las transformaciones tengan lugar de forma individual o de manera conjunta. En cualquier caso, consideraremos tres grandes grupos: transformaciones físicas, transformaciones químicas y algunas transformaciones combinadas.

3.1 Transformaciones físicas

Las posibles transformaciones físicas de los minerales pueden tenerse en cuenta según los diferentes procesos a los que hayan sido sometidos. Así, cabe la posibilidad de considerar los siguientes procesos físicos:

- Oscilaciones térmicas. Estos procesos son debidos a los ciclos día-noche, a las secuencias de las estaciones anuales y a las glaciaciones. Estos procesos originan fenómenos de dilatación y contracción que pueden dar lugar a roturas del mineral.
- Acción mecánica de accidentes meteorológicos. Dentro de este grupo de procesos se incluyen los desgastes y arrastres debidos a la acción de la lluvia, la nieve, el viento o el granizo.
- Abrasión de partículas. Este proceso de desgaste mecánico se debe a la acción de frotamiento por arrastre de las partículas sólidas. Esto hace que se produzcan roturas, desgastes y redondeo de aristas.
- Acción del hielo. El agua contenida en hendiduras, poros u otras estructuras propias de los minerales, al helarse origina un aumento de volumen, dando lugar a que la estructura se rompa desde dentro hacia fuera.
- Compresión por capas superpuestas. El fenómeno es debido al peso ejercido por la superposición de capas en un conjunto sedimentario, originando la compactación o consolidación de las capas inferiores.

Los cuatro primeros tipos de procesos dan lugar a fenómenos de erosión o meteorización, mientras que el quinto es el responsable del fenómeno de diagénesis que se considera como una transformación de los sedimentos sueltos en rocas sedimentarias compactas.

3.2 Transformaciones químicas

Las transformaciones químicas son aquellas que tienen lugar mediante ataque individual o conjunto de reactantes agresivos a las rocas primitivas en unas condiciones determinadas de presión, temperatura y pH. La progresión y alcance de este tipo de transformaciones es función de la fuerza de los enlaces integrantes de las estructuras moleculares originales. En la Tabla 2 se recogen los valores relativos, con respecto al silicio, de la fuerza de los enlaces.

Si	Al ³⁺	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺
1	0,75-0,5	0,50	0,33	0,33	0,33-0,25	0,87-0,12	0,12-0,08

Tabla 2. Fuerzas relativas de los enlaces

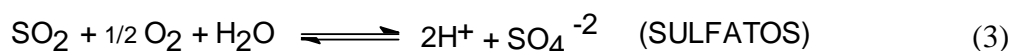
La acción de las moléculas de agua se debe, en general, a su carácter dipolar solvatante. Esta característica es determinante para la capacidad del agua en cuanto a los procesos en los que interviene. Dichos procesos pueden ser los siguientes:

- (a) Hidrólisis: los dipolos son capaces de arrancar iones cuyas capacidades de retención son más débiles que las de las moléculas de agua.
- (b) Disolución: debida a la asociación soluble de los dipolos con partículas iónicas susceptibles de actuar como solutos.
- (c) Formación de soles: generación de micelas formadas por iones solubles con dipolos acuosos o con iones OH⁻ o H⁺ del agua. Disolución de coloides.
- (d) Formación de geles: mediante la polimerización de soles que dan lugar a flóculos de gel.
- (e) Disolvente: medio acuoso para ataque de otras sustancias reactivas como CO₂, SO₂, O₂, SH₂, etc.
- (f) Disociación: capacidad para disociarse en OH⁻ o H⁺ que pueden intervenir en diferentes reacciones químicas, o en sistemas de equilibrio ácido-base que se miden a través la escala de pH.
- (g) Vapor de agua: cuando existe como tal, actúa como posible agente de transmisión de calor.

La presencia de anhídrido carbónico, generalmente procedente de la atmósfera, determina el grado de acidez del agua y la formación de bicarbonatos. Estos últimos más solubles que los carbonatos, dependiendo del tipo de catión que acompañe. En general el grado de solubilidad será tanto mayor cuanto menor sea la fuerza de enlace (ver Tabla 2). El equilibrio de disociación tiene lugar mediante el siguiente esquema:



La presencia de otras sustancias gaseosas, menos frecuentes, pueden dar lugar a la aparición de otro tipo de reacciones como las que se muestran a continuación:



Este último tipo de reacciones, (2) y (3), tienen lugar con mayor frecuencia en la formación de rocas ígneas primitivas.

Los efectos del calor, en rocas sometidas a temperaturas elevadas, dan lugar a ciertas modificaciones cinéticas que influyen en la velocidad de formación de las rocas. Por otra parte, además de favorecer la evaporación del medio acuoso, el efecto térmico determina los desplazamientos de los equilibrios de reacción y de disolución. Por tanto, habrá que tener en cuenta las posibles secuencias de procesos de disolución, reacción química, transporte en disolución, evaporación, precipitación y recristalización cuando se produzca un primer aumento de temperatura y un descenso posterior.

3.3 Algunas transformaciones combinadas

A los efectos de los asuntos que nos ocupan cabe considerar dos tipos de transformaciones constituidas conjuntamente por dos componentes, uno de tipo físico y otro químico, que pueden tener lugar individual o simultáneamente. Aunque pueden estar constituidas por distintos tipos de procesos, las dos transformaciones se denominan genéricamente como sedimentación o diagénesis respectivamente:

- (A) Sedimentaciones: pueden ser de varios tipos, tal y como se describe a continuación.
 - (A1) Sedimentación física: se produce al disminuir la fuerza de arrastre de las partículas que las ha mantenido en suspensión durante su transporte a través de un medio fluido.
 - (A2) Floculación: tiene lugar mediante la transformación de sales (como sílice o alúmina) en geles por efecto de la modificación, en medio acuoso, de las condiciones de pH o de concentración salina.
 - (A3) Evaporación del disolvente: la disminución del medio acuoso da lugar a un aumento de la concentración de las especies disueltas, así como a la posterior cristalización de las mismas.
 - (A4) Precipitación química: se produce al entrar en contacto con un nuevo agente químico que actúa como reactivo desencadenando la formación de precipitados y la subsiguiente cristalización.
 - (A5) Deposiciones: debidas a la muerte y precipitación de restos animales o vegetales procedentes del medio circundante.

- (B) Diagénesis: comprende la transformación de sedimentos en rocas sedimentarias a través de diferentes procesos.

- (B1) Compactación o consolidación: transformación física debida al fenómeno de compresión que ejercen las capas superpuestas de suelos.
- (B2) Cementación: se produce por la presencia de especies aglomerantes, como puede ser el gel de sílice, dando lugar a que las especies no compactas queden entrelazadas.
- (B3) Redisolución y recristalización: debidas tanto al efecto de la temperatura sobre los equilibrios de solubilidad como a la variación de la concentración de sales o de agua.
- (B4) Metasomatosis: consistente en transformaciones químicas debidas a la aportación de iones o moléculas mediante mecanismos de transporte por difusión.
- (B5) Reacciones bioquímicas: fermentaciones aerobias o anaerobias (con o sin presencia de oxígeno atmosférico, respectivamente) de las materias orgánicas presentes en los sedimentos. Este tipo de reacciones favorecen, a su vez, otros dos tipos de procesos: por una parte la generación y acumulación de carbón, petróleo y gas natural, y por otra la disminución del pH, dando lugar a los consiguientes fenómenos de disolución y precipitación.

4. Especies minerales presentes en suelos y rocas sedimentarios: Origen, naturaleza y características

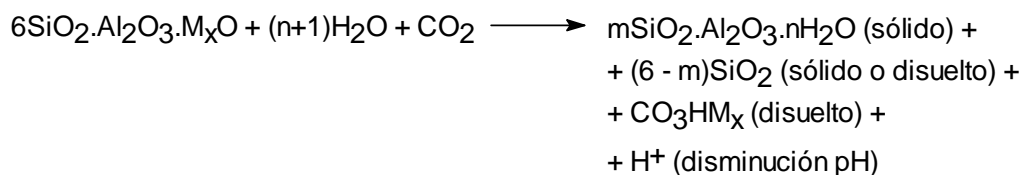
En los suelos (suelos o no compactos) y en las rocas (compactas) sedimentarios pueden encontrarse las especies que se recogen a continuación:

- FELDESPATOS: se originan como consecuencia de haber sido disgregados, transportados y sedimentados, pero sin haber sufrido transformación química alguna. Aparecen en la forma: $6 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{M}_x\text{O}$
- CUARZO o SÍLICE: se originan como consecuencia de haber sido disgregados, transportados y sedimentados, habiendo sufrido una secuencia de transformación y recomposición:

Disolución \Rightarrow Sol \Rightarrow Gel \Rightarrow Recristalización

- MICAS: en contadas ocasiones se originan como consecuencia de haber sido disgregadas, transportadas y sedimentadas, pero sin haber sufrido transformación química alguna. Aparecen en la forma: $3 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$. (MgO y posible Fe_2O_3).
- ARCILLAS: en este caso, el término “arcillas” se utiliza en sentido geoquímico (posteriormente se verá otra acepción granulométrica). Se originan como

consecuencia de las transformaciones químicas de los feldespatos por la pérdida de su componente M_xO , mediante su disolución y retirada, así como hidrataciones subsiguientes. El proceso se conoce como reacción de caolinización y se resume de la manera siguiente:

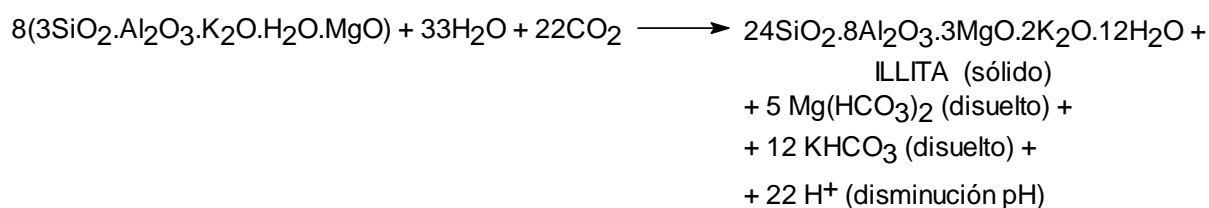


(4)

En general, las configuraciones de las arcillas dependen de los valores que adopten las constantes m y n . Las más importantes vienen determinadas por el grado de utilización y se recogen en la tabla siguiente:

Especie	m	n	Utilización
CAOLINITA	2	2	Industria cerámica
MONTMORILLONITA	4	1	Suelos para vegetales

- **ILLITAS:** especies resultantes de la transformación de las micas. Considerando una cierta variabilidad de éstas en su composición y transformaciones semejantes a las de los feldespatos, cabe tener en cuenta una reacción típica como la que se muestra a continuación:



(5)

- **CÁLCICOS:** dentro de este grupo pueden considerarse a su vez otras dos especies (CALIZA y YESO). Este tipo de especies se originan cuando confluyen las anteriores aportaciones y transformaciones con las procedentes de rocas primitivas

con cierto contenido en minerales cálcicos del tipo: CaCO₃, CaO, Ca(OH)₂ y CaSO₄ (anhidrita poco frecuente) o CaSO₄.2H₂O (yeso o aljez)

- HUMUS y ÁCIDOS HÚMICOS: resultantes de los procesos de descomposición de restos de origen vegetal y animal por acción de los microorganismos, incorporados a los suelos desde la biosfera. Su presencia y riqueza en los suelos determina el grado de fertilidad de los mismos. En realidad están constituidos por una serie de grupos aromáticos unidos entre sí, cadenas alifáticas y grupos ácido y fenólico.
- AIRE y AGUA: ambas especies aportan cierto grado de porosidad, necesario para constituir una tierra fértil, y posibilitan las reacciones químicas que dan lugar a las transformaciones citadas anteriormente.

En la Tabla 3 se recogen algunas de las características más relevantes correspondientes a las arcillas.

Mineral de arcilla	Superficie específica (m ² /g)	Capacidad de intercambio de cationes (me/g)	Densidad de carga (me/m ² x 10 ³)
Caolinitas	5 – 20	0,03 – 0,15	6 – 7,5
Illitas	100 – 200	0,1 – 0,4	1 – 2
Vermiculitas	300 – 500	1 – 1,5	3 – 3,3
Montmorillonitas	700 – 800	0,8 – 1,5	1,1 – 1,9

Tabla 3. Superficie específica, capacidad de intercambio catiónico y densidad de carga de varios minerales de arcilla

5. Clasificaciones

Antes de entrar a considerar las diferentes clasificaciones conviene aclarar ciertos términos de uso frecuente. Entre ellos tenemos los que se citan a continuación:

- ARCILLAS (en granulometría): se consideran tierras con un tamaño de partícula inferior a 2 µm. Este término incluye diferentes tipos de especies.
- ARCILLA (como especie componente): comprende especies constituidas por diferentes silicatos aluminicos hidratados (m SiO₂.Al₂O₃.nH₂O)
- ARENAS (en granulometría): se consideran las tierras con un tamaño de partícula comprendido entre 20 µm (según la clasificación internacional) o 50 µm (según la clasificación americana) y 2000 µm (según ambas clasificaciones). Incluye especies como feldespatos, óxido de hierro, sílice, etc.

- ARENA (como especie componente): referido a sílice SiO_2 .
- LIMOS (en granulometría): se refiere a tierras con tamaños de partícula comprendidos entre $2\ \mu\text{m}$ y $20\ \mu\text{m}$ (según la clasificación internacional) o $50\ \mu\text{m}$ (según la clasificación americana). Este término incluye la presencia de varias especies.
- LOAM o TIERRAS FRANCAS (en granulometría): se refiere a tierras mixtas con una composición comprendida entre 27 a 52% de arenas, 28 a 50% de limos y 7 a 27% de arcillas.
- MARGAS (como especie componente): comprende tierras mixtas constituidas por arcilla y caliza (CaCO_3), pudiendo ser de varios tipos.
- ARENA SILÍCEA: se refiere a tierras constituidas exclusiva o mayoritariamente por sílice (SiO_2).
- ARENA FELDESPÁTICA: hace referencia a tierras constituidas exclusiva o mayoritariamente por feldespatos.
- ARENA DE MIGA o GREDA: hace referencia a tierras constituidas por diferentes composiciones de arcilla y sílice.
- SÍLEX o PEDERNAL: se refiere a roca de sílice, con elevado grado de pureza en SiO_2 , formada mediante una secuencia de disolución de la sílice, gelificación y recristalización de la misma.

5.1 Clasificaciones granulométricas o texturales

Para poder llevar a cabo la clasificación granulométrica de un suelo con un cierto grado de rigor es preciso definir los componentes que integran las tierras según sus tamaños de partícula. Existe una primera clasificación general que distingue en dos grandes bloques el tipo de suelos. Así, se habla de tierra fina cuando el tamaño medio de partícula es inferior a 2 mm, y de tierra gruesa cuando el tamaño medio de partícula es superior a los 2 mm.

En la Tabla 4 se recogen otros dos tipos de clasificaciones sencillas atendiendo a las denominaciones empleadas en los Estados Unidos de América –clasificación americana– y a las denominaciones utilizadas en Europa –clasificación internacional–, resultando evidente en la práctica la necesidad de especificar la procedencia de los materiales en cuestión.

	CLASIFICACION AMERICANA		CLASIFICACION INTERNACIONAL
ARENAS	2000 – 50	ARENAS GRUESAS	2000 – 200
		ARENAS FINAS	200 – 20
LIMOS	50 – 2	LIMOS	20 – 2
ARCILLAS	< 2	ARCILLAS	< 2

Nota: Tamaños de partícula en μm .

Tabla 4. Definición granulométrica de los componentes integrantes de tierra fina en suelos

Por otra parte, a fin de ayudar a la comprensión de dichas clasificaciones, en la Figura 2 se recoge un esquema comparativo de los tamaños relativos a las denominaciones de dichos componentes o fracciones de suelo a escala 350:1.

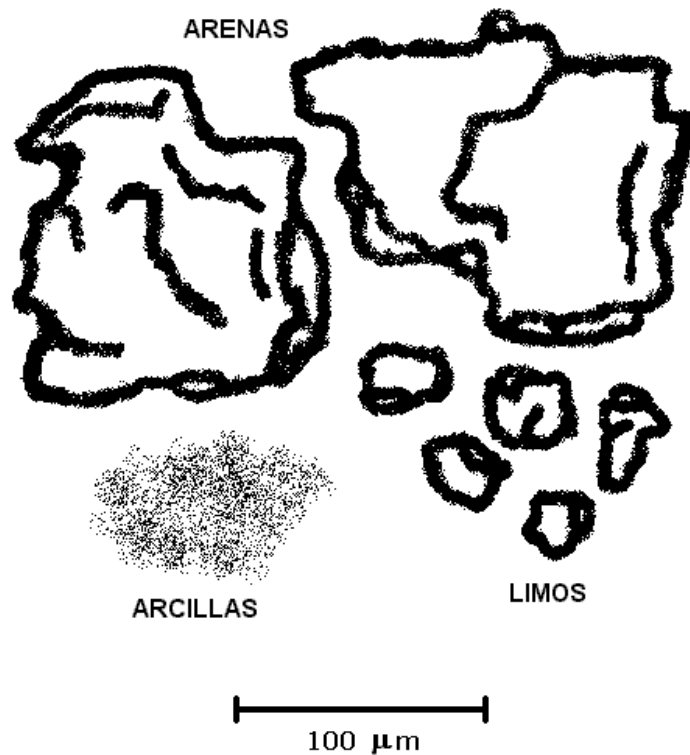


Figura 2. Naturaleza física de las fracciones de suelo. Tamaños a escala 350:1

Una vez considerada la definición de las diferentes fracciones de suelo es posible abordar la clasificación granulométrica de los suelos en función de las diferentes proporciones posibles de sus componentes. Para llevar a cabo la dosificación de los distintos componentes, o bien para llevar a cabo la clasificación de los suelos, resulta de gran eficacia el empleo de los denominados diagramas texturales triangulares. En la Figura 3 se recoge un diagrama triangular que ilustra la clasificación granulométrica más sencilla. En este caso, hay que hacer notar que las denominaciones de los diferentes suelos se extienden a los predomios respectivos de arenas, arcillas y limos, apareciendo el término *loam* o tierra franca para el caso en el que se contemplan composiciones centradas de los tres componentes anteriores.

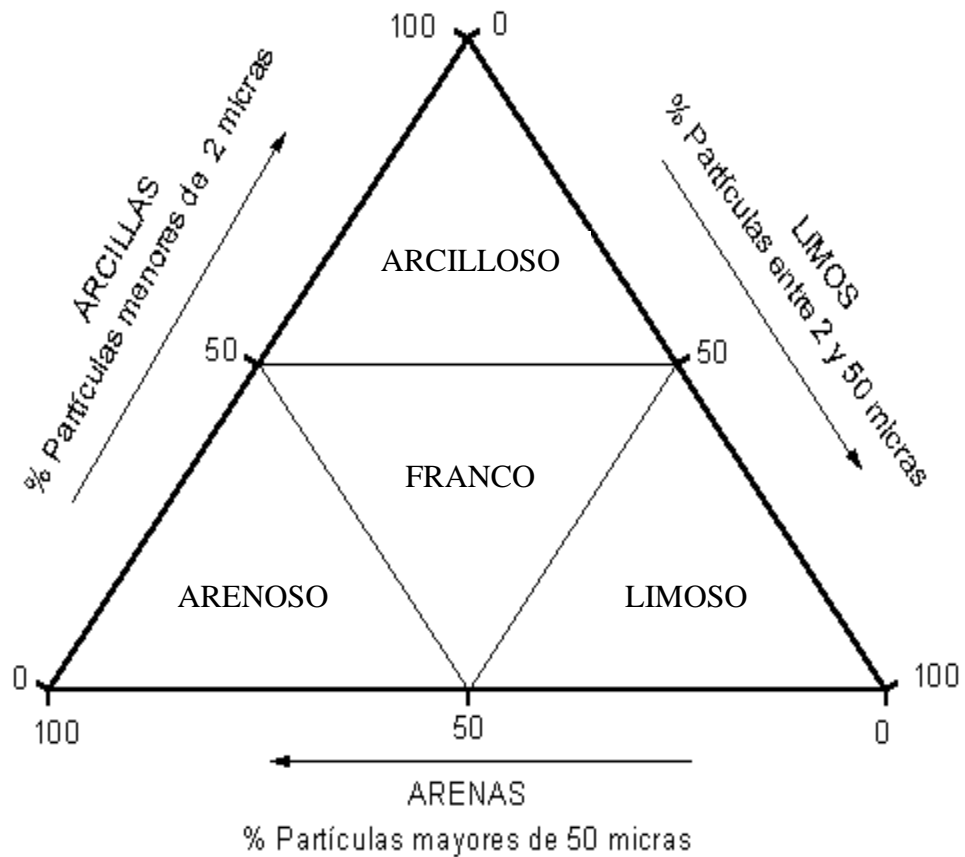


Figura 3. Clasificación granulométrica sencilla para tierras o suelos. Las flechas indican el sentido de lectura de los ejes del diagrama.

% en Arena	Denominación	Forma de los granos	Denominación
> 50	Gravera	Redondeada	Gravera de cantos rodados
		Angulosa	Canchal
25 – 50	Gravera terrosa	-	-
10 – 25	Tierra gravosa	-	-
< 10	Tierra	-	-

Tabla 5. Clasificación granulométrica de las tierras como materia prima en obra civil.

Existen otras clasificaciones granulométricas con orientaciones específicas. Así para el empleo de tierras como áridos de aplicación en obra civil (arenas de tamaño de partícula medio superior a 2 mm o 2000 μm) se puede emplear la clasificación recogida en la Tabla 5.

Por otra parte, en el ámbito de la industria cerámica, las materias primas suelen denominarse arcillas, siendo la clasificación más procedente la que se muestra en la Tabla 6.

TAMAÑOS	DENOMINACIÓN
> 25 μm	Arenas y otras impurezas
25 – 10 μm	Arcillas “peores”
< 10 μm	Arcillas “buenas”
10 – 10 ⁻³ μm	Micelas de arcilla (en agua)




Tabla 6. Clasificación granulométrica de las arcillas para aplicaciones cerámicas.

En lo referente a los tipos de suelos considerados en la clasificación recomendada por el Ministerio de Agricultura de USDA (ver Figura 4) es posible resumir cómo evolucionan las propiedades físicas de las diferentes composiciones según se indica en la Tabla 7.

Por otra parte, los suelos más arcillosos son capaces de adsorber agua hasta un límite en que se transforman en impermeables. Este hecho es debido, mayoritariamente, a su capacidad de compactación por compresión –debida al peso de las capas superiores– y a su capacidad de drenaje –debida a la pérdida de agua por el mismo efecto–. Como puede observarse en la Figura 5, cuanto mayor es la finura de la textura de un suelo o lo que es lo mismo, cuanto menor es el tamaño de las partículas que integran ese suelo, mayor es

la superficie eficaz presentada por dicho suelo. Asimismo, todas las propiedades físicas consideradas (capacidad de adsorción, cohesión y plasticidad) aumentan rápidamente su intensidad a medida que el tamaño de sus partículas se aproxima al estado coloidal.

Por último, en la Tabla 8 se recoge una apreciación adicional con respecto a la textura de los suelos. Este aspecto cobra mayor importancia cuando se llevan a cabo prácticas de reconocimiento sencillo de los suelos.

Denominación	Densidad (Tm/m ³)	Permeabilidad (m/día)	Capacidad* (meq/g)	Otras propiedades †
Arenas medias y gruesas $\phi > 5000\mu\text{m}$	2,0 – 2,16	10 – 100	0	
Arenas finas y arena + franco $\phi > 2000\mu\text{m}$	1,8 – 1,88	1 – 10	0	
Franco arenoso		0,1 – 1		
Franco		0,01 – 1		
Franco arcilloso		0,001 – 0,1		
Arcillas	1,2 – 1,68	< 0,001	0,03 – 1,50	

(*) Referido a la capacidad de adsorción o de intercambio iónico.

(†) Incluye propiedades como superficie específica, plasticidad y cohesión

Tabla 7. Propiedades físicas para diferentes composiciones de suelos.

Tipo de suelo	Términos generales	Clases texturales
Suelos arenosos	Suelos de textura gruesa	Arenosos Arenosos-francos
	Suelos de textura moderadamente gruesa	Franco-arenosos Franco-arenosos finos Franco-arenosos muy finos

Suelos Francos	Suelos de textura media	Franco Franco-limoso Limoso
	Suelos de textura moderadamente fina	Franco-arcilloso Franco-arcilloso-arenoso Franco-arcilloso-limoso
Suelos Arcillosos	Suelos de textura fina	Arcilloso-arenoso Arcilloso-limoso Arcilloso

Tabla 8. Clasificación de suelos en función de su textura.

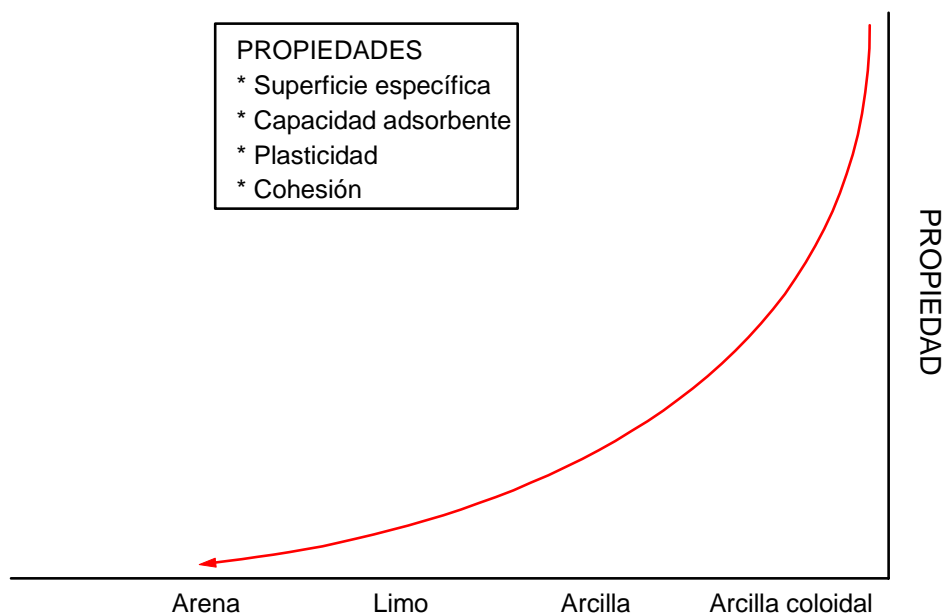


Figura 5. Evolución de algunas propiedades físicas en función del tamaño de las partículas integrantes del suelo.

5.2 Clasificación química

Este tipo de clasificación se basa en la composición química de las diferentes especies minerales que predominan o integran los suelos o tierras. Teniendo esto en cuenta, se distinguen los siguientes tipos de suelos:

- **Suelos Feldespáticos:** suelos que presentan una composición con un claro predominio de feldespatos ($6 \text{ SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{M}_x\text{O}$, siendo $\text{M} = \text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Ca}^{2+}$ o Mg^{2+}) disgregados pero sin transformación química posterior.
- **Suelos Silíceos:** suelos que presentan una composición con un claro predominio de sílice (SiO_2) originaria o reconstituida.
- **Gredas:** suelos constituidos por mezclas, en diferentes composiciones, de sílice (SiO_2) y arcillas ($m \text{ SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n \text{ H}_2\text{O}$).
- **Suelos Arcillosos:** suelos en cuya composición resulta predominante el contenido en arcillas ($m \text{ SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n \text{ H}_2\text{O}$), acompañadas de diferentes impurezas entre las cuales suelen ser frecuentes los feldespatos, sílice libre, óxidos de hierro y otras. Generalmente presentan tamaños de partícula inferiores a $2 \mu\text{m}$ y los suelos más importantes suelen ser, a su vez, de dos tipos:
 - **Suelos Caolínicos:** suelos arcillosos con un importante predominio en su composición de Caolinita (arcilla con $m=2$ y $n=2$). Este tipo de suelos presenta un importante interés industrial.
 - **Suelos Montmorilloníticos:** suelos arcillosos con un predominio claro en su composición de Montmorillonita (arcilla con $m=4$ y $n=1$). Este tipo de suelos presenta cierto interés agrícola y forestal.
- **Margas:** suelos constituidos por mezclas de diferentes proporciones de arcillas y caliza (CaCO_3). Este tipo de suelos puede presentar otras tres denominaciones en función de su composición:

Tipo de Marga	% Arcillas	% Caliza
Marga Arcillosa	65 – 80	35 – 20
Marga	35 – 65	65 – 35
Marga Caliza	25 – 35	75 – 65

- **Suelos Calizos o Calcáreos:** son suelos constituidos por composiciones superiores al 80% en caliza e inferiores al 20% en arcillas.

- Suelos Yesíferos: suelos en cuya composición predomina la presencia de yeso o aljez ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- Suelos Fértiles: se consideran suelos fértiles algunos de los anteriores con la correspondiente adición de humus (Vian, 1986).

5.3 Conexión entre las clasificaciones granulométrica y química

Cuando se trata de abordar el estudio de la edafología resulta bastante frecuente encontrarse con algunos aspectos generadores de equívocos. Concretamente, los dos aspectos de referencia son:

- (A) Las denominaciones empleadas (arena, arcilla, etc.) presentan dos sentidos según se refieran a componentes granulométricos (tamaños de partícula) o a especies químicas (composición). Es evidente que, como ha quedado claro en los dos epígrafes anteriores, el mismo término puede considerarse distintas acepciones en función del tipo de clasificación al que se hace referencia.
- (B) La conexión entre denominación y especie química es más tenue que lo que sugieren los términos correspondientes. Por tanto, resulta bastante adecuado para la composición de los suelos emplear términos como “predominio de especies” o “suelos compuestos”.

En la Tabla 9 se trata de aclarar la conexión entre los tipos de suelos considerados en la clasificación granulométrica (también denominados fracciones) y las especies químicas principales presentes en cada fracción, expresadas como óxidos. Dicha tabla se ha confeccionado basándose en la composición típica de un suelo concreto.

Fracciones	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$
Arena	86,3	5,19	6,77	1,05	0,37	1,02	12,75
Limo grueso	81,3	3,11	7,21	1,05	0,41	0,82	11,28
Limo fino	64,0	9,42	12,0	1,05	0,32	2,22	5,33
Arcilla gruesa	45,1	13,50	21,10	0,96	0,38	2,09	2,14
Arcilla fina	30,2	17,10	22,80	0,88	0,08	1,77	1,32

Tabla 9. Composición química de las fracciones de un suelo de composición típica.

Cabe destacar, siempre en términos generales, que en las fracciones más gruesas predominan las especies existentes en la roca madre primitiva (sílice, feldespatos, etc.) individualizadas mediante disgregación física. Por el contrario, en las fracciones más finas se muestra un predominio de especies de formación más reciente (arcillas), al haberse añadido al fenómeno de disgregación física los posteriores fenómenos de alteración química.

En la Tabla 9 se ha considerado, en la última columna, la razón ponderal sílice/alúmina ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) para las diferentes fracciones consideradas. Estas composiciones pueden contrastarse con las correspondientes a las existentes en las especies minerales más importantes, que se muestran a continuación:

Especie	SiO_2	Feldespato	Montmorillonita	Caolinita
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	∞	3,53	2,35	1,18

6. Reconocimiento de tierras o suelos y sus componentes

Para llevar a cabo el reconocimiento de suelos es preciso comenzar por una toma de muestras del suelo en cuestión. Las muestras para el análisis de suelos se pueden obtener mediante la práctica de “catas” o calicatas. Cuando se requieren muestras de rocas se acude al empleo de tubos huecos o “trépanos” para perforar el suelo y extraer en su interior las muestras correspondientes.

Conviene llevar a cabo una serie de calicatas en vertical en diferentes puntos del terreno, así como tomas de muestras a diferentes profundidades del terreno. En realidad, la profundidad y el tipo de muestreo depende mucho del tipo de análisis a realizar y la finalidad del mismo (clasificación del suelo, determinación de la fertilidad, etc.). A veces, puede resultar conveniente realizar un corte en el terreno y proceder a la toma de muestras horizontales en diferentes puntos. Además, conviene tener en cuenta que los suelos fértiles suelen presentar una profundidad media no superior a los 25 cm.

Una vez extraída la cata correspondiente se procede a llevar a cabo los análisis granulométricos y químicos siguiendo un protocolo detallado para dar validez a los resultados obtenidos (Gandullo, 2000). En la Tabla 10 se recoge un breve resumen de algunos de los ensayos útiles que pueden hacerse a los suelos para obtener información acerca de sus características físico-químicas.

No obstante, además de lo anteriormente expuesto, se pueden llevar a cabo análisis organolépticos basados en la apariencia y el tacto del terreno, para estimar texturas tal y como se indica en la Tabla 11 (Metcalf, 1995), la cual hace referencia a la clasificación recogida en la Figura 4.

Análisis	Parámetros	Comentarios
Análisis granulométrico	Determinación del tanto por ciento en peso de gruesos (gravas y gravillas)	Separación de las partículas de más de 2 mm mediante tamizado
Análisis granulométrico de finos	Determinación del tanto por ciento en finos mediante tamizado en seco	Separación por tamizado de finos con tamices de luz de malla para 2 – 6 – 20 mm
Caracterización petrológica de los gruesos	Determinación del tipo de roca y composición en tanto por ciento	Obtención del grado de consistencia, grado de redondeo, tinciones debidas a óxidos de hierro o a materia orgánica. Reacción al ataque con HCl
Análisis textural de finos	Obtención de la curva de acumulación de tanto por ciento de minerales de diversos tamaños	Lavado y secado del material. Tamizado. Determinación del tanto por ciento en arena, limo y arcilla
Acidez del suelo	Acidez actual y acidez de cambio mediante evaluación del pH	Medida de pH de una suspensión suelo/agua 1:2,5 (p/p). Obtención de pH de una suspensión 1:2,5 suelo/disolución KCl 1N
Contenido en carbonatos	Obtención de la riqueza en carbonatos de la roca madre y riqueza en carbonatos químicos activos	Determinación del tanto por ciento en carbonatos en finos y en gruesos por ataque con HCl
Contenido en materia orgánica	Determinación de carbono orgánico e inorgánico	Medida de DBO y DQO
Contenido en sales	Determinación de la conductividad	Disolución saturada en agua destilada
Determinación de la	Medida de Nitrógeno,	Ataque con NH ₄ Ac (1N)

fertilidad	Fósforo y Potasio	para K y determinación de nitratos, fosfatos y nitritos
Otros	Aspectos físicos	Medida de Humedad, Drenaje y porosidad

Tabla 10. Algunos análisis de suelos de interés físico-químico en edafología

Textura	Suelo o tierra secos	Suelo o tierra húmedos
Arena	Sueltos, granos individuales ásperos al tacto. Al apretarlos con la mano la masa se disgrega cuando se libera la presión	Al apretarlos con la mano se forma una pella que se deshace al tocarla ligeramente. No es moldeable
Arena-Franca	Sueltos, granos individuales ásperos al tacto. Al presionar con los dedos y ponerlos sobre la palma de la mano se marcan las huellas dactilares	Al apretarlos con la mano se forma una pella que se deshace al tocarla. No es moldeable
Franco-Arenoso	Los agregados (terrones) se deshacen con facilidad. Tacto inicialmente suave y aterciopelado, pero al apretar acaba predominando una sensación de aspereza	Forman una pella que resiste el manejo cuidadoso sin romperse. No es moldeable
Franco	Los terrones se deshacen con una presión moderada aunque son bastante consistentes. Cuando se pulverizan tienen un tacto aterciopelado que se hace áspero al continuar frotando	Pella manejable con estabilidad. Ligeramente moldeable. Al frotar la superficie el tacto es áspero
Franco-Limoso	Los terrones son firmes pero se pueden deshacer con presiones moderadas. Son entre consistentes y duros. Cuando se pulverizan el tacto es suave (similar al de la harina)	La pella puede manejarse sin cuidado especial sin peligro de que se rompa. Ligeramente moldeable. La superficie se fisura o se arruga al frotarse
Franco-Limoso-Arcilloso	Los terrones son muy firmes. Entre duros y muy duros. Se pega algo a la lengua	La pella puede manejarse sin que se rompa. Es moldeable. Tacto grasiento y ligeramente pegajoso
Arcilloso-Limoso	Terrones muy firmes y muy duros. Se pega mucho a la lengua	Muy moldeable en condiciones adecuadas de humedad (10-35%)

Arcilloso	Terrones muy firmes y extremadamente duros. Se pega mucho a la lengua	Extremadamente moldeable en condiciones adecuadas de humedad (10-35%). Grano impalpable
-----------	---	---

Tabla 11. Apariencia y tacto de diferentes texturas de tierras y suelos

7. Particularización para ámbitos agrícolas y forestales

Todo lo expuesto en los apartados anteriores enlaza con los aspectos referentes a suelos agrícolas y forestales según las disertaciones expuestas en las obras de ciertos autores (Vian, 1986 y Gandullo, 1998). Teniendo en cuenta que, en términos generales, los suelos aptos para aplicaciones agrícolas y forestales suelen ser los próximos a los caracterizados como francos – si bien el grado de fertilidad dependerá de otros factores- en este trabajo nos limitaremos a recoger la relación de los diferentes componentes correspondientes a este tipo de suelos, tal y como se muestra a continuación:

- Arcilla coloidal ($\phi < 2\mu\text{m}$): componente resultante de la presencia de diferentes tipos de arcillas, como son las caolínicas, illíticas o montmorilloníticas. Considerando esta última como referencia para establecer y estudiar el complejo edáfico así como su relación con la nutrición vegetal.
- Sólidos más gruesos: constituidos por limos, partículas calizas, alúmina (Al_2O_3) y óxidos de hierro (Fe_2O_3) hidratados. Estos componentes son los encargados de aportar cierto grado de porosidad a los suelos.
- Humus: considerando como tal la materia orgánica coloidal con cargas iónicas negativas. Básicamente debidas a la presencia de aniones ácidos y fenólicos.
- Aire: como agente encargado de aportar porosidad al suelo.
- Agua: resulta un componente importante que, además de aportar porosidad, sirve como medio para la transferencia de materiales nutrientes del suelo a las raíces de las plantas.

En la Tabla 12 se recogen algunas de las características de ciertos coloides presentes en terrenos de aplicación agrícola. Dicha información puede verse ampliada en varias referencias bibliográficas más específicas (Gandullo, 1998 y 2000) .

Componente	Coloide	Afinidad por el agua
Arcillas ordenadas	Electronegativo (δ^-)	Hidrófobos
Arcillas desordenadas	Electronegativo (δ^-)	Moderadamente hidrófobos
Sílice hidratada	Electronegativo (δ^-)	Moderadamente hidrófilos
Hidróxidos de hierro	Electropositivo (δ^+)	Moderadamente hidrófilos
Hidróxidos de aluminio	Electropositivo (δ^+)	Moderadamente hidrófilos
Humus	Electronegativo (δ^-)	Hidrófilos
Complejos organominerales	Electronegativo (δ^-)	Hidrófilos

Tabla 12. Tipos de coloides en función del componente del suelo.

8. Particularización para el ámbito industrial

Dentro del ámbito industrial puede llevarse a cabo todo un catálogo de aplicaciones de las tierras y rocas sedimentarias. En función de la composición mayoritaria del tipo de suelo cabe considerar las siguientes aplicaciones:

- Feldespatos: agente fundente y vitrificante superficial empleado en la fabricación y elaboración de materiales cerámicos y refractarios.
- Sílice: ingrediente fundamental en la industria de la fabricación de vidrios, cerámica y cementos. En estas industrias se emplea en forma de arena y roca (cuarzo, pedernal o sílex). La sílice también tiene una amplia aplicación en la industria de la construcción y en obra civil, en forma de arena, gravas, granzas y bolos.
- Arcillas: resulta un ingrediente fundamental en la fabricación de cerámicas, materiales refractarios y cementos. Las arcillas también se emplean en otros ámbitos como la industria de lubricantes o de vinos, donde se utilizan como materiales adsorbentes decolorantes (tierras de Batán, tierras de Fuller, etc.). También se utilizan como agentes reactivos o de soportes en la eliminación de olefinas o en la preparación de ciertos catalizadores. En ocasiones se utilizan como agentes adsorbentes de intercambio iónico para algunos cationes.
- Calizas: suelos empleados, en forma de tierras y rocas calizas o margas, que sirven como ingredientes en la fabricación de vidrio y de cementos. También se emplean en forma de rocas como calcitas o mármoles para aplicaciones arquitectónicas estructurales y ornamentales.

- Yesos: componentes de amplia aplicación en la industria de la construcción, en arquitectura y como agente corrector en la fabricación de cementos.

9. Glosario

Teniendo en cuenta que ciertos términos puedan llegar a ser un tanto desconocidos para personas no doctas en la materia, se ha decidido incluir un breve glosario para aclarar la terminología empleada. No obstante, este glosario, puede completarse con la terminología recogida en el punto 4, en el que se abordan algunas clasificaciones de interés para los campos relacionados con la edafología.

- **SÍLICE EN PARTÍCULAS:** Dentro del ámbito de la industria de la construcción y de la obra civil, los áridos pueden considerarse en orden creciente de tamaños como:
 - Arenas finas (tamaños de partícula comprendidos entre 20 y 200 μm)
 - Arenas gruesas (tamaños de partícula comprendidos entre 200 y 2000 μm)
 - Gravillas (tamaños de partícula comprendidos entre 2 y 20 mm)
 - Gravas (tamaños de partícula comprendidos entre 20 y 40 mm)
 - Granzas (tamaños de partícula de unos pocos centímetros)
 - Bolos (tamaños de partícula de varios centímetros)
- **FANGO:** Se consideran como tales las suspensiones de limos y/o arcillas en agua
- **LODO:** Barro, cieno
- **BARRO:** Masa espesa de tierra y agua, lodo
- **BARRO COCIDO:** Muy empleado en alfarería o ladrillería
- **PASTA:** Barro refinado y meteorizado con un contenido entre el 10 y el 35% en agua. Muy empleado en alfarería, ladrillería y otras industrias cerámicas. El término pasta plástica hace referencia a fluidos de elevada viscosidad, moldeables, que circulan en régimen no newtoniano
- **PELLA:** Porción de pasta empleada en alfarería
- **LAMA, CIENO o LÉGAMO:** Sinónimos todos ellos, empleados para designar lodo blando y pegajoso o arcilloso.
- **BARBOTINA:** Suspensión diluida de feldespatos o arcillas en agua. Puede considerarse como un lodo diluido que presenta flujo newtoniano y encuentra aplicación en la industria cerámica o como lubricante en perforaciones geológicas.
- **TERMINOLOGÍA ANGLOSAJONA:**
 - *Mud:* fango, lodo, barro, cieno, lama, limo, légamo
 - *Clay:* arcilla

- *Loam*: greda, tierra franca
- *Slurry*: suspensión de sólido en líquido
- *Marl*: marga
- *Silt*: limo
- *Sludge*: fango (otros sinónimos: muck, ooze, slush, slime)

9. Bibliografía

- ANDERSSON, L. AND HARDING, R.J. (1991) “*Soil moisture deficit simulations with models of varying complexity for forest and grassland sites*”. Water Resources Management, **5** pp. 25-46.
- ARREDONDO, F. (1991), “*Piedras, cerámica y vidrio*” Ed. Servicio de publicaciones de la ETSI de Caminos, Madrid 1991.
- GANDULLO, J.M. (1998), “*Prácticas de mineralogía y petrología*” Ed. Fundación Conde del Valle de Salazar. ETSI de Montes, Madrid 1998.
- GANDULLO, J.M. (2000), “*Climatología y ciencia del suelo*” Ed. Fundación Conde del Valle de Salazar. ETSI de Montes, Madrid 2000.
- PORTA, J., GÓMEZ-ACEVEDO, M. Y ROQUERO, C. (1999), “*Edafología para la agricultura y el medio ambiente*” Ed. Mundiprensa.
- MARSHALL, T.J., HOLMES, J.W. AND ROSE, C.W. (1996), “*Soil physics*” Ed. University Press, Cambridge 1996.
- MELÉNDEZ, B. Y FUSTER, J.M. (1973), “*Geología*” Ed. Paraninfo, 3^a ed. Madrid 1973.
- METCALF Y EDDY (1995), “*Ingeniería de las aguas residuales*” Ed. McGraw-Hill, Madrid 1995.
- VIAN, A. (1986), “*Introducción a la química industrial*” Ed. Reverté, 2^a ed. Barcelona 1986.
- WARD, R.C. AND ROBINSON, M. (2000) “*Principles of hydrology*”. Fourth edition. Mc Graw Hill. London 2000.