

LAS ARCILLAS

1. [Definición](#)
2. [Composición](#)
3. [Estructura](#)
4. [Propiedades físico-químicas](#)
5. [Grupos de minerales de la arcilla](#)
6. [Proceso de formación](#)
7. [Extracción y procesado](#)
8. [Arcillas industriales](#)
9. [Aplicaciones](#)
10. [Bibliografía de interés](#)

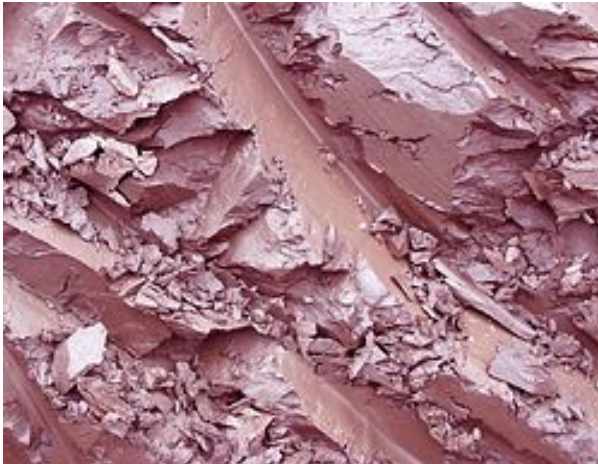
1. DEFINICIÓN

El término arcilla puede tener dos significados relacionados pero distintos.

En mineralogía, se denomina arcilla a todos aquellos minerales de sílice coloidales, es decir, con un tamaño de grano inferior a 2 μm (0,002 mm).

Granulometría	
Partícula	Tamaño (mm)
Arcillas	< 0,002
Limos	0,002 – 0,06
Arenas	0,06 – 2
Gravas	2 – 60
Cantos rodados	60 – 250
Bloques	> 250

Tabla 1. Tipos de minerales del sedimento atendiendo a su tamaño (granulometría).



Desde un punto de vista geológico, es una roca sedimentaria blanda y sin laminado aparente, compuesta por materiales arcillosos provenientes de la alteración de rocas cristalinas. Presenta afinidad por el agua, volviéndose plástica cuando se hidrata, pero es impermeable. Al secarse, disminuye su volumen y aumenta su dureza.

Al proceder de la descomposición de rocas cristalinas con feldespatos, en un proceso natural que tarda decenas de miles de años, son constituyentes esenciales de la mayoría de los suelos.

2. COMPOSICIÓN

Las arcillas están incluidas en la clase mineral de los silicatos, todos ellos formados por una estructura básica de silicio y oxígeno. Representan el 25% de los minerales conocidos y son los componentes principales de las rocas ígneas (el 90% de la corteza terrestre). Los elementos químicos más abundantes en los silicatos, además de silicio y oxígeno, son aluminio, hierro, calcio, sodio y magnesio.

Las arcillas son, en concreto, silicatos de alúmina hidratados originados por hidrólisis de los feldspatos, cuya fórmula genérica es $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (caolinita). Los aniones O^{2-} y OH^- forman la estructura básica de las arcillas al disponerse en planos apilables. En los huecos de esta estructura es donde se sitúan los diferentes cationes, de tamaño mucho menor. La coordinación de cada catión está determinada por su radio iónico, de modo que:

- Si^{4+} ocupa huecos de coordinación tetraédrica.
- Al^{3+} puede ocupar huecos octaédricos o sustituir al silicio en coordinación tetraédrica.
- Mg^{2+} , Fe^{2+} y Fe^{3+} ocupan huecos de coordinación octaédrica.
- K^+ , Na^+ y Ca^{2+} se disponen en el espacio existente entre los planos de aniones.

Esta composición química puede sufrir variaciones al sustituirse unos iones por otros, lo que da lugar a los diferentes minerales de la arcilla.

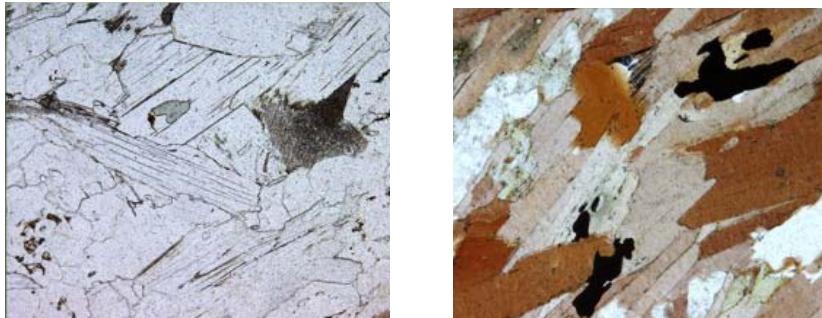


Figura 1 - Estructura microscópica de moscovita y biotita, dos tipos de rocas arcillosas.

En la fracción textural arcillosa de un suelo se pueden encontrar componentes minerales plásticos como el caolín y la arcilla y, no plásticos o antiplásticos, como el cuarzo, la arena o la pegmatita. Además, puede haber partículas no minerales, es decir, materia orgánica.

3. ESTRUCTURA DE LAS ARCILLAS

La unidad estructural fundamental de todos los silicatos es un tetraedro regular con un ión oxígeno en cada uno de sus vértices, rodeando al ión silicio situado en el centro del tetraedro; conocido como ión silicato (SiO_4)⁴⁻. El silicio central puede estar sustituido en parte por cationes Al^{3+} o Fe^{3+} ; y más raramente por Li, Cr, Mn, Ni, Cu o Zn.

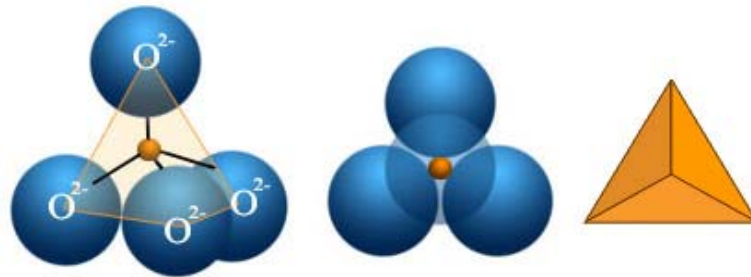


Figura 2. Tres maneras de dibujar el silicio tetraédrico: a) a la izquierda, un modelo compuesto de bola y palo, muestra el catión silicio en color anarajando, rodeado de 4 aniones de oxígeno en azul; b) al centro, un modelo que llena el espacio; c) a la derecha, un esbozo geométrico.

El enlace que une los oxígenos y el ión central es mitad iónico y mitad covalente, ya que además de existir atracción electrostática se comparten electrones.

Varios iones silicato pueden compartir oxígenos de los vértices y unirse entre sí, formando distintos tipos de estructuras más complejas que dan lugar a las diferentes clases de silicatos.

Las arcillas se encuadran en el grupo de los filosilicatos (Si_2O_5)²⁻, en los que los iones silicato tetraédricos se unen formando hexágonos dispuestos en láminas o capas, generalmente con silicio, hierro o magnesio como ión central de los tetraedros (ver figura 3).

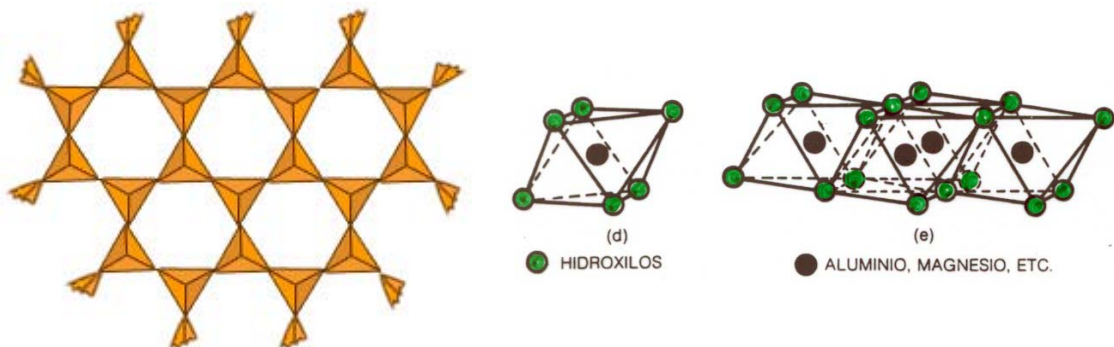


Figura 3. Estructura de los filosilicatos a) tetraédricos y b) octaédricos

Estas capas de tetraedros se unen a otras más complejas de tipo gibbsita o brucita, formadas por octaedros de aluminio, oxígeno y grupos OH en las que algunos iones Al^{3+} o Mg^{2+} pueden estar sustituidos por Fe^{2+} o Fe^{3+} . El plano de unión entre ambas capas está formado por los oxígenos de los tetraedros que se encontraban sin compartir (llamados oxígenos apicales), y por grupos $(\text{OH})^-$ de la capa brucítica o gibsítica, de forma que, en este plano, queda un $(\text{OH})^-$ en el centro de cada hexágono formado por 6 oxígenos apicales. El resto de los $(\text{OH})^-$ son reemplazados por los oxígenos de los tetraedros (figura siguiente).

Una unión similar puede ocurrir en la superficie opuesta de la capa octaédrica. Así, los filosilicatos pueden estar formados por dos capas: tetraédrica más octaédrica y se denominan bilaminares, 1:1, o T:O; o bien por tres capas: una octaédrica y dos tetraédricas, denominándose trilaminares, 2:1 o T:O:T. A la unidad formada por la unión de una capa octaédrica más una o dos tetraédricas se la denomina lámina.

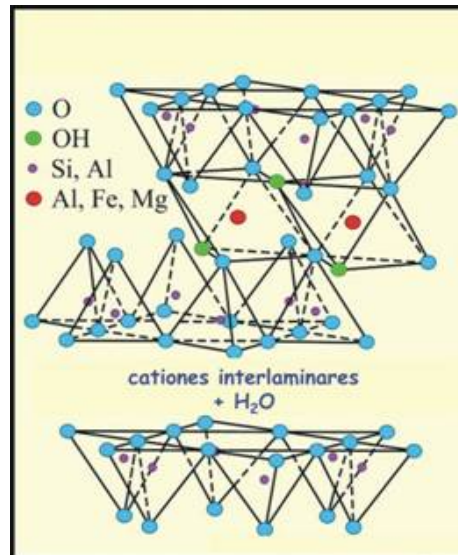


Figura 4. Estructura de una lámina por apilamiento de capas tetraédricas y octaédricas.

En algunos filosilicatos (esmeclitas, vermiculitas, micas...) las láminas no son eléctricamente neutras debido a las sustituciones de unos cationes por otros de distinta carga, por lo que se mantienen unidas mediante fuerzas electrostáticas. El balance de carga se mantiene por la presencia, en el espacio interlaminar de cationes (como en el grupo de las micas), cationes hidratados (como en las vermiculitas y esmeclitas) o grupos hidroxilo coordinados octaédricamente, similares a las capas octaédricas, como sucede en las cloritas. La unidad formada por una lámina más la interlámina es la unidad estructural. Los cationes interlaminares más frecuentes son alcalinos (Na y K) o alcalinotérreos (Mg y Ca).

Las fuerzas que unen las diferentes unidades estructurales son más débiles que las existentes entre los iones de una misma lámina, por ese motivo los filosilicatos tienen hábito escamoso y una clara dirección de exfoliación, paralela a las láminas.

La sepiolita y la paligorskita, a pesar de pertenecer al grupo de los filosilicatos, presentan diferencias estructurales. Están formadas por láminas discontinuas de tipo mica, que tienen hábito fibroso en lugar de laminar (figura siguiente), ya que la capa basal de oxígenos es continua, pero los oxígenos apicales sufren una inversión periódica cada 8 posiciones octaédricas (sepiolita) o cada 5 posiciones (paligorskita). Esta inversión da lugar a la interrupción de la capa octaédrica que es discontinua.

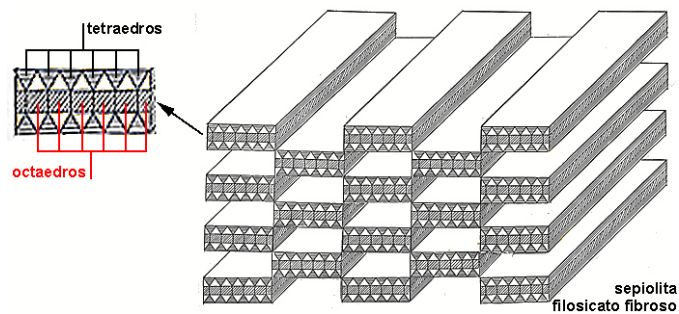


Figura 5. Estructura de lámina discontinua típica de minerales con hábito fibroso.

4. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

La mayor parte de las propiedades físico-químicas de las arcillas son consecuencia de sus características estructurales, principalmente de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 μm)
- Su morfología laminar (filosilicatos)
- Las sustituciones de cationes en las láminas, que dan lugar a la aparición de carga en las mismas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar

A continuación se muestran en detalle sus principales propiedades:

• Superficie específica

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie de las partículas constituyentes por unidad de masa, expresada en m^2/g .

Debido a su pequeño tamaño de partícula y a su morfología laminar, las arcillas poseen una elevada superficie específica, y a la vez, una gran cantidad de superficie activa con enlaces no saturados, por lo que pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares. Esto hace que puedan interaccionar con muy diversas sustancias, en especial con compuestos polares como el agua. Las consecuencias inmediatas son el comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua y el hinchamiento o *swelling*.

Algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas: Caolinita de elevada cristalinidad hasta 15 m^2/g ; Paligorskita 100-200 m^2/g .

• Capacidad de Intercambio catiónico

Los cationes del espacio interlaminar, al estar débilmente ligados, pueden ser intercambiados fácilmente por otros existentes en las soluciones acuosas que las rodean; compensándose así la diferencia de cargas que pueda existir en las láminas. A esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico (CEC) y se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH, o lo que es lo mismo, las cargas negativas que posee el mineral. Esta propiedad es la base de multitud de aplicaciones industriales.

Algunos ejemplos de capacidad de intercambio catiónico (en meq/100 g): Caolinita: 3-5; Sepiolita-paligorskita: 20-35.

• Capacidad de absorción

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes, ya que pueden capturar agua u otras moléculas en el espacio interlaminar. La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad), y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada:

- absorción: si actúan fundamentalmente procesos físicos como la retención por capilaridad.
- adsorción: cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido.

• Hidratación e hinchamiento

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las arcillas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento, que puede llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión interlaminar es el sodio, las arcillas tendrán una gran capacidad de hinchamiento. Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio, su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

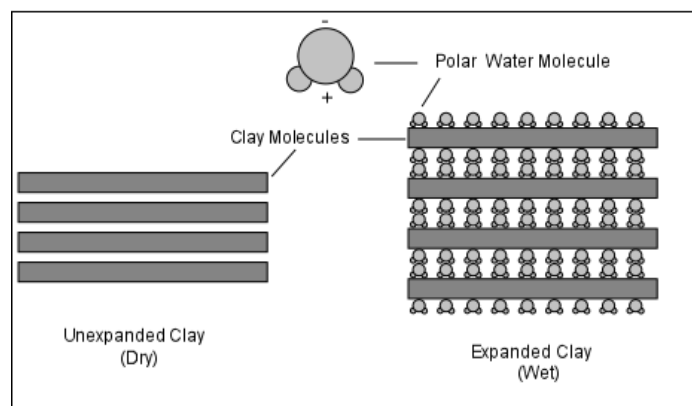
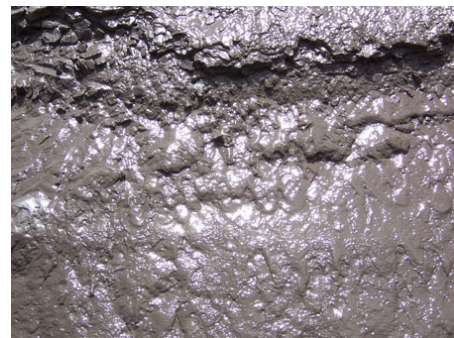


Figura 6. Mecanismo de hinchamiento de las arcillas.

• Plasticidad

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.



- **Tixotropía**

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si se dejan en reposo, recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un elevado contenido en agua.

Debido a todas estas propiedades, las arcillas se emplean como materiales cerámicos, como materiales absorbentes (purificación de grasas, aceites, vinos, y otras sustancias, decoloración, soporte de compuestos activos, pesticidas, fertilizantes, desalación, etc.) o materiales con propiedades reológicas (lodos de perforación).

5. GRUPOS DE MINERALES DE LA ARCILLA

En función de la estructura de las capas, las sustituciones iónicas y los elementos presentes en el espacio interlaminar, se distinguen varios grupos de minerales de la arcilla:

- Grupo de la caolinita: Incluye caolinita, dickita, nacrita y haloisita. Son los minerales con mayor contenido en alúmina y se caracterizan por su elevada refractariedad, constituyendo la base de las pastas de cocción blanca.
- Grupo de las esmectitas (o montmorillonita): Abarca minerales de la arcilla de composición muy variada debido a la elevada capacidad de intercambio catiónico, lo que provoca frecuentes sustituciones de iones en su estructura, y a la presencia de cationes en el espacio interlaminar. El amplio espacio existente entre las capas favorece la entrada de líquidos, especialmente de agua, facilitando la dilatación o hinchamiento de las arcillas. Esta característica, a pesar de mejorar su plasticidad, ocasiona problemas durante el secado, por riesgo de agrietamiento de las piezas, por lo que las esmectitas no son aconsejables como materia prima para cerámica.
- Grupo de la illita: agrupa minerales de estructura similar a las micas, pero con un mayor contenido en agua y con menos potasio, sustituido en parte por calcio y magnesio. Se caracterizan por sufrir vitrificación temprana durante el proceso de cocción. Son un constituyente común de las pastas empleadas en fabricación de ladrillos, tejas y baldosas.
- Grupo de la clorita: Está formado por filosilicatos de aluminio y magnesio hidratados con cierto porcentaje de hierro, lo que les confiere un color verdoso. Se usan como materia prima para fabricar piezas de cerámica estructural (ladrillos, tejas y bloques).
- Grupo de los minerales fibrosos (sepiolita y paligorskita): son arcillas con un contenido en dichos minerales superior al 50%. Tienen hábito fibroso con una enorme área superficial debida tanto al pequeño tamaño de partícula como la porosidad que presenta su estructura.



6. PROCESO DE FORMACIÓN

Las arcillas pueden originarse por neoformación o por transformación de otros minerales ya existentes. Ambos mecanismos están condicionados por la influencia del clima, la existencia de actividad geotérmica y los procesos de diagénesis.

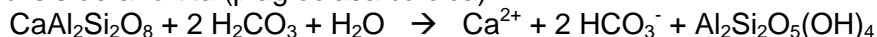
La formación de arcillas por efecto del clima en las rocas y los suelos es el principal proceso de formación de arcillas en la superficie terrestre, e incluye la disgregación física de la roca madre y la descomposición química de sus minerales. Está determinada por la naturaleza de la roca madre, los parámetros climáticos (principalmente temperatura y pluviosidad), la topografía, la vegetación, la existencia de actividad biológica y el periodo de tiempo durante el cual estos factores operen.



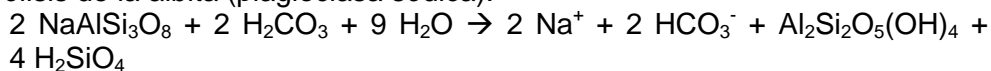
La génesis de las arcillas es un proceso clave en la formación de suelos, por ser minerales característicos del mismo. Está íntimamente ligada a reacciones de hidrólisis de rocas que contengan en su composición silicio y aluminio. Estas reacciones pueden desarrollarse en el medio hidrotermal (durante la formación de un depósito mineral), o como procesos exógenos (bajo condiciones

atmosféricas), una vez que las rocas por erosión se encuentran en la superficie o su proximidad. Se producen debido a que el CO_2 disuelto en el agua de lluvia o de los ríos forma ácido carbónico, que reacciona con los feldespatos, induciendo la formación de minerales del grupo de la arcilla. A continuación se muestran tres ejemplos de formación de caolinita, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$:

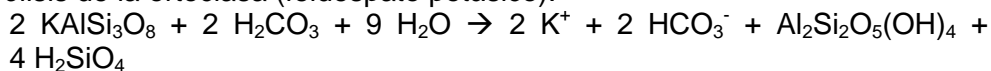
1) Hidrólisis de anortita (plagioclasa cálcica):



2) Hidrólisis de la albita (plagioclasa sódica):



3) Hidrólisis de la ortoclasa (feldespato potásico):



Como se ha mencionado anteriormente, el clima, a través de los parámetros de humedad y temperatura, controla fuertemente el proceso formador de arcillas a partir de los silicatos. Así, en condiciones de humedad y calor la hidrólisis dará lugar a arcillas caoliníticas, e incluso a un residuo final de gibbsita, $Al(OH)_3$. Por el contrario, en climas áridos la arcilla predominante resulta ser del tipo illita-esmectita. Debido a la influencia del clima y de la composición de la roca madre, los procesos formadores de arcillas son extraordinariamente complejos. En el siguiente cuadro se muestran, de manera simplificada, distintos tipos de suelos arcillosos que se originarían en diferentes climas.

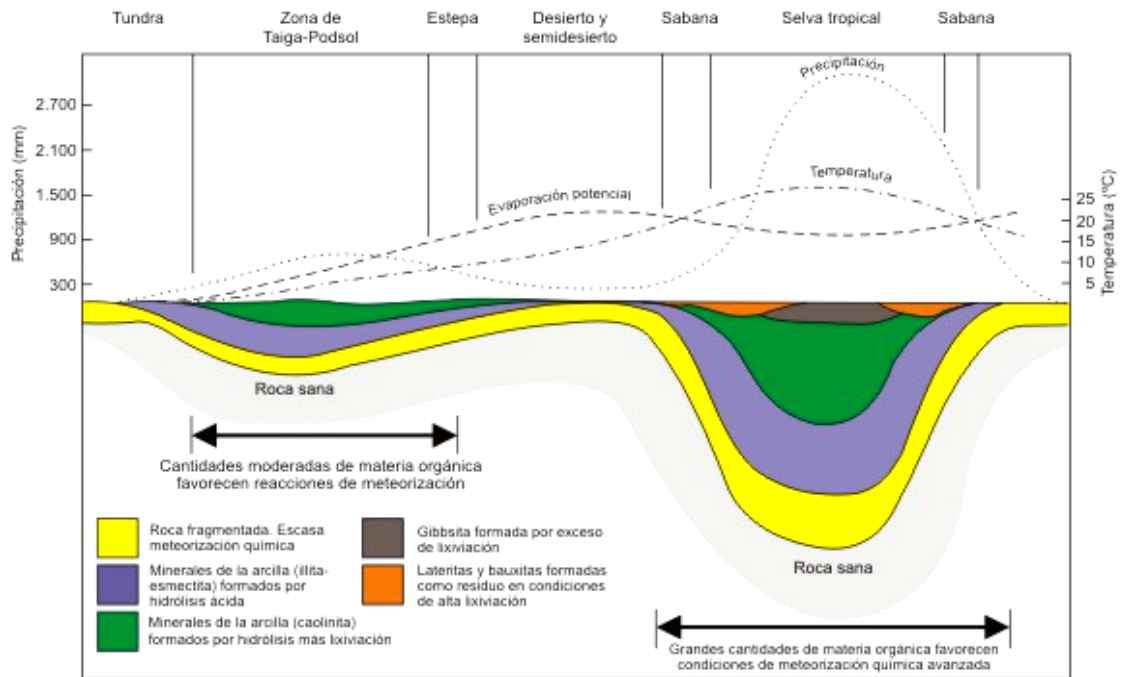


Figura 7. Tipos y espesores característicos de suelos formados en las distintas zonas climáticas.

Otra vía posible de formación de arcillas es el transporte y posterior sedimentación de las partículas originadas tras la erosión de la roca madre por alguno de los mecanismos anteriormente mencionados. Cuando un medio que transporta partículas pierde energía, estas tienden a depositarse, lo que se conoce como sedimentación detrítica. Los minerales de la arcilla, por su pequeño tamaño, son transportados en forma de suspensión coloidal, lo que hace que puedan seguir siendo trasladadas incluso mediante aguas no agitadas. El depósito se produce por el proceso físico-químico de floculación, que puede tener lugar de forma conjunta y simultánea al depósito de las partículas mayores, o con posterioridad, en zonas más tranquilas. En el primer caso se origina la matriz de las rocas detríticas, es decir, la componente intergranular fina, arcillosa, de los conglomerados y arenas o areniscas, mientras que en el segundo se da origen a las rocas arcillosas (lutitas, pelitas).

A menudo, estos sedimentos arcillosos contienen minerales de interés minero, que se depositan de manera conjunta en yacimientos de tipo placer.

En ellos, la separación y concentración de minerales de interés industrial se produce de forma natural, lo que abarata muy considerablemente su aprovechamiento minero.

La separación de la fase mineral de interés económico tiene lugar como consecuencia de la meteorización diferencial de los minerales que forman la roca. En función de factores climáticos y meteorológicos, la meteorización hace que la roca se desgrane, por la destrucción de algunos de sus componentes minerales. Los que no se destruyen, por ser resistentes a la meteorización existente en esa área y momento geológico, son arrastrados por el agua o el viento, es decir, pasan a sufrir el proceso de transporte.

La concentración de los minerales tiene lugar como consecuencia de su diferencia de densidad respecto al resto de minerales arrastrados por el medio de transporte. Los minerales de interés suelen ser metálicos, con lo que su densidad es muy superior a la del resto. Esto condiciona que se concentren en puntos concretos del curso fluvial o de una playa, cuando el medio de transporte deja de arrastrarlos antes que al resto.

Según el tiempo transcurrido desde su formación, existen dos tipos de yacimientos:

- Placeres en sedimentos recientes, de sistemas fluviales o de playas. Se explotan en superficie, mediante arranque y carga directos.
- Paleoplaceres: rocas sedimentarias de origen fluvial o costero que pueden contener concentraciones detríticas del mineral o minerales de interés minero. Necesitan una minería de mayor coste, ya sea a cielo abierto o subterránea.

Según el proceso geológico que las origine y a la ubicación del yacimiento en el que se encuentren se puede reconocer dos tipos de arcilla:

- **Arcillas residuales o primarias:** son el residuo insoluble que queda al descomponerse las rocas formadas por silicatos de aluminio y minerales feldespáticos. El yacimiento donde se encuentran está muy próximo a la roca madre de la que proceden, es decir, no han sufrido transporte alguno lo cual les otorga mayor pureza. En general poseen menos óxido de hierro y residuos orgánicos, por lo que son de color más claro tanto en crudo como tras cocción. Suelen presentar generalmente una diferencia gradual en sus características minerales, las clases más finas y puras se encuentran en superficie, y en profundidad, más cerca de la roca madre, aparecen mezcladas con partículas más o menos gruesas de rocas no descompuestas.
El caolín es la única arcilla primaria conocida.
- **Arcillas de sedimentación o secundarias:** se forman por sedimentación de arcillas primarias que han sufrido un transporte por fuerzas físicas o químicas, por lo que no guardan relación con la roca sobre la que se

encuentran. Aparecen en ambientes de sedimentación muy diferentes: aluviales, glaciares, estuarinos, lacustres o marinos. El arrastre hace que el tamaño de grano sea menor, por eso son más plásticas. En función de la época geológica a la que pertenezcan muestran diversos grados de dureza, desde las arcilla blandas típicas de aluviones hasta las esquistosas que deben extraerse con explosivos.

Las arcillas de sedimentación son las más comunes y de composición más compleja, ya que durante el transporte van recogiendo impurezas que les proporcionan un color más oscuro. Su composición, además, varía mucho en el seno de su masa, debido a las distintas condiciones en que hayan sedimentado. También presentan un mayor contenido en materia orgánica que hace que despidan un olor característico cuando se humedecen.

Se encuentran entre ellas el caolín secundario, la arcilla refractaria, la arcilla de bola, el barro de superficie y el gres.

7. EXTRACCIÓN Y PROCESADO

En general, son procesos sencillos que incluyen un machaqueo previo, eliminación de la humedad y finalmente, a una molienda hasta los tamaños de partícula deseados. La temperatura de secado dependerá de la utilización posterior de la arcilla.



La extracción de arcillas se realiza en explotaciones a cielo abierto, utilizando medios mecánicos convencionales. La potencia del recubrimiento a remover varía de unos yacimientos a otros, pero, generalmente, en la mayor parte de las explotaciones son inferiores a los 15 m. La maquinaria utilizada consiste principalmente en palas excavadoras y en algunos casos, excavadoras de cangilones. El

material extraído suele acumularse en capas horizontales de entre 50 y 75 cm de espesor durante varias semanas o incluso meses, para que sufra una meteorización natural que mejora la calidad de la arcilla, homogeneizando su humedad y repartiendo sus componentes. Este proceso de mejora se completa con el emplazamiento del material en naves frías, sin circulación de aire y con poca luz, llamadas pudrideros, donde ocurre la fermentación de la arcilla, dando lugar a una mayor cohesión de las partículas, una mayor plasticidad y el ajuste de humedad necesaria.

La molienda consiste en la obtención de una masa de granulometría apropiada (en el caso de las arcillas, con ausencia de partículas mayores de 2 mm), de la cual depende en gran medida la calidad del producto final. La etapa inicial de la molienda se lleva a cabo en desmenuzadores, unos cilindros dentados que aplastan y desgarran los materiales.

La molienda propiamente dicha puede realizarse de dos formas distintas:

- Vía húmeda: permite una molienda más fina. Se lleva a cabo en tambores con piedras de cuarcita o molinos de rulos y laminadores de rodillos. Una vez molido el material, se lleva a silos y de ahí a depósitos para la preparación de la barbotina, una suspensión de arcillas y otros materiales molidos en agua con desfloculantes. Es el método empleado para fabricar revestimientos porosos y gres.
- Vía seca: Se emplean molinos de martillos.

El siguiente paso es el amasado de la masa arcillosa, durante el cual se ajusta la humedad y la homogeneidad del material mediante amasadoras-mezcladoras. La humedad deseada se consigue proyectando agua pulverizada sobre la pasta.

Esta fase está íntimamente ligada al moldeo de las piezas, que se puede realizar:

- A mano
- Por prensado de la pasta de arcilla en un molde
- Por extrusión de la pasta

Antes de cocer las piezas, se someten a un proceso de secado que elimina el agua empleada durante el moldeo de la pieza. Es una de las fases más delicadas, ya que pueden aparecer retracciones que generen grietas. El secado tiene dos partes, durante la primera se evapora el agua libre de la superficie de la pieza hasta alcanzar el equilibrio con la humedad atmosférica, y en la segunda ocurre la desadsorción de agua de los capilares. El secadero es una cámara con ventilación forzada y con entrada de aire caliente y limpio, normalmente recuperado del horno. El sistema de introducción de calor puede ser por convección, radiación o conducción, siendo lo más frecuente la combinación de los tres sistemas. Tras el secado, que puede alcanzar temperaturas de 120°C, la pieza posee un 1,5% menos de humedad.

El último paso en la fabricación de piezas cerámicas es la cocción. Esta produce una serie de cambios físico-químicos como la desaparición de determinados minerales iniciales y la formación de otros nuevos, liberación de CO₂, oxidación de la materia orgánica... Los hornos empleados para cocción han sufrido grandes cambios. Los primitivos consistían en un suelo de ladrillo cocido sobre el que se disponía una capa de madera o carbón y encima las piezas a cocer. A mediados del s. XIX se instalaron los hornos Hoffmann, en los que la carga de piezas es estática y la aplicación del calor es móvil. Dentro de estos hornos coexisten piezas en precalentamiento, en cocción y en enfriamiento. Este sistema está en regresión actualmente, y es sustituido por los hornos túnel, de carga móvil y fuente de calor estática. Hoy en día la mayoría de los hornos funcionan con gas natural, alcanzando temperaturas medias de 900°C.

8. ARCILLAS INDUSTRIALES

Hoy en día las arcillas comerciales, aquellas que sirven como materia prima industrial, figuran entre los recursos minerales más importantes, tanto por el volumen explotado como por el valor de la producción. Un 90 % de la producción se dedica preferentemente a la fabricación de materiales de construcción y agregados. Sólo un 10 % se destina a otras industrias como fabricación de papel, caucho, pinturas, absorbentes, decolorantes, arenas de moldeo, productos químicos y farmacéuticos, agricultura, etc...

En general, al primer tipo se las denomina arcillas cerámicas, arcillas para la construcción o arcillas comunes. Están compuestas por dos o más minerales de la arcilla, generalmente illita y esmectita, con importantes cantidades de otros minerales que no son filosilicatos (carbonatos, cuarzo...).

Al segundo tipo se las denomina arcillas especiales; son arcillas constituidas fundamentalmente por un sólo tipo de mineral de la arcilla, y sus propiedades dependen esencialmente de las características de ese mineral. Estas, a pesar de ser mucho menos importantes en volumen, suponen más del 70 % del valor de las arcillas comerciales, y son objeto de comercio internacional. Las arcillas especiales se pueden dividir en caolines-arcillas caoliníferas, bentonitas, sepiolita y paligorskita.

• Caolines y arcillas caoliníferas

Un caolín es una roca que contiene una cierta proporción de minerales del grupo de caolín, que puede ser económicamente extraída y concentrada.

La arcilla caolinífera es también un caolín en sentido amplio. Igualmente, se trata de una arcilla compuesta, fundamentalmente, de minerales del grupo del caolín. Esta no se procesa, se usa tal cual, e inicialmente los porcentajes en minerales del grupo del caolín son más altos que en el caolín (>50%).

El caolín, tal como se obtiene en una explotación mineral posee un contenido variable de caolinita y/o halloysita que, a veces no llega al 20 %, además suele tener cuarzo, feldespatos, micas, y, dependiendo de la roca madre otro tipo de minerales accesorios. Para concentrar el mineral es preciso someterlo procesos de beneficiado (tamizado, separación magnética, hidroclonado, centrifugado, deslaminación, etc.), que eleven el contenido en filosilicatos por encima del 80 %. El producto final, generalmente, recibe el nombre de caolín lavado.

Como la caolinita tiene un tamaño de partícula muy pequeño, el lavado de las fracciones groseras conduce a un material con alto contenido en caolinita. Es evidente que cuanto mayor sea el contenido en fracciones finas del caolín bruto, mayor será también el porcentaje en caolinita. Un caolín comercial de alta calidad a penas deberá tener partículas superiores a los 20 μm , lo que garantizaría una riqueza en caolinita superior al 80%.



El caolín puede presentarse en dos tipos de yacimientos:

- Primarios: originados por la degeneración in situ de feldespatos y otros silicatos aluminicos, dando como resultado caolinita. Se subdividen en:
 - Residuales: están asociados a periodos geológicos con unas condiciones climáticas de calidez y alta pluviosidad, que permitieron la meteorización intensa del sustrato rocoso. Los depósitos son tabulares aunque irregulares, y presentan un tránsito regular de la zona caolinizada a la roca madre sin alterar. La potencia es variable, desde unos decímetros a decenas de metros.
 - Hidrotermales: su descomposición está originada por la circulación de aguas a temperaturas elevadas en macizos rocosos graníticos. Dan lugar a depósitos irregulares.

- Secundarios: Aparecen en zonas sedimentarias no ligadas de forma directa a la roca madre, y se forman por meteorización o alteración hidrotermal.

- **Bentonitas**

Una bentonita es una roca compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas.

- **Paligorskita-Sepiolita**

Las sepiolitas y paligorskitas son arcillas con un contenido en dichos minerales superior al 50 %. Son minerales con hábito fibroso con una enorme área superficial debida tanto al pequeño tamaño de partícula como la porosidad que presenta su estructura. La superficie específica teórica se calcula alrededor de los 900 m²/g, aunque la superficie accesible es muy inferior.

Su peculiar estructura les confiere una serie de propiedades, entre ellas las de formar suspensiones poco afectadas por la concentración iónica y una enorme capacidad sorcitiva, por lo que son poderosos decolorantes y absorbentes. También tienen propiedades reológicas, son capaces de formar geles y suspensiones estables de alta viscosidad a bajas concentraciones de sólido.



9. APLICACIONES INDUSTRIALES

Desde el punto de vista industrial, la mayor parte de las aplicaciones no requieren especificaciones estrictas en cuanto a composición química. Sin embargo, en el caso de las bentonitas si tienen importancia los iones del espacio interlamina y sus propiedades fisico-químicas.

- **Arcillas comunes**

El principal uso de estos materiales arcillosos se da en el campo de la cerámica de construcción (tejas, ladrillos, tubos, baldosas...), alfarería tradicional, lozas, azulejos y gres. Prácticamente todas las arcillas son aptas para estos usos, primando las consideraciones económicas. También son utilizadas en la manufactura de cementos, como fuente de alúmina y sílice, y en la producción de áridos ligeros (arcillas expandidas).

- **Caolín**

Se trata de un mineral muy importante desde el punto de vista industrial. Ha sido utilizado desde antiguo para numerosos usos. En el siglo XVI adquirió gran fama entre la nobleza la porcelana fabricada a base de pastas cerámicas ricas en caolín. Los principales usos a los que se destina en la actualidad son fabricación de papel, elaboración de cerámica y refractarios, fabricación de pesticidas, abonos, cosméticos, fibra de vidrio...

- **Bentonitas**

Son muy numerosos los usos industriales de las bentonitas, tanto que resulta difícil enumerarlos todos. Los más importantes son: arenas de moldeo, lodos de perforación, peletización (como agente aglutinante), procesos de catálisis, absorbentes, materiales de sellado, como cementador en ingeniería civil, ligante en alimentos animales, excipiente en industria farmacéutica...

- **Paligorskita y Sepiolita**

Las arcillas con paligorskita o sepiolita como mineral mayoritario son raras pero conocidas desde antiguo. Los Mayas fabricaban el azul Maya con paligorskita. La sepiolita se ha utilizado desde antiguo para fabricar pipas. Además entre 1735 y 1808 se preparaba con sepiolita de Vallecas (que alberga el yacimiento más importante del mundo) la pasta de la famosa porcelana del buen Retiro.

Los usos de estas dos sustancias son consecuencia de sus propiedades reológicas, tixotropía, alta superficie específica, baja capacidad de cambio y, sobre todo, su levado poder absorbente. Por ello se utilizan en:

- Como absorbentes para lechos de animales, suelos...
- Como soporte para pesticidas y fertilizantes en aerosoles y aherrójeles
- Por sus propiedades adsorbentes, en la purificación de productos de petróleo, azúcar...
- En procesos de filtración, floculación y clarificación
- Por sus propiedades reológicas, en lodos de perforación con base de agua salada, farmacia, pinturas, resinas, cosmética...
- En cerámica y aislantes
- En nutrición animal

10. BIBLIOGRAFIA DE INTERÉS

Cailliere, S.; Hénin, S.; Rautureau, M. (1982). *Minéralogie des argiles*. Tomos I y II. Ed. Mason.

Doval Montoya, M. *et al.* (1991). *Arcillas Industriales: Yacimientos y Aplicaciones*. En: Yacimientos Minerales. Editores: R. Lunar y R. Oyarzun. Editorial Centro de Estudios Ramon Areces, S. A. Madrid. pgs 582-608.

Galan Huertos, E. (1990). *Arcillas*. En: Recursos Minerales de España. Coord. J. García Guinea y J. Martínez Frias. Textos Universitarios (C.S.I.C.) 15. pp 23-25.

Grim, R. E. (1968). *Clay Mineralogy*. McGraw Hill.

Jimenez Salas, J. A.; De Justo Alpañes, J. L. (1975). *Geotecnica y Cimientos. Vol. I. Propiedades de los Suelos y de las Rocas*. Editorial Rueda, 466 pp.

Kuzvart, M. (1984). *Industrial Minerals and Rocks. Developments in Economic Geology*. Elsevier. Checoslovaquia, 454 pgs.

Patterson, S. H. & Murray, H. H. (1983). *Clays*. En: Industrial Minerals and Rocks. Soc. of Min. Engh. of Am., New York.

Regueiro Y González-Barros, M. (1995). *Spanish Industrial Minerals and Rocks*. Industrial Minerals. May. pp. 63-77.

Regueiro Y González-Barros, M. Y Lombardero Barceló, M. (1997). *Innovaciones y avances en el sector de las rocas y minerales industriales*. Ilustre colegio Oficial de Geólogos de España. 78 pgs

Velho J. Gomes, C. & Romariz C. (1998). *Minerais Industriais. Geología, Propiedades, Tatomentos, Producoes e Mercados*. G. D. G. C. Gráfica de Coimbra, Lda. 591 pgs.

Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada
<http://edafologia.ugr.es/index.htm>

Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Universidad Complutense de Madrid
<http://www.ucm.es/info/crismine/>

Geología en Internet <http://www.todogeologia.com/>

Manual on-line de Yacimientos Minerales. Pablo Higuera *et al.*, UCM
<http://www.uclm.es/users/higuera/yymm/IndiceYM.html>

Las Arcillas: Propiedades y Usos. Emilia García Romero (UCM) y Mercedes Suárez Barrios (USAL) <http://www.usal.es/~delcien/doc/GA.PDF>