



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Estructura general de los silicatos

Apellidos, nombre	Ibáñez Asensio, Sara (sibanez@prv.upv.es) Moreno Ramón, Héctor (hecmoda@prv.upv.es) Gisbert Blanquer, Juan Manuel (jgisbert@prv.upv.es)
Departamento	Producción Vegetal
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural



1 Resumen

En el presente artículo vamos a presentar una visión general del concepto de silicato, haciendo especial hincapié en el estudio de su estructura y en la importancia de la naturaleza de los enlaces que mantienen unidos sus elementos constituyentes. Los silicatos son los minerales más abundantes en la corteza terrestre y por ello se hallan presentes en la mayoría de suelos, confiriéndoles una serie de propiedades determinantes para el desarrollo de las plantas.

La unidad estructural básica de los silicatos es el tetraedro de silicio; los tetraedros pueden estar unidos directamente entre sí o quedar enlazados mediante cationes de diferentes cargas, dando lugar a diferentes tipos de silicatos. Según sea el nº de tetraedros unidos y la naturaleza de los cationes enlazados la fuerza de las uniones varía, con lo que la estabilidad de los minerales formados –y con ello la velocidad de formación y maduración de los suelos- será mayor o menor.

2 Objetivos

Con el presente artículo docente se pretende que el lector sea capaz de:

- Entender el papel del tetraedro de silicio en la estructura y clasificación de los silicatos.
- Reconocer el nº de cargas y los grupos químicos característicos de cada uno de los tipos de silicatos
- Diferenciar las estructuras de los silicatos
- Conocer minerales representativos de cada uno de los tipos de silicatos
- Conocer la estabilidad de los diferentes tipos de silicatos frente a los procesos de alteración

3 Estructura e introducción

El presente artículo docente se estructura en los siguientes puntos:

1. Resumen de ideas clave
2. Objetivos
3. Estructura e introducción
4. Desarrollo
 - 4.1. Concepto de silicato
 - 4.2. Tipos de silicatos
5. Cierre
6. Bibliografía

Si seguimos todos estos apartados al final tendremos una idea clara de lo que es un silicato, su estructura y propiedades principales consiguiendo por tanto,



superar los objetivos propuestos. No obstante y para poder llegar a entender con claridad todo lo expuesto en este artículo antes deberemos recordar que los minerales son cuerpos tridimensionales formados por cationes y aniones unidos en una red en una disposición particular y fija, aspectos que son abordados en profundidad en niveles educativos previos a la Universidad. Si el lector no dominara alguno de ellos deberá acudir previamente a algún texto específico de mineralogía.

4 Desarrollo

4.1 Concepto de silicato

Los silicatos son todos aquellos minerales que tienen como unidad básica fundamental al tetraedro de silicio (SiO_4)⁴⁻ (figura nº 1): un catión de silicio (Si^{4+}) enlazado con 4 aniones de oxígeno (O^{2-}), los cuales se hallan dispuestos a su alrededor en las direcciones de los vértices de un tetraedro

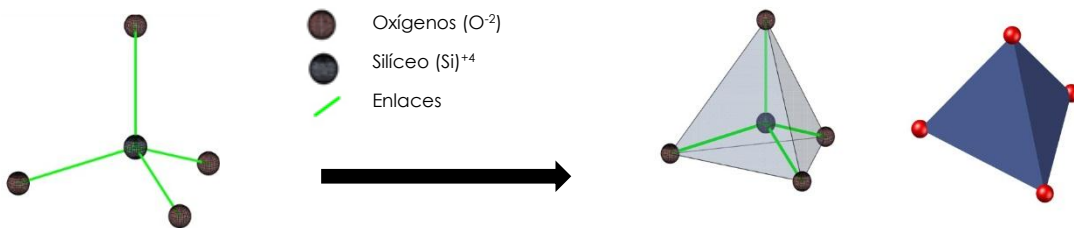


Figura nº 1.- Esquema de la disposición espacial de los cationes y aniones

Los enlaces O-Si son extremadamente fuertes, liberándose 3.110 kilocalorías durante la formación de un mol de óxido (Besoain, 1985).

Cada uno de los 4 oxígenos situados en los vértices del tetraedro quedaría con un enlace por satisfacer por lo que, para compensar la carga negativa y garantizar una carga neta final nula, existen dos posibilidades (figura nº 2):

1. Compartir oxígenos entre tetraedros adyacentes

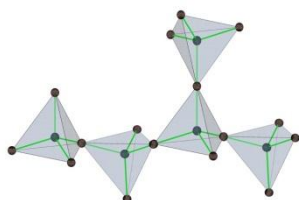


Figura 2a.- Oxígenos compartidos

2. Enlazar los oxígenos mediante cationes

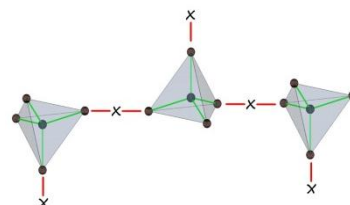


Figura 2b.- Óxidos cationes

4.2 Tipos de silicatos

La unión de los oxígenos con cationes de diferente carga y naturaleza supone la formación de nuevos óxidos distintos a los del tetraedro (O-Si). Su energía molal de formación (figura nº 4) es inferior a la del óxido de silicio, creciendo en cualquier caso con la carga del catión que interviene en el enlace.

ión	Kilocalorías/mol
K ⁺	299
Na ⁺	322
Ca ²⁺	839
Mg ²⁺	912
Fe ²⁺	919
Al ³⁺	1.793
Ti ⁴⁺	2.882
Si ⁴⁺	3.110

Figura nº 4.- Energías molales de formación de los óxidos de los cationes más comunes en los minerales (Besoain, 1985)

Las combinaciones entre las distintas clases de uniones (compartir oxígenos o enlazarse mediante cationes) y los diferentes cationes -monovalentes, divalentes, trivalentes o tetravalentes- determinarán el tipo de silicato y sus características.

4.2.1 Nesosilicatos

Son silicatos en los que todos los oxígenos están unidos por cationes; no hay tetraedros compartiendo oxígenos (figura nº 5).

- Unidad estructural: $(\text{SiO}_4)^{4-}$ Vista en planta: \triangle
- Fórmula general: $\text{X}_a\text{X}_b(\text{SiO}_4)_n$

donde:

X_a=cationes divalentes de gran tamaño
(Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺ y Mn²⁺)

X_b= cationes trivalentes de pequeño tamaño
(Fe³⁺, Al³⁺ y Cr³⁺)

a, b, n= nº de cationes o de unidades básicas

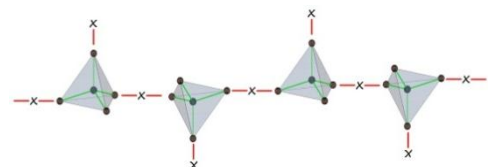


Figura nº 5.- Disposición de los tetraedros

- Minerales: grupo de los olivinos, grupo de los granates, circón, topacio, distena, andalucita y silimanita.



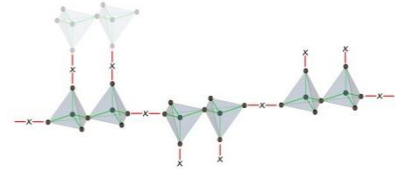
4.2.2 Sorosilicatos

Son silicatos en los que hay pares de tetraedros unidos entre sí compartiendo oxígenos; las uniones entre estos pares se realiza mediante cationes (figura nº 6).

- Unidad estructural: $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$ Vista en planta:
- Fórmula general: $\text{A}_3\text{B}_2[(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)_x\text{O}(\text{OH})_y]$

donde:

A=cationes grandes y de poca carga (Ca^{2+} y Na^+)
B= cationes pequeños y de poca carga (Fe^{3+} , Al^{3+} , Mg^{2+} y Mn^{3+})



- Minerales: grupo de las epidotas Figura nº 6.- Esquema disposición

4.2.3 Ciclosilicatos

Son silicatos en los que todos los tetraedros de silicio están unidos entre sí formando un anillo cerrado de tres, cuatro o seis tetraedros (figura nº 7):

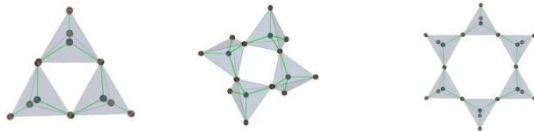


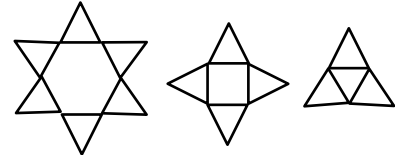
Figura nº 7.- Disposición espacial de los tetraedros

- Unidad estructural: $(\text{Si}_x\text{O}_{3x})^{2-}$ Vista en planta:
- Fórmula general: $\text{A}_3\text{B}_2(\text{Si}_x\text{O}_{3x})$

donde:

A=cationes grandes y de poca carga (Ca^{2+} y Na^+)
B= cationes pequeños y de poca carga (Fe^{3+} , Al^{3+} , Mg^{2+} , Li^+ y Mn^{3+})

- Minerales: berilo y turmalina.



4.2.4 Inosilicatos

Son silicatos en los que los tetraedros de silicio están unidos entre sí formando una cadena que puede ser sencilla (inosilicatos tipo piroxeno) o doble (inosilicatos de tipo anfíbol). La unión entre cadenas se realiza mediante cationes de diferente carga.

4.2.4.1 Piroxenos

Cadenas sencillas de tetraedros que comparten oxígenos en una misma dirección (figura nº 8):

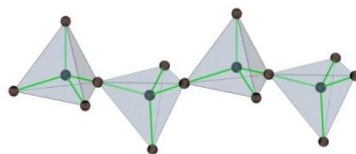



Figura nº 8.- Disposición de las cadenas de tetraedros



- Esquema en planta: 
- Unidad estructural: $(\text{Si}_2\text{O}_6)^{4-}$
- Fórmula general: $\text{AB}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ donde: A, B=cationes grandes o pequeños (Ca^{2+} , Na^+ , Fe^{3+} , Al^{3+} , Mg^{2+} y Mn^{3+})
- Minerales: enstatita, hiperstena, diópsido y augita.

4.2.4.2 Anfíboles

Cadenas dobles formadas por la unión de dos cadenas sencillas mediante cationes balanceadores de las cargas negativas (figura nº 9):

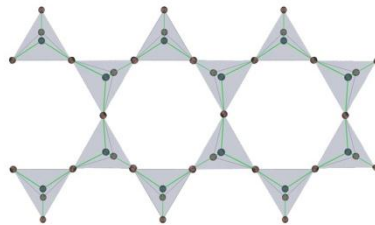
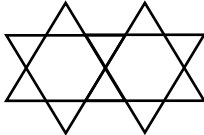


Figura nº 9.- Esquema de la disposición espacial de las cadenas dobles

- Vista en planta: 
- Unidad estructural: $(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{6-}$
- Fórmula general: $\text{A}_a\text{B}_b[\text{Si}_8\text{O}_{22} \text{O} (\text{OH})_2]$
donde:
A, B=cationes grandes o pequeños (Ca^{2+} , Na^+ , Fe^{3+} , Al^{3+} , Mg^{2+} y Mn^{3+})
OH= hidroxilos ocupando los huecos en las cadenas dobles
- Minerales: antofilita, tremolita y hornblenda.

4.2.5 Filosilicatos

En los filosilicatos las cadenas de inosilicatos se unen entre sí compartiendo oxígenos (no mediante cationes) de manera que los tetraedros forman una hoja o lámina (siloxano) en la que todas las cargas de los oxígenos están satisfechas. Las láminas se unen entre sí mediante cationes (figura nº 10):

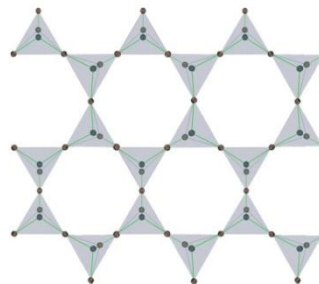


Figura nº 10.- Disposición de los tetraedros en la lámina de siloxano



- Unidad estructural: $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$
- Vista en planta:

Sin embargo en los filosilicatos no todas las láminas están formadas por tetraedros de silicio (láminas de siloxano); en la estructura hay intercaladas **láminas de octaedros** formadas por 6 grupos de hidroxilos (OH)- y por cationes de Al^{3+} o de Mg^{2+} . (figuras nº 11 y 12). En el primer caso las láminas son de gibsita (dioctaédricos), y en el segundo son de brucita (trioctaédricas)..

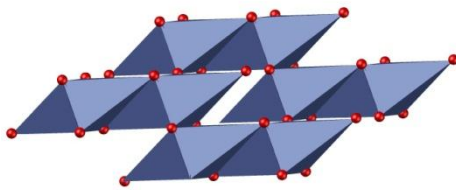


Figura nº 11. Disposición de dioctaedros (gibsita, con Al en su interior)

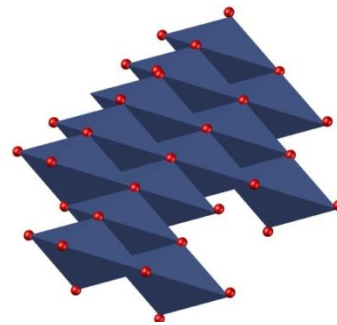
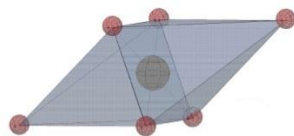


Figura nº 12. Disposición de los trioctaedros (brucita, con Mg)

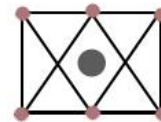
- Vista del octaedro y esquema en planta de la lámina:



Al^{+3} ó Mg^{+2} (2 y 3 respectivamente)



Grupos OH^{-1} (6 en total)



- Unidad estructural:

- Lámina dioctaédrica: gibsita $\text{Al}_2(\text{OH}_6)$
- Lámina trioctaédrica: brucita $\text{Mg}_3(\text{OH}_6)$

Según sea el número y naturaleza de las láminas intercaladas se formarán los siguientes tipos de filosilicatos:

4.2.5.1 Filosilicatos 1:1

En los filosilicatos de este tipo cada lámina de tetraedros (siloxano) se une a una lámina octaédrica con Aluminio ó Magnesio (figura nº13) :

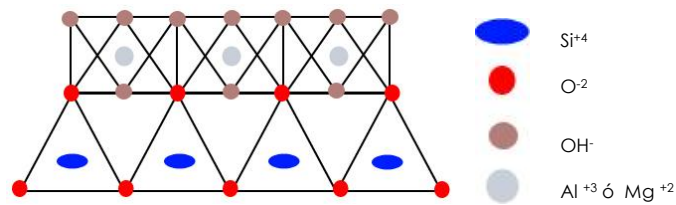


Figura nº 13.- Esquema de la disposición de los átomos en las láminas 1:1

- Unidad estructural: $X[(Si_2O_5)(OH)_4]$, donde $X = Al_2$ ó Mg_3
- Minerales: caolinita y serpentina o antigorita

4.2.5.2 Filosilicatos 2:1

Cada lámina de octaedros (de brucita o de gibsita) se une a **dos** láminas de tetraedros (Figura nº 14):

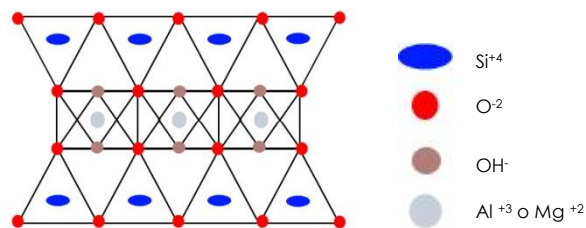


Figura nº 14.- Esquema de la disposición de los átomos en las láminas 2:1

- Unidad estructural: $X[(Si_4O_{10})(OH)_2]$, donde $X = Al_2$ ó Mg_3
- Minerales: pirofilita y talco

En ocasiones en algunos de estos filosilicatos puede ocurrir que haya sustituciones isomórficas de algún catión de Si^{+4} por un catión de Al^{+3} ; el déficit de carga positiva que esto supone tiene como consecuencia la entrada en la estructura de algún otro catión que asegure un balance neutro final. Según sea el catión entrante resultará la formación de un mineral del grupo de las llamadas micas (figura nº15):

- Unidad estructural: $YX[(AlSi_3O_{10})(OH)_2]$
donde $\bigcirc X = Al_2$ ó Mg_3
 $\bullet Y = K^+, Na^+$ y Ca^{2+}
- Minerales: moscovita, flogopita, paragonita, biotita, margarita y xantofilita

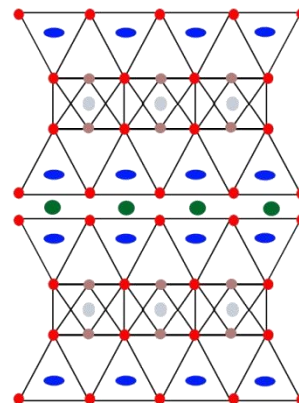


Figura nº 15.- Esquema de la disposición de las láminas y sus átomos

4.2.5.3 Filosilicatos 2:2

En este caso, grupos formados por 2 láminas de tetraedros y 1 de octaedros (filosilicatos de tipo 2:1) se unen con otra lámina trioctaédrica (figura nº16):

- Fórmula química:: $X_3[(Si_4O_{10})(OH)_2] Mg_3(OH)_6$
donde X= Mg^{+2} , Al^{+3} , Fe^{+3} ó Fe^{+2}

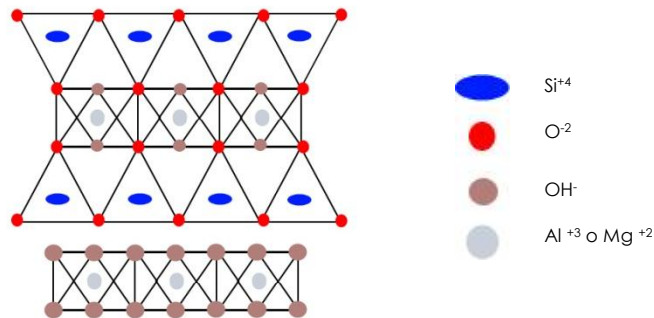


Figura nº 16.- Vista en planta de la disposición de las láminas y sus átomos

- Minerales: grupo de las cloritas

También pueden producirse entradas de moléculas de agua en los huecos existentes entre los tetraedros, y sustituciones al azar -no regulares- de cationes con o sin entrada de moléculas de agua, dando lugar respectivamente al grupo de las illitas (o hidrómicas) y a los filosilicatos de naturaleza expansible (vermiculitas y montmorillonitas).

4.2.6 Tectosilicatos

En los tectosilicatos las láminas de siloxano se unen entre sí compartiendo oxígenos, de manera que no hay cationes enlazando tetraedros (figuras nº 17 y 18). Todos los enlaces son por ello de tipo oxígeno-silicio, los más estables de todos.

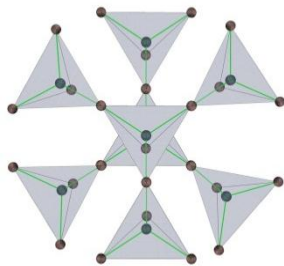


Figura nº 17.- Disposición espacial

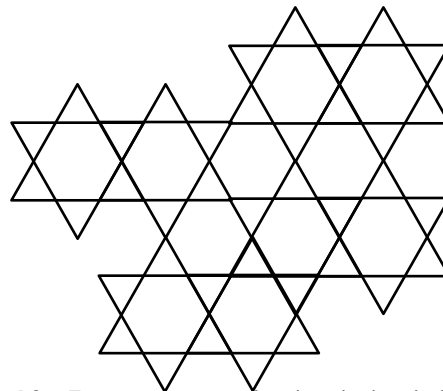


Figura nº 18.- Esquema en planta de los tetraedros



- Unidad estructural: $(\text{SiO})_2$
- Minerales: cuarzo

En algunos tectosilicatos puede ocurrir que haya sustituciones isomórficas de algún catión de Si^{+4} por un catión de Al^{+3} ; el déficit de carga positiva que esto supone tiene como consecuencia la entrada en la estructura de algún otro catión balanceador. Según sea el tipo de catión entrante resultará la formación de nuevos minerales: el grupo de los feldspatos (ricos en K^+) y el de las plagioclasas (ricas en Na^+ y/o Ca^{+2}).

5 Cierre

En este documento hemos estudiado los distintos tipos de silicatos y sus diferentes estructuras. Debes recordar que la unidad básica de todos ellos es el tetraedro de silicio, en cuyos vértices se posicionan cuatro átomos de oxígeno.

La forma en la que se unen los tetraedros es determinante en la formación de los diferentes silicatos y en la resistencia frente a los procesos de alteración.

Conviene recordar que además existe la posibilidad de incorporar a las estructuras láminas de tipo octaédrico, o moléculas de agua, confiriéndole a los minerales así compuestos propiedades diferentes al resto.

6 Bibliografía

6.1 Libros

[1] Besoain, Eduardo. "Mineralogía de arcillas de suelos" Ediciones Centro Iberoamericano de documentación e información agrícola CIDIAT. 1º edición 1985

[2] Besoain, Eduardo. "Curso de Mineralogía de suelos" Ediciones Instituto interamericano de ciencias agrícolas. 1º edición 1970

[3] Cornelius, K; Cornelius, S "Manual de Mineralogía" Editorial Reverté, 4ª Edición, 2007