



Procesos formadores de suelos: carbonatación

Apellidos, nombre	Moreno Ramón, Héctor (hec mora@prv.upv.es) Ibáñez Asensio, Sara (sibanez@prv.upv.es)
Departamento	Producción Vegetal
Centro	Universitat Politècnica de València

1 Resumen

En este artículo vamos a presentar las ideas clave relativas al proceso formador de translocación de carbonatación, caracterizada por la movilización de aniones de bicarbonato a lo largo de los horizontes del suelo. Es característico de las cuencas sedimentarias de clima mediterráneo, ricas en materiales calcáreos que permanecen en el perfil a tenor del régimen de humedad imperante de tipo no percolante.

2 Introducción.

Los procesos formadores de suelos son todas aquellas reacciones y alteraciones de tipo físico, químico y/o biológico que transforman un “no suelo” en suelo. El suelo es el sustrato idóneo para el crecimiento de las plantas, capaz de proporcionarles anclaje, agua y elementos nutrientes.

Como resultado de la alteración y transformación de las rocas los suelos heredan muchas de las propiedades del material original, o material parental, a partir del que se forman, madurando y envejeciendo a medida que siguen actuando los diferentes procesos de alteración con el discurrir de los años (Figura 1).

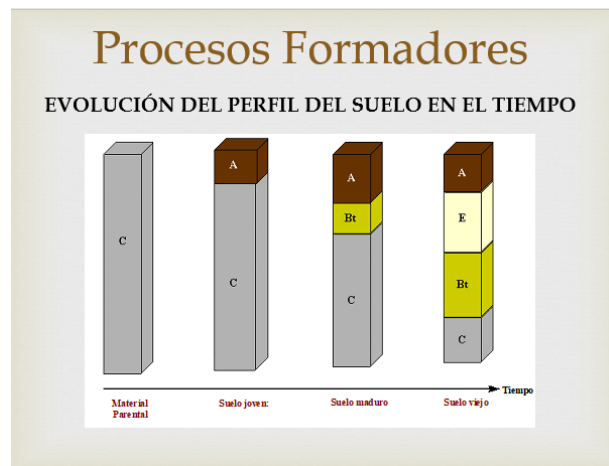


Figura 1. Transformación de un “no suelo” en suelo

Los procesos formadores fundamentales son la *meteorización* en sus diferentes formas y la *horizontalización* pero existen otros muchos procesos que pueden diferenciarse en cuatro tipos en atención a los cambios que se producen en los componentes del suelo, ya sea en las partículas como en el espacio poroso que hay entre ellas (Figura 2).

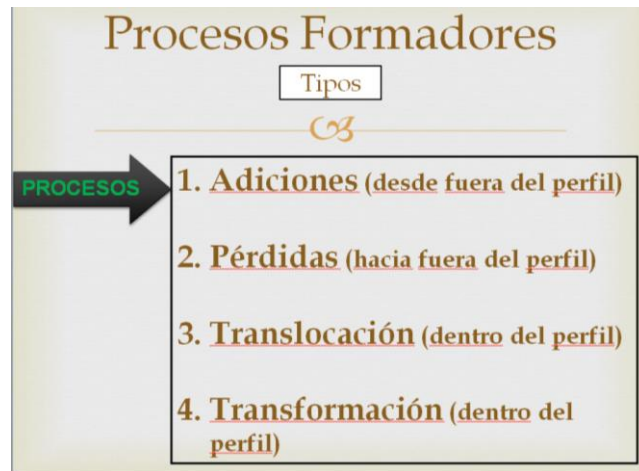


Figura 2. Tipos de procesos formadores del suelo

La carbonatación es un proceso formador de translocación que implica el movimiento de cationes solubles en el agua del suelo. Los procesos de translocación de materiales en el suelo son:

1. *De carácter genérico*
 - 1.1. *Eluviación*
 - 1.2. *Iluviación*
 - 1.3. *Lixiviación*
 - 1.4. *Acumulación*
2. *Materiales transportados por el agua*
 - 2.1. Calcificación/ Descalcificación**
 - 2.2. *Carbonatación /Descarbonatación*
 - 2.3. *Gypsificación/Desgypsificación*
 - 2.4. *Gleyficación*
 - 2.5. *Salinización/Desalinización*
 - 2.6. *Sodificación*
 - 2.7. *Alcalinización/Desalcalinización*
 - 2.8. *Argiluviación*
 - 2.9. *Silicación/Desilicación*
 - 2.10. *Laterización*
 - 2.11. *Podsolización*
3. *Movimiento del propio suelo*
 - 3.1. *Argiloturbación*
 - 3.2. *Bioturbación*
 - 3.3. *Crioturbación*



El presente artículo se ha estructurado atendiendo a los siguientes puntos:

1. Resumen
2. Introducción
3. Objetivos
4. Desarrollo
5. Cierre
6. Bibliografía

3 Objetivos

El lector de este documento será capaz de:

- Entender las peculiaridades del proceso formador de carbonatación.
- Identificar las condiciones ambientales que determinan el movimiento de los carbonatos en el suelo
- Aplicar los conocimientos adquiridos a la formación de los horizontes del suelo

4 Desarrollo

4.1 Definición

El proceso de carbonatación consiste en la transferencia de iones de bicarbonato de un punto a otro del perfil del suelo mediante la acción del agua, al estar disueltos en ella y desplazarse por el espacio poroso.

Los compuestos presentes en el material parental son transportados en cierta cantidad desde un horizonte, ya sea superficial o subsuperficial, hacia otro punto o lugar dentro del propio perfil (Figura 3), quedando éste enriquecido en relación a su composición original. Se califica como un proceso de translocación puesto que, aunque un horizonte gana lo que otro pierde, no hay ganancia neta en el perfil, ni tampoco pérdida.

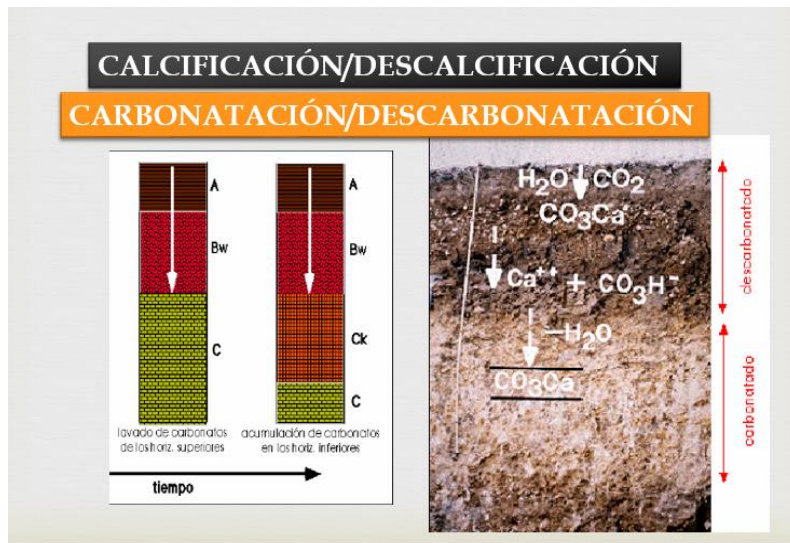
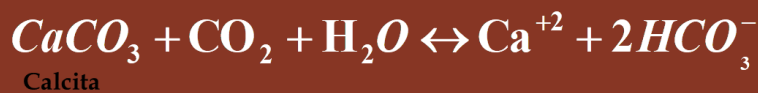


Figura 3: Proceso de Carbonatación/Descarbonatación en el perfil de un suelo

Según el Diccionario multilingüe de la Ciencia del Suelo (GloSECS) la carbonatación es un proceso formador que se basa en la meteorización química de los compuestos carbonatados. Concretamente consiste en la reacción de los iones carbonato de un mineral o una roca con dióxido de carbono y agua, produciendo su disolución. El CO₂ procede de la actividad biológica del suelo (de las raíces y de los microorganismos) y, en mucha menor proporción del dióxido de carbono (CO₂) disuelto en el agua de lluvia, mientras que el agua procede de la precipitación o del riego. En general este proceso afecta a todo tipo de rocas y suelos, aunque destaca principalmente en la meteorización de las rocas carbonatadas y en la formación de horizontes carbonatados en el perfil de un suelo. El proceso de disolución de los minerales calcita y dolomita (insolubles) se refleja en las siguientes ecuaciones:



El carbonato cálcico (calcita) que es insoluble se vuelve soluble por la acidificación del medio, al producirse ácido carbónico [(H₂CO₃)- unión de una molécula de H₂O y de CO₂] (Figura 4).

Carbonatación/Descarbonatación

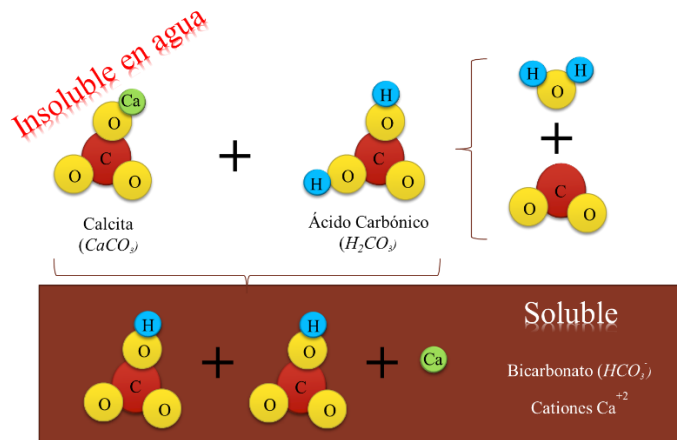


Figura 4: Formación del ácido carbónico en el proceso de carbonatación

La producción de bicarbonato y de cationes calcio provoca que éstos, ya solubles, puedan desplazarse y migrar por el espacio poroso del suelo junto a la solución del suelo.

La translocación de carbonatos se realiza gracias a la acción empujada, en la mayoría de los casos, por la gravedad. En condiciones climáticas de aridez el movimiento descendente del agua puede desaparecer y ser sustituido por un movimiento ascendente generado por tasas de evapotranspiración elevadas.

En cualquier caso, en ausencia de un régimen de humedad del suelo percolante capaz de lavar las sales fuera del perfil, los iones calcio, (Ca^{+2}), y bicarbonato (HCO_3^-) son los que descienden con la solución y precipitan en zonas más profundas dentro del propio suelo. En esa zona se formarán horizontes de acumulación de carbonato de calcio (CaCO_3). Esta acumulación se producirá cuando el agua se evapore (deseccación del suelo), haya un descenso de la concentración de CO_2 (que provoca un aumento del pH), y/o el contacto del agua con una reserva cálcica del material parental. La ecuación al ser reversible, provoca que el bicarbonato (HCO_3^-) vuelva a reaccionar con el Ca^{+2} y precipiten en forma de CaCO_3 .

Cualquiera de las tres condiciones descritas junto con el aumento de la temperatura provoca el desplazamiento de la reacción hacia las formas insolubles, siendo por ello la carbonatación un proceso muy habitual en climas áridos y semiáridos donde la evapotranspiración supera a la precipitación y el lixiviado es mínimo. Las condiciones de equilibrio de la reacción de carbonatación se recogen en la tabla 1:

Tabla 1. Condiciones de equilibrio de la reacción de carbonatación

Disolución de Carbonatos (Descarbonatación)	Precipitación de Carbonatos (Carbonatación)
Aumento de agua	Disminución de agua
Aumento del CO_2	Disminución del CO_2
Disminución del pH	Aumento del pH
Disminución de temperatura	Aumento de la temperatura

Los carbonatos se acumulan en el perfil del suelo de diferentes formas (Figura 5):

- Filiformes: pseudomicelios
- Esféricas: nódulos
- Rizoconcrecciones: rellenando huecos que han dejado las raíces
- Cemento geopetal: cubiertas bajo las piedras
- Hipercálcicas: acumulaciones blandas
- Petrocálcicas: acumulaciones duras



Figura 5: Pseudomicelios calizos

4.2 Procesos formadores similares y/o contrapuestos

Hay otros procesos formadores que presentan grandes similitudes con el proceso de carbonatación. La calcificación es un caso concreto de carbonatación, pues consiste en la acumulación de carbonato cálcico en algún horizonte del perfil del suelo. En este sentido, pero en contraposición se encuentran la descarbonatación y la descalcificación, que consisten en la pérdida neta o salida del perfil de carbonatos y carbonatos cálcicos respectivamente. Ambos son, por lo tanto, procesos de pérdidas y no de translocación.

En cuanto a otros procesos de translocación en los que se movilizan componentes del suelo de forma similar a la carbonatación se encuentran la gypsificación, la salinización y la sodificación. En ellos yesos, sales y sodio procedentes de la disolución de rocas y minerales son igualmente desplazados en el perfil del suelo por el agua, aunque las condiciones que rigen el equilibrio de estas disoluciones son algo diferentes a las descritas para la carbonatación.

4.3 La salinización y el perfil de los suelos

Horizontes genéticos B_k , B_{km} C_k y C_{km}

Como hemos visto la carbonatación supone la acumulación de carbonatos en alguna parte del perfil del suelo, haciendo que su contenido en ésta supere a la concentración correspondiente al material parental. Origina por lo tanto la formación de horizontes de acumulación, es decir, que conlleva la formación de un horizonte B que en el caso concreto de los carbonatos se designará con el subíndice k (Figura 6).

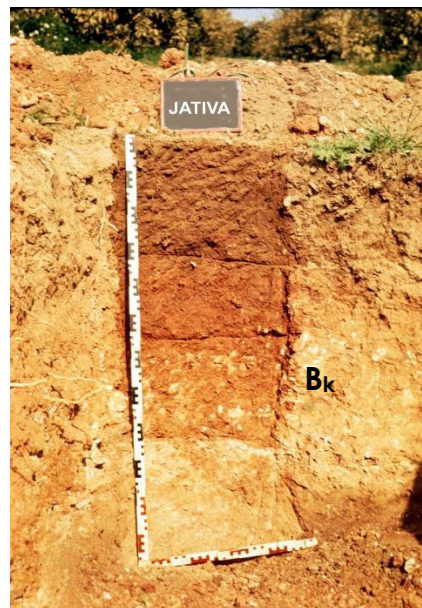


Figura 6: Horizonte de acumulación de carbonatos (B_k)

Si el proceso de translocación se repite de forma continuada por un largo periodo de tiempo puede que produzca que todo el espacio poroso del horizonte receptor de los carbonatos queda totalmente ocupado por éstos, dando lugar a un horizonte cementado o endurecido, (Figura 7) que resulta limitante al paso de agua y raíces y que designamos como B_{km} .

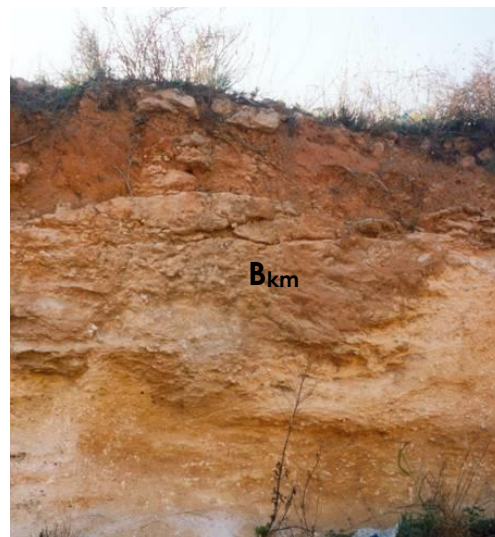


Figura 7: Horizonte petrocálcico (B_{km})

Los horizontes C_k y C_{km} se forman cuando el agua de lavado cargada de bicarbonatos llega al horizonte C, donde se depositan por precipitación en ciclos de desecación persistentes en el tiempo.



Horizontes de diagnóstico cálcico y petrocálcicos en la Soil Taxonomy

Según la Soil Taxonomy (USDA 2014), los suelos donde se produce una acumulación considerable de carbonatos se refleja en los horizontes cálcicos y petrocálcicos. A nivel de orden, cuando aparecen estos horizontes, los suelos se clasifican como Inceptisoles, aunque puede haber acumulaciones de calcio de forma cementada o no y por lo tanto a nivel de subgrupo o gran grupo se utilizan los prefijos "calcic" y "petrocalcic" para definir las características de acumulación de carbonato cálcico en los suelos.

En referencia al horizonte cálcico, este es un horizonte iluvial en el cual el carbonato de calcio secundario u otros carbonatos se han acumulado en cantidades significativas, tanto en valor absoluto como en relación al contenido en esos mismos carbonatos del horizonte subyacente a él. Para su determinación hace falta conocer el espesor y la cantidad de carbonato cálcico acumulado en relación al resto de horizontes del perfil.

Por su parte un horizonte **petrocálcico** es un horizonte iluvial en el cual el carbonato de calcio secundario u otros carbonatos se han acumulado a tal grado que el horizonte está cementado o endurecido, siendo esta la principal diferencia respecto al horizonte de diagnóstico cálcico.

Horizontes cálcico y petrocálcicos en la WRB

Según la *World Reference Base* (WRB, 2015) los suelos que sufren procesos de carbonatación destacados en su perfil se clasifican principalmente como Calcisols. Aquellos que integran suelos con una sustancial acumulación de carbonatos secundarios extendidos en ambientes áridos y semiáridos. A nivel de calificadores en la clasificación podemos encontrar los prefijos "Calcic", "Hypercalcic", "Hypocalcic" y "Protocalcic" y pueden aplicarse a otros órdenes de suelos. Además, en la clasificación WRB se pueden definir las propiedades protocálcicas como aquellas que especifican que los carbonatos provienen de la solución del suelo y han precipitado en el suelo, mientras que el material calcárico indica que el carbonato de calcio equivalente es heredado del material parental.

Por último y a nivel de horizontes, destacar que la WRB define el horizonte cálcico como un horizonte en el cual se ha acumulado carbonato de calcio secundario (CaCO_3). Para su definición tenemos que tener en cuenta el contenido de carbonato de calcio equivalente en la fracción tierra fina, así como el espesor.

Por lo que respecta al horizonte petrocálcico es preciso destacar que es un horizonte endurecido, que está cementado por carbonato de calcio y, en algunos sitios, por carbonato de magnesio. Es de naturaleza masiva o laminar y extremadamente duro. La identificación de carbonato con HCl, la cementación o el espesor son algunas de las características para su identificación



5 Cierre

A lo largo de este artículo docente hemos visto en qué consiste el proceso formador de suelos de carbonatación, y la importancia que tiene en la formación de los horizontes y el desarrollo del perfil del suelo. También se han expuesto el tipo de sustancias que actúan y cómo se acumula en el perfil del suelo, dando lugar a horizontes de acumulación de carbonato (Bk, Ck, Bkm o Ckm). Estos horizontes son conocidos como cálcicos y petrocálcicos en los dos sistemas de clasificación de suelos (WRB y USDA). Con todo ellos, se ha pretendido esbozar la importancia en la formación de los suelos en zonas carbonatadas, típicas de la cuenca mediterránea.

6 Bibliografía

6.1 Libros:

Gisbert, JM; Ibáñez, S: "Genesis de Suelos", Ed. Universitat Politècnica de Valencia, 2002.

IUSS Working Group WRB, 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma

Porta, J; López-Acevedo, M; Poch, R.M: "Introducción a la edafología: uso y protección de suelos", Ed. Mundi Prensa, 2011, Madrid.

Porta, J; López-Acevedo, M; Roquero, C: "Edafología para la agricultura y el medio ambiente", Ed. Mundi Prensa, 2003, Madrid.

Soil Survey Staff: "Claves para la Taxonomía de Suelos", 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, 2014, Washington, DC.

6.2 Referencias de fuentes electrónicas:

GloSECS. Diccionario Multilingüe de la Ciencia del Suelo. Disponible en: <https://cit.iec.cat/DMCSE/default.asp?opcion=0>