



Origen y causas de la Capacidad de Intercambio iónico en el suelo

Apellidos, nombre	Soriano Soto, María Desamparados ¹ (asoriano@prv.upv.es)
Departamento	Producción Vegetal
Centro	Universitat Politècnica de València



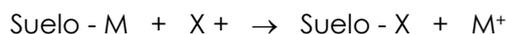
1 Resumen

En este artículo se analizará el origen y las causas de la capacidad de intercambio iónico en el suelo. Resolveremos preguntas como ¿Por qué se produce? ¿a qué es debida??

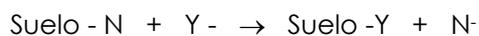
2 Introducción

En la solución del suelo los iones se mueven hasta llegar al equilibrio de la solución con el interior, siempre guardando estricta equivalencia en cuanto a cargas eléctricas de iones intercambiables. Todos los iones pueden reemplazarse, su grado depende de la fuerza con que son retenidos al ser adsorbidos.

Cambio de cationes:



Cambio de aniones:



Es un proceso dinámico que se desarrolla en la superficie de las partículas. Como los iones adsorbidos quedan en posición asimilable constituyen la *reserva de nutrientes* para las plantas.

3 Objetivos

Los objetivos son que el alumno será capaz de:

- Aplicar adecuadamente el concepto de capacidad de intercambio iónico y conocer el origen y sus efectos en el suelo.

Los apartados de que consta son:

1. [Resumen](#)
2. [Objetivos](#)
3. [Introducción](#)
4. [Desarrollo](#)
5. [Cierre](#)



6. Bibliografía

4 Desarrollo

4.1 Origen de la capacidad de intercambio iónico

El suelo presenta una baja adsorción de aniones debido a la escasa presencia de cargas positivas.

Los principales cambiadores aniónicos son:

- Óxidos de hierro y aluminio
- Bordes de partículas de arcilla
- Ácidos fúlvicos y húmicos
- Carbonato de calcio

Los principales aniones intercambiables son:

- Fosfatos
- Sulfatos
- Nitratos
- Cloruros
- Origen orgánico: malato y citrato
- Micronutrientes: molibdato, boratos

El intercambio es de tipo reversible, con estricta equivalencia, y su fuerza dependerá de la valencia y de su diámetro. Los aniones fosfatos y sulfatos son adsorbidos a través del calcio principalmente, mientras que nitratos y cloruros son difícilmente adsorbidos, encontrándose mayoritariamente en la solución. Los aniones fosfato, son adsorbidos selectivamente por cambiadores como óxidos de hierro y aluminio, o partículas de CaCO_3 , por lo que dichos iones resultan poco móviles en el suelo.

4.2 Teorías del intercambio iónico

Como se ha explicado anteriormente el origen de la CIC son los *desequilibrios eléctricos* de las partículas del suelo. Para neutralizar las cargas se adsorben iones, que se pegan a la superficie de las partículas, quedan débilmente retenidos sobre las partículas del suelo y se pueden intercambiar con la solución del suelo.

➤ TEORÍA DE LA RED CRISTALINA

Considera las partículas de los minerales como sólidos iónicos. Los iones de los bordes están débilmente retenidos por lo que pueden abandonar la estructura y pueden cambiarse con los de la solución del suelo (imagen 1).

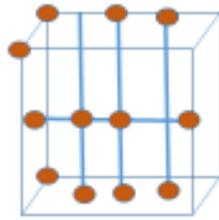


Imagen 1. Red cristalina

En la estructura de los minerales los iones situados en su superficie se encuentran desequilibrados eléctricamente al no estar rodeados todos sus lados por otros iones, por lo que se encuentran más débilmente retenidos y pueden intercambiarse con los de la solución del suelo.

➤ TEORÍA DE LA DOBLE CAPA ELÉCTRICA

Considera el contacto entre el sólido y la fase líquida como un condensador plano.

Entre el metal (el sólido) y el electrolito (la disolución) existe una diferencia de potencial que atrae a los iones de la solución del suelo. Se forma una doble capa eléctrica por los iones del sólido y los atraídos en la solución (Imagen 2).

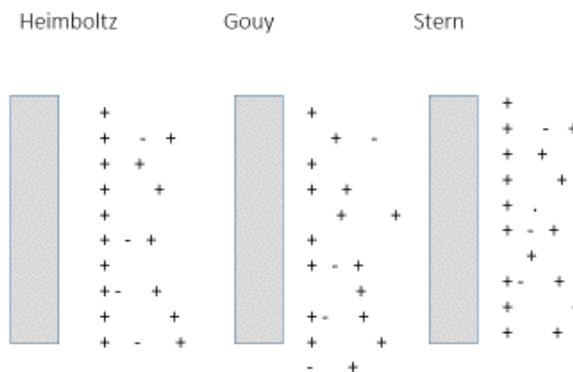


Imagen 2. Teoría de la doble capa.

➤ TEORÍA DE LA MEMBRANA SEMIPERMEABLE

La interfase sólido-líquido actúa como una membrana semipermeable que deja pasar los iones de la solución y a los de la superficie de las partículas, pero no a los del interior de los materiales (Imagen 3).

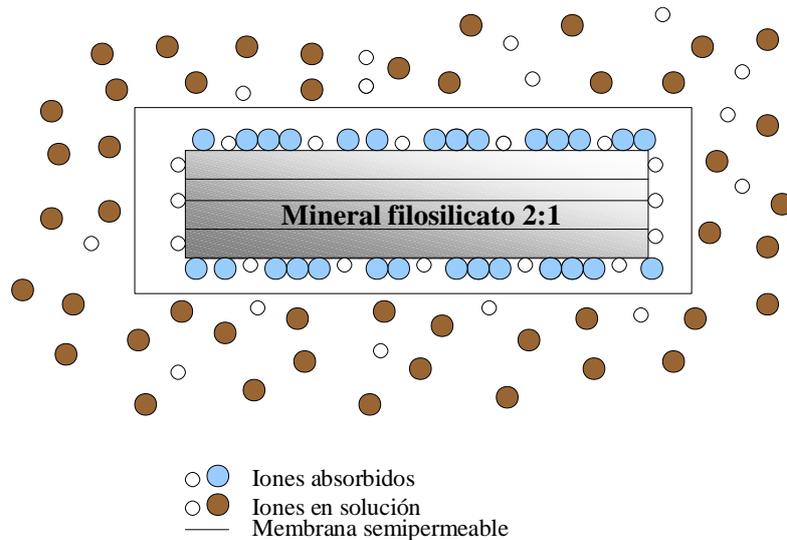


Imagen 3. Teoría de la membrana.

Básicamente las tres teorías son compatibles y simplemente se trata de enfoques distintos:

- Iones débilmente retenidos para la teoría cristalina.
- Desequilibrios eléctricos para la teoría de la doble capa eléctrica.
- Diferentes concentraciones para la teoría de la membrana semipermeable.

4.3 Capacidad total de cambio

La *Capacidad de intercambio catiónico* (CIC) de un suelo se define, como la capacidad máxima de un suelo de retener cierto número de miliequivalentes de cationes metálicos.

También llamada Capacidad de Cambio Catiónico (CCC), es la capacidad que presenta un suelo, y más concretamente el Complejo arcillo-húmico, de retener cationes, y se expresa normalmente en cmol (+)/kg. de suelo.

La suma de todos los cationes de cambio (H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , etc.) constituye la Capacidad Total de Cambio (CTC) de un suelo.

Un valor de CIC superior a 25 cmol(+)/kg asegura una buena retención catiónica, aunque valores superiores a 20 cmol(+)/kg resultan aceptables. Los valores inferiores a 10 cmol(+)/kg son francamente insuficientes y el lavado de bases procedentes de la alteración será muy alto.

El responsable del proceso de intercambio catiónico, es el complejo de cambio o complejo adsorbente, constituido por arcillas y materia orgánica humificada principalmente; además participan en menor grado otros componentes de la fase sólida.

El complejo de cambio posee carga negativa, por lo que puede retener en su superficie (adsorber) cationes, y la cantidad total de cationes que puede retener el complejo de cambio se denomina capacidad de cambio catiónico. Potencialmente el concepto de cambio catiónico en un suelo es un indicador de su fertilidad, aunque un valor alto de este parámetro no asegura la presencia de alta concentración de



nutrientes, pues algunas posiciones de cambio están ocupados por H^+ , Al^{3+} , o bien por otros nutrientes no esenciales.

4.4 Absorción de elementos nutritivos

El poder adsorbente del complejo arcillo-húmico es la propiedad que posee de retener enérgicamente en su superficie ciertos iones procedentes de la solución del suelo. Se podría esquematizar el complejo asimilándolo a una esfera esponjosa, en cuya superficie se adhieren los diferentes iones. Como el complejo posee carga negativa, sólo los cationes, de carga positiva, son atraídos por él.

El hidrógeno es el catión más enérgicamente retenido. Le siguen los oligoelementos, y a continuación el calcio, el magnesio, el amonio, el potasio y por último el sodio.

Este orden decreciente coincide con el poder floculante de estos cationes, siendo el calcio el que forma el complejo más fuertemente coagulado, mientras que el sodio, en ciertas circunstancias, puede favorecer la dispersión del complejo.

Los aniones son difícilmente fijados por el complejo, a excepción del PO_4^{3-} , que forma un puente entre los cationes Ca^{2+} .

De esta propiedad adsorbente del complejo se deducen consecuencias importantes para el empleo de abonos:

- Los abonos potásicos aportan al suelo el catión K^+ , que, fijado por el complejo no es arrastrado por el agua, difundándose muy lentamente. Será preciso situar estos abonos en la proximidad de las raíces.
- Sucede lo mismo con los abonos fosforados que aportan el ión PO_4^{3-} , fijado por el complejo en la forma que se ha indicado.
- Los abonos nitrogenados aportan N bien bajo forma de catión NH_4^+ , que es fijado por el complejo, bien bajo forma de anión NO_3^- , que no es retenido por el complejo, y puede moverse libremente en el suelo antes de ser absorbido por la planta.

4.5 Cambio de cationes entre complejo y solución

Los cationes utilizables por la planta se encuentran bien en solución en el agua de los espacios lagunares, bien fijados a la superficie del complejo, pero los cationes fijados sobre el complejo son susceptibles de ser cambiados por los procedentes de la solución del suelo. Así, si se aporta a un suelo una cierta cantidad de cloruro potásico, el cual se disocia en Cl^- y K^+ , los cationes K^+ van a ocupar en el complejo el lugar de los cationes Ca^{2+} , primitivamente fijados, que pasan a la solución. Como regla general, la fijación de un catión por el complejo va acompañada del paso a la solución de un catión procedente del complejo, principalmente del calcio; ello constituye el mecanismo descalcificante de los abonos.

Los cambios sólo se desarrollan plenamente cuando la cantidad de cationes cambiables presentes en el medio (sobre el complejo y en la solución), se encuentran en un nivel suficientemente elevado. Esto explica que en ciertas tierras muy ácidas, sea preciso una aportación previa de grandes cantidades de abonos, para permitir a los abonados de conservación, más modestos, poder actuar a posteriori eficazmente.

Si se cumple esta última condición, se establece para un mismo catión una especie de equilibrio entre el complejo, de una parte, y la solución del suelo, que tiende a igualar el contenido en este catión de los dos medios. Por ejemplo, cuando la solución del suelo se empobrece en cationes, se produce la liberalización de estos cationes por el complejo; inversamente si se enriquece la solución del suelo en cationes K^+ por una aportación de abono potásico, el complejo se enriquece en cationes K^+ .

El complejo arcillo-húmico juega un papel importante de reserva en la fertilidad. Constituye la gran reserva de elementos nutritivos para la planta, luego será importante tener en el suelo un complejo arcillo-húmico capaz de fijar la mayor cantidad de cationes cambiabiles.

Las enmiendas húmicas favorecerán su formación, y las calizas lo mantendrán en estado floculado. En segundo lugar habrá que saturarlo, es decir cargarlo de un número tan elevado de cationes como sea posible, lo cual se conseguirá mediante abonados adecuados.

Todos los cationes están sujetos al fenómeno del cambio, sin embargo el catión K^+ puede, bajo ciertas circunstancias, encontrarse bajo forma no cambiabie, por tanto no asimilable para las plantas. Se explica este fenómeno suponiendo que el catión K^+ no se encuentra en la superficie del complejo, sino que penetran en el interior de las partículas de arcilla -potasio retrogradable.

El siguiente esquema (Imagen 3) explica gráficamente el mecanismo del cambio de cationes entre el complejo arcillo-húmico y la solución del suelo.

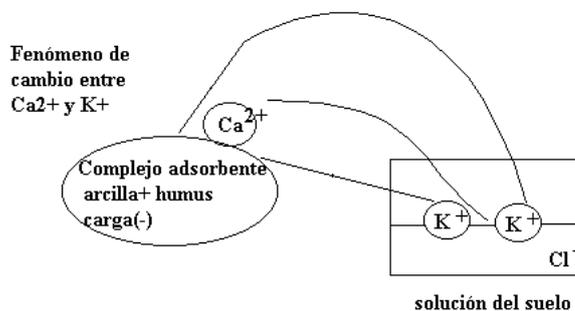


Imagen 3. Fenómenos de cambio.

4.6 Constitución del suelo

Los espacios lagunares son aquellos por donde circula el agua y el aire. Los agregados están compuestos por gránulos de arena cementados por el complejo. El complejo arcillo-húmico recubre los agregados.

➤ ESTADO INICIAL DEL COMPLEJO

El complejo arcillo-húmico se encuentra cargado de iones H^+

➤ PRIMERA FASE: NEUTRALIZACIÓN DEL COMPLEJO

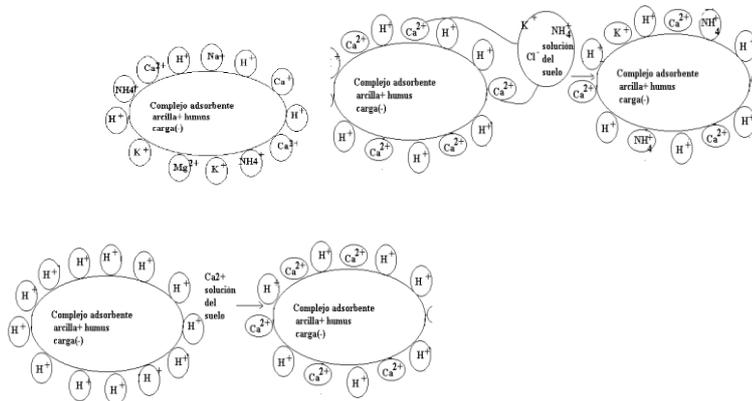


Imagen 4. Fases en la sustitución.

El calcio que hay en la solución del suelo, procedente del $\text{Ca}(\text{OH})_2$, disociado, desplaza a dos H^+ del complejo (Imagen 4). Hay reacción de cambio entre el complejo y la solución.

El complejo queda neutralizado:

- *totalmente* si hay bastante CaO = suelo neutro, $\text{pH} = 7$
- *parcialmente*, si no hay bastante CaO = suelo ácido, $\text{pH} < 7$
- *en exceso*, cuando sobra CaO = suelo alcalino, $\text{pH} > 7$

SEGUNDA FASE: CAMBIO DE CATIONES

En la solución del suelo se encuentran, por ejemplo, los iones K^+ (procedentes de la disociación del KCl) y los NH_4^+ . Se produce el cambio de cationes Ca^{2+} , que salen del complejo por K^+ , NH_4^+ que entran en el complejo. El Ca^{2+} que pasa a la solución puede formar sales como el CaSO_4 .

➤ TERCERA FASE: RESTABLECIMIENTO DEL EQUILIBRIO

1. Las raíces absorben los cationes K^+ , NH_4^+ , etc., de la solución y disminuye su concentración, se restablece el equilibrio, saliendo del complejo iones K^+ , NH_4^+ , etc., que son reemplazados por iones Ca^{2+} que pasan de la solución al complejo (Imagen 5).

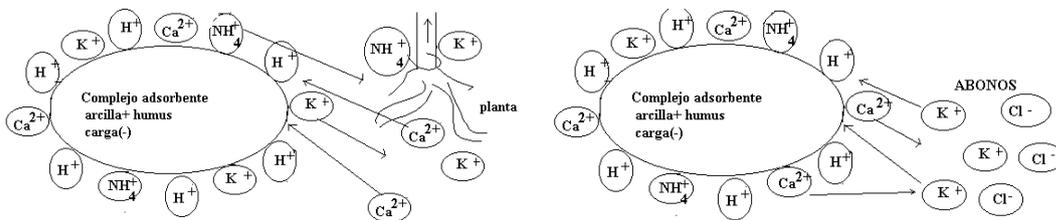


Imagen 5. Fase final.

2. Si se hace una aportación de abonos (KCl , por ejemplo), aumenta la concentración de la solución de iones K^+ , los cuales penetran en el complejo sustituyendo a los iones Ca^{2+} que salen a la solución para restablecer el equilibrio.



Suelos ligeros o arenosos	10 cmol (+) /kg suelo
Suelos medios	15 cmol (+) /kg suelo
Suelos pesados o arcillosos	20 cmol (+) / kg suelo

Tabla 1. Valores medios de C.T.C. según la textura.

aunque estos valores están dados en función de la cantidad de arcilla también pueden variar según el tipo de esta, (vermiculitas, illitas, montmorillonita, etc) ya que unas presentan un mejor poder de fijación que otras (Tabla 1).

5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto cuales son las causas y como se producen los cambios de cationes en el suelo, dando a conocer los factores principales de los que depende este proceso.

6 Bibliografía¹

Libros:

Porta, J., López Acevedo, M., Roquero, C. "Edafología para la agricultura y el medio ambiente". Ed. Mundi prensa, 2003. pp. 167-202.

Porta, J. "Agenda de campo de suelos". Mundi prensa. 2005. Madrid.

Saña y Villaseca, J., More Ramos, J.C., Cohi, A. "La gestión y la fertilidad de suelos". 1996. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.

Urbano-Terrón, P. "Tratado de fitotecnia general", Ed. Mundi prensa. 1988. pp. 345 – 388.