

## El calcio y su asimilación por parte de las plantas

Es evidente que en las últimas décadas uno de los grandes retos a los que ha tenido que enfrentarse la agricultura a la hora de diseñar los programas de fertilización es la falta de disponibilidad en el suelo de determinados nutrientes como consecuencia de la elevada salinidad de las aguas de riego que impiden que cationes como el calcio o el hierro puedan ser absorbidos por las raíces de las plantas. Las sales presentes en el agua son ricas en sodio, un elemento que desplaza en el complejo arcillo-húmico a la mayor parte de los cationes a las capas más profundas del suelo. Todo esto trae como consecuencia una merma en los rendimientos y en las calidades de producción y lleva aparejado un cambio de actitud en los cultivadores.

Con el tiempo y la experiencia adquirida por los cultivadores han aprendido que los desórdenes por la deficiencia de calcio están limitados a cultivos sensibles que muestran síntomas muy conocidos. Es el caso del "bitter pit", la podredumbre apical o "peseta", el "tip burn" y el corazón marrón que son problemas a los que se enfrentan a diario los agricultores tradicionales ya que en muchos casos el calcio es considerado uno de los nutrientes que menos influye en muchos cultivos. Esto se justifica por su parte en que si los suelos son calizos, el calcio abunda y son los que bloquean otros nutrientes y, en cambio, si los suelos son ácidos, el calcio se puede aportar con materiales de bajo coste como los yesos agrícolas y otras enmiendas calizas. Pero solucionar los problemas de bloqueo del calcio no se consigue únicamente con estas prácticas. Por lo tanto el desafío es entender el comportamiento del calcio en nuestros cultivos.



*Bitter pit en manzana*



*Tip Burn en Lechuga*

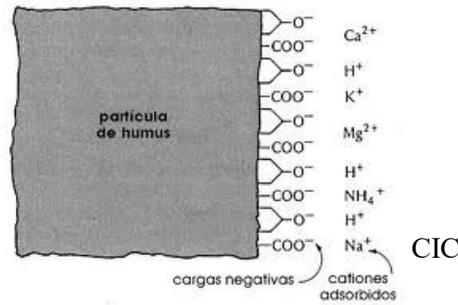
No hay duda de que el calcio es un nutriente difícil de manejar. Hay ciertos casos de investigaciones de este elemento que muestran pequeñas o nulas respuestas y, por el contrario, hay otras investigaciones con resultados positivos e incluso increíbles en algunos casos. Esta es la causa para investigar las características del calcio como nutriente para los cultivos: debemos entender por qué el calcio trabaja tan bien en algunos casos y por qué en otros no.

El calcio forma compuestos insolubles con otros elementos en el suelo, tales como el fósforo y de esta manera no está disponible para la planta. En suelos con pH ácido y presencia de hierro ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) el fósforo se combina con ellos volviéndose insoluble, mientras que a pH básico el fósforo se combina con el calcio o el magnesio volviéndose igualmente insoluble. El rango de pH en el que el fósforo se encuentra soluble es a pH entre 5'5 y 7'0. Hay que tener en cuenta que el fósforo es el catión más difícil de absorber por parte de la planta desde el suelo.

Como el calcio es un ion con carga positiva, es retenido en el suelo en la superficie de las arcilla y a las partículas orgánicas que están cargadas negativamente. Los iones con carga positiva que se quedan retenidas a las partículas del suelo son llamados "iones intercambiables", ya que pueden ser intercambiados por otros iones presentes en la solución del suelo. Un análisis de suelo determina el nivel de iones intercambiables de calcio y no el total de calcio en el suelo, debido a que el calcio intercambiable es la forma que está disponible para la planta. Varios factores en el análisis del suelo pueden ayudar a evaluar la disponibilidad del calcio para las plantas:

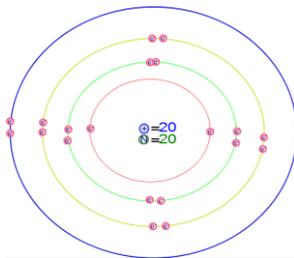
- El pH del suelo: por lo general los suelos con un pH más alto contienen más calcio disponible
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): esta es una característica del suelo que describe la cantidad total de cationes intercambiables que el suelo puede retener.

Una mayor CIC indica una mayor capacidad del suelo para absorber y retener el calcio y, por tanto, una disponibilidad mayor de calcio

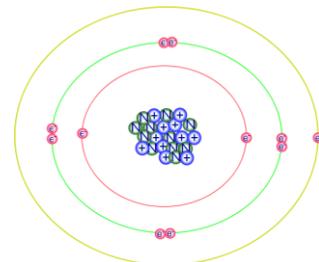
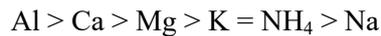


- Presencia de iones competidores: el calcio compite con otros iones cargados positivamente como el sodio, potasio y magnesio. La aplicación de una cantidad mayor de estos iones puede disminuir la absorción de calcio por las plantas. Los iones de sodio pueden reemplazar el calcio absorbido al suelo, dañar la estructura del suelo y reducir la disponibilidad del mismo. El sodio absorbido al suelo puede provocar un daño a su estructura. Un Suelo dañado por el efecto de sodio se desmenuza y se agrieta cuando se seca y se hincha cuando se moja. El calcio reemplaza el sodio absorbido y previene daños a la estructura del suelo.

El suelo capta con mayor facilidad los cationes heterovalentes (con varias cargas positivas) que los monovalentes (con una sola carga positiva). Por otro lado dentro de la misma valencia se absorberá aquellos cuyo radio hidratado sea menor, por ejemplo, si el radio hidratado del sodio es 0'76 nm y el del calcio es 0'56 nm, la afinidad será mayor hacia el calcio que con respecto al sodio. De esta forma se establece la SERIE DIOTRÓFICA, donde se muestra qué cationes son los que quedan retenidos con mayor facilidad al suelo y cuales quedan menos retenidos.



Estructura atómica del Calcio



Estructura atómica del Sodio

Según esta relación el calcio no debería dar problemas de asimilación en nuestros cultivos, pero las calidades del agua de riego son tan pésimas que las concentraciones de sodio en el suelo son elevadísimas y desplazan al calcio por lixiviación a las capas más profundas del suelo. Basta con que la concentración de sodio sea el doble que la de calcio para que sea desplazado este último.



Sedimentación del Calcio en el suelo

Según varios estudios realizados desde hace algunos años vienen demostrando que el calcio es un elemento necesario para algunas enzimas de las plantas, pero sus funciones más

importantes son el fortalecimiento de las paredes celulares y la regulación de la permeabilidad de la membrana. Es de gran importancia a la hora obtener un aumento del grosor de la pared celular y por consiguiente una menor evapotranspiración, un menor estrés hídrico y una mayor fortaleza ante el ataque de plagas y enfermedades.

El calcio es un catión que tiene limitada su movilidad dentro de la planta. El calcio entra por las raíces de la planta desde la solución del suelo y fluye hacia las partes aéreas de las plantas por el xilema. Las zonas de la planta que están respirando más activamente reciben la mayor parte del calcio porque es hacia donde se dirige en un principio la savia ya que, a diferencia de muchos otros nutrientes, el calcio no puede ser redistribuido vía floema a las partes áreas de crecimiento que necesitan calcio para construir nuevos tejidos. Esto se puede corregir en parte con aplicaciones foliares de calcio ya que puede ser absorbido por las hojas, por los tejidos leñosos y otros órganos en desarrollo, pero su movilidad sigue estando restringida al xilema. El resultado son estructuras celulares pobres en aquellas partes de la planta con menos transpiración. Las consecuencias son abortos de yemas, pobre polinización y crecimiento deformado o débil de tallos y frutos.



*Corazón marrón en manzana*

Podredumbre apical del tomate



Los períodos críticos en la nutrición de calcio, cómo la floración, ocurren en épocas de elevadas temperaturas y máximo crecimiento vegetativo. Los esfuerzos complementarios para ayudar a la planta en la distribución del calcio son rara vez tenidos en cuenta por los cultivadores y estos problemas de distribución hacen que sea importante el proveer a los cultivos con una abundancia de calcio en dosis regulares durante el ciclo de crecimiento en un programa combinado de aplicación radicular y foliar. Las aplicaciones radiculares deben ser en formas fácilmente asimilables que aporten la mejor disponibilidad de calcio y que no produzcan efectos contraproducentes en el crecimiento vegetativo, lo que se traduce en un crecimiento vegetativo equilibrado y en un sistema radicular más homogéneo que asegurará una correcta nutrición a la planta a lo largo de todo el ciclo de cultivo. En cambio, las aplicaciones foliares deberán ser aportadas en pequeñas cantidades y de forma regular constante.

El calcio permite a la planta utilizar el nitrógeno amoniacal, el cual facilita el crecimiento reproductivo. Las experiencias de campo confirman las investigaciones, que muestran como incluso las plantas más exigentes en el consumo de nitratos producen mayores rendimientos y crecimientos más sanos cuando una porción importante del nitrógeno total es absorbido en forma amoniacal. El calcio suministrado con moléculas complejantes es muy importante para tener el máximo aprovechamiento del nitrógeno.

La contribución del calcio a la resistencia de plagas es menos conocida, pero la evidencia sugiere que para insectos como los pulgones implica la incapacidad de la planta a movilizar y metabolizar azúcares tan rápidamente como están siendo producidos. Las investigaciones realizadas están demostrando que los nutrientes adecuados, con un especial énfasis en el calcio, están permitiendo a las plantas reducir la acumulación de azúcares que atraen a los insectos chupadores.

El calcio permite a la planta una mejor regulación del estrés, sea cual sea su causa. Es importante señalar que todos los tipos de estrés en las plantas se desarrollan de manera similar sobre las mismas, independientemente de su origen. El análisis del estrés da más información sobre la comprensión de las funciones del calcio. Cuando una planta lo sufre en cualquier ciclo, la proteína de la planta se hidroliza en amoniacal. El amoniacal no sólo puede ser tóxico, sino que también hace que la planta produzca etileno. Este etileno causa "madurez prematura", la cual se produce porque la planta estresada comienza a madurar y a

deteriorarse. Si no hay calcio suficiente para neutralizar el amoníaco y el etileno, la degradación de la célula hace que comience una degradación generalizada en cadena. El tejido deteriorado fomenta las enfermedades y las invasiones de insectos.

Para finalizar creo conveniente citar un último punto: el calcio y el boro trabajan en conjunto. De hecho cada referencia hecha en este artículo sobre el calcio debería ser también aplicada al boro. Las investigaciones muestran que los síntomas de deficiencias de calcio y boro son similares. Al igual que el calcio, el boro es únicamente móvil en el xilema y no puede ser distribuido en el floema. Sin boro, el calcio no será incorporado funcionalmente a la estructura de la célula. Sin una proporción adecuada entre calcio y boro (mínima de 11 a 1), pequeñas concentraciones de boro pueden ser tóxicas para la planta, mientras que en presencia de la cantidad adecuada de calcio esas mismas concentraciones no presentan ninguna fitotoxicidad.



*Deficiencia de boro en tomates*

El boro interviene en las siguientes funciones esenciales de la vida vegetal:

- División celular: la carencia del boro dificulta el desarrollo de los ápices meristemáticos, inhibe la síntesis de proteínas y la formación de células nuevas, la división celular no se completa satisfactoriamente y se forman tejidos irregulares y deformes que desorganizan los vasos. En las raíces la inhibición meristemática puede determinar una reducción drástica de la absorción de fósforo y potasio por parte de la planta pues estos elementos se incorporan primordialmente por medio de los pelos radicales de nueva formación
- Polinización: el boro desempeña una función primordial en la formación de las anteras y en la germinación del tubo polínico. También acelera la fertilización de los óvulos y reduce la caída prematura de flores y frutos. En algunos tipos de flores aumenta la cantidad de polen y se acorta el tubo de la corola, lo que hace las flores más atractivas para los insectos polinizadores
- Translocación y empleo de azúcares: el boro interviene en los procesos enzimáticos de síntesis de la sacarosa y del almidón y facilitan el transporte de los azúcares a través de las membranas vegetales
- Resistencia de los tejidos: una manifestación típica de la carencia de boro es la rotura de las paredes de las células parenquimáticas, con formación de áreas necróticas, nódulos suberosos, debilitamiento del tallo, pecíolos y hojas
- Fijación simbiótica del nitrógeno por las leguminosas: en situaciones de carencia de boro no se produce la formación de los nódulos y esto inhibe la fijación del nitrógeno atmosférico por parte de organismos como el Rhizobium
- Resistencia al frío y a las enfermedades: la carencia de boro expone muchas especies a sufrir daños superiores a lo normal por efecto de frío, la sequía o enfermedades fúngicas

*Autor: Juan Antonio Martín Armas*