

## FUENTES DE MAGNESIO

Robert Mikkelsen\*

### Introducción

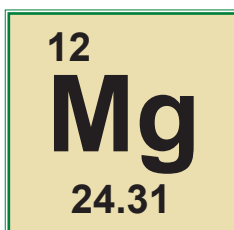
El magnesio (Mg) es un constituyente común de muchos minerales, llegando a comprender el 2 % de la corteza terrestre. Este elemento es también un componente común del agua de mar (1 300 ppm). El Mg está presente en forma divalente ( $Mg^{2+}$ ) en la naturaleza, pero se lo puede procesar hasta obtener metal puro. Debido a que el Mg es un tercio más liviano que el aluminio (Al) se lo utiliza en aleaciones de bajo peso para aviones y automóviles. El Mg en forma de polvo metálico se quema cuando se expone al aire. China es el más grande productor de Mg como metal, aun cuando los Estados Unidos y la Antigua Unión Soviética también producen cantidades significativas del metal.

La importancia del Mg para la nutrición humana y vegetal es conocida. Este artículo discute el comportamiento del Mg en el suelo y describe las fuentes más comunes de Mg utilizadas en la nutrición de las plantas.

### El Mg en los minerales primarios y secundarios

Varios minerales ferromagnesianos (como el olivino, piroxeno, anfíbol y mica) son las principales fuentes de Mg en las rocas ígneas básicas. Los minerales secundarios como la dolomita ( $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ ), magnesita ( $MgCO_3$ ), talco [ $(Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ] y el grupo de las serpentinas [ $(Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ ] son derivados de estos minerales primarios.

El nombre suelo de serpentina se utiliza para denominar a aquellos suelos que tienen altas cantidades de serpentina, especialmente suelos que no han sido fertilizados. En estos suelos de serpentina ultramáficos (de abundante Mg), la alta concentración de Mg afecta el crecimiento de las plantas. Sin embargo, las concentraciones de Mg disponible para las plantas no se pueden predecir adecuadamente basándose solamente en la composición del material parental debido a las diferencias en las tasas de meteorización de los minerales y la lixiviación del Mg. En algunos casos, la contribución de los minerales no satisface la demanda total de Mg del cultivo durante el ciclo de crecimiento y es insuficiente para prevenir las deficiencias en plantas y animales.



### Magnesio no intercambiable y Mg intercambiable

El Mg se localiza dentro de los minerales arcillosos del suelo o está asociado con el intercambio de cationes en la superficie de las arcillas. Arcillas como la clorita, vermiculita y montmorillonita han pasado por una etapa intermedia de meteorización y todavía contienen cierta cantidad de Mg como parte de la estructura interna del cristal. La tasa de liberación de Mg de estas arcillas es generalmente baja. La illita puede contener también Mg, pero la tasa de liberación es aún más lenta. Los detalles de la mineralogía y meteorización de estas arcillas se pueden consultar en la literatura.

La liberación gradual del Mg no intercambiable se ha demostrado en varias condiciones, pero la contribución es generalmente pequeña comparada con las cantidades de Mg requeridas para mantener altos rendimientos por varios años. Este Mg no intercambiable podría provenir de la capa de octaedros de las arcillas así como del material ubicado entre estas capas. En agricultura de baja productividad, el Mg de lenta liberación puede ser suficiente para reponer el nutriente a la solución del suelo y satisfacer las demandas de Mg de la planta.



Figura 1. El ciclo del Mg en suelos agrícolas.

\* Tomado de: Mikkelsen, R. 2010. Soil and Fertilizer Magnesium. Better Crops 94(2):26-28.

El doctor Mikkelsen es el director de la oficina regional del International Plant Nutrition Institute (IPNI) para el Oeste de los Estados Unidos. Correo electrónico: rmikkelsen@ipni.net

En el rango de suelos alcalinos a ligeramente ácidos, el Mg es generalmente segundo en abundancia después del calcio (Ca) en los sitios de intercambio catiónico. Los iones de Mg se parecen al Ca en su comportamiento en las reacciones de intercambio iónico. Estas reacciones de intercambio de cationes son generalmente reversibles, aun en situaciones donde cationes adsorbidos (retenidos) más fuertemente pueden ser reemplazados por manipulación de la solución del suelo.

Para volverse soluble, el Mg adsorbido en las partículas de arcilla debe ser reemplazado por un catión presente en la solución del suelo. Las reacciones de intercambio de cationes son estequiométricas, es decir que deben mantener el balance de cargas. Por ejemplo, se requieren dos iones de potasio ( $K^+$ ) para reemplazar un solo ión de  $Mg^{2+}$ . Las reacciones de intercambio son muy rápidas, pero el factor limitante es generalmente la difusión del catión del sitio de intercambio en la arcilla a la solución del suelo o de la solución del suelo al sitio de intercambio.

Ciertas arcillas, como la vermiculita, tienen especial afinidad por el Mg soluble. El ion Mg hidratado encaja bien entre las láminas parcialmente expandidas de la vermiculita, haciendo de esta arcilla un excelente retenedor de Mg. Una proporción excesiva de Mg en los sitios de intercambio puede provocar la degradación de la condición física del suelo. Debido a que los cationes de Mg tienen un radio de hidratación más grande que el Ca, las fuerzas de atracción que normalmente tienden a agregar los colides del suelo se reducen, particularmente si existe una sobre abundancia de Mg. La alta proporción de Mg en los sitios de intercambio resulta en la dispersión de las arcillas, condición que reduce la porosidad y la tasa de infiltración del suelo. Esta condición es común en los suelos de serpentina.

**Condiciones que causan pérdidas de Mg**

Cuando la remoción de Mg de los suelos es mayor que la tasa de liberación de las fuentes minerales y de la adición de fertilizantes, la concentración de Mg en la solución y en los sitios de intercambio se reduce. Esta situación de bajo contenido de Mg es más frecuente en suelos arenosos con bajo Mg intercambiable y en suelos que reciben aplicaciones repetidas de calcita. Esta condición también se presenta por la competencia con otros cationes como K. La producción sostenida de cultivos requiere mantener el balance entre el suplemento de Mg y la remoción del nutriente en la cosecha y la salida de Mg por lixiviación y escorrentía.

**Remoción en el cultivo** – Existe un amplio rango de datos sobre remoción de Mg en los cultivos publicados en la literatura, dependiendo del suplemento de Mg del suelo, las condiciones de crecimiento, la especie de

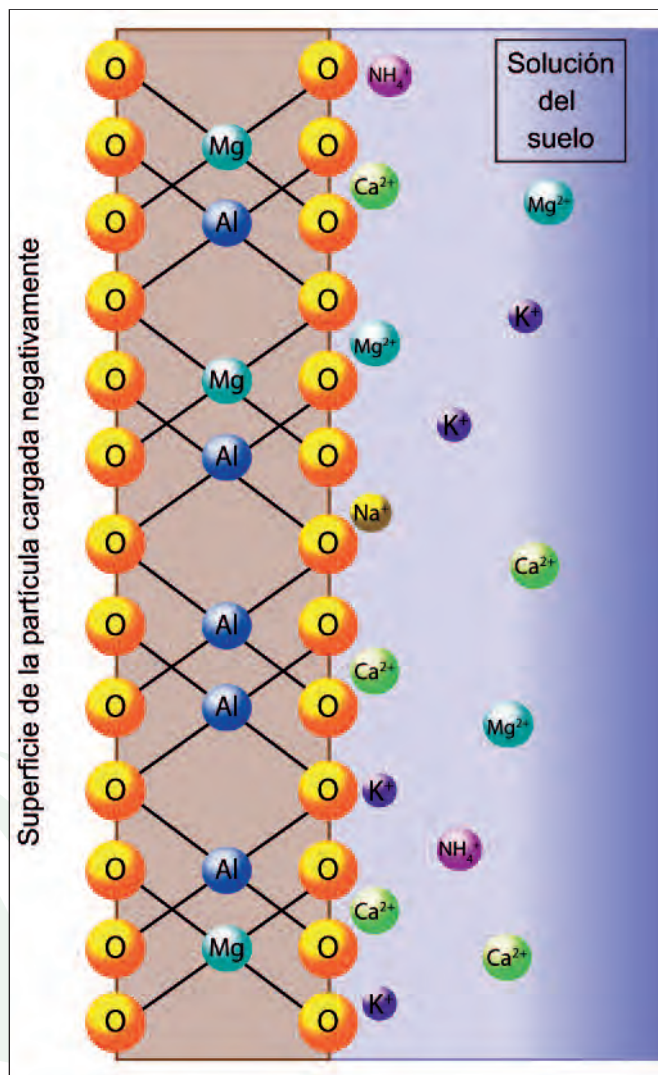


Figura 2. Las arcilla 2:1 contienen Mg como constituyente de su estructura entre las láminas y como catión intercambiable en los filos de la arcilla.

planta cultivada y los niveles de rendimiento. Por ejemplo, un cultivo de remolacha azucarera de alto rendimiento puede tomar hasta 90 kg de Mg  $ha^{-1}$ , las pasturas y el maíz de ensilaje pueden remover hasta 56 kg de Mg  $ha^{-1}$ . En general, los cereales remueven cantidades menores de Mg a la cosecha comparado con tubérculos y muchos frutales. De todas las formas de pérdida de Mg, la remoción en cosechas abundantes es la condición deseada.

**Pérdidas por lixiviación** – La pérdida de cationes del suelo por lixiviación puede resultar en una significativa declinación de la disponibilidad de nutrientes a través del tiempo. La magnitud de la pérdida de Mg de la zona radicular a zonas más profundas en el suelo varía mucho dependiendo de las propiedades del suelo, la cantidad de agua pasando por el perfil y las condiciones locales. En ciertas condiciones se reportan solamente pérdidas de unos pocos kg de Mg  $ha^{-1} año^{-1}$ , mientras que en otras condiciones las pérdidas pueden ser superiores a los 110 kg  $ha^{-1} año^{-1}$ .

La fertilización con otros cationes, como  $K^+$  y  $Ca^{2+}$ , frecuentemente incrementa la solubilidad del Mg en el suelo por el intercambio en la superficie de las arcillas, proceso que al final hace que el Mg sea más susceptible a la lixiviación. Las reducciones en Mg intercambiable a menudo se correlacionan con la cantidad de sales añadidas como fertilizante o como enmienda. Un indeseado enriquecimiento de los sitios de intercambio con K puede presentarse en suelos donde el Ca y el Mg se lixivian después de la repetida aplicación de K. Las pérdidas de nitrato por lixiviación aceleran las pérdidas de Mg, especialmente en los sitios donde se depositan la orina y majada de los animales en los pastos.

**Pérdidas por erosión** – La superficie del suelo es la zona que generalmente contiene la mayor cantidad de materia orgánica y nutrientes. El agua que se escurre del campo puede arrastrar valiosa materia orgánica y nutrientes asociados con las partículas de suelo que la escorrentía saca del campo. El minimizar la escorrentía del campo mediante el uso de técnicas de conservación, como el diseño de zonas de amortiguamiento, ayudan a reducir las pérdidas de Mg, protegiendo al mismo tiempo los cuerpos de agua cercanos de la contaminación con sedimentos.

**Interacciones** – Las deficiencias de Mg no son comunes en suelos arenosos de bajo pH donde el Al domina los sitios de intercambio de cationes. Sin embargo, la asimilación de Mg se deprime en presencia de  $Al^{3+}$ , porque este elemento afecta el crecimiento de las raíces y además compite con otros cationes por los sitios de absorción en las raíces.

Altas concentraciones de K intercambiable pueden tener un efecto adverso en la disponibilidad de Mg para las plantas. La competencia entre estos dos cationes por los sitios de absorción en las raíces parece ser la primera causa de esta situación, aun cuando el alto K puede también impedir la translocación del Mg dentro de la planta. Se considera que la baja concentración de Mg en los pastos, condición que se presenta luego de la fertilización con K, está relacionada con la tetania de los pastos, anomalía que se presenta cuando el contenido de Mg en la sangre del ganado es bajo. El Mg es esencial para la activación de enzimas y de otros procesos fundamentales en el metabolismo de los animales.

### Fuentes de Mg

Existen excelentes fuentes de Mg que pueden satisfacer las demandas del cultivo. La aplicación superficial de las fuentes solubles de Mg es generalmente una buena práctica, pero se recomienda la incorporación en el suelo de los materiales menos solubles. Debido a que no existen serias implicaciones ambientales asociadas con el uso agrícola de Mg, no se necesitan precauciones

especiales. La contribución de Mg con la lluvia es menor a  $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

Los fertilizantes portadores de Mg comunes se dividen en dos clases: fuentes solubles y fuentes semi solubles. El tamaño de las partículas de las fuentes de Mg semi solubles determina en gran parte la tasa de disolución, mientras que este factor no es importante en las fuentes solubles.

### Fuentes de Mg solubles (con solubilidad aproximada a 25 °C)

**Kieserita** –  $MgSO_4 \cdot H_2O$ ; 17 % Mg – La kieserita es el sulfato de magnesio monohidratado obtenido de minas localizadas en Alemania. Como portador de Mg y azufre (S), la kieserita tiene múltiples aplicaciones en la agricultura y en la industria ( $360 \text{ g L}^{-1}$ ).

**Kainita** –  $MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3H_2O$ ; 9 % Mg – La kainita es la mezcla de sulfato de magnesio y cloruro de potasio. Comúnmente se usa como fuente de K, pero es útil cuando se necesitan tanto K como Mg (solubilidad variable).

**Langbeinita** –  $2MgSO_4 \cdot K_2SO_4$ ; 11 % Mg – Fuente de Mg ampliamente utilizada que también aporta K y S. Este mineral es una excelente fuente de varios nutrientes. Si bien es totalmente soluble, la langbeinita se disuelve más lentamente que otras fuentes de Mg y no se aconseja utilizarla a través de sistemas de riego ( $240 \text{ g L}^{-1}$ ).

**Cloruro de magnesio** –  $MgCl_2$ ; 25 % Mg – Generalmente vendido como líquido por su alta solubilidad, este material es frecuentemente usado como componente de los fertilizantes líquidos ( $560 \text{ g L}^{-1}$ ).

**Nitrato de magnesio** –  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ; 9 % Mg – Ampliamente usado en horticultura para suplir Mg junto con una fuente soluble de nitrógeno (N) ( $1250 \text{ g L}^{-1}$ ).

**Sulfato de magnesio (sal de Epsom)** –  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ; 9 % Mg – El nombre sal de Epsom se deriva del nombre del depósito geológico del material localizado en Epsom, Inglaterra. Es un mineral común subproducto de la purificación de otras sales. Es una fuente de Mg similar a la kieserita, excepto que contiene siete moléculas de agua ( $357 \text{ g L}^{-1}$ ).

**Schoenita** –  $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$ ; 6 % Mg – Se usa más como fuente de K, sin embargo es también una fuente soluble de Mg ( $330 \text{ g L}^{-1}$ ).

**Residuos animales y compostas** – La concentración de Mg en estos materiales orgánicos es baja comparada con las fuentes minerales. Sin embargo, altas dosis de aplicación pueden suplir cantidades significativas de Mg al suelo. Se considera que el Mg en estos materiales

es totalmente disponible para la planta durante el ciclo de cultivo.

**Materiales para aplicación foliar** – Estos materiales pueden contener uno o más de los materiales solubles presentados arriba. Los materiales de especialidad contienen EDTA, lignosulfonato y otros agentes complejantes para mejorar la absorción foliar. Las aplicaciones foliares son efectivas para corregir las deficiencias de Mg, pero generalmente deben repetirse para mantener el crecimiento óptimo de la planta y se consideran solamente una solución temporal que se utiliza mientras se mejora el contenido de Mg del suelo.

### Fuentes de Mg semi solubles

**Dolomita** –  $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ ; 6 a 20 % Mg – La concentración de Mg puede variar considerablemente dependiendo de la fuente geológica. La dolomita pura contiene de 40 a 45 % de  $MgCO_3$  y 54 a 58 % de  $CaCO_3$ . Sin embargo, materiales con una concentración de 15 al 20 % de  $MgCO_3$  (4 a 6 % de Mg) son comúnmente conocidos como cal dolomítica. La dolomita es a menudo más barata que las fuentes comunes de Mg, pero es un material de lenta disolución, especialmente si no se usa en suelos ácidos.

**Dolomita hidratada** –  $MgO \cdot CaO / MgO \cdot Ca(OH)_2$ ; 18 a 20 % Mg – Este producto se fabrica calcinando la cal dolomítica para formar MgO y CaO. Luego se hidrata para formar cal dolomítica hidratada que puede contener solamente óxido de calcio hidratado o puede también contener óxido de magnesio hidratado. Estos compuestos se disuelven más rápido que la dolomita sin tratar.

**Oxido de magnesio** – MgO; 56 % Mg – Este material que solo contiene magnesio y oxígeno se forma calentando el  $MgCO_3$  para sacar el carbono. Contiene la más alta concentración de Mg de los fertilizantes comunes, pero es insoluble. Se debe aplicar con anticipación y en partículas finas para que pueda ser útil para la planta.

**Estruvita** –  $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ; 10 % Mg – La estruvita se produce principalmente durante la recuperación de fósforo (P) de los residuos de corral y de los residuos de las plantas de tratamiento municipales. Si bien es de lenta disolución, la estruvita es también una valiosa fuente de N y P, nutrientes que no se encuentran en otras fuentes de Mg.

Las prácticas de fertilización continúan intensificándose a medida que se demandan rendimientos más altos. El Mg es un nutriente esencial para las plantas que frecuentemente no se toma en cuenta y que puede limitar el crecimiento del cultivo. Se debe usar el análisis de suelos como herramienta para identificar las potenciales deficiencias de Mg. Existen excelentes fuentes de Mg que los agricultores pueden utilizar cuando son necesarias. □