

## EL MAGNESIO EN LA NATURALEZA

ANTONIO RAMÍREZ ORTEGA  
M<sup>a</sup> ESPERANZA RIAL LEMOS  
JAVIER ANGEL RAMÍREZ MASFERRER

### INTRODUCCIÓN

El Magnesio es un elemento que pertenece al grupo de los metales alcalinotérreos, junto con el Calcio, con el que suele aparecer asociado en la dolomita, principal mineral de las rocas carbonatadas magnesianas o dolomías. Sin embargo, en las rocas ígneas se encuentra acompañando o incluso sustituyendo al hierro en algunos minerales silicatados y en las evaporíticas formando sales dobles de potasio, sodio o calcio.

Los minerales magnesianos se disocian más o menos fácilmente con el agua. En ella el catión Magnesio puede estar con diferentes aniones, como son: bicarbonato, cloruro o sulfato, encontrándose principalmente en el agua del mar, cuyo contenido es de 1.290 mg/l.

El Magnesio está presente de una forma muy importante en las plantas, cuyo pigmento verde está constituido por la clorofila, compuesto orgánico en forma de derivado porfirínico. Este es la base de la fotosíntesis, proceso en el que actúa de catalizador y por medio de la radiación solar, las plantas elaboran los hidratos del suelo que absorben por sus raíces. El magnesio, también, se concentra en las semillas, formando un fosfato doble con el calcio.

Entre los alimentos que contienen más magnesio destacan: el cacao (4 g/kg); almendras (2,5 g/kg); judías blancas y pan integral (1,5 g/kg); avena y nueces (1,35 g/kg); arroz integral (1,2 g/kg) y blanco (0,29 g/kg); chocolate (1,1 g/kg); lentejas, higos y dátiles (0,8 g/kg); orejones de albaricoque (0,7 g/kg); espinacas (0,6 g/kg) y leche (0,15 g/kg).

El Magnesio tiene un papel vital en los seres animales, principalmente como: activador de algunos enzimas; en la síntesis de los tejidos óseos, de ahí sus necesidades en la época del crecimiento; y en la conductividad de las células cardíacas, por esta razón tiene tanta influencia en las enfermedades de las coronarias.

Se ha constatado el efecto sumamente beneficioso y necesario del magnesio en los seres humanos, como fortalecedor de los huesos y músculos, regulador del corazón y del sistema nervioso, junto con su acción anti-cancérgica; por lo tanto se puede

afirmar que es uno de los mejores agentes de defensa vital, básico en los medicamentos anti-envejecimiento.

El Magnesio, por proporcionar un incremento del potencial celular, es siempre indispensable; pero especialmente lo es en los siguientes períodos de la vida: embarazo y lactancia, crecimiento, edad escolar, pubertad y en la edad senil.

El Magnesio forma parte de todos los tejidos combinado con el calcio y el fósforo en los huesos, y también está en los músculos y en los glóbulos rojos.

Interviene en la mayoría de los sistemas enzimáticos. Es indispensable para la formación de moléculas de alta energía y otros componentes responsables de la liberación de energía, especialmente en el mecanismo de la concentración neuromuscular y como factor importante en el metabolismo protéico

Sin duda se puede garantizar:

— El Magnesio alarga la juventud y asegura la salud.

## EL MAGNESIO EN LOS MINERALES Y LAS ROCAS

El Magnesio es uno de los elementos mayoritarios de la corteza terrestre, con un promedio (Clarke) de 23,5 kg/t; correspondiente entre las rocas ígneas, al granito 4 kg/t y al basalto 45 kg/t.

Este elemento metálico alcalinotérreo está dentro del grupo geoquímico de los litófilos, es decir, de los que se encuentran en la corteza terrestre silicatada, pues tiene una gran afinidad por el oxígeno.

El Magnesio forma con el oxígeno minerales de la clase: óxidos e hidróxidos, pero los minerales más corrientes son los que tienen una composición de sales de oxiácidos, principalmente silicatos, sulfatos y carbonatos; aunque también abunda en forma de cloruro.

Por sus características químicas no se encuentra como elemento nativo, pues en contacto con la atmósfera el metal puro reacciona cubriéndose de una costra pulverulenta de carbonato básico. Este llega a corroerse por completo con el tiempo, a la temperatura ordinaria y especialmente en ambiente húmedo.

La Periclasa es el mineral que tiene la composición del óxido de magnesio (60,32 % de Mg). El magnesio, también, está en forma de aluminato en el mineral denominado Espinela (16,9 % de Mg), cuyas variedades transparentes y coloreadas se emplean en joyería por su parecido con el Rubí. Los dos minerales se encuentran en las rocas metamórficas frecuentemente en el mármol y en los calcoesquistos.

Los minerales anteriores se alteran por los agentes meteóricos, formándose el hidróxido o Brucita (41,68 % de Mg), que suele aparecer en las mismas rocas citadas y como en otros minerales magnesianos, muchas veces está asociado a compuestos feríferos.

El carbonato magnésico, denominado Magnesita o Giobertita (28,56 % de Mg), es uno de los minerales más importantes de este metal. Este es un producto de alteración meteórica de minerales silicatados magnesianos que constituyen parte de las rocas básicas y también se forma por sustitución del Calcio, del Carbonato Cálcico o Calcita por el magnesio de las salmueras marinas en ambientes evaporíticos. Este mineral se encuentra y se explota en las Minas de Rubián (Lugo) en un potente tramo carbonatado, 15 m, con un contenido de 44,5 % de MgO, dentro de la Serie de Cándana. La capa de magnesita se extrae en labores de minería subterránea, por medio del método cámaras con pilares corridos, con una recuperación del 60 %, dejando 1 m de magnesita al techo, para que no se desplome, ya que la capa superior a ella es de una pizarra muy quebradiza. Las cámaras miden 11 m de anchura y los pilares 7 m, siendo la altura de aquéllas de 14 m. La apertura de las cámaras se hace en dos pasadas de 5 m la superior y el resto la del muro, realizando el arranque por medio de explosivos, que se introducen en barrenos perforados con jumbos. Su uso principal una vez calcinado (Magal) es como abono, en piensos especialmente para el ganado vacuno y como corrector de suelos y aguas ácidas. Existe otra mina en explotación en Eugui (Navarra), en la cual la magnesita es utilizada para refractarios y abonos.

El carbonato doble de Magnesio y Calcio o Dolomita (13,02 % de Mg) se forma en el mismo proceso que la Magnesita, denominado dolomitización. Este se realiza en las formaciones calcárea, generalmente a través de fracturas y superficies de estratificación, que permiten el paso y la reacción de las aguas magnesianas con la calcita, sustituyéndose en este caso sólo parcialmente el Calcio por el Magnesio. La Dolomita es mucho más abundante que la Magnesita y forma extensas masas estratificadas dentro de las calizas.

La transformación de la Calcita en Dolomita lleva consigo un cambio de volumen, quedando unos huecos que supone un aumento de porosidad del 19 %, convirtiéndose en una buena roca-almacén, razón por la cual en ellas se puede encontrar petróleo y gas, además de aguas mineralizadas en bicarbonatos cálcico-magnésicos. Las rocas calcáreas que tienen más del 50 % de Dolomita se denominan dolomías.

En España las dolomías aparecen prácticamente en todas las cadenas montañosas y en terrenos de todas las edades. Así, en la zona Galaico-Castellana está en las Series Cámbricas de Cándana (Lugo, Ourense y León) y Tamames (Salamanca). En la zona Asturoccidental-Leonesa está en las series cámbricas de Piedrafita do Cebreiro (Lugo), Vegadeo (Asturias). En la zona Cantábrica se encuentra en la serie cámbrica de Láncara de Luna (León) y en las devónicas de Santa Lucía (León) y Candás (Asturias). En la zona Luso-Alcúdica está en la serie precámbrica de los Montes de Toledo. En la zona Ossa-Morena en la serie cámbrica de Sta. María de Trassierra (Córdoba), Guadalcanal (Sevilla), Aracena (Huelva), Zafra y Fregenal de la Sierra (Badajoz). En las cadenas Béticas están las dolomías de Coín (Málaga).

En el Macizo Ibérico en la serie cámbrica de la Sierra de la Demanda (Mansilla, Logroño), en las series liásicas y cretáceas, entre ellas en el Campo de Criptana (Ciudad Real) y en el Turonense de Solán de Cabras (Cuenca). En el Trias Superior o Keuper, continuado por el Infralías o Retiense existen siempre unos niveles de dolomías, tanto en el Macizo Ibérico como en el Pirenaico. En el Prepirineo de Lleida, se encuentra una brecha dolomítica del Lías Inferior y en la falda Sur de la Sierra del Montsec existen en varios pisos del Jurásico Medio y Superior.

Los minerales magnesianos de la clase arseniatos, fosfatos y boratos son poco comunes; excepto el cloroborato o Boracita y el borato potásico-magnésico o Kaliborita, que se encuentran en pequeñas cantidades en la mina de sales potásicas de Sallent (Barcelona). Estos minerales cuando existen grandes yacimientos (Stassfurt, Alemania) se usan para fabricar ácido bórico. Otros como los fluoruros, nitratos y titanatos de magnesio son minerales magnesianos muy raros y los sulfuros no existen debido a su carácter geoquímico, puesto que es litófilo.

Otro de los minerales abundantes del magnesio es la Carnalita o cloruro doble de potasio y magnesio hidratado (8,7 % de Mg), que se encuentra formando extensas y potentes capas dentro de las Cuencas Potásicas Catalana y Navarra. También, existe la sal doble clorurada de calcio y magnesio hidratada o Taquihidrita (13,67 % de Mg) que es muy delicuescente, lo mismo que la anterior.

El origen de estos minerales es siempre debido a la evaporación, en ambiente seco y caluroso, de aguas salobres en cuencas marinas restringidas, es decir, con una comunicación con el mar abierto que permiten sólo la circulación de las aguas más superficiales, que están poco saturadas y que impiden la salida de las aguas profundas más densas y salinas. Normalmente, la morfología de la cuenca es la de una amplia bahía rodeada de formaciones de arrecifes coralinos, especialmente en su comunicación con el mar abierto o bocana. En estos arrecifes formados, en su mayor parte, por restos de corales carbonatados se suelen formar dolomías, ya que las aguas salobres son muy ricas en magnesio.

Otro de los minerales relativamente comunes son los sulfatos hidratados, como: Kieserita (17,40 % de Mg), Exahidrita (10,89 % de Mg) y la Epsomita (9,75 % de Mg) y sus complejos, como son: Schönita (14,03 % de Mg), Löweita (7,8 % de Mg), Polihalita (4 % de Mg), Kainita (10,24 % de Mg) y Langbeinita (8,27 % de Mg), todos ellos se encuentran en yacimientos de evaporitas marinas, generalmente con sales sódico-potásicas; pero la Epsomita y la Exahidrita son más típicos de las cuencas evaporíticas lacustres. Unos existen en las cuencas salinas marinas del Terciario Inferior del Valle del Ebro de Navarra y Cataluña, y los otros en las lacustres del Terciario Superior del Ebro, Tajo, Duero y zonas esteparias de Albacete y Murcia.

En la clase de los silicatos existen numerosos grupos de minerales magnesianos, entre los que destaca el Olivino. en él, debido a la semejanza del ión magnesio con el ión ferroso, existe una solución completa entre un miembro extremo sólo magnésico o Forsterita (25,8 % de Mg) y otro solo ferrífero o Fayalita.

El Olivino es un mineral típico de las rocas ígneas procedentes de las magmas, cuya cristalización da lugar a rocas básicas, en las que el contenido en Sílice es inferior al 20% y superior al 65% en Plagioclasas. Estas rocas son, principalmente, el gabro y la norita entre las intrusivas, con el 35 a 65 % de minerales ferro-magnesianos, entre los que destaca el Olivino. También, existen diques con una composición similar al gabro, como son las diabasas. Afloramientos de gabros se conocen en la zona de Arteixo y Carballo (A Coruña) y en la Caldera Tamburiente de la Isla de La Palma.

Entre las rocas ultrabásicas intrusivas destacan las peridotitas, con más del 40 % de Olivino, que se encuentran en la Serranía de Ronda (Málaga) y dentro de este grupo la dunita, con más del 90% de Olivino, de la que existen importantes afloramientos.

ramientos en Santa María de Ortigueira, Sobrado y Melide (A Coruña) y Silleda (Pontevedra).

La roca equivalente al gabro entre las rocas efusivas o volcánicas, por su composición y por lo tanto con un alto contenido en Olivino, es el basalto. Las coladas de lavas basálticas se encuentran en las zonas volcánicas del Cuaternario en Olot, Massanet de la Selva, Castellfullit de la Roca, Hostalric (Girona) y el Campo de Calatrava (Ciudad Real).

Uno de los silicatos magnesianos más común es la Serpentina (26,19 % de Mg), variedad del Crisotilo; mineral de origen secundario originado por la alteración meteórica del Olivino y otros silicatos ferromagnesianos o, también, por la acción de aguas termales portadoras de Sílice. En Galicia abunda en las zonas de Cedeira y Santa María de Ortigueira (A Coruña), en Abades (Ourense); en Cataluña, en Gualba D'Alt (Barcelona), El Pasteral, Nuria y La Bajol (Girona); en Madrid en El Escorial y Robledo de Chavela; encontrándose en la Serranía de Ronda (Málaga), el macizo serpentínico más extenso de España.

La Enstatita (24 % de Mg) es un silicato magnésico del grupo de los Piroxenos, que se encuentra en las rocas básicas de la Serranía de Ronda (Málaga) y en los basaltos de Sta. Pau y Susqueda (Girona). Otros minerales del mismo grupo, pero ferríferos, son la Hiperstena (13,2 % de Mg) y la Augita (12,5 % de Mg), que aparecen en las andesitas del Cabo de Gata (Almería), en la isla de Alborán y en los basaltos de Olot (Girona).

El Diópsido (11,1 % de Mg), también es un silicato del grupo de los Piroxenos, pero su composición es cálcico-magnésica y se encuentra en el Tibidabo (Barcelona), en el neis de El Pedroso (Sevilla), en Cercedilla (Madrid) y Riaza (Segovia).

Entre los Anfíboles existen silicatos magnesianos, como la Glaucofana, de proporción variable en magnesio y está citado en los alrededores de Vigo, Cedeira y Cabo Ortegá (A Coruña), Sta. Marta (Ourense), Villacastín (Segovia) y Lanjarón (Granada). Otro Anfíbol es la Hornablenda que se encuentra en las anfíbolitas de Vilalba (Lugo) y en la sierra de Guadarrama (Madrid).

Los Anfíboles y Piroxenos se encuentran en las rocas ígneas básicas intrusivas, como la diorita (25 a 50 % de Mg) y el gabro (35 a 65 % de Mg) y en sus equivalentes efusivas o volcánicas, como la andesita y el basalto. El contenido total en magnesio de esas rocas tiene un valor medio de 2,5 % en las primeras y de 4,6 % en las segundas.

Las Piroxenitas son rocas ígneas ultrabásicas, que tienen más de un 60 % de Piroxeno y el resto es Olivino y las Anfíbolitas son rocas metamórficas rocas en Hornablenda, que proceden de rocas ígneas como el gabro o el basalto. Los dos tipos de rocas se suelen encontrar en las localidades próximas a los afloramientos de las Piroxenitas, Serpentinitas, gabros y dunitas y en las coladas volcánicas básicas del Cabo de Gata y Níjar (Almería), Puertollano (Ciudad Real) y Palafrugell (Girona).

Entre los minerales magnesianos silicatados de estructura hojosa es muy importante el Talco (19,02 % de Mg), que forma a veces grandes yacimientos explotables, incluso a cielo abierto, como el de Lillo (León) y también se extrajo en Massanet dels

Cabrenys y la Bajol (Girona). Se trata de calizas dolomíticas metamorfizadas regionalmente en el primer caso y por contacto con rocas intrusivas graníticas en el segundo.

En la misma subclase de los filosilicatos está la mica ferro-magnesiana o Biotita (14,4 % de Mg), muy abundante en casi todas las rocas plutónicas, tanto ácidas como básicas y en las metamórficas, especialmente en los granitos de Viveiro (Lugo) y neises de Pontevedra y Vigo, y en la Sierra de Béjar (Salamanca). Otra mica es la potásico-magnesiana o Flogopita (18 % de Mg), se encuentra en el neis de Santiago de Compostela y en algunas calizas metamorfizadas que se encuentran en la Sierra de Guadarrama (Madrid) y de Aracena (Huelva).

Las Cloritas, también filosilicatos, son micas ferromagnesianas entre las que destacan la Antigorita, la Pennina y el Clinocloro. Todas ellas son productos de alteración de la Serpentina y aparecen en las pizarras talcosas como las de O Barco de Valdeorras (Ourense).

Dentro de los filosilicatos están los minerales arcillosos, que son alumino-silicatos hidratados cristalinos, en los que puede haber sustitución parcial o total del aluminio por magnesio. Estos forman la mayor proporción de los sedimentos cuyo tamaño de partícula es inferior a 2 micras; por lo que suelen encontrarse en los suelos, productos de la meteorización química de las rocas ricas en silicatos. En ese proceso los silicatos ricos en sílice y álcalis (Olivino, Anfíboles, Piroxenos, Micas y otros) van perdiendo estos compuestos que se solubilizan, quedando un residuo muy poco soluble de hidróxido de aluminio (Gibbsita) o hierro (Goethita), pero pasando antes por productos intermedios arcillosos, como Illita, Vermiculita, Montmorillonita, Clorita, Paligorskita y Sepiolita. todos estos últimos son minerales arcillosos magnesianos y forman una parte importante de los componentes del suelo. Las arcillas además de retener el agua que luego pueden suministrar a las plantas por sus raíces, aportan también magnesio, potasio y otros elementos necesarios para su normal desarrollo.

También los granates son un grupo de minerales silicatados, entre los que se encuentra el denominado Piropo (18,5 % de Mg), que es un alumino-silicato de magnesio y suele estar incluido en las rocas serpentínicas. Está citado en la Sierra de Segura (Jaén).

## **EL MAGNESIO EN LAS AGUAS MINERALES**

Los minerales de magnesio se disocian iónicamente en el agua con cierta facilidad, especialmente los cloruros y sulfatos. Los carbonatos son solubles en medio ácido, dependiendo de su contenido en anhídrido carbónico y en el pH. El hidróxido de magnesio es muy poco soluble en el agua.

Algunas de las sales dobles de cloruros y sulfatos magnesianos están asociadas a varias moléculas de agua, que les da la propiedad de ser sustancias muy higroscópicas. Este carácter de solubilidad tiene una gran importancia en sus aplicaciones agronómicas, ya que son compuestos muy lixiviables y, por lo tanto, fácilmente similares por los vegetales.

Los carbonatos reaccionan, en el proceso de meteorización química de carbonatación, con el anhídrido carbónico del aire y más aún con el procedente de la materia

orgánica en putrefacción del suelo, produciéndose el bicarbonato magnésico que es soluble y pasando los dos iones a formar parte de las aguas superficiales y subterráneas. En esta reacción de disolución, también interviene en la solubilidad la presión a la que se encuentra el anhídrido carbónico, aumentando con ella, y pudiendo variar dentro de los límites en los que se puede encontrar el agua subterránea en la naturaleza, entre 90 y 480 mg/l para la Dolomita.

La disolución de un macizo calcáreo o karstificación se realiza, igualmente que en el proceso de dolomitización, a favor de las fracturas mayores y de los planos de estratificación, pues son los espacios huecos que tienen mayor conductividad hidráulica.

La Magnesita es casi dos veces más soluble que la Calcita; por esta razón las aguas que atraviesan capas calcáreas con Magnesita tienen un mayor contenido en magnesio que en calcio; sin embargo la solubilidad de la Dolomita es algo menor y más lenta que la de la Calcita.

La disolución de la Dolomita puede realizarse de dos formas diferentes, una en las que los productos de la reacción son todas especies disueltas (solución congruente) y otra en la que se queda en estado sólido el carbonato cálcico y disuelto el magnesio y parte del carbónico (solución incongruente).

La relación entre el magnesio y el calcio en las aguas continentales varía entre 0,3 y 1,5, siendo a partir de 1 indicador de la presencia de dolomías o peridotitas. Cuando existe además un alto contenido en cloruros suele ser debido a la mezcla con agua del mar por intrusión marina, donde se realiza una gran extracción de agua dulce subterránea en los pozos de las zonas costeras.

Las aguas continentales tienen un contenido en magnesio que varía entre 1 mg/l y 40 mg/l, cuando son bicarbonatadas, pudiendo llegar a 600 mg/l ó incluso más en el caso de aguas sulfatadas-cloruradas. En las cuencas fluviales españolas los valores medios de contenido en magnesio varían entre 76 mg/l en la del Segura y 2,7 mg/l en la del Norte.

Las aguas minerales naturales que tienen las concentraciones más altas de magnesio son: entre las sulfatadas con 68,8 mg/l, Font del Pi (Guissona-Lleida), 46,67 mg/l, Marmolejo (Jaén), 40,8 mg/l Fonjaraba (Zaragoza), 38 mg/l Peñaclara (Logroño), 35,5 mg/l Sellarín (La Malvarrosa-Valencia) y entre las bicarbonatadas con 34,5 mg/l Cardó (Benifallet-Tarragona) y 30 mg/l (Solán de Cabras (Cuenca), teniendo las que surgen en Magnesitas de Rubián (Lugo), 32 mg/l. Las primeras tienen efectos laxantes y las segundas diuréticos.

Las aguas meteóricas que alcanzan en su recorrido subterráneo los niveles ricos en minerales magnesianos de origen evaporítico, llegan a disolver grandes cantidades de los mismos, debido a su alta solubilidad. La concentración en magnesio de estas aguas depende de la profundidad alcanzada, puesto que sus solubilidad aumenta a medida que lo hace su temperatura, es decir, al descender a mayor profundidad.

En el agua del mar el ión magnesio es el segundo catión (1.350 ppm) más abundante después del sodio (10.550 ppm), estando en mayor proporción que el calcio (410

ppm). Este último precipita más fácilmente en forma de Calcita, debido a su asimilación por las plantas o animales o de Yeso, por evaporación. Sin embargo, el magnesio es el último en precipitar en forma de cloruro, sulfato o carbonato en el proceso de formación de las rocas evaporíticas de ambiente marino restringido.

Otro aporte de magnesio notable lo dan los minerales silicatados, principalmente el Olivino, que en el proceso de meteorización química de hidrólisis se descompone pudiendo llegar a solubilizarse casi totalmente, aportando iones magnésicos, hidrogeniones y ácido ortosilícico; pero quedando el hierro en forma de Goethita (oxi-hidróxido de hierro). En otros casos cede todos los iones magnésicos, pero se forma un mineral secundario que es la serpentina al captar el ácido silícico parte de aquellos, apareciendo otras veces carbonatos o arcillas magnesianas.

Es precisamente el Olivino el mineral silicatado, que se altera más fácilmente; por lo que figura el primero de la secuencia de meteorización de los minerales constituyentes de las rocas ígneas o Serie de Goldich, en la que le siguen los Piroxenos y Anfíboles, después la Biotita, seguido del feldespato potásico u Ortosa, la mica Moscovita y finalmente el Cuarzo. Esta serie es la misma secuencia de cristalización de un magma o Serie de Bowen, es decir, que el Olivino es el primero que se forma al enfriarse una masa de silicatos fundad o magma, y el cuarzo el último y, por lo tanto son menos o más estables, cuando cambian de ambiente y se encuentran bajo los efectos de la meteorización.

También, es muy alterable la Biotita, que se transforma en Clorita, Hematites, carbonatos de potasio y magnesio, cuarzo y silicato aluminico. Igualmente lo son los Piroxenos y Anfíboles, que se descomponen por carbonatación en bicarbonatos de magnesio, calcio y hierro y ácido metasilícico, todo ellos productos solubles.

Los iones del magnesio tienen una gran movilidad en todos los medios acuosos, tanto con ambientes reductores como oxidantes y en condiciones de acidez o alcalinidad.

La dureza es una propiedad de las aguas que tienen importantes concentraciones de iones de magnesio y calcio, por lo que los jabones que tienen iones sodio y potasio al reaccionar con esas aguas no forman espumas, impidiendo su capacidad de limpieza, produciéndose un precipitado de sales magnesianas y cálcicas. Además, esas aguas no cuecen bien las legumbres y al hervir depositan costras en los recipientes, pudiendo taponar las tuberías de una caldera; sin embargo, las aguas duras tienen efectos beneficiosos al coprecipitar elementos trazas tóxicos, como: cadmio, zinc, plomo, cobre, etc., que pueden ingerirse en los alimentos.

Por las razones anteriormente mencionadas tiene un gran interés en la industria, conocer la concentración en magnesio y calcio de las aguas utilizadas en los circuitos de vapor o de agua caliente y en el caso que sea excesiva su dureza se recurre a su ablandamiento. Este proceso se realiza precipitando el magnesio en forma de hidróxido, añadiéndole cal, carbonato o hidróxido sódico.

También, se puede eliminar del agua el magnesio por medio de intercambio iónico de magnesio por sodio utilizando minerales como las ceolitas sódicas, que son silicatos hidratados de aluminio con sodio, sustituible por magnesio. Entre ellas está

la Natrolita que se encuentra en las andesitas del Cabo de Gata (Almería) y en los basaltos de La Mancha (Ciudad Real). De la misma manera se utilizan resinas artificiales o permutitas.

El análisis del magnesio contenido en las aguas se puede realizar por diversos métodos, pero los más usuales son: el método gravimétrico, en el que después de eliminar el calcio, se precipita el magnesio con fosfato amónico; y el colorimétrico utilizando amarillo de tiazol en presencia de almidón y por absorción atómica.

El contenido en sales magnesianas se expresa de dos formas, como:

- Grado Hidrométrico Magnésico Total, referido a todas sus sales.
- Grado Hidrométrico Magnésico Permanente, referido sólo a los sulfatos y cloruros.

## EL MAGNESIO EN LOS SUELOS

El Suelo es una acumulación no consolidada de materiales inorgánicos (minerales) procedentes de la alteración de las rocas en la superficie terrestre por los agentes meteorizantes y de materia orgánica (humus) resultante de la descomposición de los restos de vegetales y animales, que se encuentran sobre el horizonte mineral.

Por las razones anteriores los suelos pueden contener compuestos de magnesio resultantes de la disgregación, descomposición, disolución o precipitación de minerales magnesianos, de los vegetales verdes e incluso de los residuos animales. En el suelo no sólo se depositan esos materiales secundarios, sino que en él tienen lugar muchos y variados procesos físicos, químicos y biológicos, que también movilizan el ión magnesio.

Los suelos ricos en magnesio lo son también en calcio y proceden de la meteorización de rocas carbonatadas. Los suelos calcimagnésicos o carbonatados se agrupan en humíferos, muy humíferos y empardecidos.

Dentro del primer grupo están los denominados Rendsinas humíferas, que tienen un perfil tipo AC o AR, en los que el horizonte superior A es muy rico en humus, hasta un 15 % de materia orgánica, de color pardo-oscuro y el inferior C ó R con la roca madre poco alterada de color amarillo o gris. Este tipo de suelo intrazonal se desarrolla en las zonas semiáridas o húmedas. Las arcillas que tienen son heredadas, procediendo de las mismas dolomías que la contienen como impureza; por lo tanto son residuales y están compuestas, principalmente, por Montmorillonita, Vermiculita y Clorita.

Además, en ese mismo grupo se distinguen otros suelos, según su proporción de humus respecto a la caliza, color y la existencia de otras rocas. Entre ellos están las Rendsinas dolomíticas, lógicamente producto de alteración de dolomías, en los que se aprecia una textura arenosa.

Los suelos arenosos, ácidos o ligeros son deficitarios en magnesio y lo mismo sucede en los que se realizan cultivos intensos, por lo que en esos casos y generalmente

en cualquier terreno es necesario en mayor o menor proporción abonarlos con un compuesto magnesiano.

## EL MAGNESIO EN LOS VEGETALES

El Magnesio es uno de los seis macroelementos necesarios para el crecimiento de las plantas, las cuales lo utilizan para formar parte de la clorofila.

La clorofila es un pigmento verde que actúa en la función de asimilación del dióxido de carbono del aire, bajo la luz diurna, fijando el carbono y desprendiendo el oxígeno. la ceniza de esta sustancia tiene un contenido en magnesio del 2,71 %; pero el Magnesio no sólo se encuentra en la clorofila en las partes verdes de las plantas, sino que interviene en la formación de la savia y de los complejos orgánicos que favorecen la respiración y la mutiplicación celular. También, el Magnesio es esencial en la asimilación del fósforo. Las partes más ricas en magnesio de los vegetales son los frutos, las semillas y los cereales, principalmente su envoltura, por ello el pan integral es mucho más rico en magnesio que el pan blanco.

Además el magnesio aumenta la resistencia de las plantas a los agentes atmosféricos extremos (heladas y sequías) y a los agentes criptogámicos.

Entre los elementos vegetales que tienen más cantidad de magnesio se pueden citar:

<i>ALIMENTO</i>	<i>MAGNESIO</i> <i>(en miligramos/100 gramos de alimento)</i>
Cacao en polvo	400
Almendras	250
Lechuga	10
Judías blancas secas	150
Pan integral	150
Copos de avena	135
Nueces	135
Arroz integral	120
Arroz blanco	29
Lentejas, higos, dátiles	80
Chocolate	107
Orejones de albaricoque	70
Espinacas	55
Pan blanco	30
Guisantes	30
Pomelo	10

La escasez de magnesio en un suelo provoca en los vegetales el amarilleamiento de sus hojas o clorosis, secándose y cayendo prematuramente. Sin embargo, este proceso de clorosis, no sólo se produce en ese caso, sino que también aparece cuando existen carencias de hierro o de manganeso; pues estos dos oligoelementos intervienen en la síntesis de la clorofila. Además la falta de azufre, fósforo y potasio, también se muestran con unos efectos similares, por lo que en todos esos casos es necesario efectuar el análisis químico de las hojas.

Además la carencia de magnesio causa en las plantas un escaso desarrollo de sus frutos y una maduración tardía.

La liberación del magnesio de los terrenos va a un ritmo que depende, fundamentalmente, de la acción de los agentes físico-químicos de la atmósfera; pero está sucediendo que, con el abonado mineral, se ha aumentado la producción de los suelos y se está haciendo unas extracciones de magnesio en los terrenos que la meteorización de los minerales ricos en ese elemento no pueden reponer.

Este aumento en los rendimientos del suelo se logra con el abonado químico que lleva los nutrientes que las cosechas extraen en mayor cantidad, en sustitución del abonado orgánico tradicional. Pues con estas últimas prácticas aumenta el desequilibrio, ya que no se están poniendo todos los elementos que toman las plantas en cantidades óptimas para las mismas y como consecuencia para los animales y humanos que se alimentan de ellas.

Actualmente los agricultores utilizan fertilizantes fosfatados, nitrogenados y potásicos, añadiendo además calcio, y, últimamente magnesio; pero hay que tener en cuenta las interacciones o antagonismos entre estos elementos, que se adicionan al suelo cuando se abona. Así sucede cuando se produce un exceso de potasio y en grado menor de calcio, que dificultan la asimilación de magnesio. Una aportación de 2 a 3 veces más de potasio que de magnesio puede impedir la asimilación de éste último. Este fenómeno se debe a que el potencial iónico del magnesio (2,56) es mayor que el del potasio (0,75) y el del calcio (1,89).

En resumen, el magnesio es un elemento necesario en toda clase de cultivos, por lo que su aplicación como abono, es necesaria para mejorar las cosechas, tanto en calidad como en cantidad.

## LOS FERTILIZANTES MAGNESIANOS

El abono magnesiano suele ser una magnesita calcinada o Magal, que por su alta concentración en este elemento y por su acción duradera, debido a su lenta y gradual solubilidad, permite que sea absorbido por las raíces de las plantas y que no se pierda fácilmente por las escorrentías de las aguas de lluvia.

La magnesita extraída en la mina debe tener un mínimo de carbonato de magnesio del 90 %, para que una vez calcinada a temperaturas de 900 °C se obtenga un producto comercial con un contenido en óxido de magnesio superior al 85 %.

Este producto se utiliza; en agricultura como aportador de magnesio a los cultivos y también como corrector de suelos; en ganadería como complemento magnésico a la

dieta alimenticia del ganado lechero, ya que aumenta sensiblemente su producción en leche; en medio-ambiente como neutralizador de los efluentes ácidos, procedentes de escombreras o desagües de las minas de sulfuros metálicos, de carbón o de algunas industrias químicas; finalmente también tiene aplicación en la industria farmacéutica, vidrio, química, paneles ignífugos, etc.

## EL MAGNESIO EN LOS SERES HUMANOS

Una persona adulta puede tener de 20 a 20 gramos de magnesio en su cuerpo.

La mayor parte de este magnesio, el 99 % se encuentra en el interior celular, siendo por ello el magnesio junto con el potasio los cationes intracelulares:

- El 60 % se encuentra en el tejido óseo.
- El 26 % está contenido en los músculos, tejido nervioso y vísceras.
- El 14 % restante se halla en el plasma líquido cefaloraquídeo y secreciones digestivas.

## ABSORCIÓN, METABOLISMO Y EXCRECIÓN

La ingestión del magnesio es muy variable y puede oscilar entre 200 a 500 mg diarios.

El magnesio aportado por los alimentos es absorbido a nivel del intestino. Esta absorción es bastante incompleta y representa sólo alrededor de 1/3 del magnesio que se toma. Asimismo, se ve disminuida por un exceso de fosfato y de calcio en la alimentación y por un régimen preponderantemente alcalino. Hay que tener en cuenta, también, que el magnesio contenido en las verduras (procedente de la clorofila) se pierde entre un 30 y 80 % al hervirlas durante largo tiempo.

La absorción de este alimento está influenciada por una serie de causas: por la forma en que está presente, por la cantidad existente de magnesio y por la presencia en los alimentos de factores que dificultan la absorción eficaz de los alimentos, ejemplo el alcohol.

Del magnesio ingerido, por lo menos un 50 % se expulsa al evacuar. También se elimina magnesio en la orina. La pérdida sudoral no es importante en las regiones templadas, pero puede aumentar en ciertas condiciones: fiebre, esfuerzos prolongados, etc.

La regulación de la concentración plasmática del magnesio se realiza por mecanismos de mayor o menor reabsorción tubular del catión. Sin embargo, los niveles corporales del magnesio dependen también de la intensidad de absorción intestinal del catión, la cual a su vez puede ser modulada por las cantidades de fósforo, calcio y lactosa presentes en la dieta.

## PAPEL DEL MAGNESIO

El magnesio interviene en todas las síntesis biológicas, pues está formando parte de las moléculas de alta energía. También interviene en el llamado transporte activo a través de la membrana y, por lo tanto, actúa en:

- Síntesis protéica, con lo cual tiene importancia de primer orden, en la respuesta inmune del organismo, en la formación de anticuerpos, en la reposición de cartílagos y en la formación de proteínas que mantienen la viscosidad del líquido sinovial.
- Contracción muscular.
- En la transmisión de la corriente nerviosa.
- En el paso de ciertas sustancias al interior celular.
- Es cofactor de numerosos sistemas enzimáticos.
- Regula el equilibrio ácido-base.
- Actúa sobre los nervios, frenando la acción del sistema simpático, debido a lo cual, por ejemplo, el magnesio tiene un papel antiestrés.
- Interviene en la respiración celular.
- En forma de fosfato y asociado al calcio entra a formar parte de huesos y dientes.
- Posee, además, un empleo terapéutico en la enfermedad cardíaca isquémica congestiva.

Las fuentes principales de magnesio son: vegetales verdes, pero, principalmente, frutos, semillas y cereales, según se cita en el cuadro del apartado 4, donde se muestra el contenido en magnesio de algunos alimentos.

## RECOMENDACIONES DIETÉTICAS

Adultos: mujeres .....	280 mg/día
hombres .....	350 mg/día
Embarazo .....	320 mg/día
Lactancia .....	350 mg/día
Lactantes .....	40-60 mg/día

Las situaciones que provocan un aumento del requerimiento del magnesio son:

- Consumo elevado de proteínas.
- Consumo elevado de calcio y vitamina D.

- Consumo elevado de alcohol.
- Estrés físico y psicológico.

## **PATOLOGÍAS RELACIONADAS**

### *POR DEFICIT*

- Anorexia.
- Fallo del crecimiento (fallo de síntesis de proteínas y ácidos nucleicos).
- Astenia.
- Irritabilidad nerviosa, taquicardia.
- Alteraciones en el electrocardiograma.
- Problemas relacionados con el esqueleto: descalcificaciones del esqueleto, artrosis.
- En relación a los pulmones: respiración dificultosa de apariencia asmática y también ciertos tipos de asma bronquial.
- Trastornos digestivos: hipertonía gástrica, intestinal o biliar, formación de gases en el estómago, meteorismo, colitis espasmódica o estreñimiento crónico.
- Diversas afecciones atribuidas a la vejez, como son: hipertrofia prostática, impotencia, arterioesclerosis, hipertensión arterial e insuficiencia cardíaca.
- Fragilidad de las uñas que tienden a exfoliarse.
- Fragilidad y caídas anormales del cabello.
- Problema de caries dentales y de formación del esmalte, encías transparentes.

### *POR EXCESO*

Los excesos de magnesio son muy raros y se producen sólo cuando se da una enfermedad renal grave con fallo en el sistema de eliminación y también con el abuso de antiácidos y purgantes que contengan magnesio. La gravedad de los síntomas se correlacionan con la intensidad de las alteraciones que se presentan, como son: disminución de reflejos, debilidad muscular e hipertensión arterial.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARMIJO VALENZUELA, M. y SAN MARTÍN BACAICOA, J. «Curas Balnearias y Climatológicas». - Editorial Complutense, 1994. Madrid.
- BERTRAND, D. «Le Magnésium et al Vie». - P.U.F., 1967. París.
- BESOAIN, E. «Mineralogía de arcillas de suelos». - Ed. I.I.C.A., 1985. Costa Rica.
- CATALÁN LAFUENTE, J. «Química del Agua». - 1981. Madrid.
- DAVIS, S.N. y DE WIEST, R.J. «Hidrogeología». Edit. Ariel. 1971. Barcelona.
- DUCHAUFOR, Ph. «Manual de Edafología». - Masson. 1987. Barcelona.
- GILL, R. «Chemical Fundamentals of Geology». - Unwin Hyman. 1989. U.K.
- HEMM, J.D. «Study and interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water». - U.S.G.S. 1989. U.S.A.
- KRAUSKOPF, K.B. «Introduction to Geochemistry». McGraw-Hill. 1967. USA.
- LAJUSTICIA BERGASA, Ana María. «El Magnesio». Plaza & Janés. 1979. Barcelona.
- MAGNESITAS DE RUBIÁN, S.A. «Información Técnica de Fertilizantes». Sarria (Lugo).
- MARTÍNEZ STRONG, P., PEREZ MATEOS, J. y GARCÍA BAYÓN-CAMPOMANES, P. «Mineralogía Descriptiva». Tomos I y II. - C.S.I.C. 1973 - Madrid.
- MACHADO ALIQUÉ, M., RAMÍREZ MASFERRER, J.A. y VALDÉS LOZANO, A. «La Mina de Magnesitas de Rubián». - E.T.S. de Ingenieros de Minas. 1991. Madrid.
- RANKAMA, K. y SAHAMA, Th. G. «Geoquímica». - Aguilar. 1962. Madrid.
- RAMÍREZ ORTEGA, A., YACIMIENTOS POTÁSICOS, págs, 645 a 672 de YACIMIENTOS MINERALES. De LUNAR, C. y OYARZUN, R. et al. Fundación Ramón Areces, 1990. Madrid.
- RAMÍREZ ORTEGA, A.; RIAL LEMOS, M.E., RAMÍREZ MASFERRER, J.A. «Las Aguas Minerales, sus orígenes y aplicaciones». - Revista nº 9 de la Asociación Nacional de Balnearios. 1997. Madrid.
- RAMÍREZ ORTEGA, A.; RIAL LEMOS, M.E.; RAMÍREZ MASFERRER, J.A. «La riqueza mineral de las aguas gallegas». - Revistas núms. 4 y 5 de la Asociación de Balnearios de Galicia. 1997. Santiago de Compostela.
- RODIER, J. «Análisis de las aguas». - Omega. 1981. Barcelona