

INYECCIÓN DE YESO EN SISTEMAS DE RIEGO

Oscar Reckmann A.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.
oreckmann@inia.cl

INIA La plataña

El uso de sulfato de calcio (yeso crudo o yeso) como enmienda o fertilizante, se ha extendido en forma importante en nuestro país. Factores como su menor precio, su origen natural apropiado para un manejo orgánico y su versatilidad —es decir, la capacidad de cumplir funciones de fertilizante, enmienda, estructurador de suelos, fuente de iones para el intercambio catiónico, entre otras funciones— han sido determinantes en su masificación.

La práctica generalizada para su aplicación es en cobertera sobre la superficie del suelo, en forma manual o con maquinaria. Sin embargo, una novedad es su entrega directamente a través del sistema de riego, lo cual permite aumentar la eficiencia del proceso, esencialmente porque mejora su distribución en profundidad en el perfil de suelo. En lugares donde dicha modalidad es habitual, como California y Florida, en Estados Unidos, se agrega a un estanque una dosis de yeso que permita su buena disolución mediante agitación mecánica, y su posterior incorporación al sistema de riego por medio de bomba inyectora, pasando por un filtro. Esto, que parece simple, involucra una serie de desafíos. Antes de analizar las consideraciones a tener en cuenta al momento de realizar la inyección del sulfato de calcio en la red de riego, resulta necesario mencionar algunos funda-



Ag Solution Master, de Soil Solution Company.

mentos y aspectos básicos en el uso del producto.

Características a tener en cuenta

En la naturaleza, el sulfato de calcio es una roca sedimentaria incolora o blanca en estado puro. En su forma cristalina, tiene una molécula de sulfato de calcio por dos de agua (sulfato de calcio dihidratado $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). La proporción de sus componentes es de 20 a 23% de calcio y 16 a 18% de sulfato. Sus partículas presentan una solubilidad de 2,5 a 2,7 gramos por litro (g/l) y una densidad de 2,3 toneladas por metro cúbico (t/m^3).

El yeso se encuentra naturalmente en sedimentos de evaporación que se acumularon en cuencas marinas. Es extraído de canteras donde se obtienen piedras de hasta de 50 cm de diá-



Fertigator Application, de Diamond-K Gypsum.

metro. Luego el material se somete a una primera trituración, que reduce las piedras a un tamaño menor que 10 cm. Posteriormente pasa por un proceso de molienda y cribado en el que se logran distintos diámetros de partícula, según el uso y aplica-

ción deseada. La distribución del tamaño de partículas o "granulometría" es un factor importante en relación a las propiedades del producto, y resulta especialmente crítico cuando se aplica en inyección a través del sistema de fertirriego. De acuerdo a su



Chemigation Systems, de Agri-Inject.

granulometría, el yeso puede presentarse en forma de sólido, granulado, pelletizado o en polvo. En el cuadro 1 se indican los tipos de granulometrías utilizados comúnmente para uso agrícola.

Claramente la baja solubilidad y la alta densidad del yeso son aspectos cruciales a considerar en el momento de introducirlo a un sistema de inyección de fertilizantes. Hay que considerar además el comportamiento de las partículas de yeso en solución según su granulometría, pues de ello depende una aplicación eficiente del producto, evitando riesgos de obturación en el sistema de riego. Aquellas partículas de yeso no disueltas y en suspensión tenderán a precipitar, producto de su mayor densidad.

El mecanismo que resuelve este problema es la agitación mecánica para impedir el depósito de partículas en el fondo del estanque. La dificultad descrita se modifica al disminuir el diámetro y aumentar la concentración de partículas en la solución.

Cuando se mezcla yeso de granulometría equivalente a malla bajo 170 (0,088 mm) y concentraciones altas, el comportamiento de las partículas en su conjunto influye significativamente en la velocidad de sedimentación. En una suspensión como la que se prepara con yeso y agua en un estanque de fertilizantes, la interacción de las partículas sumergidas simultánea-

mente produce un aumento relativo de la magnitud de las fuerzas hidrodinámicas, osmóticas y electroquímicas. Tales fuerzas reducen la velocidad de sedimentación si se compara con la de una partícula única de igual

diámetro. Al existir un mayor número de micropartículas en suspensión, su pequeño tamaño hace que la superficie en contacto con el fluido o electrolito aumente, lo que implica que las fuerzas electroestáticas se acrecienten, generando un incremento de las fuerzas de repulsión entre partículas adyacentes y, con ello, la formación de una red dinámica de micropartículas que impide su sedimentación individual y como conjunto. Esta dinámica de la sedimentación debe ser tomada en cuenta en la medida que se trabaja con yeso fino y ultra fino, pues induce a tener menores problemas de sedimentación y menores riesgos de obturación en el equipo de riego. Cabe mencionar que en partículas cuyos diámetros son superior-

es a 0,01 mm el efecto de estas fuerzas es insignificante y no se verifican reducciones en la velocidad de sedimentación.

Desafíos de la aplicación en riego

La problemática que implica la aplicación en sistemas de riego localizado fundamentalmente se concentra en el riesgo de obturación y taponamiento en distintos puntos de la red.

Una causal inmediata del problema se produce cuando se agrega más sulfato del que es capaz de diluir el sistema, o cuando no se espera el tiempo suficiente entre la preparación de la dilución y la inyección al sistema de riego. Estos inconvenientes se resuelven preparando

Cuadro 1. Granulometría comúnmente utilizada en yeso para uso agrícola.

Apertura de tamiz MESH	mm	Lo que pasa la malla (g/100)	Lo que quedaretenido (g/100)	Denominación
80	0,177	99,99	0,01	Fino
100	0,149	99	1	Fino
200	0,074	98	2	Superfino



Equipo de inyección de yeso, Pulverizadores Parada S.A.

una dilución apropiada, agitando lo suficiente y en el tiempo necesario. La mezcla sulfato-agua en el tanque de fertirrigación debe permanecer hasta alcanzar una buena mezcla, donde se pueda observar homogeneidad en color (lechada), y finalmente introducir la solución en la red de riego con la mezcla en el estanque en permanente agitación. La inyección a la red debe ocurrir en un punto previo al sistema de filtración, con el fin de evitar riesgos de obturación.

Un segundo desafío se relaciona con toda aquella partícula de sulfato no disuelta de diámetros inferiores a la malla del filtro, que, al ingresar a la red y en aquellas zonas donde la velocidad del flujo se hace menor, tiende a precipitar debido a su mayor densidad. Esto puede ocurrir especialmente en secciones de tuberías de longitudes superiores a 40 m y en los emisores de riego (goteros, microaspersores), dependiendo del diámetro y geometría de su conducto. El problema se debe abordar mediante una práctica permanente de limpieza de la red de tuberías.

El fenómeno más común asociado a la obturación por sulfato de calcio es la formación de cristales de carbonato de calcio, lo que comúnmente se conoce como "sarro". Ocurre cuando se combina el ión calcio proveniente del sulfato con iones carbonatos existentes en el agua de riego en niveles importantes (100 mg/l). Aguas con pH 7 ó mayores, con un alto nivel de alcalinidad, en presencia de calcio forman carbonato de calcio, el cual precipita. Cuando las condiciones para la preparación de la mezcla de agua y sulfato de calcio evidencian una inminente formación de carbonato de cal y precipitados (lo cual se puede verificar mediante un análisis químico del agua) se aconseja recurrir a aplicaciones directas al suelo, evitando el riesgo de obstruir la línea de riego.



FY-1000 TC, de Materiales Hidráulicos S.A.

Una situación muy recurrente, sobre todo en las zonas más áridas (Región de Valparaíso al norte, y áreas de secano en la zona central), es la presencia de incrustaciones de carbonato de calcio en los emisores de riego. Se producen al concentrarse el nivel de carbonatos en el agua que queda en la cámara del emisor, como consecuencia de la evaporación. Los carbonatos concentrados, en presencia de calcio, superan el punto de solubilidad y forman los precipitados. Aumentar el nivel de calcio en la red a través de la aplicación de sulfato de calcio agrava el problema. La solución se logra con aplicaciones de ácido sulfúrico en la red de riego. El ácido se disocia, liberando azufre elemental y protones H+. Estos últimos reaccionan con el carbonato de calcio para formar anhídrido carbónico, agua y iones calcio.

Ya se ha establecido que aguas con pH sobre 7, alcalinas, con importantes niveles de carbonatos en presencia de sulfato

de calcio o yeso, generan precipitados que obturan el sistema. Para utilizar el yeso y evitar la obturación en la red de riego es necesario aumentar el nivel de acidez en el agua y disminuir el nivel de carbonatos, lo que se logra acidificando el agua antes de la adición del sulfato de calcio. Para lograr dicho objetivo de una manera eficiente, es necesario analizar una muestra de agua y yeso en un laboratorio, donde se indicará las cantidades de ácido y yeso que se pueden agregar sin que se provoquen precipitados.

Las consideraciones mencionadas han servido de base para desarrollar equipos de inyección de yeso en sistemas de riego tecnificado.

Equipos de inyección de yeso

La inyección del yeso en la red de riego ha generado un esfuerzo en investigación y un desarrollo tecnológico en distintas partes del mundo, que ha signifi-

cado la creación de una serie de equipos y modelos de inyección.

A fines de la década del 80, en Estados Unidos surgen los primeros esfuerzos que permiten patentar un equipo de inyección de yeso, utilizado hasta el día de hoy. Durante este tiempo dicho equipo ha sufrido una serie de variaciones tecnológicas. Nuevos modelos le han dado mayor versatilidad en su uso (ver fotos), siendo usado incluso en la inyección de diversos fertilizantes. De tal manera, comercialmente existen modelos como Ag Solution Master, de la empresa Soil Solution Company, en California; Chemigation Systems, de la empresa Agri-Inject, Inc. en Colorado; Fertigator Application, de la empresa Diamond-K Gypsum, Inc., entre otros.

En Chile existen dos fabricantes de equipos de inyección de yeso: Pulverizadores Parada y la empresa Materiales Hidráulicos, con sus modelos FY en diversas capacidades y tipo de estanque.

En Estados Unidos en 1989 se registra la primera patente

Figura 1. Sistema de disolución de yeso. Figura adaptada por el autor de: United States Patents, patente N° 4820853.

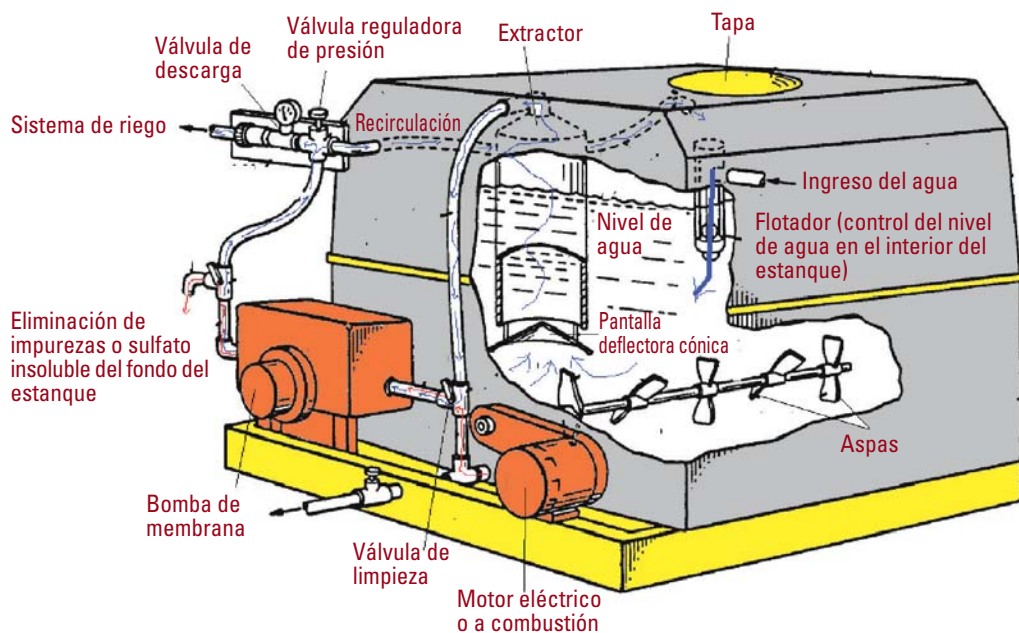
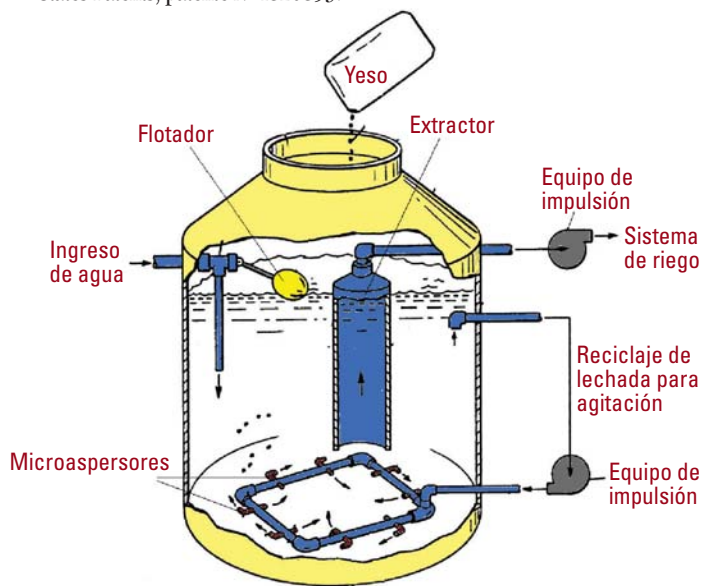


Figura 2. Sistema de inyección de yeso. Figura adaptada por el autor de: United States Patents, patente N° 4820853.



correspondiente a un equipo inyector de yeso, descrito con el nombre "Sistema de disolución de yeso" y el N°4820853, cuyo inventor es Jerry B. Rivers. Este equipo es la base en el desarrollo de una serie de modelos creados con posterioridad. A continuación se describen sus piezas y partes, como también su modo de operación. Su diseño se basó en la aplicación de yeso con material de granulometría bajo malla 100, que correspondía al tamaño de partículas disponibles de par-

te de los proveedores de yeso en esa época.

Piezas, partes y funcionamiento

El equipo está compuesto por un estanque cerrado herméticamente, en cuyo interior se encuentra dispuesto un agitador con aspas, que permite mezclar el yeso con el agua, generando una suspensión. En el equipo existe una red de tuberías de conducción que permiten el in-

greso de agua al estanque para preparar la mezcla, extraer el yeso en suspensión y formar la lechada, e inyectarla a la red del sistema de riego. Cuenta además, con una red de válvulas de retorno y de drenaje (figura 1).

El agua ingresa a través de una válvula ubicada al costado, arriba, del estanque. En el interior, el agua se mantiene en un nivel constante a través de un flotador y válvula. Esta última permite el ingreso de más agua para mantener el nivel, en la medida que se extrae la solución con sulfato desde el estanque. El yeso se incorpora a través de una ventana existente en la parte superior del equipo. La mezcla es agitada por una serie de aspas dispuesta en forma alternada sobre un eje, todo en acero inoxidable, y cuyo giro está controlado por un motor exterior. El mismo motor permite la operación de una bomba que impulsa la solución de yeso desde el estanque hacia la red de riego, pasando a través de un extractor, el cual corresponde a una pieza cilíndrica unida en su extremo superior a la tubería de succión conectada a la bomba. Desde el extremo inferior del cilindro o boca del extractor, ingresa la mezcla. Este dispositivo po-

see un diseño que le permite asegurar que la mezcla que sale del estanque hacia la red de riego sea suficientemente homogénea y con una concentración correcta. La solución pasa por un sistema de filtrado que retiene cualquier posible impureza existente en el estanque o en la propia solución impulsada, para luego ser inyectada al sistema de riego con la presión necesaria para su distribución.

Una opción más simple

Con la misma patente se diseñó un equipo de inyección de mayor simplicidad. Consiste en un estanque de PVC, desde donde se impulsa la solución de yeso hacia la red mediante un equipo de bombeo (figura 2).

Al igual que el equipo descrito anteriormente, cuenta con un extractor conectado a la succión de la bomba, y un flotador para mantener el nivel de agua en el interior del estanque. En este caso la agitación de la mezcla se basa en la energía hidráulica, utilizando el agua del estanque que es impulsada y recirculada mediante un equipo de bombeo adicional. La tubería de descarga está conectada a la base del estanque, y conforma una pequeña red cerrada de tuberías, sobre la cual se disponen microaspersores de alta presión en forma regular. El grupo de micropaspersores en operación genera un flujo turbulento y homogéneo en la base del estanque, provocando una agitación continua, lo cual permite la disolución y homogenización de la mezcla.

Esta última opción, aunque más económica y fácil de implementar y operar, es menos eficiente en el proceso de homogenización de la mezcla. El uso de uno u otro tipo de equipo dependerá de las características prediales –tales como superficie, equipamiento de riego, tipo de suelo, etc.– y de los recursos disponibles. **Ta**