Fertilizantes y Soluciones Concentradas

Equipo del Proyecto Fertilizar INTA Pergamino

Los fertilizantes pueden clasificarse de acuerdo a diversos criterios, pero en principio para ser adecuados a la fertirrigación deben ser solubles. En cuanto se refiere al uso con el riego, se clasificaran en dos clases:

- Fertilizantes líquidos abastecidos en forma de soluciones saturadas listas para usar sin necesidad de tratamientos previos. Si bien estos en general contienen menor concentración de nutrientes aumentando el costo de transporte y almacenamiento, su manejo en fertirriego es mas cómoda que con los fertilizantes sólidos.
- Fertilizantes sólidos, fácilmente solubles que deben disolverse antes de comenzar la fertilización; el factor de solubilidad es distinto para cada tipo y composición, y generalmente aumenta con la temperatura.

Los dos tipos pueden ser simples o compuestos, desde el punto de vista de la composición de los nutrientes. Los fertilizantes simples contienen un solo nutriente y los compuestos contienen al menos dos o varios elementos nutritivos, a veces también microelementos. Estos últimos muchas veces están formulados para distintos etapas del desarrollo de un cultivo. El proveedor elige los grados variando las proporciones de N-P-K, de forma de preparar un programa de fertilización, es decir distintas formulaciones sincronizadas con las necesidades del cultivo.

De un fertilizante sólido interesa saber en primer lugar su solubilidad que como se dijo depende de la temperatura (Tabla 1) no sólo en su porcentaje máximo, sino que temperatura genera a una determinada concentración. Muchos fertilizantes al disolverse aumentan la temperatura de la solución (Reacción exotérmica) y otras la disminuyen (Reacción endotérmica). Con esta información al prepararse una solución multinutrientes deben disolverse los de reacción exotérmica para facilitar la disolución de los segundos.

Tabla 1. Variación de la solubilidad de varios fertilizantes al variar la temperatura.

	TEMPERATURA (ºC)					
	0	**5**	**10**	**20**	**25**	**30**
Fertilizante	.....g/L.....					
Urea	680	780	850	1060	1200	1330
Sulfato de amonio	700	715	730	750	770	780
Sulfato de potasio	70	80	90	110	120	130
Cloruro de potasio	280	290	310	340	350	370
Nitrato de potasio	130	180	210	320	370	460

Se debe conocer también, como afecta el pH del agua de riego, y la conductividad eléctrica al final de la solución. Es muy importante contar con productos que sean de bajo equivalente salino. Esto es, debido a que los iones acompañantes de algunos productos no son absorbidos en altas cantidades, dejan residuos que elevan la salinidad del suelo, por ejemplo el cloruro de potasio ó nitrato de sodio.

En la actualidad es común atribuir a los fertilizantes solubles la característica de hidrosolubles, si bien los primeros son eficaces para aplicación directa al suelo, los segundos son los productos más idóneos para la inyección en todo tipo de sistemas de riego. Este tipo de fertilizantes se disuelve totalmente sin precipitados y forman una solución cristalina sin turbiedad.

Además de los objetivos de maximizar la cantidad y calidad de la producción, la composición óptima de fertilización debe resultar en una mínima polución del agua freática y de superficie, minimizar los riesgos de corrosión y taponamiento de los emisores de los sistemas de riego y distribución de agua, y por último minimizar los costos y gastos de fertilizantes y sistemas de aplicación de estos. Si bien la polución del agua aún dista de considerarse un problema es cada día mayor la preocupación en todos los ámbitos sobre este tema. El aumento de área bajo cultivos protegidos sobre las napas freáticas cercanas y utilizables como aguas potables incrementarán el problema. El segundo aspecto es importante ya que la formación de precipitados de calcio puede tener un impacto considerable en la amortización y el mantenimiento de sistemas de riego por goteo y micro-aspersión.

NITROGENADOS

El Nitrógeno es el principal nutriente que debe considerarse en la provisión por el riego, es el más fácil de manejar en fertirriego ya que hay muchas fuentes solubles y baratas. Las concentraciones más frecuentemente mencionadas como óptimas en la solución de suelo, son 200 a 250 ppm (mg/L) de N, y regulan las recomendaciones de fertilización en ese nivel. Comenzando el ciclo de cultivo con concentraciones menores, de 100 ppm, éstas se incrementan a medida que el cultivo crece, entra en floración y producción hasta 200 a 250 según los niveles de extracción. Este aumento se debe al aumento en las tasas de absorción del cultivo a medida que este crece y se desarrolla. Las cantidades totales a agregar por cultivo, dependen de los factores analizados antes; es decir, etapa de crecimiento del cultivo, modalidad de cosecha o gustos del mercado, variedad, etc.

Lo mas corriente es suministrar el nitrógeno como nitrato de potasio, de calcio y de magnesio, complementando con nitrato de amonio o urea. Es importante considerar la proporción de nitrato (NO_3) y de amonio (NH_4). La abundancia relativa de cada forma iónica tiene efectos considerables sobre la rizósfera. Una abundancia relativa de NO_3 aumenta el pH y a la inversa, una de NH_4 la acidifica. Esto trae consecuencias sobre los productos de solubilidad en los otros nutrientes, principalmente Ca, P y Mg. Debido a que los cationes, K, Ca y Mg son suministrados usualmente como nitratos, parte de estos cationes deberían ser aportados como sulfatos, aumentando la proporción de nitrato de amonio para cubrir la demanda de N y satisfacer la relación amonio y nitrato mencionada. De esta manera se supliría también azufre a las fórmulas, de las que las recomendaciones corrientes generalmente carecen.

La urea posee las ventajas de su solubilidad, su precio y su disponibilidad generalizada. Sin embargo debe adquirirse aquella específicamente formulada para fertirriego, ya que la corriente posee un "anticaking" que una vez disuelto puede tapar goteros. La principal desventaja es que necesita de mas días para transformarse en amonio en el suelo y condiciones más restrictivas para nitrificarse. Cuando las condiciones para una óptima nitrificación (altas temperaturas y bajo acidez) no ocurren, hay acumulación en exceso de amonio, creando condiciones desfavorables para la nutrición nitrogenada. En condiciones de condiciones pobres para fotosíntesis pobres (Luz, CO_2, temperatura), la acumulación de NH_4 es tóxica en la planta. Otra desventaja adicional es su alta solubilidad, ya que al igual que el nitrato de amonio, tiende a moverse con el agua hacia el frente de humedecimiento, y así perderse por lavado. Con equipos de riego de baja eficiencia puede causar deficiencias de aporte de N en exceso de agua.

El nitrato de amonio es quizá el fertilizante más popular para fertirriego. La concentración a emplear de este abono en el agua de riego debe ser como máximo de 1 g/L (1 kg/m3). Con esta concentración aumenta la conductividad eléctrica del agua en 1 mS/cm (dS/m ó mmho/cm) . En concentraciones superiores dan lugar a una conductividad eléctrica peligrosas. Otra característica es que no presenta elementos tóxicos ni deja residuos en el suelo; baja el pH del agua de riego.

El UAN es una mezcla líquida al 30 % de N de urea mas nitrato de amonio (50 % del N como urea, 25 % del N como amonio y 25 % del N como nitrato), y es de uso directo en fertirriego, y de hecho muy popular para esta forma de aplicación, tanto en cultivos

intensivos con riego por goteo o micro-aspersión, o en cultivos extensivos con equipos de pivote o avance lateral.

El ácido nítrico se utiliza como corrector de pH de la solución nutritiva madre variando la dosis en función del volumen de solución y el pH que se desea obtener. Como tratamiento preventivo para evitar el riesgo de precipitaciones calcáreas, se utiliza el ácido nítrico en casos de aguas muy duras y en todos los riegos. Para fertirrigar con abonos no ácidos se lo utiliza a dosis que oscilan entre 75 a 300 cc/m3 de agua.

El nitrato de magnesio y el de calcio se utilizan mas bien para el aporte de calcio y magnesio. Tienen alta solubilidad y pasan inmediatamente a la solución del suelo, tanto el N como el Ca ó el Mg.

FOSFATADOS

El fósforo puede aplicarse con éxito con el sistema convencional incorporando al suelo las fuentes comunes antes del trasplante. Tiende a acumularse en el suelo, detectándose valores muy altos en sitios con mas de dos años consecutivos de cultivo. Un factor muy importante a considerar con el agregado de fósforo es su muy baja movilidad; una vez aplicado al suelo, se mueve a las raíces por difusión y no por flujo acuoso de masa. Por lo tanto, difícilmente puedan detectarse altas concentraciones de P apenas a algunos cm de deposición del emisor. Esto es importante en aquellos sistemas de riego de emisores muy espaciados (más de 40 cm) y microaspersores, ya que estos aplican el agua en la superficie, normalmente mas seca entre períodos de riego y con menos concentración de raíces. Por este motivo se está popularizando los métodos de riego que entierran la línea de goteros por debajo de la superficie del suelo. Así los emisores depositan el P y otros nutrientes donde la concentración de raíces es mayor. Originalmente el riego por goteo había comenzado enterrando las líneas de goteros, y por problemas de penetración de las raíces dentro de los goteros se lo descartó como método. La evolución en el mejor diseño de los goteros y evitó el problema de la invasión de raíces, y en algunas experiencias se detectan mejoras en al absorción de fósforo con este método.

Para la mayoría de los cultivos de 1 a 4 ppm en la solución de suelo es suficiente para el crecimiento, desarrollo y fructificación normales. Por procesos de fijación y adsorción, el agua de riego debe ser mucho más concentrada en P, en el orden de 10 a 50 ppm. Sin lugar a dudas, el método más eficiente para el suministro de fósforo por fertirrigación es por medio del agregado de ácido fosfórico. Posee la ventaja de su alta solubilidad y concentración. Generalmente se agrega en relación de 10:1 - 10:3 con el Nitrógeno. El ácido fosfórico es el fertilizante mas utilizado en riego por goteo tanto por su aporte de fósforo como por su acción desincrustante y de prevención de precipitados. El ácido fosfórico es incompatible con los abonos que aporten calcio y magnesio y las sales de hierro, tanto orgánicas como inorgánicas, ya que forma precipitados insolubles. Si no es posible formular el fósforo en la solución de fertirrigación, es posible ofrecer golpes de ácido fosfórico, al final de la operación de fertirrigar tal como se explicó anteriormente, como una acción de limpieza de los precipitados de Ca y Mg en los emisores. Algunas observaciones sugieren sin embargo, que esta práctica acorta la vida útil del diafragma en los goteros auto compensados. Otra desventaja derivada de este uso, indica que la acidez generada desde el emisor disuelve el calcio y lo arrastra hacia el frente de humedecimiento, mas allá de la zona de concentración de raíces, diminuyendo la disponibilidad de calcio y aumentando la incidencia de podredumbre apical

Como fuentes alternativas se ofrecen en el mercado, el fosfato monoamónico, el diamónico cristalinos y el fosfato monopotásico. Poseen las ventaja de una alta solubilidad y una alta proporción de cationes nutrientes, lo que le ofrece un bajo potencial salino. Los fosfatos monoamónico y diamónico son otros fertilizante fosfatado de uso menos difundido que el ácido fosfórico, aunque son los sólido mas utilizados en riego por goteo. No deben confundirse con los productos granulados usados para cultivos en general, ya que son productos cristalinos, con contenido algo mayor de nutrientes y mucho mayor solubilidad que los granulados. No son fertilizantes que generen salinidad. En cuanto al pH la reacción que producen es totalmente ácida.

El fosfato monopotásico es otro fertilizante de alta concentración por unidad de peso y aporta dos nutrientes en forma altamente soluble, de modo que no genera salinidad; es de reacción ácida.

POTÁSICOS

El potasio posee también poca movilidad en el suelo, ya que es mantenido con éxito en los sitios de intercambio. Sin embargo se moviliza mas que el fósforo y mucho menos que el nitrato o la urea. La concentración de K en el suelo en la vecindad del emisor, dependerá del poder regulador, en función de la cantidad y calidad del contenido de arcilla y materia orgánica. Las cantidades usuales en la solución de riego, oscilan entre 80 y 120 ppm al comienzo del desarrollo del cultivo para incrementarse progresivamente hasta alcanzar 300 y 350 ppm en el pico de la producción. Otras recomendaciones son algo mas conservadoras, llegando a máximos del orden de 250 ppm.

Cualquier fuente de potasio es igualmente efectiva para proveer este nutriente. Sin embargo, es importante la solubilidad y el anión acompañante, que debería ser absorbido como nutriente y no elevar innecesariamente la salinidad del medio.

La fuente más popular para formular fertilizantes líquidos es el nitrato de potasio. Presenta ventajas de solubilidad, alta concentración de potasio y además aporta nitratos en cantidades razonables, para suplir una buena parte de los requerimientos de nitrógeno. El grado de solubilidad varia fuertemente con la temperatura. Por ello en aguas de riego con alto nivel de bicarbonatos y calcio se deben bajar las dosis o bien acidular con ácidos nítrico o fosfórico. Desde el punto de vista de la salinidad conviene utilizar concentraciones menores a 1 g/L. En fertirrigación por goteo se aconseja no superar concentraciones de 0,5 g/L o sea 500 g/m3.

Igualmente efectivo y conveniente es el uso de fosfato monopotásico, aunque no está tan popularizado. El cloruro de potasio es la fuente más barata, es conveniente usarlo 1) donde no hay problemas de salinidad o alta conductividad de la solución, o cultivos sensibles al cloro 2) donde puede realizarse drenaje para no facilitar la acumulación del cloruro del suelo, aunque en regiones húmedas esto no es un problema. Tiene también la ventaja de su mayor solubilidad que le nitrato de potasio a temperaturas relativamente bajas

El sulfato de potasio cristalino es un fertilizante que a diferentes concentraciones, no influye en la temperatura final de la solución. En cuanto al pH, el sulfato de potasio genera una reacción alcalina. La salinidad que genera el sulfato de potasio a partir de una solución de 1 g/L es un poco superior a la generada por el nitrato. Entre sus ventajas suministra azufre en cantidades suficientes, necesarios para aquellos suelos de bajo contenido de materia orgánica, ausencia de agregado de estiércol o de otros fertilizantes con azufre en su fórmula. Debe utilizarse en dosis pequeñas y continuas; también puede combinarse con ácidos nítrico o fosfórico.

INDICE SALINO

Uno de los requisitos indispensables para lograr eficiencia en el sistema agua-suelo-planta es una baja salinidad, medida por la conductividad eléctrica (CE) de la solución fertilizante o solución de suelo. Lograrla, es también una preocupación de los productores, quienes a través de cultivos sucesivos en el mismo sitio incrementan los riesgos de acumulación de sales. En las regiones húmedas, cuando las coberturas plásticas son removidas temporariamente, el peligro de salinización disminuye por la acción de lavado de las aguas de lluvia.

A pesar del riesgo de una alta salinidad, ésta es mejor tolerada en períodos de alta intensidad lumínica. Los cultivos son mas tolerantes a niveles altos de CE (3.5 a 4.0 dS/m) bajo estas condiciones que con intensidad lumínica baja (hasta 2.5 a 3.0 dS/m). Por otra parte, una mayor salinidad es favorable para el desarrollo de sabor durante el período de maduración de los frutos, especialmente cuando esta es alcanzada levantando los niveles de K. Es peligroso sin embargo, regular el exceso de salinidad

restringiendo los volúmenes de agua regados, ya que puede provocar entre otros problemas, una mayor incidencia de podredumbre apical.

Los fertilizantes son sales que contribuyen al aumento de la salinidad el agua de riego. La salinidad afecta principalmente la presión osmótica con que el agua es absorbida, requiriendo consecuentemente mayor energía para la planta. Los rangos usuales requeridos para el agua de riego no deberían exceder 3 dS/m. Cuando el agua de riego posee una conductividad eléctrica entre 0,25 y 0,75 dS/m, representa un moderado a alto peligro de salinización del suelo.

La operación de fertirrigar, al agregar fertilizantes, aumenta la concentración salina del agua de riego y también la de la solución del suelo, (Tabla 2). Experimentalmente se tiene que 10 meq/l de solución es aproximadamente 1 mS (ó 1 dS/m) de conductividad eléctrica de la solución. Un miliequivalente de sales solubles corresponden a 64 mg. En base a esta relación es posible controlar la fertilización por medio de la medición directa de la CE con un conductímetro, determinando directamente la concentración de la solución de riego. En los picos de máximos consumos de nutrientes en cultivos hortícolas de invernáculo, la concentración aportada por los nutrientes en el agua puede llegar a 15 a 20 meq/l, incrementando sensiblemente su salinidad en 1.5 a 2.0 mS adicionales al agua de irrigación. Bajo esas condiciones, especialmente cuando el agua excede 1.0 mS se deben extremar los cuidados en los iones acompañantes, minimizando aquellos no absorbidos por ejemplo Cl- ó SO4-.

Tabla 2. Variación de la CE al variar la concentración de nutrientes.

	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (mS/cm)			
	2.0	**3.0**	**4.0**	**5.0**
Nutrientes	**.....mg/L.....**			
Nitrógeno (NO_3)	180	310	435	560
Fósforo (P)	40	40	40	40
Potasio (K)	300	500	700	900
Calcio (Ca)	200	330	470	600
Magnesio (Mg)	40	65	95	120

PRODUCTOS FORMULADOS.

Existe una amplia gama de fertilizantes ternarios cristalinos solubles para aplicarlos en fertirrigación con una composición de N, P, y K que poseen un alto grado de solubilidad, además de generar un pH y una conductividad eléctrica adecuada. La disponibilidad en el mercado es amplia y las formulaciones muy diversas. Actualmente la tendencia del mercado es utilizar este tipo de productos, especialmente elaborados para fertirriego y mucho mas fácil de usar. Se entregan con información técnica adicional que orienta al productor y/o técnico para dosificar la cantidad necesaria para cada cultivo y en cada etapa de producción, evitando así subdosis o sobredosis.

Preparar mezclas balanceadas supone conjugar una serie de factores relacionados a las fuentes disponibles. Deben satisfacerse y optimizarse factores de precio por nutriente; peligro de excesiva salinización, de acidez y por supuesto a los requerimientos del cultivo. Un factor frecuentemente olvidado es la provisión de nutrientes secundarios, calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S) y micronutrientes como zinc (Zn); hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y boro (B). Además, a veces es muy difícil encontrar stock disponibles en lugares distantes de todas las fuentes posibles.

PREPARACION DE SOLUCIONES NUTRITIVAS

En invernaderos, donde se usa el método de dosificación cualitativa o proporcional, se prepara una solución madre o stock concentrada en el cabezal de riego. En el método

de dosificación "cualitativa", el fertilizante se aplica en forma proporcional a la lámina de agua. El agua de riego lleva una concentración fija de nutrientes corrientemente expresadas en unidades de concentración (ppm) y deriva de la inyección de cantidades precisas y en el momento exacto de una solución concentrada o madre donde los fertilizantes están disueltos. Estas soluciones nutritivas se preparan a partir de la dilución de soluciones madres concentradas.

La solución madre debe estar protegida de los factores ambientales que influyen en su composición como la luz, humedad, altas temperaturas etc. Para la preparación de una solución completa se deben preparar por separado por lo menos dos soluciones madre. Esto se debe a que existe incompatibilidad de ciertos iones a permanecer en solución a una elevada concentración, por ejemplo los iones fosfatos y sulfatos precipitan en presencia del ion calcio en soluciones concentradas. Otras combinaciones, p ej. sulfato de amonio y cloruro de potasio en el tanque reduce significativamente la solubilidad de la mezcla debido a la formación de sulfato de potasio. En aguas ricas en calcio y bicarbonatos, el sulfato de Ca (yeso) precipitará y tapará los goteros. La inyección de soluciones con urea inducirá la precipitación de carbonato de Ca debido al aumento del pH de la solución por la urea.

Si alguna sal presenta impurezas como el nitrato de calcio, se debe disolver independientemente y esperar la decantación para colocar el líquido sobrenadante en el tanque correspondiente. En cuanto a los micronutrientes es usual preparar soluciones muy concentradas usando alícuotas periódicamente. En las soluciones de hierro realizadas con quelatos como el EDTA se debe cuidar que el pH no sea superior a 6, ya que el hierro precipita en forma insoluble.

Es muy difícil generalizar sobre la óptima combinación de sales para dar una debida concentración de nutrientes debido a que la solubilidad depende de un cierto numero de factores siendo más importantes el pH, la concentración de las soluciones y la temperatura. Cualquier concentración de mas de dos productos reducirá la solubilidad de cada material por separado. La tabla 3 que se presenta a continuación es una guía apropiada, pero la base de un sistema de fertirrigación es el almacenamiento de dos soluciones madre, una conteniendo los iones fosfatos y otra conteniendo los iones calcio y magnesio, el resto de los nutrientes se agregan a estas soluciones madre.

PREPARACION

1. Se deben pesar las sales individualmente, evitando en lo posible perdidas de material, asegurando una variación de mas o menos 5 % en una escala en gramos.
2. Llenar el tanque con agua en un 10 % de su totalidad.
3. Disolver cada sal separadamente en recipientes grandes y llenos de agua, y volcarlos en el tanque, repitiendo la operación hasta disolver totalmente la sal. Se puede utilizar agua caliente en caso de una difícil disolución.
4. Disolver los micronutrientes primero y luego los macro.
5. Cuando se trata de volúmenes pequeños se puede mezclar los sulfatos en forma seca antes de disolverse. Lo mismo con los nitratos y fosfatos.
6. Dejar circular unos minutos la solución de nutrientes y medir el pH ajustándolo a 6 - 6,5, de ser necesario con ácido sulfúrico o con hidróxido de potasio. Un pH alto puede causar la precipitación del Fe, Mn, PO4, Ca y Mg que se insolubilizan.

Tabla 3. Compatibilidad entre fertilizantes solubles

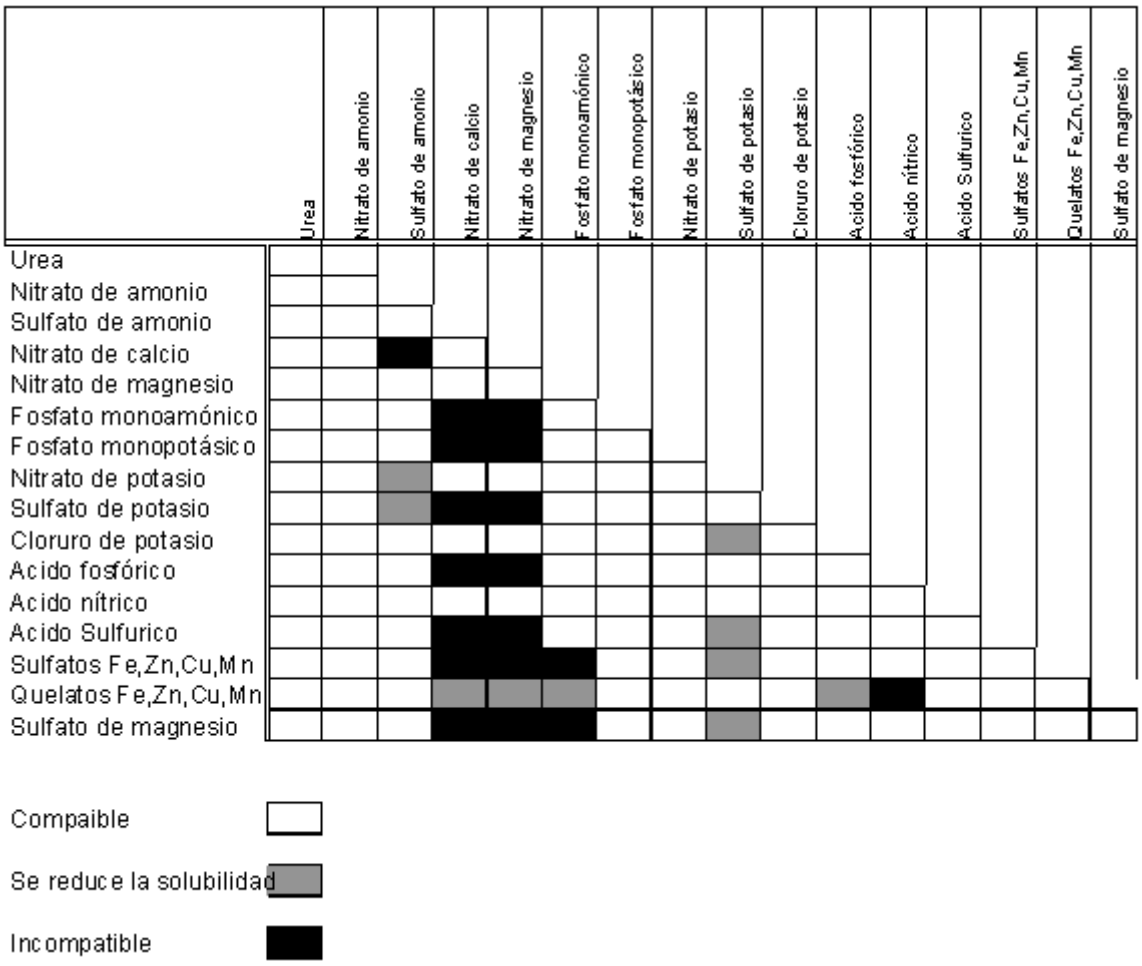

Tabla 4. Fuentes, concentración de nutrientes, índice salino y solubilidad de algunos fertilizantes más comunes disponibles en el mercado.

	CONTENIDO DE NUTRIENTES (%)							
Fertilizante	**Solubilidad[1]**	**Indice Salino** $_2$	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**	**Ca**	**Mg**	**S**
ACIDO FOSFORICO	5285	--	--	72	--	--	--	--
CLORURO DE POTASIO	347	116	--	--	60	--	--	--
FOSFATO MONOAMONICO	282	30	11	52	--	--	--	--
FOSFATO DIAMONICO	575	34	18	46	--	--	--	--
FOSFATO MONOPOTASICO	260	--	--	52	34	--	--	--
NITRATO DE AMONIO	1183	105	34	--	--	--	--	--
NITRATO DE CALCIO	3410	53	--	17	--	--	24	--
NITRATO DE MAGNESIO	423	--	11	--	--	--	10	--
NITRATO DE POTASIO	316	74	13	--	44	--	--	--
SULFATO DE AMONIO	760	69	21	--	--	--	--	23
SULFATO DE MAGNESIO	260	44	--	--	--	--	16	13
SULFATO DE POTASIO	110	46	--	--	50	--	--	18
UREA	1193	75	46	--	--	--	--	--

[1] Solubilidad en gr./L (Kg/m^3) a 20 ° C de la forma cristalina de la sal, de aquellos fertilizantes mas usados para preparar soluciones de fertirrigación.

[2] El índice salino se calcula por el incremento en presión osmótica producido por un peso igual de fertilizante relativo al nitrato de sodio (Indice Salino = 100).