

Manual de Fertilizantes Fluidos

¿Cómo optimizar el uso de
fertilizantes fluidos en Argentina y
agro-sistemas sudamericanos?

Editores

Ricardo Melgar & Martín Torres Duggan



Manual de fertilizantes fluidos : ¿Cómo optimizar el uso de fertilizantes fluidos en Argentina y agro-sistemas sudamericanos? /

Ricardo Melgar ... [et.al.] ; edición literaria a cargo de Ricardo Melgar y Martín Juan Jorge Torres Duggan. - 1a ed. - Buenos Aires : el autor, 2014.

184 p. : il. ; 22x15 cm.

ISBN 978-987-33-5271-3

I. Fertilizantes fluidos. I. Melgar, Ricardo II. Melgar, Ricardo, ed. lit. III. Torres Duggan, Martín Juan Jorge, ed. lit.

CDD 631.8

Fecha de catalogación: 15/07/2014



AGRADECIMIENTOS

Los autores y editores queremos agradecer muy especialmente a las siguientes personas que de alguna u otra manera posibilitaron la concreción de esta obra:

Muy particularmente agradecemos al Ing. Agr. Jorge Bassi y profesionales del equipo técnico de Bunge S.A.: Juan Urrutia, Guillermo Pugliese y Pedro Faltlhauser, por los valiosos datos aportados, sugerencias y finalmente por la lectura y revisión crítica de las versiones preliminares que mejoraron y complementaron los contenidos.

Martín R. Weil y demás socios de Tecnoagro S.R.L, por el apoyo ofrecido a Martín Torres Duggan en su tarea de co-editor y/o autor de capítulos

Mauricio Romano (Multiservicios Agropecuarios) por su contribución con imágenes de aplicación de fertilizantes líquidos y sugerencias prácticas para el manejo de fertilizantes fluidos a campo

Gustavo Pomati (SG Fertilizantes Líquidos) por brindar información sobre formulación y aplicación de soluciones fosfatadas líquidas en la Argentina

Jeff Barnes y Greg Bame (Nachurs, EE.UU) por facilitar información e imágenes sobre plantas de fertilizantes líquidos y aplicación a campo de arrancadores líquidos

María de las Mercedes Zubillaga (UBA) por facilitar figuras originales sobre fertilización foliar con nitrógeno en trigo y su impacto sobre la calidad de grano

Finalmente queremos aprovechar la oportunidad para reconocer a los Dres. Larry Murphy y Dale Leikam, anterior y actual presidente de la Fluid Fertilizer Foundation, por su estímulo permanente y apoyo para concretar este proyecto.



Índice

AGRADECIMIENTOS	3
FOREWORD	8
PRÓLOGO	9
AUTORES.....	10

CAPITULO 1 / DESARROLLO Y PERSPECTIVAS DE LOS FERTILIZANTE FLUIDOS

Origen y desarrollo de la industria de fertilizantes fluidos	16
Consumo mundial de fertilizantes fluidos	17
»Fertilizantes nitrogenados fluidos.....	18
»Fertilizantes fosfatados fluidos.....	21
»Fertilizantes potásicos fluidos	21
Desarrollo y perspectivas del uso de fertilizantes fluidos en la Argentina	21
»Consumo de fertilizantes fluidos	21
»Perspectivas del uso de fertilizantes fluidos en la Argentina	26
Uso de fertilizantes fluidos en otros países de Latinoamérica.....	28
Consideraciones finales	28

CAPITULO 2 / TIPOS DE FERTILIZANTES FLUIDOS

Clasificación de fertilizantes fluidos	32
Soluciones nitrogenadas y nitro-azufradas	33
»UAN.....	33
»Tiosulfato de amonio.....	34
»Reacción en el suelo de fuentes nitrogenadas y azufradas líquidas	35
Soluciones fosfatadas líquidas.....	38
»Polifosfatos de amonio.....	38
»Soluciones fosfatadas a base de ácido fosfórico	39
»Reacción en el suelo de fertilizantes fosfatados líquidos	40
Soluciones potásicas.....	43
»Tiosulfato de potasio	43

»Soluciones concentradas de sales potásicas.....	43
»Reacción en el suelo de soluciones potásicas	43
Suspensiones	43
Aditivos para mejorar la eficiencia de los fertilizantes fluidos	45
Mezcla de macro y micronutrientes en fertilizantes fluidos	46
»Selección de fuentes.....	46
»Mezclas NPK.....	46
»Incorporación de micronutrientes en fertilizantes fluidos	48
Micronutrientes en soluciones	49
Micronutrientes en suspensiones	50
»Fertilizantes líquidos utilizados en fertirriego	51
Fertirriego o Fertigación	51
Tipo de fuentes.....	53
Influencia del pH en la disponibilidad de nutrientes	55
 CAPITULO 3 / ESTRATEGIAS DE USO	
Las mejores prácticas de manejo de nutrientes	58
Dosis de aplicación	60
Momentos de aplicación.....	63
»A la siembra. Uso de arrancadores	63
»Post-emergencia. Aplicación de soluciones líquidas	67
Trigo y otros cereales de invierno	68
Maíz y otros cultivos de verano	69
»Aplicación de nutrientes secundarios y micronutrientes en estadios vegetati- vos	69
»Aplicación en estadios reproductivos. Aplicaciones foliares.....	71
Formas de Aplicación	72
»Aplicaciones en bandas a la siembra	72
Chorreado ó inyectado	73
»Aplicaciones en post-emergencia. Estrategias para maximizar la eficiencia de nitrógeno y otros nutrientes móviles en el suelo	74
Tipo de Fertilizante	74
Forma de aplicación.....	75
Momento de aplicación	75
»Fertirriego	76
Manejo y calidad del agua de riego en fertirriego	77
Distribución de los fertilizantes	80
Patrón de distribución de los nutrientes en el bulbo de mojado	81
»Aplicación Foliar	83
El proceso de absorción foliar.....	84
Desventajas de la aplicación foliar	85
Factores que afectan la performance de las aplicaciones foliares	86
Aplicación conjunta de UAN con agroquímicos y/o fitoterápicos	89
Test de compatibilidad	90

Utilización de soluciones líquidas como activadoras de herbicidas	91
Uso de fertilizantes fluidos junto con fungicidas e insecticidas	91
Uso de huellas para mejorar la exactitud de la aplicación	92

CAPITULO 4 / SISTEMA DE APLICACIÓN

Introducción	96
Máquinas montadas	102
Evaluación estática de equipos	122
Análisis de eficiencia de prestaciones	123
Dosis variable	124
Equipos para fertirriego	124
Tipos de equipos	125
Sistemas basados en el arrastre de la solución fertilizante en el seno de la línea de riego.....	126
Succión mediante una válvula tipo Venturi	128
Sistemas por presión de inyección.....	128
Ubicación adecuada de los equipos	132
Seguridad.....	132
Mandos y control.....	132
Controles automáticos	133

CAPITULO 5 / TRANSPORTE Y MANIPULEO DE FERTILIZANTE FLUÍDOS

El sistema de distribución de fertilizantes fluidos	136
Transporte y almacenamiento	137
»Puertos	137
»Logística. Medios de transporte	138
» Logística a nivel de distribuidor minorista	139
»Logística a nivel de campo.....	141

CAPITULO 6 / PLANTAS DE ALMACENAMIENTO Y DESPACHO DE FERTILIZANTES FLUIDOS

Instalaciones comerciales.....	144
Diseño y disposición de los elementos de una planta.....	144
Tanques de almacenamiento	145
»Tanques metálicos	145
»Tanques no Metálicos	146
Plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV)	146
Polietileno	147
Instalación de los tanques.....	147
»Tipos de tanques de almacenamiento	149
»Protección de tanques.....	150
Estructuras de contención secundaria.....	150
»Calculo de las dimensiones de un área de contención secundaria.....	151
»Bandejas	153
Áreas de carga.....	153
Manejo de la corrosión	154
»La corrosión según el material	154
»Corrosividad	155
»Técnicas para prevenir la Corrosión.....	156
Equipos para manipulación de fluidos, soluciones y ácidos.....	157
»Balanzas y despacho volumétrico	158
»Bombas Centrífugas.....	158
»Válvulas Esféricas	159
»Tuberías y mangueras.....	160
Almacenamiento local	160
»Estructuras menores de almacenamiento y transporte.....	160
Materiales para almacenar fertilizantes líquidos.....	163
Elementos de seguridad	167
»Seguridad y extinción de incendios	167
»Carteles para advertencia/precaución	167
Bibliografía y Anexos	169



FOREWORD

As the popularity of fluid fertilizers continues to increase across the globe, the need for technical information on fluid fertilizer materials, their characteristics, storage, mixing procedures, compatibilities, application techniques and agronomic capabilities increases as well. The Fluid Fertilizer Foundation (FFF) is pleased to be involved with the research community and the fluid industry in Argentina in providing this resource.

This Fluid Manual, supported by the Foundation and the fertilizer industry, brings together a wealth of information from many sources in both North and South America. It will provide manufacturers, distributors and growers with much of the information needed to take full advantage of the many benefits and advantages of fluid fertilizers.

The Foundation also publishes the Fluid Journal, an online journal touching on a wide range of topics related to fluid fertilizer technology and agronomics. Additionally, the Foundation provides continuing support for research involving fluid fertilizers as well as educational opportunities regarding the use of fluid nutrient sources through several educational programs.

We enthusiastically support this effort, led by Dr. Ricardo Melgar, in developing a Spanish version of the Fluid Manual. We look forward to the continued development of the fluid fertilizer marketplace and to increased participation in the Fluid Fertilizer Foundation's research and educational missions.

» **Dr. Larry Murphy**

President

Fluid Fertilizer Foundation

1998-2008

» **Dr. Dale Leikam**

President

Fluid Fertilizer Foundation

2003-present



PRÓLOGO

A medida que la popularidad de los fertilizantes líquidos sigue aumentando en todo el mundo, la necesidad de información técnica sobre productos fertilizantes fluidos, sus características, almacenamiento, procedimientos de mezclado, compatibilidades, técnicas de aplicación y capacidades agronómicas aumenta también. La Fundación Fertilizantes Fluidos (FFF) se complace en ofrecer esta obra a la industria de fertilizantes en Argentina y la comunidad de investigadores.

Este Manual de Fertilizantes Fluidos, con el apoyo de la Fundación y de la industria de fertilizantes, reúne una gran cantidad de información de muchas fuentes, tanto de América del Norte y del Sur. Proporciona a fabricantes, distribuidores y productores agrícolas gran parte de la información necesaria para sacar el máximo provecho de los muchos beneficios y ventajas de los fertilizantes fluidos.

La Fundación también edita el ‘Fluid Journal’, una interesante publicación en línea que incluye una amplia gama de temas relacionados con la tecnología de fertilizantes líquidos y la agronomía. Además, la Fundación proporciona continuo apoyo a la investigación en fertilizantes fluidos, así como oportunidades de educación respecto al uso de las fuentes fluidas de nutrientes a través de varios programas educativos.

Apoyamos con entusiasmo este esfuerzo, liderado por el Dr. Ricardo Melgar, en el desarrollo de una versión en español del Manual de Fertilizantes Fluidos. Esperamos con interés el avance del desarrollo del mercado de fertilizantes líquidos así como el aumento de la participación de la Fundación Fertilizantes Fluidos en los proyectos de investigación y educación.

» **Dr. Larry Murphy**

Presidente

Fundación Fertilizantes Fluidos

1998-2008

» **Dr. Dale Leikam**

Presidente

Fundación Fertilizantes Fluidos

2003-presente

» Ricardo J. Melgar

Ingeniero Agrónomo (UNNE), Ph. D en Ciencias de Suelo de la North Carolina State University y Especialista en Agronegocios (UBA). Investigador principal del INTA en la Estación Experimental Pergamino. Referente nacional e internacional en el área de Tecnología y Mercados de Fertilizantes. Proveedor de contenidos de la Asoc. Civil Fertilizar. Miembro corresponsal de la International Fertilizer Industry Association (IFA).

E-mail: rjrmelgar@gmail.com

» Martín Torres Duggan

Ingeniero Agrónomo, Especialista en Fertilidad del Suelo y Fertilización y Magister en Ciencias del Suelo (FAUBA). Consultor agropecuario en Tecnoagro S.R.L. Coordinador de Comisiones Científicas en la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS). Profesor Regular invitado en la Escuela para Graduados “Alberto Soriano” (FA-UBA). Profesor Titular en ISEA-Departamento de Educación a Distancia.

E-mail: torresduggan@tecnoagro.com.ar

» Juan B. Raggio

Ingeniero Agrónomo (FAUBA). Consultor agropecuario. Columnista técnico en Revista Rural de Clarín. Profesor en la Facultad de Agronomía, Universidad de Morón. Profesor Titular en el Instituto Superior de Enseñanza, Estudios y Extensión Agropecuaria (ISEA de la Sociedad Rural Argentina). Profesor invitado en la Escuela para Graduados “Alberto Soriano” (FAUBA).

E-mail: jbraggio21@yahoo.com.ar

» Pablo Poklepovic

Ingeniero en Producción Agropecuaria (UCA). Realizó cursos de la Especialización en Fertilidad del suelo y Fertilización (FAUBA). Coordinador de Asistencia Técnica de AGRO-YPF S.A.

E-mail: pablo.poklepovic@ypf.com

» Oscar López Matorras

Ingeniero Agrónomo (FAUBA). Diplomado en Agronegocios. Apoderado Legal y Analista Técnico de Productos en YPF S.A. Integrante del Comité Técnico de La Asociación Civil Fertilizar.

E-mail: o.lopezmatorras@ypf.com

» Carlos A. Octtinger

Ingeniero Químico (UNL). Postgrado en Alta Dirección de Empresas del IAE (Universidad Austral). Consultor en temas petroquímicos y de gas natural con actuación en Argentina, América Latina y África. Presidente de la Comisión de Materias Primas y Energía del Instituto Petroquímico Argentino (IPA). Profesor del curso de postgrado de Especialista en Petroquímica (IPA-UNSAM). Miembro de la Academia de Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires

E-Mail: octtinger@gmail.com

DESARROLLO Y PERSPECTIVAS DE LOS FERTILIZANTES FLUIDOS

»Ricardo Melgar y Martín Torres Duggan

Origen y desarrollo de la industria de fertilizantes fluidos	16
Consumo mundial de fertilizantes fluidos	17
»Fertilizantes nitrogenados fluidos.....	18
»Fertilizantes fosfatados fluidos.....	21
»Fertilizantes potásicos fluidos	21
Desarrollo y perspectivas del uso de fertilizantes fluidos en la Argentina	21
»Consumo de fertilizantes fluidos	21
»Perspectivas del uso de fertilizantes fluidos en la Argentina	26
Uso de fertilizantes fluidos en otros países de Latinoamérica.....	28
Consideraciones finales	28



Origen y desarrollo de la industria de fertilizantes fluidos

La utilización de los fertilizantes fluidos se remonta a tiempos ancestrales. Así, en Grecia se transportaban residuos orgánicos urbanos, que se destinaban a huertas y naranjos, constituyendo una forma temprana de uso de fertilizantes fluidos. En China se utilizaban prácticas similares. Posteriormente el gran desarrollo de la industria y adopción de fuentes fluidas tuvo lugar principalmente en EE.UU y en menor medida, en algunos países europeos, asiáticos y Australia.

Durante finales del siglo XVIII los agricultores utilizaban reservorios para recolectar estiércol líquido y residuos orgánicos provenientes de corrales, que se aplicaban en los campos. Recién a comienzos del 1800 comenzaron a realizarse experimentos con soluciones utilizando sales solubles y en 1923 se instala en California la primera planta de fertilizantes fluidos comercialmente exitosa, basada en la disolución de sales solubles en agua (Dowdle, 2000). Posteriormente, tuvo lugar cierta adopción del uso de formulaciones líquidas basadas en la disolución de sales solubles en agua, aplicados con diferentes sistemas como hidroponía o fertirriego (Tabla 1).

Tabla 1. Primeros estadios del uso de fertilizantes fluidos durante el siglo XIX.

Año	Estadio en desarrollo de fertilizantes fluidos	Hitos destacados
1930	Hidroponía	Uso de soluciones diluidas, económicamente inviables, aunque se avanzó en el conocimiento de soluciones líquidas
1940	Fertirriego	Aplicación directa de ácido fosfórico a través de sistemas de riego en el oeste de EE.UU
1953	Primeras mezclas de fertilizantes	Se realizan las primeras mezclas de ácido fosfórico y amoníaco en solución. Esta solución con alta temperatura se la mezclaba con fuentes de potasio (e.g. 4-10-10) y luego comenzó a utilizarse urea como materia prima obteniendo formulaciones como 9-9-9 y 12-6-6. En este estadio, el desarrollo de los equipos de aplicación de fertilizantes fluidos era muy pobre

Fuente: adaptado de Dowdle (2000)

Varias revisiones describen los hitos más relevantes en el desarrollo de la tecnología de fertilización y uso de fertilizantes fluidos (Nelson, 1990; Palgrave, 1991). Los hitos más importantes que se destacan en la primera mitad del siglo XX son la adopción generalizada de soluciones nitrogenadas, en particular las formuladas a partir de urea y nitrato de amonio (UAN), como así también el uso de soluciones presurizadas de amo-

níaco. Entre los fosfatos fluidos, el desarrollo de un reactor tubular simple desarrollado por técnicos del TVA (Tennessee Valley Authority) en 1972 permitió la amoniación del ácido superfosfórico y la consiguiente elaboración de polifosfatos de amonio (APP) a bajo costo, facilitando su rápida expansión (Nelson, 1990).

Una vez superada la etapa inicial del desarrollo de los fertilizantes fluidos, comenzó un significativo crecimiento en la adopción de este tipo de fuentes, debido a diferentes causas: (1) desarrollo del ácido superfosfórico y de soluciones de APP, (2) producción de suspensiones y (3) desarrollo de equipos de aplicación. La producción del ácido superfosfórico, permitió concentrar el ácido fosfórico hasta alcanzar contenidos de P_2O_5 de 68-70% el cual contiene alrededor de 20-35% de polifosfatos. Esta innovación fue el pilar central para el posterior desarrollo de los APP en sus diferentes grados equivalentes (11-34-0, 10-34-0, 11-37-0). Estas soluciones representaron un gran progreso, debido a las interesantes propiedades de este tipo de fuentes, como su capacidad de secuestro de cationes, estabilidad en almacenamiento, reducción de problemas de taponamiento de emisores en sistemas de riego, entre otros. En el capítulo de “Tipos de fertilizantes fluidos” se describen en detalle las propiedades de este tipo de fuentes.

Los avances mencionados previamente determinaron un rápido crecimiento de los fertilizantes fluidos, que tuvo su mayor tasa de crecimiento durante el período 1965-1985. La participación del mercado de fertilizantes fluidos aumentó marcadamente hasta comienzo de los años 80. Posteriormente se estabilizó en una participación de mercado del 40% sobre el total de consumo de fertilizantes, siendo actualmente un mercado maduro (Fertilizer Manual, 1998).

La gran expansión en la adopción de fertilizantes fluidos que tuvo lugar a partir de la década del 60 en EE.UU y en menor medida en algunos países europeos (Francia, Alemania, Reino Unido, España), se puede vincular con los siguientes atributos y ventajas de éste tipo de fertilizantes:

- » **Posibilidad de utilización de materias primas de bajo costo en las plantas de producción**
- » **Alta eficiencia de uso de nutrientes y menor riesgo ambiental debido a la aplicación como arrancador o en fertirriego**
- » **Excelentes vehículos para la aplicación de micronutrientes, ya que permiten una exacta y uniforme distribución de los mismos en el suelo**
- » **Posibilidad de aplicación conjunta con agroquímicos, en especial herbicidas, reduciendo la cantidad de aplicaciones**
- » **Facilidad, rapidez y mayor precisión de aplicación en relación a fuentes sólidas**

Consumo mundial de fertilizantes fluidos

Como se mencionó antes, el gran desarrollo y adopción del uso de fertilizantes fluidos tuvo lugar en EE.UU, tanto con fuentes presurizadas (amoníaco anhidro o agua amoniacal) como aquellas que se transportan, distribuyen y aplican a presión atmosférica, como las soluciones nitrogenadas y suspensiones (Figura 1).

El UAN es el producto más importante en el consumo de fertilizantes fluidos, y en particular dentro de los nitrogenados, siendo mucho menor el volumen de fertilizantes

fluidos fosfatados y potásicos. En la Tabla 2 se muestra el consumo de fertilizantes en EE.UU en el período 2009-2010 según tipo de fertilizante y su proporción relativa. Es importante resaltar que EE.UU, es el segundo país en términos de demanda de fertilizantes y el principal en fuentes fluidas. Puede verse que aun sin considerar las suspensiones o soluciones que incluyen potasio (ambas producidas a partir de fuentes solidas), los fertilizantes fluidos simples comprenden algo mas del 40% del total de los fertilizantes demandados.

Tabla 2. Total de fertilizantes simples consumidos en EE.UU discriminados por tipo de nutriente principal. (Fuente: Commercial Fertilizers, AFFCO, 2009 y 2010.)

	Media 2009-10	% s/Total	% s/Clase
	T x 1000		
Total fertilizantes Nitrogenados	23.721	63%	
Urea	4.855		20%
Otros sólidos Nitrogenados	4.893		21%
Soluciones nitrogenadas	9.960		42%
Amoniaco (gas + solución amoniacal)	4.014		17%
			100%
Total Fertilizantes Fosfatados	5.797	15%	
DAP+MAP	3.979		69%
Otros sólidos fosfatados	549		9%
Acido fosfórico	114		2%
Polifosfatos amoniacados líquidos	1.155		20%
			100%
Total Fertilizantes Potásicos	4.465	12%	
Secundarios y Micronutrientes	3.580	10%	
Total Fertilizantes Minerales Simples	37.563	100%	

» Fertilizantes nitrogenados fluidos

Las principales fuentes de nitrógeno fluido son el amoníaco y el UAN. El amoníaco tiene restricciones de seguridad y transporte, por lo que es un producto de uso casi circunscripto a EE.UU. Como se observa en la Tabla 2, el consumo de fertilizantes nitrogenados fluidos es muy significativa, destacándose el consumo de amoníaco anhidro. El mayor crecimiento en el consumo de amoníaco se presentó durante el período 1960-1980, cuando se instalaron un gran número de plantas de producción. Luego de 1980, la participación de mercado del amoníaco se mantuvo relativamente estable, a diferencia de la demanda de UAN que mostró un continuo crecimiento. En los últimos años las curvas de market share de amoníaco y UAN convergieron, explicándose este cambio en la tendencia de uso entre fuentes por las crecientes medidas de seguridad vigentes (Figura 2).

La Figura 1 presenta los valores de consumo mundial de UAN y soluciones nitrogenadas para distintos países del mundo en 2009. En América del sur, la Argentina es el principal consumidor de fertilizantes fluidos, seguido por Uruguay. Otros países de América Latina como Brasil, México y Colombia han desarrollado en menor medida las fuentes fluidas, a base de soluciones realizadas a partir de la dilución de fertilizantes sólidos, y su uso se circunscribe a cultivos intensivos bajo cubierta, caña de azúcar y en sistemas de fertirriego.

Figura 1. Consumo mundial de UAN y soluciones nitrogenadas de algunos países seleccionados (IFA, 2012) Global UAN Statistics 2009. (IFA 2010.)

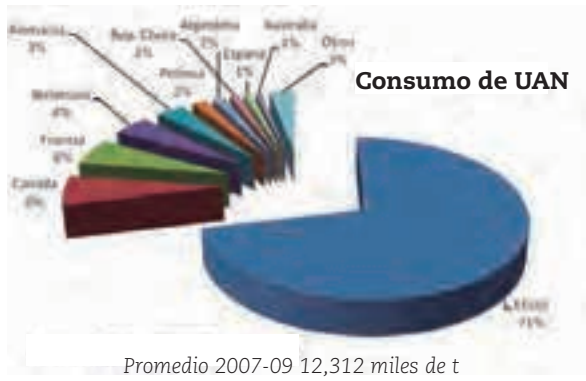
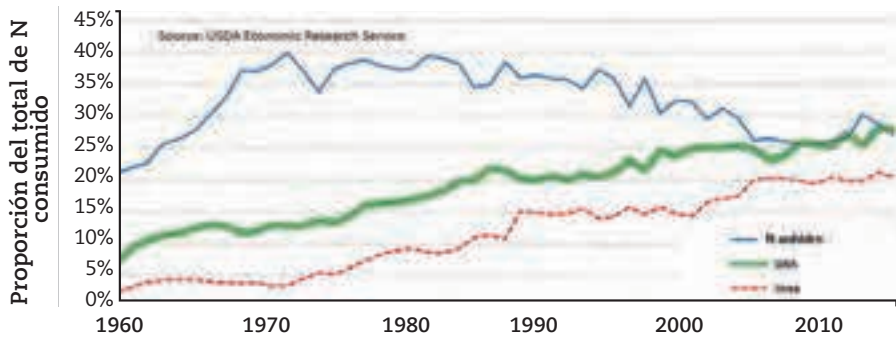


Figura 2. Evolución de la participación de mercado del nitrógeno proveniente de diferentes fuentes fluidas en EE.UU.



La demanda mundial de soluciones nitrogenadas sigue un patrón similar al de los demás fertilizantes nitrogenados, como urea, sulfato y nitrato de amonio, con tasas de crecimiento similares, y sujeto a las variaciones del mercado de commodities. Así, hasta el año 2009 el consumo aparente mundial de UAN creció sostenidamente hasta alcanzar un pico del orden de los 18 millones de t en el 2008 (Valentini, 2011). Posteriormente, la crisis económica mundial redujo marcadamente la demanda de nitrógeno (N) en general y de UAN en particular, en la mayoría de los mercados. En 2009 la demanda global de UAN se redujo a 11,3 millones de t, el nivel más bajo desde comienzos de la década del 2000. Sin embargo, desde el año 2010 tuvo lugar una recuperación significativa de la demanda, alcanzando 13,1 millones de t en 2011. EE.UU continúa siendo actualmente el principal consumidor con 8,8 millones de t anuales (IFA, 2012).

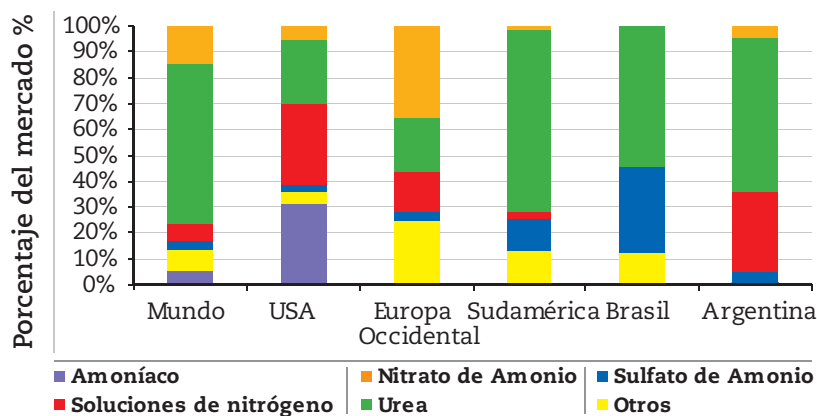
La gran expansión del uso de soluciones nitrogenadas se puede explicar por distintos factores:

- » Seguridad en el manipuleo comparado con soluciones presurizadas como el N anhidro
- » Facilidad de inyección en sistemas de riego
- » Facilidad de almacenamiento
- » Elevada capacidad de trabajo debido a la posibilidad de aplicarlo en bandas superficiales, sin necesidad de incorporar en profundidad con sistemas de aplicación especializados como se requiere con el N anhidro
- » Adaptación a sistemas de producción en siembra directa, donde se pueden aplicar con gran eficacia logística en aplicaciones en superficie

La convivencia de fertilizantes sólidos y fluidos indicaría un mercado maduro en el que la oferta es variada y la demanda aprovecha las ventajas que presenta cada tipo de fuente, adaptándolas a sus necesidades y a las relaciones de precios entre ellas. De esta forma vemos que los distintos productos son sustitutos pero también complementarios y permiten optimizar el trabajo del productor agropecuario. El UAN siempre juega un rol complementario a otras fuentes de N: se registran mercados en los que toda la oferta de productos nitrogenados son fuentes sólidas, pero nunca se da el caso contrario. Los EE.UU y la Unión Europea representan casos paradigmáticos de mercados fuertemente desarrollados tanto en la oferta como en la demanda donde coexisten diferentes fuentes de N, tanto sólidas como líquidas (Figura 3). Por el contrario, en países en vías de desarrollo, en general la demanda de fertilizantes se concentra principalmente en fuentes sólidas, dominando la urea.

Si analizamos la penetración de los fertilizantes líquidos según estado en EE.UU, parecería confirmarse la hipótesis planteada antes. En ningún estado la participación de mercado del UAN es mayor al 50% del N utilizado. Aquellos estados preponderantemente maiceros o de cultivos bajo regadío son los que presentan una demanda proporcionalmente mayor del UAN por sobre las fuentes sólidas.

Figura 3. Participación de distintas fuentes de N en diferentes países o regiones (base nutriente). (Fuente: Kleffmann Group - Kaiser Association – IFA).



» Fertilizantes fosfatados fluidos

Los fertilizantes fosfatados fluidos se presentan típicamente como soluciones (ya sea de APP u ortofosfatos formuladas en base al ácido fosfórico), o suspensiones de ortofosfatos elaboradas en plantas ubicadas cerca de las áreas de demanda. Por otra parte, EE.UU lidera la producción y consumo de fertilizantes fosfatados fluidos a nivel mundial. En el período 2005-06, la producción de APP en EE.UU fue de 1,331 mil t, siguiéndole Canadá con 96 mil t y Rusia con 56 mil t. El 30% del consumo de P_2O_5 de EE.UU corresponde a APP (10-34-0) y fosfatos de amonio (MAP y DAP), utilizados en la formulación de suspensiones (Tabla 3).

Tabla 3. Consumo de fertilizantes fosfatados fluidos en EE.UU en dos periodos (Fuente: Commercial Fertilizers, AAFCO, 2010).

Fertilizante	2005-6	2009-10
	miles de t de productos	
10-34-0	1,175	1,090
11-37-0	655	65
Total fluidos fosfatados	1,830	1,155
MAP	2,334	2,077
DAP	3,200	1,363
MAP/DAP	5,534	3,440
% Fluidos	33%	34%

» Fertilizantes potásicos fluidos

El 9% del consumo aparente de K_2O de EE.UU corresponde a fertilizantes fluidos, tanto en soluciones como en suspensiones. Estas últimas resultan particularmente atractivas para formular mezclas fluidas multinutrientes con alta concentración de K (Dowdle, 2000).

La estimación del consumo de fertilizantes líquidos potásicos es difícil, ya que salvo el tiosulfato de potasio, las principales materias primas para elaborar formulaciones fluidas NPK son las fuentes sólidas tradicionales, las que se disuelven y se agregan al UAN o soluciones de APP.

Desarrollo y perspectivas del uso de fertilizantes fluidos en la Argentina

» Consumo de fertilizantes fluidos

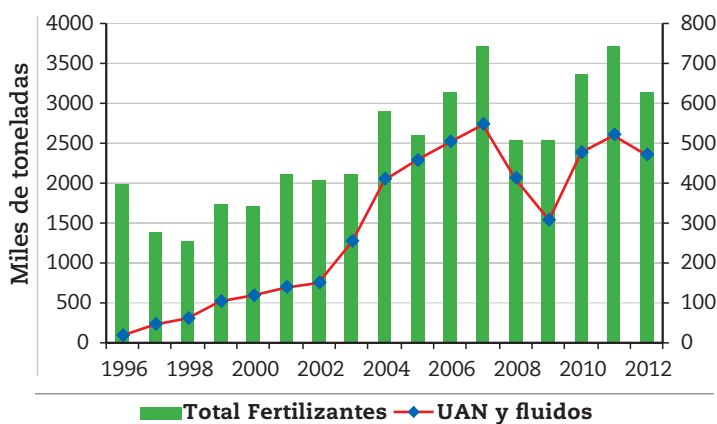
La Argentina es el principal país en términos de demanda de fertilizantes fluidos en América Latina. La industria local de fertilizantes líquidos se inició en 1995, cuando se instaló en Campana la primera planta de producción de UAN de la empresa PASA (actualmente Bunge). La construcción de la planta no fue el mayor problema técnico que resolver, sino que el mayor desafío fue el desarrollo de una red de proveedores de servicios de transporte, tanques de almacenamiento y materiales apropiados, adaptando equipos de aplicación y sobre todo, la intensa labor de extensión para comunicar a los productores agropecuarios las ventajas de los fertilizantes líquidos.

El proceso fue liderado por el Ingeniero Agrónomo Pedro Faltilhauser, quien había comprobado las ventajas del UAN en EE.UU. El mismo complejo de Campana, pro-

veyó a principios de los años 90 amoníaco para la empresa Agar Cross, que había organizado una logística de distribución y aplicación dedicada. Sin embargo la creciente presión en los temas de seguridad y medio ambiente determinó que el proyecto se desactivara en el año 1997.

Dentro de los fertilizantes nitrogenados el UAN fue el único producto presente en el mercado argentino entre los años 1997 y 2002, cuando la necesidad de azufre introdujo en el mercado mezclas líquidas enriquecidas con sulfato o tiosulfato de amonio. La participación de mercado de los fertilizantes líquidos en Argentina fue creciente hasta ocupar el 17% a los 12 años de su lanzamiento. Posteriormente, el market share de fuentes fluidas varió de acuerdo a los cambios evidenciados en el consumo global de fertilizantes (Figura 4).

Figura 4. Mercado de fertilizantes total y de fuentes líquidas en la Argentina. (Fuente: elaboración propia a partir de datos de CIAFA, Fertilizar AC.).

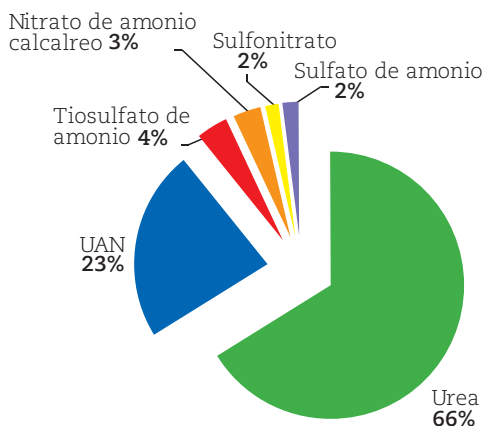


El crecimiento en la demanda de fertilizantes líquidos fue posible gracias a las inversiones en plantas de producción y logística. Entre las plantas de producción podemos contar la ampliación de UAN en Campana realizada en 1998; la planta de tiosulfato de amonio en el mismo predio finalizada en 2004; la planta de formulación de UAN de Agrefert en el puerto de San Nicolás, la planta de mezclado y formulación de NPK de Nutriterra en San Juan y la de síntesis de sulfato de amonio líquido de Buffon en Río Tercero. En logística de importación se convirtieron los puertos aceiteros de Guadalupe en Rosario y ACA en San Lorenzo para adecuarlos al UAN. Además se construyeron tanques dedicados al almacenamiento de UAN en los puertos de San Nicolás (Profertil y Ponal) y Necochea (Ponal). Finalmente en la localidad de América (Pcia. de Buenos Aires) y en Las Cejas (Pcia. de Tucumán) se encuentran los más importantes centros de distribución mediterráneos.

Si se analiza el mercado de fertilizantes nitrogenados y nitro-azufrado en Argentina, se destaca que los fertilizantes líquidos como UAN enriquecidos con sulfato o tiosulfato de amonio presentan una significativa participación (Figura 5). La baja volatilización de N en aplicaciones en bandas superficiales (“chorreado”) promueven una mayor utilización en maíz en relación a cereales de invierno, donde esta característica no ofrece mejores resultados. Asimismo se destaca una mayor concentración de la demanda en el

segmento de maíces tardíos o de 2° donde el momento de la aplicación del fertilizante coincide con períodos con elevadas temperaturas, predisponentes a las pérdidas por volatilización de N.

Figura 5. Participación de fuentes con nitrógenadas o nitro-azufradas en el mercado argentino. (Fuente: elaboración propia a partir de datos de CIAFA –Fertiizar AC).



La Argentina produce actualmente alrededor de 280.000 t de UAN y 84.000 t de tiosulfato de amonio en la planta de producción ubicada en Campana (Buenos Aires). En general estas fuentes se mezclan en diferentes proporciones (e.g. 80-20, 90-10%) para obtener diferentes formulaciones nitro-azufradas. Además de esta empresa, se han instalado algunas empresas que producen y/o comercializan diferentes soluciones nitrogenadas y nitro-azufradas con diferentes grados (e.g. Buffon, Agrefert, etc.). Algunas de estas empresas realizan las formulaciones a través de la disolución de fertilizantes sólidos como urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio en diferentes proporciones.

A diferencia de EE.UU, Argentina no cuenta con producción local de ácido superfosfórico y APP, hecho que limita significativamente la oferta de esta

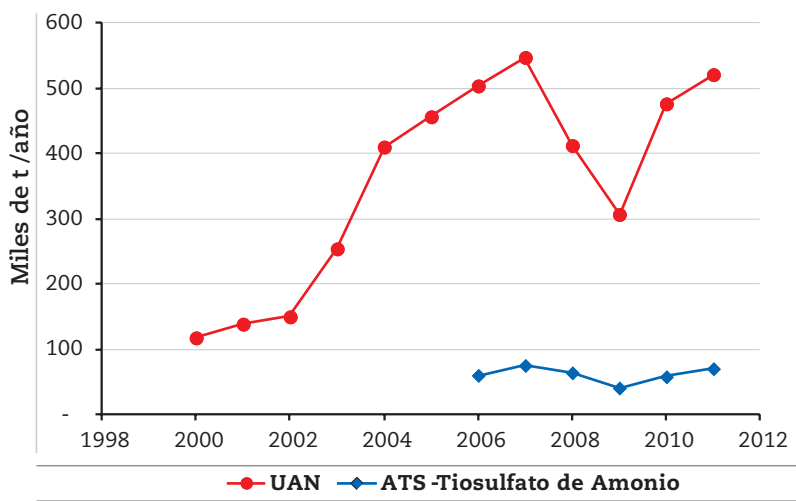
solución a precios competitivos y consecuentemente restringe la expansión del uso de arrancadores fosfatados líquidos. Tampoco está difundido el uso de fertilizantes arrancadores como tales, ya que la mayor parte del aporte del P al cultivo se hace a la siembra utilizando fertilizantes sólidos desvirtuando el concepto norteamericano, donde se aplican dosis bajas, tendientes a promover la implantación y el establecimiento, y el resto del aporte de P se realiza en otros momentos. Existen empresas que importan el APP destinándolos a cultivos intensivos y otras que formulan y comercializan soluciones ácidas que contienen N, P y S. Estas soluciones son producidas a partir del ácido fosfórico, disolviendo fertilizantes sólidos. Las mismas se posicionan en cultivos extensivos como arrancadores, y se aplican en bandas superficiales en diferentes momentos como pre-siembra o pre-emergencia, como así también en estadios ontogénicos tempranos. Existe gran interés comercial en este tipo de fuentes y hay algunos proyectos de inversión para instalar plantas de producción de APP destinados a ese segmento de mercado.

El uso de fuentes potásicas en general y fluidas en particular en cultivos extensivos es poco significativa debido a la muy buena dotación de este nutriente en los suelos de la Región Pampeana, donde se ubica el 90% de la producción de granos.

En cultivos intensivos se posicionan fuentes como tiosulfato de potasio y formulaciones NPK formuladas en base a cloruro de potasio de la empresa Nutriterra en San Juan. Estas fuentes tienen fuerte penetración en zonas de riego, especialmente con riego presurizado.

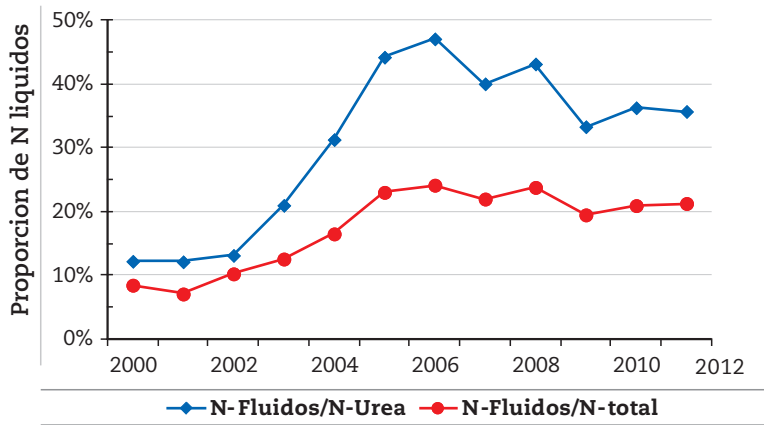
El uso de fertilizantes fluidos en la Argentina, particularmente de las soluciones nitrogenadas, se expandió significativamente en la última década (Figura 6).

Figura 6. Evolución del consumo (despachos) de soluciones nitrogenadas en la Argentina, expresado en miles de toneladas de producto. (Fuente: Fertilizar AC, fabricantes y Aduana).



Considerando solo el N líquido aplicado, la proporción de éste creció hasta el año 2005 respecto de la urea y otras fuentes nitrogenadas pero luego se estabilizó alrededor del 20 %, aunque acompañando el crecimiento global del mercado de fertilizantes (Figura 7).

Figura 7. Evolución de la proporción de N consumido de soluciones nitrogenadas en relación al N de la urea y del total de la oferta de productos en Argentina.



En igual sentido que en EE.UU, el incremento en el uso de fertilizantes fluidos en la Argentina fue simultáneo al aumento en la utilización de fertilizantes sólidos a granel (en especial mezclas), mientras que el uso de fertilizantes en bolsas sufrió una progresiva reducción (Melgar & Torres Duggan, 2005; Melgar, 2005).

El gran éxito en la adopción de los fertilizantes fluidos en la Argentina, se puede vincular con diferentes factores, entre los más destacables:

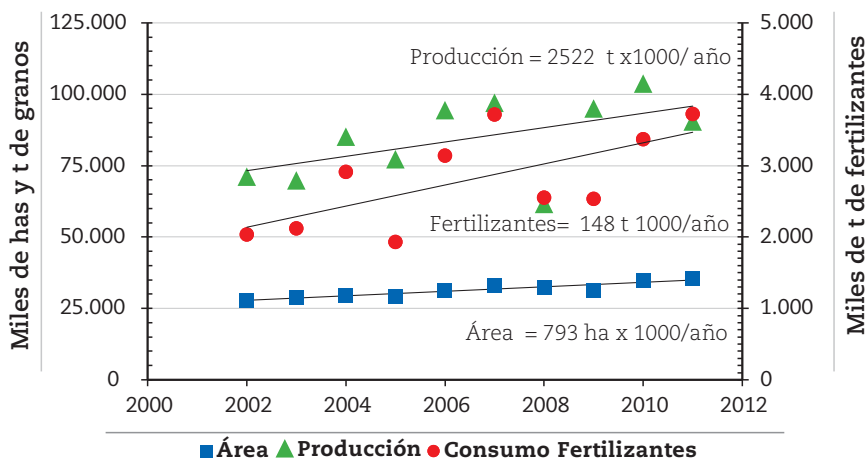
- » **Tamaño de las explotaciones y escala de producción.** Los establecimientos en Argentina son relativamente extensos, y los fertilizantes líquidos ofrecen ventajas crecientes en la medida que aumenta la escala. Se utilizan equipos aplicadores de gran escala y capacidad de trabajo, donde la operación de carga y recarga de fertilizante fluidos tienen ventajas sobre los sólidos. Los fertilizantes líquidos son más fáciles de manipular. Abrir una válvula de transferencia o colocar una bomba de líquidos en funcionamiento son operaciones más fáciles que operar chimangos para transportar sólidos
- » **Fuerte adopción de la siembra directa, que por dejar residuos en superficie, incrementa la predisposición a las pérdidas por volatilización de N en cultivos de verano y consiguientemente estimular la utilización de fuentes con baja volatilización como el UAN, más eficientes en esas condiciones**
- » **Desarrollo de la maquinaria agrícola.** Empresas de maquinaria e implementos (pulverizadoras, tanques) que captaron la oportunidad que se presentaba haciendo desarrollos específicos
- » **Menor inversión de capital para poner en marcha una planta de fertilizantes líquidos de la requerida para una planta de mezclado de fertilizantes sólidos.** Además transferir fertilizantes líquidos desde un tanque a otro ó a los equipos aplicadores requiere menor trabajo para transportar sólidos granulados desde las celdas de almacenamiento a carros-tolvas
- » **Cercanía a los puertos.** La mayor parte de las tierras productivas están cercanas a la oferta de fertilizantes, por lo que el flete no encarece desproporcionadamente a las fuentes con menor grado
- » **Perfil innovador de productores.** Una de las particularidades de los productores agropecuarios es su juventud y actitud innovadora que los ubica como líderes en adopción tecnológica a nivel mundial
- » **Empresas enfocadas en estrategias de diferenciación de productos que prefirieron los fertilizantes líquidos para expandirse y financiaron las investigaciones y acciones de difusión y transferencia de tecnología**
- » **Organismos públicos de investigación, desarrollo y extensión que apoyaron los trabajos y actividades de investigación y extensión sobre fertilidad de suelos y fertilización de cultivos (e.g. AACS, INTA, IPNI, Fertilizar AC, AAPRESID, AACREA, Universidades)**

Un relevamiento realizado en 2005, cuando ya se había consolidado la adopción de los fertilizantes fluidos en Argentina, indicó que la mayoría de los usuarios fundamentaba la utilización de esta forma de fertilización en tres factores: “buenos resultados”, “facilidad de aplicación” y “velocidad de aplicación”. La menor volatilización es un atributo percibido por la mayoría pero valorado en una dimensión menor que los aspectos operativos y/o logísticos mencionados antes. El estudio, en base a la comparación del UAN con la urea, estableció que los usuarios percibieron como desventajas relativas al mayor precio, la fitotoxicidad y la corrosión de los equipos en relación a la urea. Por otra parte, las demandas más frecuentes de los usuarios hacia los distribuidores fueron el aumento en los costos de los servicios de aplicación, almacenaje y demoras en entrega en determinamos momentos del año, sobre todo en el cultivo de maíz, donde se concentró mucho la demanda. Se destacó una tendencia al mayor uso de UAN en establecimientos medianos y grandes en relación a los chicos. El acceso al equipamiento e infraestructura es la barrera de entrada a la tecnología, que se manifestó con claridad en los productores más chicos. El estudio concluyó que todos los elementos indicaron que, de tender a disminuir las barreras de entrada que generan las dificultades de logística, debería continuar la tendencia ascendente del uso del UAN.

» Perspectivas del uso de fertilizantes fluidos en la Argentina

La agricultura argentina es una de las más competitivas a nivel global. En los últimos años la producción de granos y el área sembrada crecieron sostenidamente (Figura 8). Este crecimiento, que en los últimos años fue del 3% anual, ha sido sostenido por un creciente uso de fertilizantes, que en el periodo aumentó a una tasa del 5% anual promedio.

Figura 8. Evolución de la producción de granos, del área sembrada y del consumo de fertilizantes en la Argentina. (Fuente: elaboración propia en base a datos de Fertilizar AC, y Ministerio de Agricultura, Ganadería, pesca y Alimentación).



El aumento en la producción de granos se debió a la combinación de mayor rendimiento (productividad) y área sembrada. El área sembrada aumentó también significativamente, con una tasa del 3% anual promedio, a raíz de la creciente agriculturización y desplazamiento de la ganadería hacia áreas marginales, localizadas principalmente en zonas extra-pampeanas. Además de la mayor utilización de fertilizantes, otros factores que contribuyeron al aumento del rendimiento fueron principalmente la mejora genética, ajustes en fechas de siembra y mejor control de adversidades (Álvarez et al. 2012; Lavado & Steinbach, 2010). La difusión de la siembra directa también representó un cambio tecnológico muy relevante. Su adopción fue exponencial en las últimas décadas, representando actualmente el 80% del área sembrada.

De acuerdo a estimaciones recientes, el consumo aparente de fertilizantes de la campaña 2011/2012 se ubica en 3,72 millones de t, similar al máximo de consumo obtenido en 2007. Por tratarse de un mercado en pleno crecimiento, existen perspectivas muy favorables de uso de fertilizantes en la Argentina para el mediano y largo plazo (Torres Duggan & Lamelas, 2012, Torres Duggan & Rodríguez, 2011). Algunos de los factores favorables para esta expansión son:

- » 90,5 millones de tierra potencialmente utilizable en agricultura
- » Rápida adopción de nuevas tecnologías
- » Incremento en el uso de riego complementario

- » **Deficiencia generalizada de nutrientes en el suelo y respuestas a la fertilización significativas**
- » **El aumento en la escala de las explotaciones y la consiguiente reducción en el número de las mismas, como consecuencia de nuevos sistemas de gerenciamiento de la explotación agropecuaria (típicamente ejemplificados por los pooles de siembra), representa un antecedente favorable para la demanda futura de fertilizantes sólidos a granel y fertilizantes fluidos, debido principalmente a sus ventajas logísticas. Al igual que lo ocurrido en EE.UU, sería esperable una progresiva reducción en el uso de fertilizantes en bolsa y su reemplazo por los fertilizantes sólidos a granel y las fuentes fluidas**

Teniendo en cuenta la evolución tan favorable del consumo de fertilizantes fluidos mencionado antes, sería esperable una demanda firme de este tipo de fuentes para el mediano y largo plazo, posiblemente con tasas anuales de crecimiento progresivamente más bajas, a medida que el mercado vaya alcanzando la madurez. Asimismo, un crecimiento adicional en el consumo de fertilizantes fluidos podría provenir a partir de la difusión y adopción de las fuentes fosfatadas líquidas, como el APP o soluciones ácidas de P aplicado a la siembra en cultivos extensivos.

A pesar de los aspectos favorables descriptos para el crecimiento en el consumo de fertilizantes fluidos en la Argentina, existen algunos factores que restringen su expansión. Los principales factores son:

- » **Expansión del cultivo de soja en los agro-sistemas (que no recibe aplicaciones de N por ser una leguminosa)**
- » **Reducciones en el área sembrada con trigo y en menor medida con maíz, que son los principales cultivos en donde se fertiliza con fuentes nitrogenadas o nitro-azufradas fluidas**
- » **Incertidumbre en el contexto económico, político e institucional, que limita la concreción de inversiones en el sector**
- » **Problemas en la disponibilidad de gas y ausencia de garantías en su provisión para la instalación y/o ampliación de plantas de fertilizantes**
- » **Falta de inversión gubernamental en el sistema de transporte y almacenamiento en puertos**
- » **Escasa financiación para proyectos de inversión a escala de distribuidores de fertilizantes**

Sin embargo, la mayoría de los pronósticos de consumo de fertilizantes que se han realizado recientemente reportan buenas perspectivas de demanda de fertilizantes, ya sea considerando proyecciones simples basadas en la evolución histórica reciente del uso de fertilizantes o estimaciones basadas en escenarios de reposición de nutrientes (García & Darwich, 2009; Pusseto, 2012). Así, de acuerdo a estas proyecciones el consumo de fertilizantes para el año 2015 se ubicaría en un rango de 4,5-5,5 millones de t, un 17-40% superior al consumo actual. En cuanto a las perspectivas de consumo de soluciones nitrogenadas, considerando como base de proyección el crecimiento en el consumo aparente del período 1995-2009, se prevé una demanda promedio de 600 mil t de productos estimándose un crecimiento del 3 al 5% anual.

Con referencia a los fertilizantes fosfatados fluidos se observa un aumento del número de empresas proveedores de pequeña escala, que intentan cubrir la demanda de productores innovadores. Se estima que los volúmenes comercializados son muy bajos aun

en relación a otros fertilizantes fosfatados aplicados a la siembra, pero con perspectivas de crecimiento.

En base a lo mencionado previamente, se prevé una demanda firme de fertilizantes fluidos para el largo plazo, aunque la magnitud de la misma dependerá de varios factores: (i) contexto económico, (ii) contexto político e institucional, (iii) cambios en el área sembrada de los cultivos, (iv) progreso genético en cultivares y (v) mejoras en las prácticas agrícolas y el consiguiente aumento en la eficiencia en el uso de los nutrientes.

Uso de fertilizantes fluidos en otros países de Latinoamérica

En los países de la región hubo intentos de lanzamientos de proyectos con avances y retrocesos. Se presenta una breve síntesis del panorama actual:

» **Uruguay.** A raíz de la expansión de la agricultura desde comienzos de la década pasada, liderado por productores de Argentina, este mercado comenzó a consumir UAN a partir del año 2000, momento en que PASA realizó las primeras exportaciones por camión. La expansión fue constante y lo utilizan tanto productores agropecuarios argentinos como uruguayos. La aplicación en cereales de invierno en forma conjunta con herbicidas o puro en estadios avanzados de desarrollo, son las claves agronómicas en este mercado. Actualmente se reciben soluciones de UAN y tiosulfato de amonio por camión desde Argentina a tanques ubicados en las principales localidades sobre los puentes de la frontera, así como UAN desde ultramar en un puerto recientemente inaugurado en Nueva Palmira. Además la empresa local ISUSA formula UAN a partir de fuentes sólidas en su planta de Montevideo. La participación del N líquido en el mercado de Uruguay ronda el 14% (base nutriente).

» **Brasil.** Este país tiene una historia de uso de fertilizantes fluidos a partir de la vinaza o líquidos de desecho de la producción de caña de azúcar. En el estado de San Pablo se formula UAN 30%, además de soluciones y suspensiones NPK destinadas a caña de azúcar, citrus y café. Estas formulaciones pueden aplicarse en conjunto con la vinaza de caña, rica en potasio. Bunge posee una planta de formulación en la localidad de Jau y varios ingenios cuentan con instalaciones propias para abaratar los fletes. Es especialmente reconocida la eficiencia del UAN en aplicaciones chorreadas en superficie y se agregan a pedido inhibidores de volatilización.

» **Colombia.** Recientemente se han instalado plantas de producción de UAN con una capacidad de producción de alrededor de 200 t anuales

» **México.** Posee una importante producción de cultivos hortícolas muy demandantes de fertilizantes fluidos para fertirriego. Pocos desarrollos se han realizado sin embargo para su empleo en cultivos extensivos a diferencia de lo que ocurrió en EE.UU, su país vecino.

Consideraciones finales

La fertilización fluida en la Argentina es una de las tecnologías que ha evidenciado mayor expansión en los últimos tiempos. Este proceso ha convertido a la Argentina como el principal mercado de fertilizantes fluidos en el sur de América Latina. En los últimos años también se observa cierta expansión de la adopción de los fertilizantes líquidos en Uruguay (en la región Litoral), asociado a la expansión de la agricultura

permanente en siembra directa.

De acuerdo a estos antecedentes, resulta razonable prever una demanda firme de este tipo de fertilizantes para el corto y mediano plazo, sobre todo en cultivos de grano (trigo, cebada, maíz y sorgo). La gran expansión de la soja en detrimento de los cereales que ha tenido lugar en la Argentina, si bien representa un factor desfavorable para el crecimiento del consumo de fuentes nitrogenadas fluidas, constituye una oportunidad para posicionar fuentes fosfatadas fluidas (e.g. APP, soluciones ácidas, etc.) en el futuro cercano.



TIPOS DE FERTILIZANTES FLUIDOS

» Martín Torres Duggan y Ricardo Melgar

Clasificación de fertilizantes fluidos	32
Soluciones nitrogenadas y nitro-azufradas	33
»UAN.....	33
»Tiosulfato de amonio.....	34
»Reacción en el suelo de fuentes nitrogenadas y azufradas líquidas	35
Soluciones fosfatadas líquidas	38
»Polifosfatos de amonio.....	38
»Soluciones fosfatadas a base de ácido fosfórico	39
»Reacción en el suelo de fertilizantes fosfatados líquidos	40
Soluciones potásicas	43
»Tiosulfato de potasio	43
»Soluciones concentradas de sales potásicas.....	43
»Reacción en el suelo de soluciones potásicas	43
Suspensiones	43
Aditivos para mejorar la eficiencia de los fertilizantes fluidos	45
Mezcla de macro y micronutrientes en fertilizantes fluidos	46
»Selección de fuentes	46
»Mezclas NPK	46
»Incorporación de micronutrientes en fertilizantes fluidos	48
Micronutrientes en soluciones	49
Micronutrientes en suspensiones	50
»Fertilizantes líquidos utilizados en fertirriego	51
Fertirriego o Fertigación	51
Tipo de fuentes	53
Influencia del pH en la disponibilidad de nutrientes	55



Clasificación de fertilizantes fluidos

Los fertilizantes fluidos se clasifican según su estado de agregación en fuentes gaseosas (N anhidro) y fuentes líquidas. También se los suele clasificar en soluciones (ya sean gaseosas o líquidas) y suspensiones.

Existe una gran diversidad de tipos de fertilizantes fluidos utilizados en los agro-sistemas, dependiendo del país; fase del desarrollo del mercado de fertilizantes; condiciones agro-ecológicas; características de los sistemas de producción (escala de las explotaciones, tipo de cultivos, tecnologías de procesos), entre otros factores. En la Tabla 1 se presentan los principales tipos de fertilizantes fluidos utilizados en la agricultura.

Tabla 1. Principales fertilizantes fluidos utilizados en la agricultura.

Tipo de fertilizante	Ejemplo
Nitrogenados	N anhidro; UAN; soluciones de urea; soluciones de nitrato de amonio; soluciones de agua amoniacal
Fosfatados	Polifosfatos de amonio; suspensiones; soluciones ácidas
Potásicos	Tiosulfato de potasio; soluciones de cloruro de potasio, suspensiones NPK con cloruro de potasio
Azufrados	Soluciones de tiosulfato de amonio o sulfato de amonio; suspensiones de azufre elemental
Micronutrientes	Quelatos de Zn y Cu; sulfatos de Zn y Cu; Solubor
Mezclas	Suspensiones NPK; soluciones NPK o NS; soluciones ácidas NP o NPS

Fuente: Bunge Fertilizantes

A diferencia de EE.UU, donde el N anhidro y/o las suspensiones representan fuentes fluidas importantes en términos de volumen comercializado, en América del Sur las principales fuentes fluidas utilizadas son soluciones líquidas nitrogenadas, nitro-azufradas o multielementales y en menor medida soluciones fosfatadas líquidas.

Dentro de las soluciones se pueden diferenciar dos grupos: 1) nitrógeno anhidro (82% de N), que se almacena y transporta en forma presurizada en estado líquido y se convierte a gas en el suelo durante su aplicación (inyección en profundidad) y 2) soluciones mono o multinutrientes. De estas últimas, las nitrogenadas no presurizadas, son las más difundidas a nivel global. El N anhidro solamente se utiliza en EE.UU, donde existe una red de ductos que lo transportan a largas distancias, permitiendo un manejo seguro y económico de este producto. Debido a la necesidad de equipamiento muy especializado para la aplicación y las precauciones para el manipuleo, su consumo se mantiene relativamente estable a diferencia de las soluciones que desde la década de los años 80 evidenciaron un continuo crecimiento. En Argentina lo comercializo una empresa local hasta el año 1998, discontinuándolo luego por dificultades en su provisión.

Las soluciones son sistemas materiales homogéneos donde los ingredientes utilizados (solutos), que son fertilizantes utilizados como materia prima, se encuentran en solución acuosa. Dentro de este grupo se encuentran las soluciones nitrogenadas muy difundidas tanto en EE.UU como en la Argentina (e.g. UAN, soluciones nitro-azu-

fradas). También existen soluciones fosfatadas como los polifosfatos de amonio y las soluciones NP a partir de ácido fosfórico neutralizadas con amoníaco. Todas estas soluciones, se almacenan, transportan y aplican a presión atmosférica. Por otro lado, el hecho que no se requiere su inyección en profundidad, les otorga un atributo de gran valor para ser utilizado en sistemas de siembra directa, donde se aplican en superficie.

Las suspensiones se caracterizan por presentar dos fases, donde una de ellas presenta sólidos en suspensión, que pueden ser insolubles en agua o solubles pero en su solución saturada. Para ello se utilizan agentes dispersantes (e.g. arcillas). Originalmente las suspensiones se desarrollaron en EEUU para formular productos multinutrientes con alto contenido de potasio (K). Tanto las soluciones líquidas como las suspensiones se las aplica al suelo, ya sea en forma inyectada o chorreada, mientras que las soluciones también se las puede aplicar vía fertirriego o foliar.

Soluciones nitrogenadas y nitro-azufradas

» UAN

La solución de UAN (del inglés, urea ammonium nitrate) se obtiene a través de la disolución de una solución acuosa de urea al 75-80% a 120°C y una solución de nitrato de amonio a 40°C. Posteriormente, se agrega agua para lograr la concentración requerida y la solución es enfriada para obtener la relación exacta de urea y nitrato de amonio. Existen diferentes tipos de soluciones de UAN (Tabla 2), según la concentración relativa de sus ingredientes, con distintas propiedades físico-químicas (Tabla 3).

Tabla 2. Grado y formas químicas del soluciones de UAN.

Soluciones de UAN			
Composición	28 % de N	30% de N	32% de N
Nitrato de amonio	40,1 %	42,2 %	44,3 %
Urea	30,0 %	32,7 %	35,4 %
Agua	29,9 %	25,1 %	20,3 %

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del UAN.

Propiedad	UAN 28	UAN 30	UAN 32
Apariencia	Líquido incoloro. Leve color ocre.		
Olor	Inoloro. Leve olor a amoníaco		
pH	6,8-7,5		
Punto de cristalización	-18°C	-10°C	-2°C
Punto de ebullición	107°C		
Inflamabilidad	No inflamable		
Propiedades oxidantes	No clasificado como oxidante		
Densidad a 16°C	28% de N 1,279 t/m ³	30% de N 1,303 t/m ³	32% de N 1,320 t/m ³
Solubilidad en agua	100%		
Índice Salino (base nitrato de sodio=100)	Base peso fertilizante= 74,2. Base peso de nutriente=38,3		
Equivalente acidez	Kg CO ₃ Ca/kg de N=1,8. Kg CO ₃ Ca/100 kg de material=58,0		

» **Tiosulfato de amonio**

El tiosulfato de amonio (TSA) se obtiene a través de la reacción del dióxido de azufre y amonio en solución, seguido por la segunda reacción con azufre elemental. El TSA es compatible con soluciones nitrogenadas y potásicas que tengan un pH neutro o ligeramente ácido. En la Argentina esta fuente se produce en una planta de producción ubicada en la localidad de Campana (Argentina). Se utiliza principalmente en mezclas con soluciones de UAN, para lograr contenidos variables de N y S según las proporciones de UAN y TSA utilizadas en la formulación (e.g. 80-20%, 90-10%) En términos generales, esta fuente se aplica al suelo, en forma “chorreada” (bandas superficiales) y también se aplica a través del riego (fertirriego).

El TSA se lo utiliza principalmente para aportar azufre (S) a las formulaciones líquidas, aspecto relevante teniendo en cuenta que existen deficiencias generalizadas de S en los suelos de la región pampeana, donde se han observado respuestas significativas a la fertilización azufrada en diversos cultivos (trigo, soja, maíz, colza, alfalfa, entre otros). En las Tablas 4 y 5 se presenta la composición química y las principales propiedades físico-químicas del TSA.

Tabla 4. Composición del tiosulfato de amonio.

Forma química	%
Nitrógeno total	12
Nitrógeno amoniacal	12%
Azufre (como tiosulfato)	26%

Tabla 5. Propiedades y atributos de calidad del tiosulfato de amonio.

Propiedad	Descripción
Apariencia	Líquido claro, incoloro a amarillento verdoso claro
Olor	Inodoro a ligero olor amoníaco
pH	7-8,5
Punto de cristalización	5°C
Inflamabilidad	No es inflamable
Miscibilidad con soluciones nitrogenadas	Alta. En presencia de pH alto precipita S elemental (coloidal)
Densidad (a 16°C)	1,32 - 1,35 t/m ³
Solubilidad en agua (a 20°C)	1480 g/L

De las propiedades mencionadas para las soluciones nitrogenadas y nitro-azufradas, la densidad es el atributo más utilizado para el control de la calidad de los fertilizantes líquidos. En el caso de las soluciones de UAN, existe una correlación entre su contenido de N y su densidad. Así el UAN 28 tiene una densidad de 1,28 t/m³ y el UAN 32 una densidad de 1,32 t/m³. Asimismo, el análisis químico del fertilizante (contenido y formas de N) también se utiliza en el control de calidad.

» Reacción en el suelo de fuentes nitrogenadas y azufradas líquidas

Las tres formas en la que se puede encontrar el N en los fertilizantes líquidos son:

» Urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$)

» Amonio (NH_4^+)

» Nitrato (NO_3^-)

De estas tres formas, el amonio y los nitratos son biodisponibles para las plantas. Se analizan a continuación la reacción en el suelo de fuentes nitrogenadas y azufradas que forman parte de formulaciones líquidas:

Hidrólisis de la urea

La hidrólisis de la urea es una reacción bioquímica, catalizada por la enzima ureasa, presente en el suelo. La conversión de N amídico en N amoniacal implica la captación de iones hidrógeno (protones) del medio, determinando una reacción fuertemente alcalina.



En aplicaciones superficiales de N amídico (ya sea como urea o formulaciones que la contengan) el equilibrio entre el amonio y amoníaco se desplaza “hacia productos”, generando pérdidas de N por volatilización de amoníaco.



Cuando se aplica urea o formulaciones líquidas que la incluyan (e.g. UAN), la hidrólisis del N amídico ocurre rápido, siempre que se presenten las condiciones ambientales predisponentes (suelo húmedo, temperatura $>20^\circ\text{C}$). Si la fertilización se hace sobre suelo seco (i.e. cercano al punto de marchitez permanente), no ocurre hidrólisis de la urea y cuando llueve o se realiza riego, la urea se incorpora en el suelo, y se minimizan las pérdidas de N por volatilización de amoníaco.

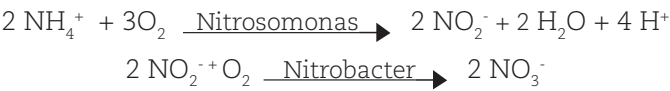
Reacción del nitrato de amonio

El nitrato de amonio presenta una reacción final ácida, donde los protones liberados se originan en la nitrificación del amonio (Zubillaga & Rimski-Korsavov, 2007):



El destino del amonio (ya sea proveniente de la hidrólisis de la urea o de fuentes amoniacales), son: i) absorción por el cultivo, ii) adsorción en complejo de cambio del suelo, iii) volatilización de amoníaco. Cuando el fertilizante se incorpora en el suelo (en la operación de siembra, lluvia o riego) los dos primeros destinos son los más significativos. El amonio que no es absorbido por el cultivo, en general se transforma a nitrato relativamente rápido en el suelo. Este proceso es conocido como nitrificación y se reali-

za en dos etapas consecutivas donde intervienen bacterias de géneros diferentes:



Finalmente, el N en forma de nitrato (que es muy soluble y que no reaccionan con la fase sólida del suelo) se puede absorber por las plantas, perderse por lixiviación y en suelos anegados pueden ocurrir pérdidas gaseosas por desnitrificación (Tabla 6).

Tabla 6. Mecanismos de pérdida de nitrógeno y condiciones predisponentes.

Mecanismo	Condiciones predisponentes
Volatilización de amoníaco	Alta temperatura ($\geq 20^\circ\text{C}$) Humedad edáfica pH elevado Dosis elevadas de N Viento
Lixiviación de nitratos	Nitratos disponibles Balance hídrico positivo Textura arenosa Dosis elevadas de N Sistema radicular poco profundo
Desnitrificación de nitratos	Disponibilidad de nitratos Condiciones de anaerobiosis Temperatura Actividad microbiana

Elaboración propia en base a Rodríguez (2004); Chien et al., (2009).

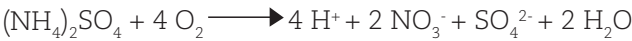
En cuanto al S, el mismo se puede encontrar en diferentes formas químicas en las formulaciones líquidas:

- » Sulfato (SO_4^{2-})
- » Tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$)
- » Azufre elemental (S^0)

El S en forma de sulfato es la forma biodisponible (en la que las plantas absorben este nutriente). El tiosulfato, si bien debe oxidarse a sulfato para proveer S disponible, el proceso es rápido y por ello en general se lo considera una fuente de S de inmediata disponibilidad.

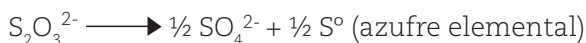
Reacción del sulfato de amonio

Los fertilizantes nitrogenados que contienen aniones ácidos, como el sulfato presentan reacción ácida y acidifican más el suelo que la urea (Zubillaga y Rimski-Korsavov, 2007):

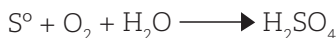


Reacción del tiosulfato de amonio

La reacción en el suelo del tiosulfato de amonio es ácida, liberando SO_4^{2-} y azufre elemental en partes iguales (Gowariker et al 2009).



El amonio puede seguir los mismos destinos mencionados previamente para el sulfato de amonio. El azufre elemental, se debe oxidar en el suelo para proveer S disponible (Bixby y Beaton, 1970; Til, 2010). Esta reacción es fuertemente ácida, con producción de ácido sulfúrico:



El S° derivado de la reacción del tiosulfato de amonio, por encontrarse en forma coloidal y en un medio acuoso, se oxida rápidamente.

Reacción del azufre elemental

Debido a su insolubilidad en agua, el azufre elemental se lo utiliza principalmente como materia prima de suspensiones, donde el problema de la solubilidad se resuelve a través del uso de agentes dispersantes. La oxidación del azufre elemental es un proceso bioquímico, donde intervienen diferentes organismos (quimioautotróficos, bacterias del género *Thiobacillus*.; fotoautotróficos, etc.). Este proceso es complejo y depende de la interacción de varios factores, tanto edáficos y como del propio azufre elemental (Horowitz et al., 2005). Los principales factores que inciden en la oxidación del azufre elemental en el suelo son: i) tamaño de partículas (granulometrías < 150-200 µm son más efectivas), ii), humedad edáfica (el óptimo se ubica en contenidos hídricos cercanos a capacidad de campo), y temperatura del suelo (con temperaturas entre 10-40 °C la oxidación se incrementa en forma lineal mientras que a temperaturas menores a 4°C se torna muy lenta).

Reacción en el suelo de fuentes líquidas y eficiencia de uso de nutrientes

En aplicaciones al suelo, los procesos de disolución de los fertilizantes involucran un volumen muy reducido de suelo, son temporarios y no tienen gran influencia en el pH global del suelo, a pesar de que pueden incidir sobre la nutrición de los cultivos en alguna etapa fenológica específica (Young et al., 1985). Los fertilizantes líquidos que contienen o reaccionan liberando amonio (e.g. soluciones de UAN, soluciones de sulfato de amonio, soluciones de urea), presentan una reacción ácida, ya que el amonio se nitrifica en el suelo liberando protones (iones hidrógeno). En términos generales, cuando la cantidad de nutriente aplicado (N o S) es similar al requerido por el cultivo, el riesgo de acidificación por aplicación de fuentes amoniacales es bajo.

La eficiencia de aprovechamiento del N aplicado en agro-sistemas es baja, entre el 40 y 70% del N aplicado (Hassell, 2007). De acuerdo a la información experimental reciente, en los sistemas de producción de trigo y maíz de la región pampeana argentina, la recuperación del N aplicado se ubica en el 35-80% (García & Salvagiotti, 2010a). Las pérdidas de N en estos cultivos evaluado a través de numerosos experimentos son: volatilización de amoníaco (1,1-30%); lixiviación de nitratos (<0,01-23%), desnitrificación (0,13-6,9%). La aplicación de mejores prácticas en el uso de los nutrientes (selección de fuente, momento y forma de aplicación correcta), constituye una herramienta eficaz para mejorar la eficiencia agronómica de los nutrientes aplicados (García y Salvagiotti, 2009).

En cuanto al S, si bien su ciclo biogeoquímico es más cerrado que el del N, pueden ocurrir pérdidas por lixiviación de sulfatos (e.g. suelos con textura gruesa). La adsorción y las pérdidas gaseosas desde la superficie del suelo o desde las plantas presentan menor

relevancia (Haneklaus et al., 2000). La información experimental disponible sobre estos procesos en la región pampeana es escasa.

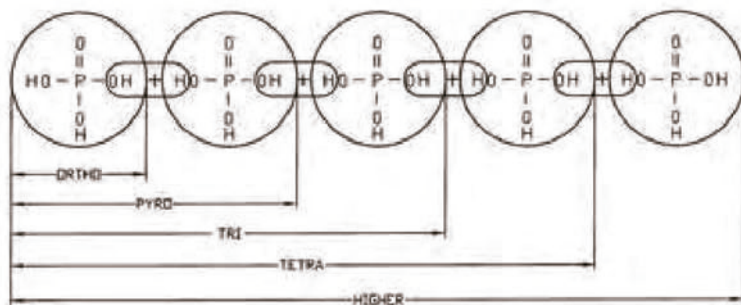
Soluciones fosfatadas líquidas

» Polifosfatos de amonio

Los polifosfatos de amonio (APP) son las soluciones fosfatadas más difundidas a nivel global. Los grados más utilizados son 10-34-0 y 11-37-0. La mayor parte de las soluciones de APP se obtienen a partir del ácido superfosfórico (proceso humedo), amonio y agua. El ácido superfosfórico es el nombre que utiliza la industria de fertilizantes para los ácidos fosfóricos que contienen entre 68 y 83% de P_2O_5 . El ácido superfosfórico se obtiene por concentración del ácido fosfórico (54% P_2O_5), proceso en el cual se libera agua por evaporación. Durante este proceso ocurre la reacción de polimerización de ortofosfatos (entre los grupos oxidrilos de las moléculas de ácido ortofosfórico), generando el ácido pirofosfórico. Este compuesto contiene alrededor de 68-70% de P_2O_5 y 20-35% de polifosfatos.

El largo de las cadenas (n) del polímero es variable y ramificado, pudiendo ser mayor a 1000. Los polifosfatos de cadenas cortas y lineares ($n < 100$) son mas solubles, fácilmente hidrolizables y menos estables térmicamente que los polifosfatos de cadenas largas ($n > 1000$), que muestran una muy baja solubilidad en agua ($< 0,1$ g/ 100 ml). En la Figura 1 se muestra la estructura de la molécula de polifosfato de amonio.

Figura 1. Diferentes grados de polimerización de fosfatos.



La solución de grado 10-34-0 contiene comúnmente más de 65-70 % del P total en forma de polifosfato, siendo el 30-35 % restante ortofosfato. Las soluciones de APP pueden contener dos o más de varias especies de fosfatos tales como ortofosfatos, pirofosfatos y especies lineares de fosfatos conteniendo tres o más átomos de fósforo que incluyen comúnmente tri-polifosfatos y tetra-polifosfatos. Si bien no son comunes, hay otros materiales que contienen polifosfatos. Hasta hace un tiempo, el TVA (Tennessee Valley Authority) produjo material experimental de grado 11-55-0 con 20-25 % del P total como polifosfato.

Un atributo de gran relevancia del APP es su capacidad secuestrante (quelante) de cationes, permitiendo incorporar una mayor cantidad de micronutrientes en las for-

mulaciones NPK que utilicen APP como materia prima. Este aspecto será profundizado cuando se describa la formulación de micronutrientes en fertilizantes fluidos. En la Tabla 7 se presenta la composición química del APP y en la Tabla 8 se detallan las principales propiedades físico-químicas de esta fuente.

Tabla 7. Composición química del APP.

Composición	%
Fósforo total(P ₂ O ₅)	34-37
Fósforo disponible soluble en citrato de amonio	30-35
Fosfato como polifosfato	65-75
Nitrógeno total (amonacal)	10-11
Agua	34-45
Al ₂ O ₃	0,2-1,3
Fe ₂ O ₃	0,21-0,8
MgO	0,1-0,2
SO ₄	1,0-1,7

Tabla 8. Propiedades físico-químicas del APP.

Propiedad	Descripción
Apariencia	Líquido claro, de color verdoso, claro u oscuro.
Olor	Ligero olor a amoníaco.
pH	6,5-7,0
Punto de cristalización	4°C
Densidad (a 16°C)	1,30-1,43 t/m3
Solubilidad en agua	Completa
Inflamabilidad	No inflamable

Las soluciones de APP se mezclan con diferentes fertilizantes (e.g. UAN, soluciones de sales de potasio, etc.) para producir formulaciones líquidas NPK de grado variable (e.g. 7-21-7, 8-8-8, 21-7-0, etc.). Estos fertilizantes tienen gran difusión en EE.UU, sobre todo en el cinturón maicero, aplicados como arrancadores a la siembra de los cultivos de granos. Sin embargo también se pueden aplicar a través de sistemas de fertirriego y/o al suelo en forma “chorreada” a través de equipos pulverizadores montados o autopropulsados.

» **Soluciones fosfatadas a base de ácido fosfórico**

Las soluciones ácidas presentan un pH entre 1 y 3 (Hughes, 1994), y frecuentemente menor a 2 (Fertilizer Manual, 1998). La base de estas soluciones es el ácido fosfórico. Algunas de las materias primas más utilizadas en la formulación de soluciones ácidas multinutrientes para neutralizar y complementar al ácido fosfórico son el UAN, urea, cloruro de potasio, sulfato de amonio, etc.

Las principales ventajas de las soluciones fosfatadas ácidas son:

- » Se pueden obtener a partir de ácidos de baja pureza

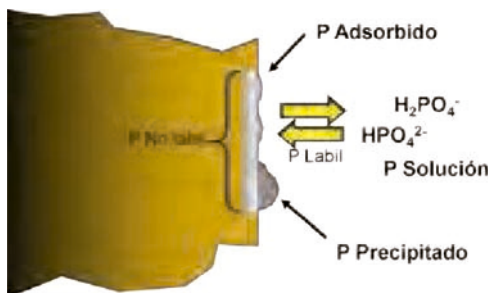
- » Se puede disolver una elevada cantidad de micronutrientes
- » Menor riesgo de formación de precipitados cuando se utilizan en sistemas de riego con agua dura

La principal desventaja de las soluciones ácidas es su capacidad corrosiva. Por ello, se deben implementar prácticas de seguridad durante el manipuleo y aplicación de estos fertilizantes, sobre todo en cuanto a protección de las vías respiratorias, los ojos y el contacto con la piel. Si bien el mercado actual de soluciones ácidas en la Argentina es aún incipiente, se observa en los últimos años mayor interés y desarrollos comerciales en este tipo de formulaciones.

» Reacción en el suelo de fertilizantes fosfatados líquidos

La reacción de los fertilizantes fosfatados en el suelo es un proceso muy complejo, donde intervienen diversos factores (tipo de fuente, propiedades edáficas, condiciones ambientales)(Chien et al., 2009). Luego de la disolución del fertilizante en el suelo, suceden una serie de reacciones (adsorción y precipitación) que reducen significativamente la disponibilidad del P aplicado (Figura 2)

Figura 2. Interacción del fósforo con la fase sólida del suelo (©IPNI).



Dependiendo del tipo de fuente aplicada y el tipo de suelo (pH), el P soluble en forma de fosfato monocalcico o fosfato de amonio, reaccionan con la fase sólida del suelo generando compuestos cada vez menos solubles. En suelos con reacción ácida, los compuestos dominantes son de P-Fe-Al, mientras que en suelos neutros o alcalinos, se producen compuestos P-Ca (Figura 3).

Figura 3. Reacción de fuentes fosfatadas en el suelo (IPNI).



En general, debido a los procesos de precipitación y/o adsorción, una baja proporción del P aplicado es aprovechado por el cultivo el primer año de la fertilización (frecuentemente < 25%)(Ciampitti et al. 2011). Sin embargo, el P restante, puede producir efectos residuales en los cultivos siguientes de la rotación, dependiendo de diferentes factores (dosis de P; remoción de P de los cultivos, precipitación y adsorción de P; inmovilización con compuestos orgánicos, etc.). La residualidad de la fertilización fosfatada (y también azufrada) es muy frecuente en los suelos Molisoles de la región pampeana, como así también en otras regiones agro-ecológicas alrededor del mundo.

El pirofosfato proveniente del APP, luego de un período de tiempo, se hidroliza en el suelo, generando ortofosfatos de amonio. Este proceso es relativamente rápido y depende de factores microbiológicos (e.g. fosfatasas) y edáficos (e.g. pH, textura y humedad). De acuerdo a la literatura internacional, existe similar disponibilidad del P aplicado cuando se aplica en forma de ortofosfato o polifosfato para la mayoría de los suelos.

En los últimos años se destaca un renovado interés en las investigaciones vinculadas con la comparación de fuentes fluidas y granuladas. En términos generales, en suelos no calcáreos, no alcalinos, no se observan diferencias en performance agronómica entre formas fluidas o sólidas, mientras que en suelos fuertemente calcáreos se ha reportado una mayor efectividad de las fuentes fluidas (Lombi et al. 2004; Chien et al., 2009). En la Figura 4 se muestra un experimento realizado sobre suelos calcáreos del sur de Australia, donde se puede observar la mayor biomasa aérea de trigo en los tratamientos donde el P se aplicó en forma fluida comparado con el tratamiento de P aplicado con fuentes granuladas.

Figura 4. Efectividad de fertilizantes fosfatados fluidos y sólidos en el cultivo de trigo en un suelo calcáreo del sur de Australia (imagen gentileza Dr. Mike McLaughlin, CSIRO, Land & Water, Australia).

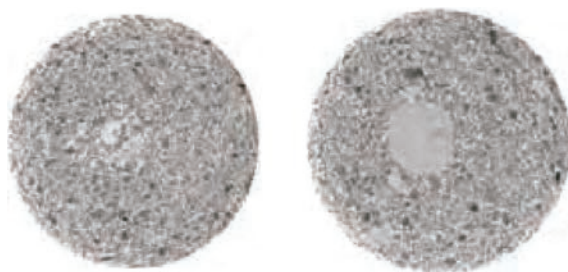


Asimismo, se han podido comprobar experimentalmente los mecanismos subyacentes

que explican la mayor performance relativa de las fuentes fluidas. Así, a través de técnicas muy sofisticadas (e.g. dilución isotópica, microtomografía, etc.), se ha observado mayor difusión, solubilidad y biodisponibilidad (labilidad) del P y micronutrientes aplicados en forma fluida comparado con los nutrientes aplicados a través de fertilizantes granulados (Bertrand et al. 2006; Ganga et al. 2006; Hettiarachchi et al. 2008). Por lo tanto, estas diferencias no se encuentran asociadas a cambios en el pH del suelo alrededor de los gránulos o bandas de fertilizantes fluidos.

Estudios más detallados analizando secciones horizontales en el punto de aplicación de un gránulo de MAP a través de tomogramas indican que en la zona inmediatamente alrededor de los gránulos ocurre un aumento en la densidad (debido a la ocurrencia de procesos de precipitación) y de la humedad (osmosis entre el suelo que rodea al gránulo y el gránulo), no detectados cuando se inyecta MAP en forma fluida (Figura 5).

Figura 5. Tomografía horizontal del MAP inyectado en forma fluida (izquierda) o en forma granulada (derecha), 24 h del momento de aplicación (Ganga et al. 2006, imagen gentileza Dr. Mike McLaughlin, CSIRO, Land & Water, Australia).



La diferente dinámica de las formas solidas y liquidas de fosfatos influye también en la disponibilidad de otros nutrientes. Estudios realizados por Hettiarachchi et al (2008), donde se incubaron muestras de suelo y fertilizantes, muestran mayor difusión y solubilidad del Zn aplicado en forma fluida comparado con la aplicación incorporado en gránulos de MAP. Empleando técnicas muy novedosas, los autores pudieron demostrar también que una elevada proporción del Zn presente en los gránulos de MAP permanecen dentro del gránulo, sin disolverse. Por el contrario, cuando se aplica en forma fluida, el Zn presenta mayor difusión y genera compuestos de mayor solubilidad (Figura 6).

Figura 6. Mapas de fluorescencia de rayos X de Zn. Las áreas blancas o amarillas corresponden con áreas con alta fluorescencia (alto contenido de Zn), mientras que las áreas azules u negras, corresponden con áreas con menor fluorescencia (baja concentración de Zn). (Ganga et al. 2006, imagen gentileza Dr. Mike McLaughlin, CSIRO, Land & Water, Australia).



Soluciones potásicas

» Tiosulfato de potasio

Es una solución acuosa al 50% de concentración (p/p). Contiene 25% de K_2O y 17% de S. La forma química del S es como tiosulfato ($S_2O_3^{2-}$). El anión tiosulfato se oxida rápidamente a la forma de sulfato (SO_4^{2-}), disponible para las plantas. La densidad del tiosulfato de potasio es de $1,34 \text{ g/cm}^3$. La Argentina cuenta con producción local de este fertilizante líquido, que se destina principalmente a cultivos regionales e intensivos. La utilización de esta fuente líquida en cultivos de granos extensivos de la región pampeana muy baja o nula, ya que los suelos dominantes en esta región agro-ecológica presenta muy altos contenidos de K intercambiable, mayores a los límites críticos de éstos cultivos. La utilización de este fertilizante en cultivos extensivos de la región pampeana no es frecuente ya que los contenidos de K de los suelos son mayores a los límites críticos de los cultivos.

» Soluciones concentradas de sales potásicas

En sistemas de fertirriego, puede ser interesante la preparación de soluciones concentradas de K para ser utilizadas para formular soluciones NPK. Para ello se utilizan fuentes cristalinas o hidrosolubles de cloruro de potasio, nitrato de potasio y sulfato de potasio como materias primas. Para realizar este tipo de mezclas, es importante considerar la solubilidad de los fertilizantes, y la compatibilidad con otros fertilizantes utilizados en la formulación (este tema se describe en la sección de fertirriego).

» Reacción en el suelo de soluciones potásicas

La reacción del K presente en fertilizantes fluidos, es similar al de la reacción de fuentes sólidas. Una vez disuelto el K en el suelo, comienza la regulación de los equilibrios químicos en el suelo: K en solución, K adsorbido en arcillas (K intercambiable), K en minerales secundarios (poco disponibles para las plantas). La cantidad de K retenido o adsorbido en el suelo depende del tipo de suelo, principalmente la cantidad y tipo de arcillas presente. En suelos tropicales, donde la mineralogía de arcilla es fundamentalmente kaolínica (arcillas 1:1), ocurre una significativa oclusión del K aplicado en la estructura cristalina de las arcillas. Este proceso tiene menor incidencia en suelos de regiones templadas, caracterizados por una mineralogía de arcilla de tipo illítico y/o esmectítico (arcillas 2:1). En estos suelos, si bien puede ocurrir adsorción en las arcillas, el proceso suele ser reversible e inclusive se pueden presentar residualidad de la fertilización.

En cuanto a los iones acompañantes del K, si el mismo es tiosulfato ($S_2O_3^{2-}$) éste debe oxidarse a SO_4^{2-} para que el S pueda ser aprovechado por las plantas, proceso que, como se dijo antes, es un proceso relativamente rápido en la mayoría de los suelos. Si el anión acompañante es SO_4^{2-} , éste ya se encuentra en forma biodisponible. Dependiendo del tipo de suelo y en especial de su mineralogía (e.g. tipo de arcillas, presencia de alofanos y/o óxidos), el SO_4^{2-} se puede adsorber y/o fijar en el suelo, perderse por lixiviación y/o absorberse por el cultivo. Si el anión acompañante es el cloruro en solución, este ión es muy soluble y móvil en el suelo.

Suspensiones

Las suspensiones presentan el 10-40% del peso total del fertilizante en forma de par-

tículas suspendidas. Para mantener los nutrientes en suspensión se utilizan agentes dispersantes (arcillas), como atapulgita, bentonita, etc.

El agregado de agentes dispersantes aumenta la viscosidad del fertilizante, aspecto que debe ser evaluado y monitoreado para evitar que se alcance un valor de viscosidad crítico para la normal distribución del fertilizante (bombeo, transporte, almacenamiento, aplicación). Así, la viscosidad no debería superar los 500 centipoises, aunque algunos estudios muestran un compartamiento aceptable con viscosidades de hasta 800 centipoises. Con viscosidades mayores, se afecta de un modo significativo el manejo del fertilizante, como así también el patrón de distribución durante la aplicación.

Las suspensiones fosfatadas son utilizadas en EE.UU, aunque la necesidad de implementar sistemas de agitación durante el almacenamiento, transporte y aplicación constituyen una restricción a la adopción de este tipo de materiales en comparación con las soluciones de UAN o el APP, que no requieren de sistemas de agitación.

La industria de fertilizantes fluidos originalmente se basó en la provisión de soluciones líquidas. Sin embargo, surgieron algunas desventajas de las soluciones que los hacían menos competitivos en comparación con fertilizantes sólidos o mezclas físicas secas. Algunos de estos problemas fueron:

- » **Costos elevados de materias primas para lograr soluciones más concentradas y riesgo de cristalización con bajas temperaturas.**
- » **Uso de fuentes de micronutrientes más caras (e.g. quelatos)**
- » **Bajo contenido de nutrientes y el subsiguiente encarecimiento de costos de formulación (e.g. tiempo de mezclado), almacenamiento y transporte.**

Debido al panorama mencionado antes, se desarrollaron las suspensiones, con las siguientes ventajas:

- » **Posibilidad de realizar mezclas con herbicidas insolubles en agua, que se mantienen solubles en suspensión**
- » **Obtención de formulaciones con alto contenido de K**
- » **Posibilidad de adición de altos contenidos de micronutrientes**
- » **Suspensión de herbicidas y/o insecticidas en polvo insolubles en agua**

Las formulaciones más difundidas en EE.UU son aquellas que tienen un elevado contenido de K (e.g. 7-14-21, 3-10-30, 4-12-24), al igual que suspensiones con alta concentración de N (e.g. 14-14-14, 20-10-10, 21-7-7, 24-8-0).

En la Argentina, se han realizado algunos intentos de posicionar las suspensiones fosfatadas (e.g. 9-27-0), la adopción fue baja debido a las complicaciones mencionadas previamente para el manipuleo y aplicación. Estas suspensiones requerían de la agitación durante el transporte, almacenamiento y del uso de maquinaria específica para su aplicación (e.g. incorporadoras o equipos de siembra adaptados) ya que no se podían aplicar con pulverizadoras. Actualmente estos desarrollos se discontinuaron, debido principalmente a dificultades para desarrollar la cadena comercial y logística minorista.

Aditivos para mejorar la eficiencia de los fertilizantes fluidos

Recientemente la AAPFCO (Association of American Plant Food Control Officials) adoptó la expresión “Enhanced efficiency fertilizers” para caracterizar productos que pueden minimizar el potencial de pérdidas de nutrientes al ambiente, comparado con fertilizantes solubles tomados como referencia. Esta denominación tuvo gran aceptación internacional (Chien et al. 2009). Los fertilizantes de eficiencia mejorada incluyen: 1) fertilizantes de liberación lenta, 2) fertilizantes de liberación controlada, 3) fertilizantes estabilizados. Estos materiales se utilizaron tradicionalmente en sistemas de producción muy especializados y/o con alto valor como céspedes (e.g. canchas de golf o campos deportivos), cultivos ornamentales, cultivos hortícolas, etc.). Sin embargo, en la última década, estos fertilizantes y aditivos se fueron evaluando en una gama más amplia de cultivos (maíz, arroz, trigo, papa, forrajeras y algunos cultivos hortícolas). Este proceso de expansión del uso de fertilizantes de eficiencia mejorada se debió al incremento en la escala de las plantas de producción, abaratando la tecnología, y las políticas de promoción aplicadas por la industria de fertilizantes (principalmente de EE.UU, Canadá, China y Japón) (Trenkel, 2010).

Inhibidores de la ureasa

Estos aditivos bloquean el funcionamiento de la enzima ureasa por un determinado período de tiempo. Si durante ese período no se incorporó el fertilizante a través de la lluvia o riego, la dinámica del N seguirá un camino similar a la fuente de N sin tratar. El inhibidor de ureasa con mayor adopción a nivel global es el nBPT (Agrotain®), que se lo utiliza tanto como aditivo de la urea granulada o de soluciones de UAN.

Inhibidores de la nitrificación

Los inhibidores de la nitrificación permiten mantener por un tiempo el N en forma amoniacal (proceso de estabilización). En EE.UU se utiliza el Nitrapirin ó N-Serve® tanto en fertilizantes sólidos como fluidos. La magnitud de la estabilización depende del tipo de compuesto y de las condiciones ambientales.

Formulaciones con sulfato o tiosulfato de amonio

Existen antecedentes que muestran que la mezcla de urea con sulfato de amonio, puede reducir las pérdidas por volatilización de amoníaco, debido a la reacción ácida del sulfato de amonio (Chien et al. 2009). En formulaciones líquidas, el uso del TSA, mejora la eficiencia de uso del N amídico (presente en el UAN) ya que actúa como un inhibidor de la ureasa (Goos & Fairlie, 1998). Es importante aclarar que el tiosulfato de amonio no es un fuerte inhibidor de la ureasa comparado con inhibidores específicos como el nBPT.

Aditivos para mejorar la eficiencia de uso de fósforo

Recientemente se desarrolló un compuesto (Avail®) que permitiría incrementar la eficiencia de uso del P. Se trata de polímeros cargados negativamente (1800 meq/100g) con una gran afinidad por cationes multivalentes (e.g. Ca, Mg), que permitiría aumentar la disponibilidad inicial del P agregado como fertilizante. Se lo está evaluando, con resultados promisorios, en diversos sitios de EE-UU, junto con fosfatos de amonio (MAP, DAP) y también con fuentes fluidas como el APP. Este tipo de aditivos serían de mayor interés en suelos altamente calcáreos, para reducir los procesos de precipitación del P aplicado.

Mezcla de macro y micronutrientes en fertilizantes fluidos

» Selección de fuentes

La combinación de varios nutrientes agregados con diferentes fuentes con el objetivo de obtener una formulación que contenga más de un nutriente esencial, puede ocasionar problemas de compatibilidad. Dichas combinaciones pueden afectar la solubilidad de los nutrientes incorporados, generando compuestos de baja solubilidad o precipitaciones y cristalización de los ingredientes al poco tiempo de mezclado. Este aspecto es especialmente problemático en las soluciones, ya que las suspensiones, dichos precipitados pueden mantenerse en suspensión a través de la acción de los agentes dispersantes.

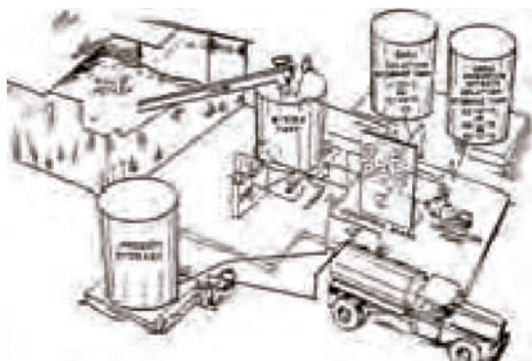
Los problemas de compatibilidad pueden minimizarse a través de una correcta selección de las fuentes de nutrientes. Los fertilizantes con mayor solubilidad son preferidos. En términos generales, los nitratos y cloruros presentan mayor solubilidad que los sulfatos y éstos presentan una solubilidad considerablemente mayor que óxidos, carbonatos o bicarbonatos. Hay una clara incompatibilidad de las combinaciones de algunas fuentes por ejemplo fosfatos y fuentes de calcio. Considerando que la solubilidad y viscosidad varían con la temperatura, la selección de las fuentes utilizadas como materia prima en las mezclas debe permitir un comportamiento físico adecuado a la menor temperatura a la que será almacenada la mezcla.

Los quelatos son una alternativa atractiva para utilizar en soluciones ya que presentan una elevada solubilidad en solución y disponibilidad en el suelo. Por ello, cuando se compara la performance agronómica de compuestos inorgánicos (e.g. sulfatos de micronutrientes metálicos) con los quelatos, se debe considerar que éstos presentan una mayor efectividad agronómica, que puede compensar, por lo menos parcialmente, su mayor costo.

» Mezclas NPK

La formulación de mezclas NPK (soluciones líquidas) a nivel de plantas de distribución minorista es una práctica habitual en algunos países, principalmente en EE.UU. Se utilizan sistemas de mezclado en frío o en caliente. El primer sistema es el más sencillo, donde no ocurre liberación de calor durante la mezcla (Figura 7).

Figura 7. Planta de mezclado de soluciones líquidas a través del método frío (Hughes, 1994).



La diferencia del mezclado en caliente, es que se utiliza ácido fosfórico, agua amoniacal o N anhidro, cuya reacción exotérmica provee el calor necesario para lograr la disolución de los fertilizantes durante el mezclado. Por lo tanto, no se utilizan fuentes externas de calor, como agua caliente o vapor.

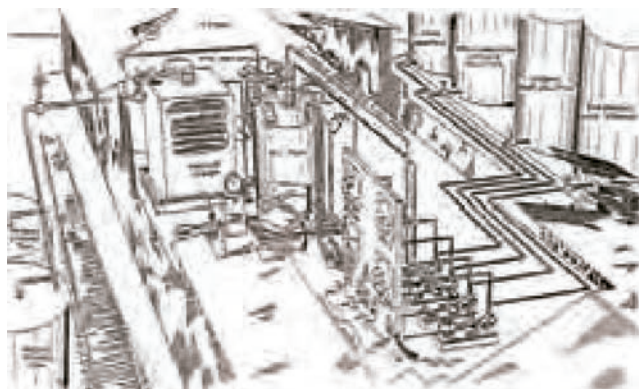
En la formulación de mezclas NPK (soluciones líquidas), además de agua, se utilizan los siguientes fertilizantes: APP (10-3-0 o 11-37-0), UAN 28 o 32; urea, ácido fosfórico, N anhidro o solución acuosa de amoníaco (agua ammonia), cloruro de potasio, TSA, micronutrientes, entre los más representativos.

El grado de la formulación depende de los siguientes factores:

- » **Tipo de materias primas utilizadas**
- » **Temperatura de cristalización deseado**
- » **Temperatura de almacenamiento**
- » **Solubilidad de los fertilizantes utilizados en la mezcla**
- » **Solubilidad de las sales utilizadas en la mezcla final**
- » **Contenido de APP en la mezcla**

El tiempo requerido para producir un batch de mezcla formulada por el sistema de mezclado frío, depende de la temperatura de la materia prima fluida y de la temperatura de cristalización del producto final. Cuando la temperatura de las materias primas supera los 7°C, el tiempo de mezclado suele ser razonable (alrededor de 30 minutos). Algunos distribuidores minoristas reducen el tiempo de mezclado utilizando agua caliente o vapor para calentar la mezcla. La necesidad de calor es importante debido a la reacción endotérmica del cloruro de potasio, urea y otros fertilizantes sólidos, que se utilizan como materia prima.

Figura 8. Planta de mezclado de soluciones líquidas por el método caliente (Hughes, 1994).



Las principales ventajas del mezclado caliente en relación al mezclado frío son:

- » **No se requiere una fuente de calor externo para facilitar la disolución de las materias primas**
- » **Generalmente es más económico proveer parte del P y N a través del uso del ácido**

fosfórico y agua amoniacal, que utilizar solamente el APP

» Se pueden utilizar fertilizantes nitrogenados sólidos de reacción endotérmica como la urea aprovechando el calor de reacción del ácido fosfórico y al agua amoniacal

La mayor parte de los distribuidores minoristas reportan que obtienen mezclas de buena calidad utilizando el sistema de mezclado caliente, si el contenido de APP de la formulación final es del 45%, que es considerablemente menor al contenido de APP en las mezclas frías, donde se utiliza un 70% de APP, que permite lograr grados mas concentrados en este tipo de sistema de mezclado.

» **Incorporación de micronutrientes en fertilizantes fluidos**

La aplicación de micronutrientes utilizando como vehículo formulaciones líquidas permite una dosificación precisa y una aplicación uniforme de los nutrientes (Bell y Dell, 2008). Con la excepción del B y Mo, las principales fuentes de micronutrientes utilizados en formulaciones líquidas son sulfatos, quelatos o complejos (Tablas 9 y 10).

Tabla 9. Fuentes inorgánicas de micronutrientes.

Fuente	Contenido	Forma química	Solubilidad en agua
Borax	11% B	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10 H ₂ O	Soluble
Acido bórico	20% B	Na ₂ B ₈ O ₁₃ · 4H ₂ O	Soluble
Pentaborato de sodio	18% B	Na ₂ B ₁₀ O ₁₆ · 10H ₂ O	Soluble
Tetraborato de sodio (Fertibor®)	21	Na ₂ B ₄ O ₇	Soluble
Octoborato disódico decahidratado (Solubor®)	21% B	Na ₂ B ₈ O ₁₃ · 4H ₂ O	Soluble
Sulfato de cobre pentahidratado	25% Cu	CuSO ₄ · 5H ₂ O	Soluble
Sulfato de cobre monohidratado	35% Cu	CuSO ₄ · H ₂ O	Soluble
Sulfato férrico heptahidratado	20% Fe	FeSO ₄ · 7 H ₂ O	Soluble
Sulfato de manganeso	27% Mn	MnSO ₄ · xH ₂ O	Soluble
Molibdato de amonio	54% Mo	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	Soluble
Molibdato de sodio	39% Mo	Na ₂ MoO ₄ · 2 H ₂ O	Soluble
Sulfato de zinc heptahidratado	22-23% Zn	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	Soluble
Sulfato de zinc monohidratado	36-37% Zn	ZnSO ₄ · H ₂ O	Soluble
Sulfato de zinc amoniacado	10% Zn	Zn(NH ₃) ₄ SO ₄	Soluble
Oxisulfato de zinc	20-60% Zn	xZnSO ₄ · xZnO	Variable

Fuente: Bell & Dell (2008)

La selección de la fuente de micronutriente a ser utilizada como materia prima en formulaciones líquidas multielementales se basa fundamentalmente en la compatibilidad de las mismas con las fuentes de macronutrientes. Asimismo, la solubilidad de Cu, Fe, Mn y Zn los micronutrientes es mayor en soluciones de polifosfatos que en soluciones de ortofosfatos. Los polifosfatos secuestran los micronutrientes metálicos y los mantienen en altas concentraciones en solución. La solubilidad de los micronutrientes tam-

bién se puede modificar a través del manejo del pH de la solución. Así, en soluciones de UAN, si el pH es mantenido entre 7 y 8 a través del agregado de amonio, la solubilidad del sulfato de zinc se incrementa de 0,5 a 2%, permitiendo la aplicación de dosis más ajustadas a los requerimientos agronómicos (Bell y Dell, 2008).

Tabla 10. Quelatos y algunos complejos utilizados como fuente de microelementos.

Fuente	Formula química	% de elemento
Quelatos de cobre	Na ₂ CuEDTA	13-14
	NaCuHEDTA	9
Lignosulfonato de cobre	-	4-5
Poliflavonoides de cobre	-	4-7
Quelatos de hierro	NaFeEDTA	5-14
	NaFeHEDTA	5-9
	NaFeEDDHA	4-6
	FeEDDHMA	4-6
	FeEDDHSA	3-6
	NaFeDTPA	10
	FeEDDCHA	6
Lignosulfonato de hierro	-	5-8
Poliflavonoides de hierro	-	9-10
Quelatos de manganeso	MnEDTA	5-12
	MnDTPA	6
Lignosulfonato de manganeso	-	5
Poliflavonoide de manganeso	-	5-8
Quelatos de zinc	Na ₂ ZnEDTA	8-14
	NaZnHEDTA	6-10
	NaZnEDTA	9-13
	NaZnNTA	9-13
Lignosulfonato de zinc	-	5-12
Poliflavonide de zinc	-	5-10

Fuente: Bell & Dell (2008)

Micronutrientes en soluciones

Soluciones de UAN

Utilizando bórax como fuente de B en soluciones de UAN 32 se puede obtener una solución con 0,17% de B (a 0°C), mientras que empleando ácido bórico, se puede alcanzar una mayor concentración (0,32% de B). En cuanto al Zn, en esta misma solución, se alcanza una concentración de 0,24% de Zn y como se mencionó antes, se puede incrementar sustancialmente la solubilidad a través del agregado de amonio (e.g. 2% de Zn). Asimismo, cuanto más baja sea la concentración de N de la solución de UAN (e.g. UAN 28), mayor es la posibilidad de incrementar la concentración de Zn en forma de sulfato. En cuanto a los quelatos sintéticos, se puede lograr un 0,45% de Zn y Cu en soluciones de UAN 32.

Soluciones de ortofosfatos

Los sulfatos de Fe, Cu, Mn and Co son incompatibles con soluciones de ortofosfatos de grado 8-24-0. El agregado de polifosfatos (mínimo 45 % del P_2O_5 total) o el uso de quelatos son estrategias adecuadas para aportar estos microelementos en concentraciones viables desde el punto de vista agronómico. En cuanto al B, utilizando bórax se logra 1% de B y con molibdato de sodio 0,5% de B. La acidificación de la solución incrementa la solubilidad de los micronutrientes metálicos.

Soluciones de polifosfatos

Debido a la capacidad de secuestro de cationes de los polifosfatos, la solubilidad de los metales en soluciones 10-34-0 y 11-37-0 es significativamente mayor que en soluciones de ortofosfatos de grado similar (e.g. 8-24-0). De hecho, la solubilidad de los mismos es directamente proporcional al contenido de polifosfatos de la solución. Se han reportado soluciones estables por más de 20 días a 20°C preparadas en base a sulfato de microelementos metálicos y 10-34-0, logrando una concentración individual de nutrientes del 1% para Zn, C, y Fe.

Micronutrientes en suspensiones

Cualquier fuente de micronutriente se puede utilizar en la formulación de suspensiones, ya sean solubles (e.g. sulfatos, quelatos) o menos solubles (e.g. óxidos, oxisulfatos, fritas, etc.). La utilización de agentes dispersantes resuelve el problema de la solubilidad de los micronutrientes (se mantienen en suspensión). La utilización de 1-3% de atapulgita en la suspensión resulta una concentración efectiva para lograr una buena estabilización del producto.

La verdadera limitación en el agregado de micronutrientes en suspensiones es la viscosidad final de la mezcla. La misma no debe superar los 500 centipoises para lograr un óptimo comportamiento físico de la formulación durante la aplicación. Si la viscosidad supera 500 centipoises comienzan a verificarse problemas para la distribución y aplicación del fertilizante.

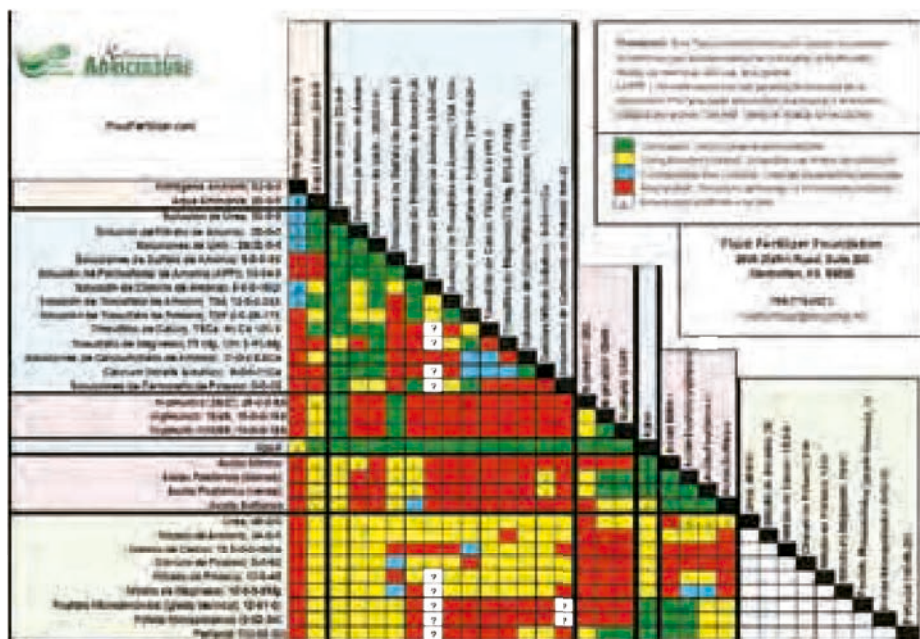
Jar test



La evaluación de la compatibilidad de fertilizantes fluidos en recipientes pequeños ("Jar test") es una forma práctica y sencilla de analizar la compatibilidad de fertilizantes. Utilizar las mismas proporciones que se utilizarán en la formulación. Si luego de un tiempo, se forman compuestos de baja solubilidad o se observa turbidez, la mezcla no es compatible.

Fuente: © Fairweather & Leikam (2012)

Figura 9. Compatibilidad de mezclas de fertilizantes fluidos. (Fuente: Fairweather & Leikam (2012)).



» Fertilizantes líquidos utilizados en fertirriego

Fertirriego o Fertigación

La fertirrigación consiste en la aplicación de fertilizantes solubles a través del agua de riego. En sistemas de riego localizados (goteo y microaspersión) esta técnica permite alcanzar una mayor eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes aplicados, conduciendo a una menor contaminación de aguas superficiales y subterráneas (Kafkafi y Tarchitzky, 2011).

Cultivos intensivos

La mayor parte de los sistemas de fertirrigación se utilizan en cultivos intensivos (e.g. hortalizas, frutales, cultivos florales y ornamentales, etc.), ya sea realizados a campo abierto o bajo cubierta (invernáculo). En éstos últimos, es donde se alcanza mayor control de las variables ambientales y nutricionales, logrando un mayor ajuste entre la demanda y oferta de agua y nutrientes. En algunos casos se utilizan sistemas computarizados muy sofisticados, donde es posible definir con gran exactitud, la dosis de nutrientes o su concentración en solución. Asimismo, es posible regular las formas químicas de los nutrientes, sobre todo del N. Así, es posible modificar la proporción de N en forma de urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), como amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-). Cuando la concentración de N en forma amídica o amoniacal es superior al 25%, se logra mayor expansión de la hojas y alargamiento de los entrenudos, mientras que una mayor proporción de nitratos, generan plantas más compactas (Zubillaga y Zubillaga, 2012). Este tipo de cuestiones son de gran utilidad en el diseño de estrategias nutricionales durante el ciclo de cultivos florales y ornamentales, donde no solo interesa la productividad,

sino también la calidad del producto. Las modificaciones de las formas químicas del N en el sistema también pueden influir en la disponibilidad de P en la solución de fertirriego. Cuando las plantas absorben NH_4^+ , liberan iones hidrógeno o protones (H^+) que acidifican la rizósfera y con ello se logra incrementar la disponibilidad del P. En sentido contrario, cuando las plantas absorben el N en forma de NO_3^- , las raíces liberan oxidrilos (OH^-), aumentando el pH rizosférico, reduciendo la disponibilidad de P.

La posibilidad de modificar con relativa facilidad la relación entre nutrientes en la solución de fertirriego (e.g. relación N:P:K) permite ajustar la provisión y proporción de los mismos de acuerdo a los requerimientos nutricionales de cada etapa fenológica del cultivo, logrando modificar también la calidad del producto cosechado (fruto, flor, hoja). Así, se puede realizar programas de fertirriego que aporten una mayor proporción de P al comienzo del ciclo (para promover un mayor crecimiento radicular) o mayor proporción de K en etapas finales para mejorar la calidad de los productos y/o su vida post-cosecha (Zubillaga y Zubillaga, 2012; Fernández y Torres Duggan, 2008).

Cultivos extensivos

La fertirrigación en cultivos extensivos se realiza principalmente a través de sistemas de riego complementario, que se han expandido en los últimos años en la región chaco-pampeana. Con este tipo de riegos se logra cubrir deficiencias hídricas durante períodos críticos para la determinación del rendimiento de los cultivos. Esto permite incrementar y estabilizar los rendimientos a través del tiempo. En la región pampeana, se utilizan sistemas de riego complementario en cultivos de granos, principalmente maíz, pero también en otros cultivos (trigo, soja).

La fertirrigación con N a través del riego complementario, puede ser una alternativa interesante para incrementar el rendimiento y la calidad del producto cosechado. El primer objetivo se logra cuando el N se aplica en estadios vegetativos no muy tardíos (e.g. hasta V12) mientras que las mejoras en la calidad se producen cuando las aplicaciones se producen en floración y/o llenado de granos. Si bien, como se mencionó antes, el riego complementario se utiliza principalmente para cubrir las deficiencias hídricas en estadios críticos (e.g. floración de maíz), en sistemas de producción de semillas es habitual que se utilice un período de riego más amplio, incluyendo tanto períodos vegetativos como reproductivos, y por consiguiente se pueden generar efectos tanto en el rendimiento como en la calidad de los granos, dependiendo del estadio fenológico.

Aplicación de UAN o formulaciones de UAN-TSA en sistemas de riego complementario de maíz en la región pampeana.



Cultivo de arándano en camellones, donde se observan los emisores de riego, donde se realiza fertirrigación (Gentileza Ing.Agr. Alberto Sánchez).



Tipo de fuentes

Existe una amplia gama de fertilizantes utilizados en sistemas de fertirriego, tanto sólidos como líquidos. Las fuentes sólidas resultan una alternativa más económica en sistemas intensivos de mayor escala. Las empresas especializadas cuentan con asesoramiento profesional y diseñan los programas de fertirriego utilizando, en general, fuentes cristalinas sólidas y ácidos (e.g. ácido fosfórico). Por el contrario, en sistemas intensivos bajo cubierta (e.g. cultivos hortícolas, florales, ornamentales) puede ser más práctico adquirir formulaciones multinutrientes ya listas para su uso, ya sean sólidas o líquidas. Los fertilizantes líquidos, en especial, las soluciones o sus mezclas, se adaptan perfectamente a los sistemas de fertirriego e.g. UAN, TSA, SPS. Un aspecto desfavorable de las formulaciones líquidas es su menor concentración relativa a formulaciones NPK cristalinas. Asimismo, la utilización de ácidos (e.g. ácido fosfórico) es habitual como estrategia para desincrustar precipitados que pudieran haberse formado en los sistemas de conducción o en los emisores.

Existen diferentes factores que inciden en la selección de fertilizantes en sistemas de fertirriego (Kafkafi y Tarchitzky, 2011). A saber:

- » **Cultivo y estado de crecimiento**
- » **Condiciones del suelo**
- » **Calidad del agua de riego**
- » **Disponibilidad de fertilizantes y sus precios**

Los fertilizantes utilizados en fertirriego deben ser de muy buena calidad. Las principales propiedades físico-químicas que se deben considerar para evaluar la calidad y aptitud de los fertilizantes para ser aplicados en fertirriego son:

- » **Tipo de fuente:** tanto las fuentes sólidas y líquidas solubles son aptas para fertirriego, dependiendo de la disponibilidad en el mercado, rentabilidad y conveniencia de aplicación
- » **Solubilidad:** fuentes con alta solubilidad es un pre-requisito para su utilización en programas de fertirriego
- » **Corrosión:** es posible que se presenten reacciones químicas entre los componentes metálicos del sistema de riego, si los mismos no fueron diseñados para la aplicación de fertilizantes.

» **Interacción entre nutrientes en la solución: cuando más de un fertilizante se utiliza como ingrediente o materia prima en sistemas de fertirriego, es muy importante evaluar la compatibilidad de los mismos (Tabla 11)**

Tabla 11. Compatibilidad de fertilizantes utilizados en fertirriego.

	Urea	NA	SA	Nit.Ca	NO P	MOP	SOP	Fos. Amonio	Sulfato Fe, Zn, Cu, Mn	Quelato Fe, Zn, Cu, Mn	Sulf. Mg	Ac. Fosfórico	Ac. Sulfúrico	Ac. Nítrico
Urea	C													
NA	C	C												
SA	C	C	C											
Nit. Ca	C	C	X	C										
NOP	C	C	C	C	C									
MOP	C	C	C	C	C	C								
SOP	C	C	L	X	C	L	C							
Fos.Amonio	C	C	C	X	C	C	C	C						
SulfatoFe, Zn, Cu, Mn,	C	C	C	X	C	C	L	X	C					
Quelato Fe, Zn, Cu, Mn	C	C	C	R	C	C	C	R	C	C				
Sulf. Mg	C	C	C	X	C	C	L	X	C	C	C			
AcFosfórico	C	C	C	X	C	C	C	C	C	L	C	C		
AcSulfúrico	C	C	C	X	C	C	L	C	C	C	C	C	C	
Ac. Nítrico	C	C	C	C	C	C	C	C	C	X	C	C	C	C

Nota: NOP: nitrato de potasio. MOP: cloruro de potasio. SOP: sulfato de potasio. Fuente: Hughes, 1994

Las soluciones de UAN, que presentan el N en forma de nitrato de amonio y urea, son compatibles con todos los fertilizantes. En cuanto a los problemas de incompatibilidad, evitar aplicar fuentes de Ca con soluciones que presenten sulfatos o fosfatos, en especial cuando el pH de la solución de fertirriego no es lo suficientemente ácida.

» **¿Cómo evaluar la compatibilidad de fertilizantes en sistemas de fertirriego?**

Adaptado de Kafkafi &Tarchitzky (2011)

- » Verificar la solubilidad y el riesgo de formación de precipitados de baja solubilidad utilizando el agua de riego empleada en el sistema de producción
- » Antes de utilizar un nuevo fertilizante mezclar en un recipiente 50 ml de la solución de fertilizante en 1 L de agua y observar la formación de compuestos de baja solubilidad dentro de 1-2 h. Si se forman precipitados o la muestra parece turbia, evite utilizar ese fertilizante en el sistema de fertirriego. Esto se denomina “jar test” (“test del jarro”).
- » Evaluar la temperatura resultante de mezclar varios tipos de fertilizantes en condiciones de campo. Algunos fertilizantes reducen la temperatura cuando son disueltos (i.e. efecto endotérmico, como el nitrato de potasio, nitrato de calcio, urea, nitrato de amonio, cloruro de potasio), mientras que los ácidos presentan una reacción exotérmica, incrementando la temperatura. Esta propiedad se aprovecha para establecer el orden en la incorporación de los fertilizantes (primero el ácido y luego los fertilizantes de reacción endotérmico).

Influencia del pH en la disponibilidad de nutrientes

La disponibilidad de los nutrientes en la solución de fertirriego, además de depender de la solubilidad de las fuentes utilizadas (variable según fuente de nutriente, temperatura y de las posibles interacciones químicas), también varía de acuerdo al pH de la solución. Para mantener una adecuada disponibilidad de la mayoría de los macro y microelementos, es necesario que se mantenga el pH en un rango entre 6.0 y 6.5, debido a que con niveles de pH más elevados, la disponibilidad de los microelementos comienza a reducirse. También a pH elevados, se pueden generar complejos de baja solubilidad de P con Ca y Mg presentes en el agua (Melgar *et al.* 2002). El pH de la solución de fertirriego depende de la calidad del agua de riego, de la reacción de los fertilizantes utilizados (reacción ácida, neutra o básica) y/o de los ácidos utilizados.

Como se mencionó antes, cuanto mayor es la escala del sistema de producción, en general aumentan las ventajas económicas de realizar formulaciones propias utilizando fuentes sólidas cristalinas disponibles en el mercado. Por el contrario, en sistemas de producción intensivos con menor escala y/o menos profesionalizados, el uso de formulaciones multinutrientes sólidos y/o líquidas (“listas para usar”) pueden ser más atractivas, ya que simplifican el manejo de la fertilización, aspecto siempre valorado por los productores.

ESTRATEGIAS DE USO

» Ricardo Melgar y Martín Torres Duggan

Las mejores prácticas de manejo de nutrientes	58
Dosis de aplicación	60
Momentos de aplicación	63
»A la siembra. Uso de arrancadores	63
»Post-emergencia. Aplicación de soluciones líquidas	67
Trigo y otros cereales de invierno	68
Maíz y otros cultivos de verano	69
»Aplicación de nutrientes secundarios y micronutrientes en estadios vegetati- vos	69
»Aplicación en estadios reproductivos. Aplicaciones foliares.....	71
Formas de Aplicación	72
»Aplicaciones en bandas a la siembra	72
Chorreado ó inyectado	73
»Aplicaciones en post-emergencia. Estrategias para maximizar la eficiencia de nitrógeno y otros nutrientes móviles en el suelo	74
Tipo de Fertilizante	74
Forma de aplicación.....	75
Momento de aplicación	75
»Fertirriego	76
Manejo y calidad del agua de riego en fertirriego	77
Distribución de los fertilizantes	80
Patrón de distribución de los nutrientes en el bulbo de mojado	81
»Aplicación Foliar	83
El proceso de absorción foliar	84
Desventajas de la aplicación foliar	85
Factores que afectan la performance de las aplicaciones foliares	86
Situaciones más recomendadas para la fertilización foliar	88
Aplicación conjunta de UAN con agroquímicos y/o fitoterápicos	89
Test de compatibilidad	90
Utilización de soluciones líquidas como activadoras de herbicidas	91
Uso de fertilizantes fluidos junto con fungicidas e insecticidas	91
Uso de huellas para mejorar la exactitud de la aplicación	92

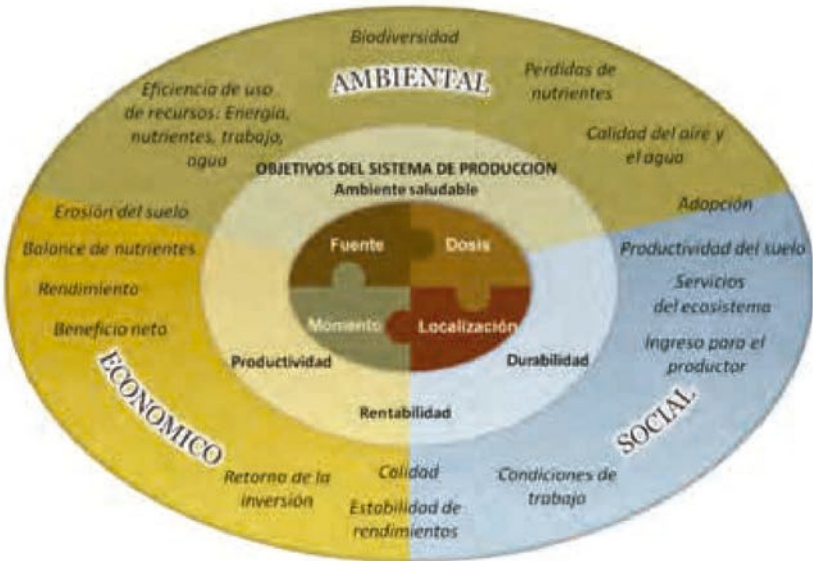
Las mejores prácticas de manejo de nutrientes

La promoción y difusión de las mejores prácticas de manejo de la fertilización realizadas por la industria en los últimos años plantean un compromiso entre los usuarios de los fertilizantes, los productores agrícolas y otros actores participantes de la sociedad. Este compromiso, va más allá de resolver la ecuación económica de cada situación particular, proyectando los resultados en el tiempo y en el espacio.

Las mejores prácticas de fertilización consideran a cada tipo de situación específica que requieren un manejo correcto, entendiéndose por ellas a la fuente de fertilizante o producto más apropiado, en la forma de aplicación correcta y en el momento y la cantidad más apropiada para lograr el máximo rendimiento económico, compatible con la preservación de la calidad del ambiente, incluido al suelo y su potencial productivo.

Las mejores prácticas de manejo en el uso de los fertilizantes se pueden considerar como la aplicación de la fuente (o producto) correcta, a la dosis correcta, en la forma de colocación correcta y en el momento correcto (“4C”). Dentro de este marco de manejo de nutrientes, el modelo de las 4 C abarcan el concepto de cómo las aplicaciones de fertilizantes pueden ser manejadas para alcanzar los objetivos económicos, sociales y ambientales, que garantizan un uso sustentable de los recursos (Figura 1). La aceptación de este modelo de manejo de los nutrientes es creciente a nivel mundial, tanto por parte de los productores como así también por la industria de fertilizantes

Figura 1. Mejores prácticas de manejo de nutrientes y su vinculación con las dimensiones ambientales, económicas y sociales (Fuente: www.ipni.net/4R).



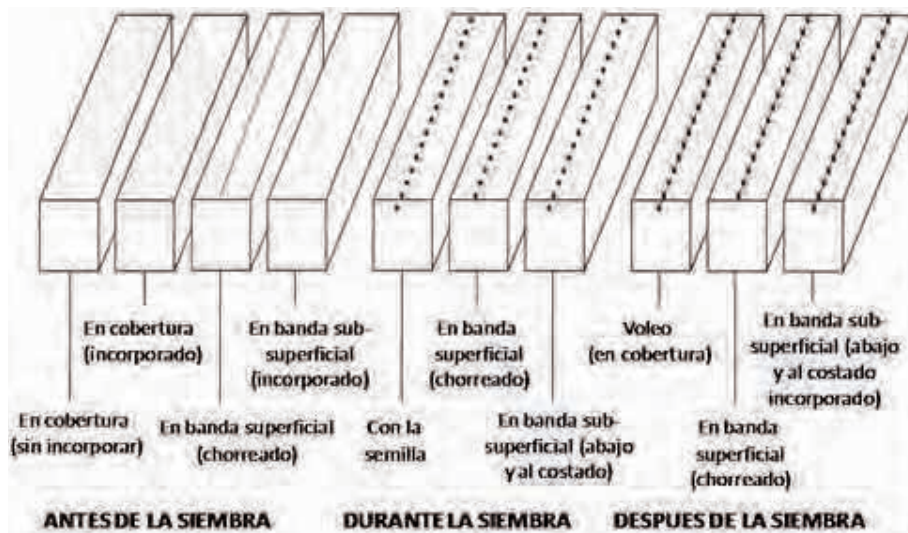
Así, la producción económica de granos o fibras en situaciones extensivas mecanizadas implica realizar operaciones de fertilización para satisfacer los requerimientos nutricionales del cultivo. El objetivo es aportar suficiente nitrógeno, fósforo, potasio y azufre en las cantidades definidas a partir del análisis de suelo (diagnostico de fertilidad) y del rendimiento esperado con el uso de esquemas de fertilización calibrados para las condiciones sitio-específicas de producción. En la práctica, el agricultor u operador define la forma, tipo y cantidad de fertilizantes, las operaciones mecánicas a realizar, la proporción de la dosis a utilizar antes de la siembra, durante la misma y durante el ciclo del cultivo.

Las mejores prácticas de manejo en el uso de los fertilizantes se basan en principios científicos y en el conocimiento generado a partir de la investigación aplicada, en el sitio o región de producción. La implementación de estos principios científicos varía marcadamente de acuerdo con el sistema de producción (región y combinación de cultivos), contexto socio-económico (e.g. disponibilidad de equipamiento, niveles de ingresos, etc.)

La definición de una estrategia para el uso puede abarcar diferentes momentos de aplicación: antes, durante o después de la siembra, durante la etapa vegetativa o reproductiva. Usando las diferentes fuentes para cada momento, aplicadas de la mejor manera posible y en la dosis adecuada para cada situación.

Al igual que con los fertilizantes granulados sólidos, la definición y descripción de las distintas opciones de colocación de fertilizantes líquidos se caracteriza por una matriz de ***momento de aplicación x colocación relativa a la superficie del suelo o a la semilla*** (Figura 2). Los momentos específicos de aplicación se refieren a *antes, durante o después de la siembra*, mientras que el lugar de la colocación se refiere a la *ubicación superficial o subsuperficial*.

Figura 2. Momentos y formas de colocación de fertilizantes (Fuente: Havlin et al., 2005).



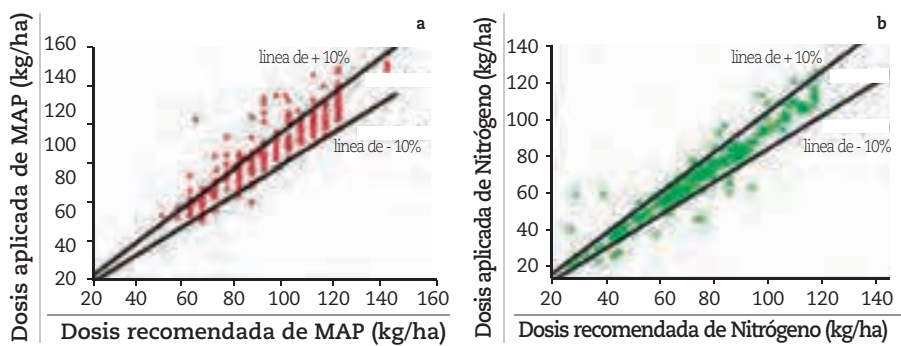
El presente capítulo analizará las diferentes estrategias de uso de fertilizantes fluidos en el marco de las mejores prácticas de fertilización en cultivos extensivos, mientras que la información presentada en cultivos intensivos es de carácter introductorio. En los capítulos de “*Tipos de fertilizantes fluidos*” y “*Sistemas de aplicación*” se puede consultar información más detallada sobre los tipos de fertilizantes y sus propiedades, y sobre formas de aplicación, respectivamente.

Dosis de aplicación

La determinación de la dosis correcta de aplicación (diagnóstico de fertilidad) de los fertilizantes fluidos no es diferente al de los fertilizantes sólidos y no serán tratados en este manual. La base científica subyacente de esta decisión es simple, se necesita equilibrar la demanda de nutrientes del cultivo o de la secuencia de cultivos, con la oferta del suelo y con el aporte de nutrientes de los fertilizantes. En este caso, armonizando la dosis pretendida con la fuente, el momento y la colocación más adecuadas.

Entre las principales ventajas del uso de los fertilizantes fluidos se destaca su mayor precisión para la dosificación. Un trabajo de Bermúdez y Barth (2011) realizado en 144 lotes de producción determinó que en un 24% de éstos las dosis de aplicaciones de fertilizantes sólidos excedían o estaban por debajo del 10% de la dosis recomendada mientras que en el caso de los fertilizantes fluidos solo un 13% de los lotes presentaban esa condición (Figura 3).

Figura 3. Desvíos entre la dosis recomendada y efectivamente aplicada de fertilizantes sólidos (FMA)(a) y líquido (UAN)(b) en 144 lotes de producción (Adaptado de Bermúdez y Barth, 2011).



Siempre es importante recordar que al trabajar con fertilizantes líquidos, la mayoría de las recomendaciones están en unidades de peso o masa (tonelada, kg) por unidad de área (hectárea, m²), mientras que el manipuleo y la dosificación están en unidades de volumen (litro, m³). Por lo que es necesario siempre tener en cuenta el valor de la densidad del producto (kg/m³, t/m³, kg/litro) a una temperatura estándar o de referencia para establecer una dosis de trabajo, asumiendo que la recomendación sea la correcta (Tabla 1).

Dado que una de las grandes ventajas del trabajo con los fertilizantes líquidos es la dosificación más precisa, es necesario adecuar la unidad de medida, y para ello, la medición de volúmenes es más cómoda y más fácil de medir que la de peso. Por lo tanto

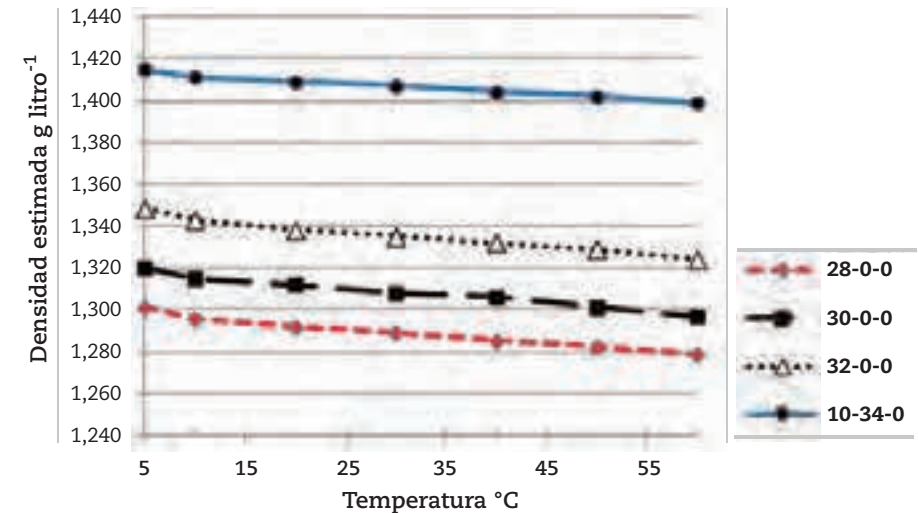
para establecer las equivalencias se debe considerar la relación entre el peso y el volumen, es decir la densidad, o gravedad específica.

Tabla 1. Densidad de soluciones de UAN (urea y nitrato de amonio). (Adaptado de Derek Palgrave (1991)).

N total %	Proporción del N total en forma ureica		
	0,4	0,5	0,6
	kg/litro a 20 °C		
26	1,243	1,230	1,207
29	1,319	1,294	1,270
32	1,356	1,330	1,302

Si bien la temperatura tiene un efecto relativamente menor en la densidad de los fertilizantes líquidos y generalmente no es de importancia practica, el efecto de la temperatura puede agravar problemas de contracción y dilatación en los grandes tanques de almacenamiento si esta variable no se toma en cuenta a la hora de evaluar los inventarios. Así, si se almacena UAN de grado 28-0-0 a 27 °C (densidad aproximada 1,27 kg/L, si el producto se enfriara a 5 °C y se realizara un inventario, habrá una contracción aparente de 1,3% si se asume que el producto aun tuviera la misma densidad de 1,27 kg/L en lugar del valor correcto de 1,287 kg/L. La Figura 4 muestra la estimación del efecto de la temperatura sobre la densidad del UAN 28-0-0, 32-0-0 y del polifosfato de amonio (APP) de grado 10-34-0.

Figura 4. Efecto de la temperatura sobre la densidad de algunos fertilizantes fluidos comunes. (Fuente: Fluid Fertilizer Foundation, disponible en: www.fluidfertilizer.com/pdf/Fluid%20Characteristics.pdf).



»¿Cómo utilizar la densidad para definir la dosificación de fertilizantes líquidos?

La densidad de un material es la relación (cociente) entre su masa y el volumen ocupado por dicho material (expresión 1)

$$(1) \text{ Densidad (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Masa (g)}}{\text{Volumen (g/cm}^3\text{)}}$$

Por lo tanto, en base a la expresión (1), se deducen las expresiones (2) y (3) que son las de aplicación práctica.

$$(2) \text{ Masa} = \text{Densidad} \times \text{Volumen}$$

$$(3) \text{ Volumen} = \frac{\text{Masa}}{\text{Densidad}}$$

La densidad también se la expresa frecuentemente en otras unidades como t/m³

»Ejemplo de aplicación

Un productor de maíz de la Pampa Ondulada realiza el diagnóstico de fertilización, determinando una dosis de N a aplicar de 70 kg N/ha. Calcular los kg y litros de UAN 32 para aplicar esta cantidad de N.

En base al % de N del UAN (32% de N, es decir 32 kg de N por cada 100 kg de fertilizante), se deduce que para aplicar 70 kg/ha de N son necesarios 218 kg/ha de producto. En base a la expresión (3), calculamos los litros/ha de producto a aplicar:

$$\text{Volumen (L/ha)} = \frac{218 \text{ kg/ha}}{1,32} = 165 \text{ L/ha.}$$

Si por el contrario, quisiéramos convertir la dosis en L/ha a kg/ha deberíamos multiplicar por la densidad, utilizando la expresión (2).

Nota: considerando que la densidad de las soluciones de UAN son mayores que 1, las dosis expresadas en forma volumétrica (L/ha) son menores que las expresadas en términos gravimétricos (kg/ha).

Conocer el valor de densidad del fertilizante es muy útil para estimar el contenido de N de soluciones de UAN, teniendo en cuenta la correlación positiva que existe entre el porcentaje de N de estas soluciones y su densidad (Tabla 1). Sin embargo, es importante destacar que la misma solo se cumple para soluciones de UAN, es decir soluciones nitrogenadas elaboradas a partir de urea y nitrato de amonio, que se hacen en determinadas proporciones. Para conocer de un modo concluyente el grado equivalente del fertilizante se recomienda realizar un análisis de una muestra representativa de producto, que permitirá evaluar tanto el contenido de N, como así también las formas

químicas del mismo (N amónico, amoniacal y nítrico). La realización de análisis de fertilizantes, en este caso de fuentes fluidas, permite realizar un control de calidad sobre la mercadería comprada y en algunos casos, permite detectar productos adulterados y/o problemas de calidad en algún lote de producto. En general, cuando la empresa proveedora es reconocida y comercializa fertilizantes registrados, los problemas de calidad suelen ser aislados y se resuelven con la misma empresa. La densidad del fertilizante líquido se estima habitualmente con densímetros, aunque es posible también utilizar un envase de volumen conocido y luego pesarlo. Un método simple y práctico para determinar la densidad de una solución fertilizante es llenar una botella de plástico (cuyo peso es insignificante) de volumen conocido y luego pesarla. $\text{Densidad del Fertilizante g/L} = \frac{\text{Peso Fertilizante en botella (g)}}{\text{Volumen de botella (L)}}$.

Es relevante también tener claro la forma en la que se expresa el contenido de nutrientes en el fertilizante, para evitar errores en la dosificación. Existen dos formas de expresión: (1) grado y (2) grado equivalente. El grado expresa el contenido porcentual de nutrientes en su forma elemental (concentración de N, P, K por unidad de peso). Por el contrario, el grado equivalente, el más utilizado por la industria de fertilizantes, expresa el N en forma elemental, pero el P y el K en términos de porcentaje de P_2O_5 , (pentóxido de fósforo) y K_2O (óxido de potasio).

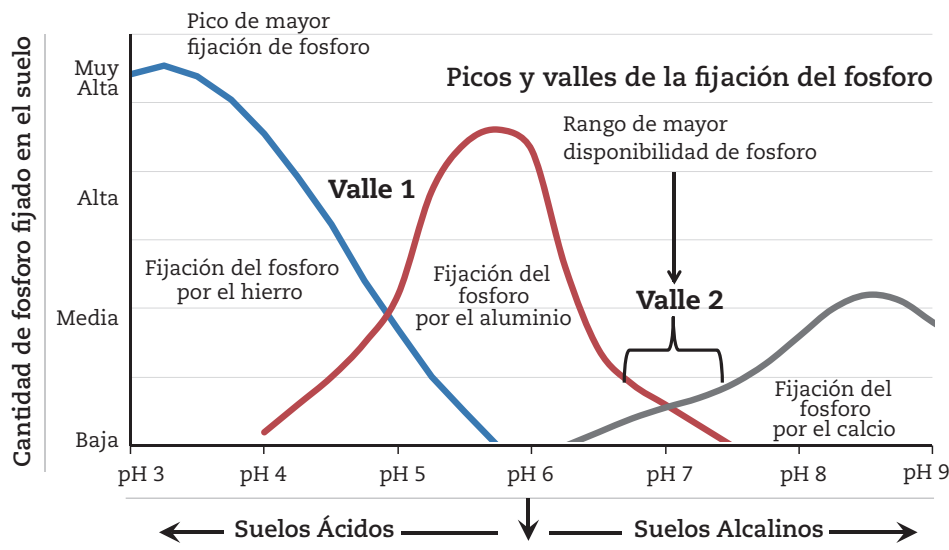
Momentos de aplicación

» A la siembra. Uso de arrancadores

Dependiendo del sistema de aplicación, el fertilizante fluido se puede colocar, o bien cerca de la línea de siembra o por encima de la misma. La aplicación de P a través de fuentes fluidas, mejora la absorción del nutriente por parte de las raíces, ya que el mismo se mueve por difusión y el volumen de raíces es muy escaso en el estadio de germinación-emergencia. El aporte de P en este estadio, incrementa el índice de área foliar, la radiación interceptada y la acumulación de biomasa aérea, mejorando la velocidad y calidad de la implantación y establecimiento del cultivo. Asimismo, este efecto permite optimizar la habilidad competitiva del cultivo con las malezas. En cultivos como el maíz o girasol, donde el rendimiento se puede ver afectado por la uniformidad del stand de plantas, la utilización de fertilizantes fluidos arrancadores, permite reducir la heterogeneidad espacial y temporal del cultivo, importante para el logro de un elevado rendimiento. El uso de arrancadores tiene especial utilidad en siembras tempranas, sobre todo en planteos de siembra directa, donde la cobertura de rastrojos, reduce la temperatura del suelo y consiguientemente la movilidad del P y micronutrientes metálicos. Los fertilizantes fluidos utilizados a la siembra pueden ser soluciones a base de ácido fosfórico, o de fosfatos mono cálcico o soluciones a base de polifosfatos. Estos deben hidrolizarse a ortofosfato para poder ser absorbidos y aprovechados por la planta. En el suelo, los iones polifosfato se convierten fácilmente a iones ortofosfato en presencia del agua. Esta conversión es rápida y, con temperaturas normales del suelo, puede completarse en pocos días. El proceso de conversión es realizado por una enzima llamada pirofosfatasa, abundante en la mayoría de los suelos. Un trabajo de Raun Lohry (2001) resume las principales conclusiones sobre casi 40 años de investigación, donde presenta fuertes evidencias de la rapidez de la hidrólisis de fosfatos. Si la hidrólisis es completa en pocos días o semanas, el proceso es lo suficientemente rápido para suministrar a las plantas en el área radicular con suficiente ortofosfato.

Además del P, el aporte de N, principalmente en forma amoniacal es agrónomicamente ventajoso ya que ésta forma química, acidifica la rizósfera, manteniendo al ion HPO_4^- en la franja de pH con máxima solubilidad. La absorción del ion amonio implica un proceso activo, y para ello las raíces expulsan iones H^+ con gasto energético para mantener la electroneutralidad. Esta acidificación de la rizósfera permite que los iones H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} (que son la forma con que la planta absorbe el P), permanezcan disponibles y no sean fijados (Figura 5).

Figura 5. Efecto del pH del suelo en la distribución relativa de las especies iónicas de fosfatos (HPO_4^- - HPO_4^{2-}).



Además del N y del P, un fertilizante arrancador puede tener otros nutrientes, como potasio, azufre o micronutrientes. Estos nutrientes acompañantes, también se pueden aplicar antes o después de la siembra en las cantidades requeridas. Su aporte en los fertilizantes arrancadores es importante sobre todo si las dosis necesarias no son muy elevadas. Por el contrario, usar formulaciones completas reduce la proporción de P en las formulaciones y hace necesario aplicar volúmenes más elevados para garantizar el aporte de P necesario para el cultivo.

De acuerdo al estado de conocimiento actual en la evaluación de fertilizantes fluidos, la investigación está demostrando que éste tipo de fuentes tienen una mayor performance agrónómica en suelos donde ocurren procesos de precipitación (e.g. suelos calcáreos). El mecanismo subyacente sería la mayor difusión, labilidad (formas de P más disponibles) y solubilidad del P aplicado en forma fluida en comparación con la misma forma de P aplicada en forma sólida (Hettiarachchi et al 2009).

El N en general es deficitario en los suelos para todos los cultivos excepto para las leguminosas (e.g. soja, alfalfa, trébol) que pueden cubrir total o parcialmente su requere-

rimiento a partir de la fijación biológica de nitrógeno. El contenido o proporción de N en las formulaciones arrancadoras es bajo y variable, y tienen como finalidad principal satisfacer la necesidad de este nutriente en los primeros estadios del cultivo, asumiendo que habrá aportes posteriores durante el ciclo del cultivo, previo a los estadios de crecimiento de mayor demanda. La aplicación de dosis elevadas de N a la siembra, cuando la absorción del mismo es aún baja, puede conducir a pérdidas de N fuera del sistema suelo-cultivo (lixiviación de nitratos, volatilización de amonio, denitrificación), cuya magnitud dependerá de la fuente utilizada, condiciones ambientales y características edáficas (Ver capítulo de “Tipos de fertilizantes fluidos”). Por ello, para lograr una mayor sincronización entre la oferta y demanda de N, el fraccionamiento de las dosis de N siguiendo la curva de demanda de N del cultivo sería el ideal, aunque esto es complicado de lograr en la práctica debido a limitaciones logísticas. La ventaja de aplicar el fertilizante nitrogenado en forma fraccionada entra la siembra y post-emergencia dependerá de la dosis aplicada, de las condiciones ambientales y del tipo de suelo, que regulan tanto la oferta de N del sistema como la demanda por parte del cultivo.

El aporte inicial de fósforo tiene un alto impacto en la concentración de P de las plántulas en su estadio más temprano, y consecuentemente afecta fuertemente el rendimiento potencial. Esto fue demostrado en Ontario, Canadá por el Dr. Murray Miller con una experiencia en hidroponía (Tabla 2). Las plantas de maíz suministradas con suficiente P para elevar su contenido de P en los brotes de hasta 0,72% en V3-V4 rindieron 12% más que aquellos que tuvieron 0,44% P en ese momento. El número de granos fue el principal factor contribuyente.

Tabla 2. Efecto del aporte inicial de fósforo en plántulas de maíz sobre la concentración de P y el rendimiento final de granos. Todos los tratamientos recibieron nivel alto de P después de V3-V4. Promedio de 2 años, 1985-1986 (Fuente: Barry y Miller, 1989).

Fosforo aportado hasta V3-V4	P en parte aérea en V1	P en parte aérea en V3-V4	Granos /Planta	Rinde
	%	%		t/ha
Alto	0,58	0,72	444	8,68
Medio	0,52	0,44	410	7,73
Bajo	0,49	0,28	398	7,50

Otro aspecto de gran importancia práctica, es la evaluación de posibles efectos fitotóxicos del fertilizante líquido sobre la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas. Estos efectos están regulados por diversos factores, que tienen que ver con la especie cultivada, distancia entre hileras, propiedades de la fuente de fertilizante y condiciones de suelo. En este sentido, no siempre que se observen daños fitotóxicos ocurrirán reducciones en el rendimiento en grano, ya que puede existir diferente capacidad de compensación, de acuerdo al cultivo. Hay cultivos que tienen capacidad de ramificar como la soja, o de macollar, como los cereales de invierno, mientras que otros cultivos como el maíz, sorgo o el girasol presentan baja plasticidad para compensar pérdidas de plantas. En fertilizantes líquidos, el daño fitotóxico depende de las propiedades del mismo (pH y forma química del N). En términos generales, se ha reportado menor fitotoxicidad provocado por el N amídico presente

en fertilizantes fluidos arrancadores de reacción ácida comparado con formulaciones neutras de grado similar. Esto se debe a que el bajo pH reduce la tasa de hidrólisis de la urea que genera amoníaco, generando el quemado de las raíces de las plántulas. Además de la toxicidad por este mecanismo se puede presentar efectos salinos por las sales potásicas o amoniacaes que generan un aumento de la presión osmótica en la banda de aplicación. Su efecto dependerá del índice salino del fertilizante y de la dosis aplicada (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de índice salino de fertilizantes sólidos y fluidos (Adaptado de Mortvedt , 2001).

Material y análisis	Por igual peso de material	Por unidad de nutriente*
Nitrógeno/Azufre		
Amoniaco, 82% N	47,1	0,572
Nitrato de amonio, (NA) 34% N	104,0	3,059
Sulfato de amonio, 21% N, 24% S	68,3	3,252
Tiosulfato de Amonio, 12% N, 26% S	90,4	7,533
Urea, 46% N	74,4	1,618
UAN, 28% N (39% NA, 31% urea)	63,0	2,250
UAN, 32% N (44% NA , 35% urea)	71,1	2,221
Fosforo		
Polifosfato de amonio, 10% N, 34% P ₂ O ₅	20,0	0,455
Fosfato diamónico, 18% N, 46% P ₂ O ₅	29,2	0,456
Fosfato monoamónico, 11% N, 52% P ₂ O ₅	26,7	0,405
Acido fosfórico, 54% P ₂ O ₅		1,613**
Acido fosfórico, 72% P ₂ O ₅		1,754**
Potasio		
Fosfato monopotásico, 52% P ₂ O ₅ , 35% K ₂ O	8,4	0,097
Cloruro de potasio, 62% K ₂ O	120,1	1,936
Sulfato de potasio, 50% K ₂ O, 18% S	42,6	0,852
Tiosulfato de potasio, 25% K ₂ O, 17% S	68,0	2,720

Al igual que en los fertilizantes sólidos granulados, la proporción de urea o N amoniacal debe ser reducida cuando se aplican arrancadores junto a la semilla. Asimismo, el efecto fitotóxico se reduce a medida que una misma dosis por hectárea se diluye en más hileras, o lo que es lo mismo, cuando se reduce el espaciamiento entre líneas. Una dosis de 20 kg/ha de N en líneas de siembra espaciadas a 70 cm implica una concentración 25 % mayor que la misma dosis aplicada en hileras separadas a 52 cm. Existe abundante información en la literatura en cuanto a dosis máxima a considerar para reducir y/o prevenir los posibles efectos fitotóxicos del fertilizante aplicado en conjunto con la semilla. A modo orientativo y como referencia se presenta una tabla indicativa de dosis máxima de N basada en la textura del suelo y en la proporción de suelo mezclado con el fertilizante.

Recientemente, el servicio de extensión de la universidad de South Dakota y el IPNI desarrollaron una herramienta *on line* para estimar daños en la germinación de semillas a partir de diferentes fertilizantes sólidos e información agronómica original de Gelderman (2008) (<http://seed-damage-calculator.herokuapp.com>).

» Post-emergencia. Aplicación de soluciones líquidas

Luego de la emergencia, y durante el periodo de crecimiento vegetativo inicial del cultivo, las necesidades de nutrientes son bajas. El cultivo cuenta con las reservas seminales y el área foliar aún es reducida. Posteriormente, una vez establecido el cultivo, la demanda de nutrientes aumenta significativamente, como así también el área foliar y la acumulación de biomasa. En términos generales, los nutrientes que se pueden aplicar en post-emergencia, antes de que ocurra el momento de crecimiento exponencial, son el nitrógeno, el azufre y el potasio. Este último resulta importante en cultivos que acumulan carbohidratos y necesitan removilizarlos activamente desde la fuentes hacia el destino, ya sean almidones (e.g. papa), sacarosa (e.g. caña de azúcar) fructuosa u otros azúcares no reductores (e.g. frutos en general).

La aplicación de nutrientes en post-emergencia se puede realizar a través de diferentes estrategias:

(I) Banda superficial (“chorreado” en superficie)

(II) Inyectado en superficie

(III) Pulverizado y/o vía foliar

La decisión del método de aplicación a utilizar depende de la disponibilidad de maquinaria y del conocimiento agronómico disponible como base para la toma de decisiones en el sistema de producción. En cultivos extensivos de granos en planteos en siembra directa, la aplicación “chorreada” en superficie es el método más difundido en Argentina (ver el capítulo de Sistemas de aplicación). Debido a los posibles efectos fitotóxicos de la aplicación de N a la siembra sobre semillas y/o plántulas en crecimiento, la aplicación en estadios vegetativos previos al comienzo del crecimiento exponencial, resulta atractiva para sincronizar la oferta con la demanda de los nutrientes.

Con excepción de cultivos de leguminosas (que no responden a la fertilización nitrogenada), la mayoría de los cultivos de grano y fibra, requieren importantes cantidades de N para alcanzar rendimientos elevados y rentables. El UAN es un fertilizante especialmente adecuado para la aplicación en post-emergencia de cultivos densos (trigo, cebada, arroz) como aquellos implantados en hileras separadas como maíz, algodón, girasol, sorgo, etc. La aplicación en bandas superficiales a través del sistema de “chorreado”, reduce la superficie de contacto del fertilizante y el suelo y la inmovilización del N aplicado, aspecto importante en planteos de siembra directa caracterizados por la presencia de residuos en superficie. En la Argentina, este sistema de labranza ocupa el 80% del área sembrada.

En cultivos de verano para las condiciones de la Región Pampeana (e.g. maíz, sorgo, girasol, etc.), donde las temperaturas imperantes son elevadas, cuando el UAN entra en contacto con las hojas puede provocar la hidrólisis del N amónico presente en el fertilizante, liberando amoníaco, causando cierto daño sobre el canopeo. Cuando ello ocurre (e.g. aplicaciones con velocidad de avance excesivo y/o viento), en general, el daño no suele traducirse en caídas en el rendimiento en grano, salvo que esta fitotoxicidad coincida con condiciones de estrés (e.g. sequía, heladas, etc). Por el contrario, en cereales de invierno cultivado en regiones templadas, las temperaturas durante macollaje en general no suelen ser muy elevadas y por consiguiente, el “quemado” del follaje por acción del fertilizante tiene menor incidencia.

La aplicación de UAN y/o mezclas de UAN con sulfato o tiosulfato de amonio aplicada en bandas superficiales (chorreado) en los agro-sistemas de Argentina, representa un caso muy exitoso de adopción tecnológica, principalmente en los cultivos de trigo y maíz.

Trigo y otros cereales de invierno

La información experimental sobre comparación de momentos de aplicación del N en los sistemas de producción de la Región Pampeana muestra resultados variables de acuerdo a la región considerada. Así, en las regiones semiáridas y/o sub-húmedas pampeanas, no se han observado diferencias significativas entre momentos de aplicación (siembra o macollaje). En las regiones más húmedas (hacia el norte y el noroeste), donde la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones en el macollaje del trigo son bajas, se ha observado que la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) es igual o mayor en aplicaciones a la siembra que postergadas. Por el contrario, en el sudeste de Buenos Aires, donde la probabilidad de ocurrencia de lluvias en el período siembra-emergencia son mayores, la ocurrencia de pérdidas por lixiviación de nitratos y denitrificación, reducen la EUN de las aplicaciones a la siembra en relación a las efectuadas en macollaje.

La posibilidad de fraccionar la fertilización entre la siembra y el macollaje puede constituir una práctica interesante en contextos donde el diagnóstico de la fertilidad es dudoso o hay incertidumbre en cuanto a la evolución del cultivo de acuerdo con las perspectivas climáticas y del mercado. En regiones semiáridas y sub-húmedas, donde la variabilidad climática es mayor, este tipo de estrategias pueden reducir el riesgo de la fertilización (Tabla 4).

Tabla 4. Principales ventajas y desventajas de diferentes momentos y estrategias de aplicación de N en cultivos extensivos.

Momento	Ventajas	Desventajas
Pre-siembra	Simplicidad operativa	Riesgo de lixiviación de nitratos en ambientes predisponentes
Siembra	Simplicidad operativa Adecuado cuando el riesgo de lavado / denitrificación es bajo	Riesgo de lixiviación de nitratos en ambientes predisponentes Riesgo de fitotoxicidad sobre germinación/crecimiento de plántulas (depende del cultivo, fuente, dosis, distancia entre hileras y condición del suelo)
Emergencia	Alta eficiencia de uso cuando se utilizan fuentes con proporción de urea o aditivos que limiten la volatilización Mayor conocimiento sobre la evolución del cultivo y las perspectivas climáticas	Pérdidas por volatilización de amoníaco cuando se utilizan fuentes que contienen urea. Ausencia de lluvias, que retrasen la incorporación del fertilizante al suelo Exceso de lluvias que impida el acceso con los equipos aplicadores (falta de “piso”).
Fraccionada	Adecuada cuando las dosis de aplicación son elevadas Reduce el riesgo de la práctica de fertilización	Mayor complejidad logística Mayor costo de aplicación

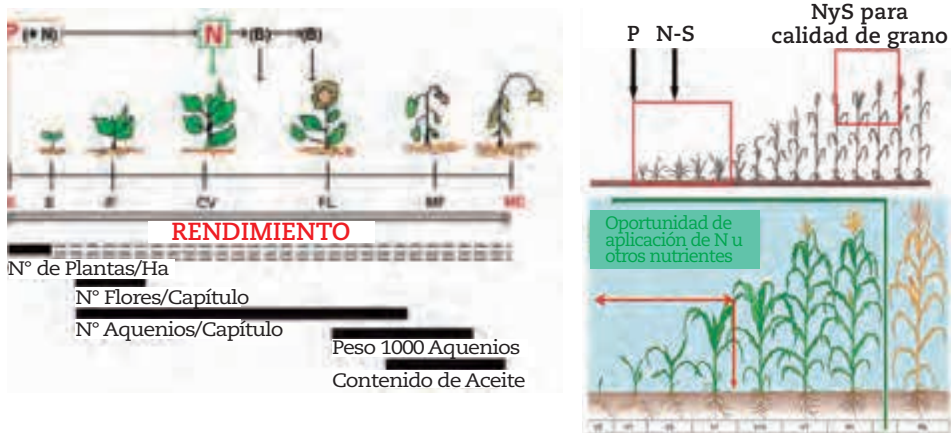
Maíz y otros cultivos de verano

En igual sentido que lo mencionado en trigo, en general se observan similares EUN y rendimiento en grano entre aplicaciones a la siembra o V 6-7 de maíz en el norte y el oeste de la Región Pampeana, mientras que en el sudeste de Buenos Aires (donde la probabilidad de lluvias entre siembra y emergencia es mayor), la EUN en aplicaciones en estadios vegetativos pueden ser mayores que a la siembra.

Una ventaja interesante de los fertilizantes líquidos es la posibilidad de realizar aplicaciones con gran eficacia y capacidad de trabajo en sistemas en siembra directa, donde la posibilidad de realizarlo con fertilizantes sólidos es más limitada, y en el caso de la urea, requerirían utilizar maquinaria con aditivos para aumentar la EUN, sobre todo en ambientes donde se presenten condiciones predisponentes a la ocurrencia de pérdidas de N.

Una pregunta habitual que se hacen tanto asesores como productores es hasta cuándo se puede ingresar en el cultivo para realizar aplicaciones terrestres de fertilizantes líquidos. La ventana de tiempo donde resulta operativamente viable ingresar en el lote con pulverizadoras autopropulsadas, minimizando los daños sobre el cultivo y logrando una adecuada calidad de aplicación varía según el cultivo. En cereales de invierno, el mayor impacto sobre el rendimiento se logra en aplicaciones que van desde la siembra hasta fin de macollaje o 1er. nudo. En maíz u otros cultivos de verano (sorgo, girasol), la ventana de aplicación que se puede considerar es desde VE (emergencia) hasta V7-V10 según la altura del cultivo y el espaciamiento entre hileras. La Figura 6 resume a través de esquemas, las ventanas de aplicación para realizar la fertilización en diferentes cultivos.

Figura 6. Ventanas de aplicación de nutrientes móviles en los ciclos de girasol, trigo y maíz.



» Aplicación de nutrientes secundarios y micronutrientes en estadios vegetativos

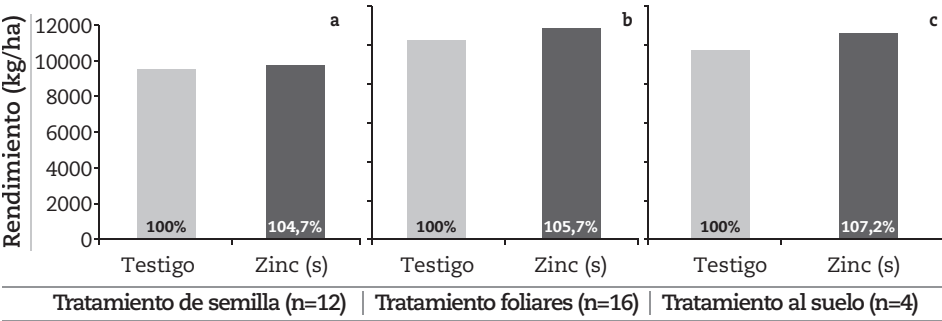
Los micronutrientes se pueden incorporar en fertilizantes fluidos conteniendo otros nutrientes como N, S o K en aplicaciones al suelo o foliares. Es importante evaluar las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de aplicación de microelementos en

el marco del sistema de producción, considerando factores económicos, logísticos y agronómicos (Tabla 5).

Tabla 5. Ventajas y desventajas de los principales métodos de aplicación de micronutrientes en formulaciones fluidas (Adaptado de Prystupa et al. 2012).

Método de aplicación	Ventajas	Desventajas
Al suelo	Adecuada para aplicar dosis medias o altas. Posibilidad de generar residualidad.	Baja eficiencia (particularmente en suelos calcáreos o con alta fijación).
Foliar	Adecuado para corregir deficiencias en cultivos en desarrollo. Adecuado cuando el suelo o su condición, reduce la eficiencia de aplicación al suelo (e.g. acidez, alcalinidad, compactación, etc.). Amplía el espectro de herramientas de diagnóstico (análisis visual, de tejidos) Uniformidad de aplicación. Mejoras en la calidad de producto cosechado (“biofortificación” de granos).	Influencia de factores ambientales (e.g. viento, temperaturas elevadas, baja humedad relativa del ambiente, etc.), que requieren del uso de adyuvantes (e.g. surfactantes, aceite, etc.). Cubren las deficiencias del follaje impactado, pero no de nuevo material vegetativo o reproductivo, que pudiera crecer luego de la aplicación. La excepción es el B.
Con la semilla	Apropiado para aportar micronutrientes con influencia en la Fijación biológica de N (e.g. Co, Mo). Posibilidad de recubrir las semillas con terapéuticos además de micronutrientes	Adecuada para aplicación de dosis bajas. No se utiliza en B, que es tóxico en contacto con las semillas.

Figura 7/ Respuesta porcentual a la aplicación de Zn en maíz por medio de a) tratamientos de semilla (0,1-0,2 kg Zn/ha) b) aplicaciones foliares entre V5-V7, (0,3-0,5 kg Zn /ha) y c) aplicaciones al suelo entre V0 y V6 (0,4-3,5 kg Zn/ha) (Fuente: Ferraris et al., 2010).



La aplicación de micronutrientes al suelo constituye una alternativa interesante en suelos no calcáreos o con baja capacidad de adsorción. Así, la fertilización con Zn agregado a formulaciones líquidas NS aplicadas en forma chorreada al suelo durante estadios vegetativos del maíz ha resultado ser una práctica efectiva de acuerdo a diversos ensayos realizados en la Región Pampeana (Figura 7).

» **Aplicación en estadios reproductivos. Aplicaciones foliares**

La fertilización en estadios reproductivos del ciclo de los cultivos constituye una herramienta eficaz para mejorar la calidad del producto cosechado, práctica que ha sido evaluada en diversos cultivos. En cereales de invierno como trigo o cebada, la fertilización con N y S impacta tanto sobre la concentración de proteína, como en la calidad de la misma (perfil de aminoácidos). A medida que las condiciones ambientales son más favorables para el crecimiento reproductivo y el N en el suelo es escaso, se produce un efecto de “dilución” del contenido del N en el grano, con la consiguiente disminución en la concentración de proteína, y consecuentemente, de la calidad de la harina. Si la oferta de N del ambiente edáfico es alta, pueden aumentarse paralelamente el rendimiento y la concentración de proteína en grano, siendo la fertilización nitrogenada la herramienta más sencilla para lograrlo. A medida que se incrementa la disponibilidad de N, en ausencia de otros factores limitantes, se aumenta el rendimiento y la concentración de proteína en grano, hasta llegar a un punto a partir del cual el rendimiento se mantiene estable y solo crece el porcentaje de proteína. Este umbral puede variar de acuerdo a los cultivares al igual que la concentración máxima de proteína en grano.

La magnitud de la mejora en la concentración de proteína, depende de la dosis aplicada, etapa ontogénica del cultivo, condiciones ambientales y genotipo utilizado. Sin embargo, la fertilización tardía genera aumentos más marcados en el contenido de proteína, por cada unidad de N aplicada, en comparación con aplicaciones tempranas. La Tabla 6 sintetiza los resultados experimentales realizados en la Región Pampeana, donde se puede observar el impacto de la fertilización temprana y/o tardía sobre la concentración de proteína del grano de trigo.

Tabla 6. Incremento en los contenidos de proteína en granos de trigo según el momento de aplicación (Fuente: Álvarez & Steinbach, 2012).

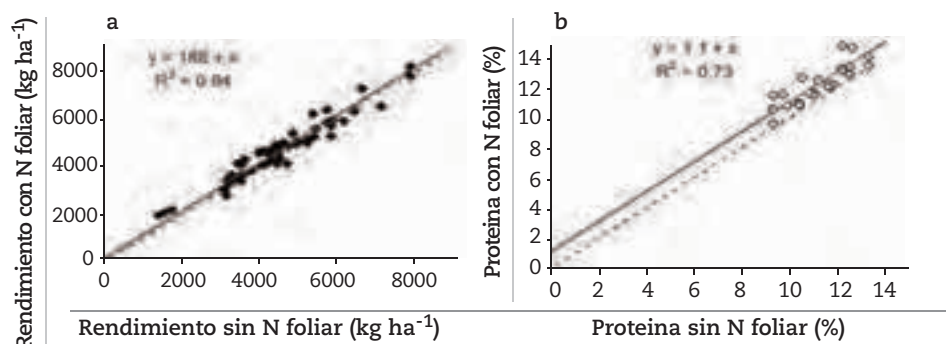
Momento de fertilización	Datos (n)	Dosis media (kg N/ ha)	Proteína testigo (%)	Proteína fertilizado (%)	Incremento proteína/dosis (% proteína kg/N)
Siembra y/o macollaje	131	67	10,7	11,7	0,016
Hoja bandera-floración	104	32	10,6	11,5	0,032

En estos experimentos el N se aplicó en floración utilizando soluciones de urea foliar con bajo biuret, en dosis variables que fueron de 20 a 35 kg/ha de N. La fertilización nitrogenada en este estadio, o en estadios anteriores y/o posteriores tienen en general poco impacto sobre los rendimientos pero sí un considerable efecto en el contenido de proteína de los granos. El incremento promedio de la concentración de proteína en grano por aplicaciones de N foliar es del 1,1% (Figura 8).

En cuanto a las estrategias de aplicación foliar con N en el cultivo de soja, se han evaluado experimentalmente la fertilización con N en estadios tempranos (previos a floración), como posteriores a dicho estadio. En estadios tempranos, el sistema de nódulos no se ha establecido completamente y por consiguiente la fijación biológica de N es baja, con lo cual el criterio subyacente es proveer N mientras el cultivo genera y fortalece su sistema nodular. En aplicaciones en estadios reproductivos, el objetivo es proveer N

complementario en momentos donde la demanda de N es elevada y la tasa de fijación biológica menor a la demanda. Sin embargo, los resultados reportados en la literatura no son concluyentes, existiendo casos con respuestas en rendimientos y otros sin efectos. Sin embargo, en condiciones particulares de producción, tanto en ambientes donde es posible lograr altos rendimientos, como en suelos con baja disponibilidad de N inicial o donde ocurrieron fallas en la nodulación, es posible que la aplicación de N foliar en estadios reproductivos, permita fijar un mayor número de granos, aumentando el rendimiento.

Figura 8. Rendimiento del trigo con y sin fertilización foliar con N (a) y contenido de proteína con y sin fertilización foliar con N (b) (Fuente: Zubillaga y Zubillaga, 2012).



Formas de Aplicación

» Aplicaciones en bandas a la siembra

Debido a los posibles efectos fitotóxicos del fertilizante sobre la germinación y crecimiento de las plántulas, la forma de colocación ideal de los fertilizantes arrancadores fluidos es en bandas separadas unos 5 cm al costado y 5 cm debajo de la línea de siembra (Figura 9).

Figura 9. Aplicación de fertilizantes arrancadores líquidos en sistemas de producción extensivos de EE.UU. (Imagen gentileza Nachurs, EE.UU).



Sin embargo, cuando se utilizan fuentes con bajo índice salino o con pH levemente ácido, es posible aplicarlos en dosis bajas en bandas sobre la línea de siembra. Las máquinas sembradoras modernas disponen de trenes de siembra y fertilización separadas, ya sea para siembra directa o convencional de grano fino o grueso y para fertilización con sólidos granulados como líquidos. Según los fabricantes, estos trenes son desplazables y regulables de modo que la distancia mencionada de 5 cm por debajo y al costado puede variar. Lo importante es que, cuando la fuente de nutriente utilizada o el cultivo

es especialmente sensible en términos del riesgo de ocurrencia de efectos fitotóxicos, se procure separar la banda aplicada de la línea de siembra, aunque sea unos pocos cm. La diferencia más importante entre las maquinas con dispositivos para fertilizantes fluidos es que éstos pueden disponerse también para chorrear el líquido por encima del suelo, ya sea en la línea de siembra como a distancias variables de ésta. El fluido se desplazará hacia abajo por gravedad y eventualmente puede llegar a la zona de las raíces. Por el contrario eso no ocurriría con los fertilizantes sólidos, donde la aplicación de éstos por encima de la línea de siembra presentaría baja efectividad y poca influencia sobre el crecimiento de las raíces y el acceso de las mismas a recursos limitantes como agua y nutrientes, importante en los estadios tempranos del ciclo.

Chorreado ó inyectado

Tanto la aplicación chorreada como la inyectada, se utilizan exitosamente en diversas regiones del mundo y muchas veces las preferencias de utilizar uno u otro método se vincula con la disponibilidad de maquinaria o preferencias logísticas. Por ejemplo, en Argentina la aplicación de soluciones nitro-azufradas se realiza principalmente en forma chorreada, mientras que en Australia se utiliza el sistema de inyectado de una banda de fertilizante líquido, colocado a una cierta profundidad. Pero no hay investigaciones que demuestren taxativamente la ventaja de chorrear o de incorporar un arrancador al suelo a través de una barra o disco que abra un surco y disponga del producto a una determinada profundidad. Sin dudas, la inyección del fertilizante implica mayor gasto de energía y consecuentemente resulta en un mayor consumo de combustible. Sin embargo, el chorreado superficial de una solución con P durante la siembra puede reducir su eficiencia de uso (EUP) debido a una inadecuada colocación del P dada su baja movilidad en el suelo, el P quedará por encima de las raíces, fuera de su alcance, ya que el crecimiento de éstas será hacia abajo del plano de colocación de las semillas en la línea de siembra. Por esa razón, cuando se trate de aplicaciones de P, es necesario asegurar que la colocación de éste se realice al mismo nivel o por debajo de la profundidad de las semillas, sobre todo en sistemas con labranza convencional. En sistemas en siembra directa estabilizados, las diferencias en formas de colocación de P en términos de EUP se reducen debido a la mayor biomasa de raíces en superficie capaces de aprovechar el P aplicado en superficie. Esta es una hipótesis que se está evaluando en los agro-sistemas de Argentina y requieren de mayor investigación.

En términos generales no se observan diferencias en efectividad agronómica de la aplicación de nutrientes móviles entre aplicaciones chorreadas y/o inyectadas. La inyección implica la aplicación de una banda fluida a presión y para ello se utilizan equipos formados por un conjunto de inyectoros ubicados sobre patines flotantes que les permite seguir los desniveles del suelo. El pico inyector, que inyecta el fertilizante a 1000 o 2000 psi (> 70 o 140 bar) se ubica vertical sobre el patín, casi en contacto con el suelo. La gran presión generada por la bomba hace que el líquido penetre en el suelo.

Los sistemas de inyección de fluidos de alta presión ofrecen la posibilidad de aplicar nutrientes en distintos momentos tanto antes o luego de la siembra. Este sistema también presenta una oportunidad para resolver los problemas asociados con los sistemas de distribución de fertilizantes en condiciones del terreno poco propicias como superficies desuniformes, pedregosidad, tocones de raíces, etc. (aplicaciones post emergentes). En ambientes con precipitaciones reducidas y/o erráticas, este sistema permite aplicar bandas a presión en diferentes condiciones de humedad edáfica, pudiendo colocar nutrientes adicionales a profundidades deseadas en el perfil. Una dosis baja de arrancador a la siembra puede ser empleada en conjunto con aplicaciones post emergentes.

Los sistemas de aplicación de fertilizantes líquidos en bandas superficiales (chorreado) o inyectado, son mucho más versátiles que los sistemas de aplicación de sólidos granulados. Esta versatilidad de los sistemas de aplicación en bandas facilita la elección de la mejor combinación de nutrientes para el programa de fertilización. Es decir, aplicar el P como arrancador, N, S o K después de la siembra y antes del momento de mayor crecimiento vegetativo; corrección con micronutrientes al suelo o vía foliar, son algunas estrategias factibles de implementar en los cultivos.

» Aplicaciones en post-emergencia. Estrategias para maximizar la eficiencia de nitrógeno y otros nutrientes móviles en el suelo

Como se mencionó al comienzo de este capítulo, existen diversas estrategias o combinaciones de fertilizantes, momentos y formas de colocación de los mismos, que permiten optimizar los rendimientos, y maximizar la eficiencia de uso de los nutrientes. El programa de fertilización debe definirse para las condiciones sitio-específicas del sistema de producción, utilizando la información experimental disponible. A continuación se describen algunos factores a tener en cuenta para definir el mejor programa de fertilización y los criterios agronómicos subyacentes.

Tipo de Fertilizante

La selección de la forma del N en la formulación líquida es clave para determinar el riesgo de pérdidas por volatilización de amoníaco. La volatilización del N como NH_3 proviene de la fracción urea de la solución, ya sea en el UAN u otro tipo de solución que pueda contenerla. Cuanto mayor sea esta fracción amídica, más posibilidad existe que al hidrolizarse se pierda una fracción mayor del N. Las condiciones predisponentes para la ocurrencia de volatilización son la elevada temperatura y la humedad edáfica (este tema se describe en profundidad en el capítulo “Tipos de fertilizantes fluidos”).

El agregado de inhibidores específicos de la ureasa, como el n-BTPT, [N-(n-butil) triamida tiofosfórica], evita que ocurra la hidrólisis de la urea por un tiempo (período de estabilización), aumentando el tiempo residente de la molécula de urea sin disociarse previniendo que el NH_3 libre pueda perderse a la atmosfera. El n-BTPT es el único producto comercialmente disponible como inhibidor de ureasa y puede usarse impregnando los gránulos de urea o agregarse al UAN o formulaciones fluidas que contengan urea. Otros productos experimentales evaluados son como inhibidores de ureasa son: reactivos sulfidrilos (interaccionan con un grupo funcional clave), Hydroxamatos (inhibidores no competitivos) y Fosforamidas (inhibidores competitivos por estructura análoga a la de la urea) (Watson, 2000).

El tiosulfato de amonio agregado a la mezcla líquida reduce la volatilización por inhibición de la ureasa y también la nitrificación por distintos mecanismos. El tiosulfato de amonio, o de potasio, son agregados al UAN para crear soluciones N-S ó N-K-S. El tiosulfato al descomponerse en el suelo emite CS_2 ó S_4O_6 que son tóxicos para los nitrificadores. El mecanismo sugerido para la inhibición de la ureasa es indirecto ya que no hay efecto sobre la ureasa aislada sin suelo, posiblemente por los iones Fe^{2+} y/o Mn^{2+} que alteran la conformación de los grupos SH de la ureasa (Graziano, 1990).

»¿Cuándo conviene utilizar aditivos y/o fertilizantes de eficiencia mejorada (enhanced efficiency fertilizers)?

- » Es importante tener presente que no se deben esperar mejoras en la eficiencia de uso de los nutrientes aplicados o en el rendimiento por el uso de aditivos y/o fuentes de eficiencia mejorada en todas las condiciones y/o sistemas de producción. Los efectos son sitio-específicos.
- » Los inhibidores de la ureasa determinarán una mejora en la eficiencia de uso de N y/o incrementos en el rendimiento, en agro-sistemas donde se presenten condiciones predisponentes a la pérdida de N por volatilización de amoníaco (e.g. aplicaciones superficiales de urea con temperaturas elevadas)
- » Los inhibidores de nitrificación permitirán mejorar la eficiencia agronómica del N aplicado en ambientes con riesgo de ocurrencia de pérdidas significativas por lixiviación de nitratos (e.g. precipitaciones intensas, suelos con texturas gruesas, etc.).

Forma de aplicación

Uno de los factores importantes que inciden en la magnitud de las pérdidas de N fuera del sistema suelo-cultivo es la forma de aplicación. La pulverización del UAN sobre el canopeo maximiza la superficie de contacto del fertilizante y la ureasa presente en el tejido foliar, generando altas pérdidas por volatilización de amoníaco en comparación con la aplicación concentrada en una banda (choreada) o incorporada en el suelo a través de un chorro a presión (inyección). Asimismo, el amoníaco produce una marcada fitotoxicidad, que se evidencia a campo como un fuerte amarillamiento del follaje. Por lo tanto, la eficiencia de aplicaciones chorreadas o inyectadas en bandas suelen ser más elevadas que en aplicaciones pulverizadas en cobertura total. Por lo mencionado antes. Así, la pulverización de soluciones de UAN en cobertura total no se recomienda en cultivos de ciclo estival ya que la temperatura imperante incrementa marcadamente la volatilización de amoníaco. En situaciones donde la pulverización se realice sobre el suelo, puede ocurrir tanto volatilización de amoníaco como inmovilización microbiana del N, dependiendo de la cantidad y calidad (relación C/N) de los residuos. Sin embargo, este proceso, en general, suele ser de corta duración y luego de un período, el N retenido en la biomasa microbiana es liberado. La EUN de las aplicaciones en cobertura total sobre rastrojos, dependerá si dicha liberación del N ocurre antes del momento de incremento exponencial de la demanda del cultivo. La aplicación conjunta de UAN y herbicidas, puede ser una alternativa para compensar la eventual reducción de la EUN en este tipo de aplicaciones en pulverizaciones realizadas en pre-siembra y post emergencia temprana.

Momento de aplicación

El momento de aplicación en relación al ciclo fenológico del cultivo también es un factor que puede influenciar la eficiencia de aprovechamiento de los nutrientes aplicados. Si la aplicación es demasiado temprana, el sistema radicular puede no estar suficientemente desarrollado para maximizar la absorción de nutrientes. Por el contrario, si el momento de aplicación es muy demorado, habrá menor impacto en la generación del

rendimiento y mayor incidencia sobre la calidad del producto cosechado.

Como se mencionó antes, los fertilizantes fluidos, al igual que los fertilizantes sólidos, se pueden aplicar en diferentes momentos durante el ciclo del cultivo. Desde antes de la siembra hasta en estadios reproductivos avanzados. La elección del momento adecuado dependerá de otras circunstancias definidas de acuerdo al nutriente en cuestión, las propiedades del fertilizante como así también del objetivo específico de esa aplicación (incremento de rendimiento, mejora en la calidad del grano).

Las aplicaciones en pre-siembra tienen como finalidad principal aliviar la operación de siembra, crítica en el sentido que demanda más tiempo, atención y recursos del operador. En ambientes donde las pérdidas de N a través de la lixiviación de nitratos y/o volatilización son bajas, la aplicación previa a la siembra resulta atractiva. Cuando por diferentes causas, existe riesgo de pérdidas de N y la expectativa de rendimiento es elevada, las estrategias de fraccionamiento de dosis entre diferentes momentos del ciclo y/o la utilización de aditivos para aumentar la EUN del UAN, pueden ser criterios a ser evaluados.

» Fertiliriego

El fertiliriego consiste en la aplicación de nutrientes a través del agua de riego. El uso de fertilizantes líquidos es ideal aunque no exclusiva, ya que hay equipos diseñados para fertilizantes sólidos que se disuelven en el momento del uso.

Los sistemas de riego utilizados pueden ser diversos:

- » **Riego por surcos:** cuando el agua se aplica sobre toda la superficie del suelo o restringida a surcos de riego
- » **Aspersión:** pueden ser sistemas fijos, semi-portables ó completamente transportables. Dentro de éstos se encuentran los sistemas de riego tipo “pivote central” o “avance frontal” y los cañones de riego
- » **Localizados:** sistemas de riego de bajo volumen (goteo, micro aspersores ó micro jets)

Los dos últimos sistemas son riegos presurizados. Los sistemas de riego localizados son los más utilizados en cultivos intensivos a campo abierto y bajo cubierta, y es donde se logra la mayor eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes aplicados. Los fertilizantes líquidos se pueden aplicar con cualquiera de los sistemas de riego mencionados, dependiendo de la calidad del agua, tipo de fertilizantes y los sistemas de aplicación disponibles en los diferentes sistemas de producción.

Ventajas

- » **Mayor eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes**
- » **Menor contaminación de aguas subterráneas**
- » **Ahorro en labores y/o operaciones de aplicación de fertilizantes a la siembra y/o en post-plantación, menor tráfico vehicular y compactación del suelo. Una vez que el sistema de inyección está instalado, la aplicación es sumamente simple**
- » **Distribución y colocación del agua y nutrientes en la zona de aprovechamiento radicular**
- » **Posibilidad de sincronizar la oferta con la demanda de nutrientes en las diferentes**

etapas del cultivo y poder regular la relación entre los nutrientes según el estadio ontogénico

- » **Control del perfil de distribución del agua y nutrientes en el suelo**
- » **Precisión en dosificación y mayor control nutricional de los cultivos**
- » **Posibilidad de automatizar los programas de fertilización**

Limitaciones

- » **Mayor inversión inicial y costos de mantenimiento**
- » **Riesgo de taponamiento de emisores o líneas de riego completas por crecimiento de algas o por precipitados químicos resultantes de las reacciones entre fertilizantes solubles en el agua de riego**
- » **Distribución heterogénea del agua y nutrientes donde los emisores o goteros se encuentran taponados**
- » **Necesidad de filtrado del agua de riego**
- » **Necesidad de utilizar fertilizantes solubles, especialmente formulados para este sistema, con lo cual no es posible aplicar algunos fertilizantes granulados convencionales**
- » **Riesgo de corrosión en algunas partes metálicas por la actividad corrosiva de los fertilizantes, especialmente en el equipo de fertilización, exigiendo cuidados al llenar los recipientes, uso de accesorios no atacables en los lugares sensibles, lavado total del sistema y utilización de riego de lavado una vez terminada la fertilización**

Manejo y calidad del agua de riego en fertirriego

El manejo de las láminas de riego, junto con la concentración de los nutrientes aplicados, determina la oferta de nutrientes aportados. En el diseño del sistema de riego se establecen turnos de riego para regar una determinada lámina en un determinado sector del campo. Las láminas aplicadas se definen en base a la demanda de uso consuntivo de los cultivos, variable de acuerdo a la especie y su estado de desarrollo. Un buen diseño de riego requiere un ajuste y monitoreo hídrico del suelo en relación a la demanda del cultivo.

La forma y extensión horizontal y vertical del bulbo húmedo (la zona primaria donde proliferan las raíces y se distribuye el agua) y los nutrientes depende del tipo de suelo, del caudal del emisor y de la geometría de la disposición de los emisores en el campo (Figura 10). El patrón de mojado en los bulbos se puede evaluar a campo a través de calicatas y/o pozos de observación, aspecto relevante para conocer y ajustar el manejo del agua y de los nutrientes aplicados.

La evaluación de la calidad del agua es un aspecto central del manejo del fertirriego, con implicancias en el manejo de los nutrientes y en el mantenimiento de los equipos. La calidad del agua, en sentido amplio, se define a partir del contenido de partículas disueltas o en suspensión, que pueden tener origen físico, biológico o químico. La mala calidad del agua tiene como consecuencia la obturación de los goteros, el depósito de sales en el interior de las tuberías y la disminución de la vida útil del equipo. En la Tabla 7 se presenta un resumen de las causas que inciden en el riesgo de taponamiento en sistemas de riego presurizados.

La evaluación de la calidad del agua dependerá del tipo de sistema de riego utilizado y el sistema de producción (tipo de suelo, tolerancia a sales de los cultivos, etc.).

Figura 10. Patrones de mojado de riego por goteo bajo distintos tipos de textura de suelo.

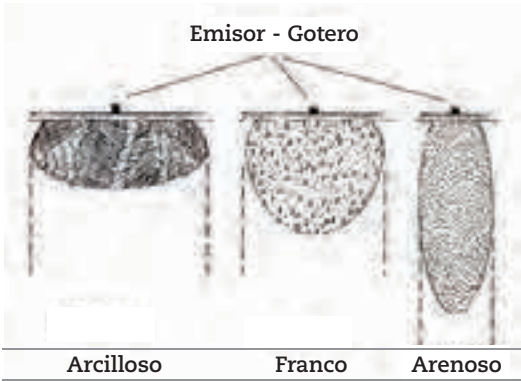


Tabla 7. Potencial de taponamiento en el agua de riego y de riesgos derivados de salinidad o sodicidad (Adaptado de Melgar et al., 2002).

ORIGEN		RIESGO		
		Bajo	Medio	Severo
Físico	Sólidos en suspensión (ppm)	< 50	50-100	> 100
Químico	pH	< 7,0	7,0-8,0	> 8,0
	Conductividad (dS/cm)	<0,75	0,75-3,0	>3,0
	Sólidos disueltos (ppm)	< 500	500-2.000	> 2.000
	Manganeso (ppm)	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
	Hierro (ppm)	<0,1	0,1-0,5	> 1,5
	Acido Sulfhídrico (ppm)	< 0,5	0,5-2,0	> 0,2
Biológico	Población bacterias (máximo N°/ mm3)	< 10.000	10.000-50.000	> 50.000

Aguas duras

Las soluciones de UAN pueden inyectarse en varios sistema de irrigación por aspersión sean pivote centrales o de avance lateral sin ninguna dificultad. Sin embargo, debe evaluarse la dureza del agua, en especial cuando se agregan soluciones de APP ya que pueden causar compuestos de baja solubilidad (fosfatos de calcio). Cuando se usa APP de grado equivalente 10-34-0 con agua moderadamente dura, no se forman precipitados en general si la solución 10-34-0 tiene un contenido mayor al 70% de polifosfatos, ya que secuestra cantidades relativamente grandes de Ca y Mg. Sin embargo, con aguas muy duras puede ocurrir formación de precipitados. Antes de utilizar soluciones de APP de grado equivalente 10-34-0 en sistemas de riego por aspersión o por goteo, se recomienda efectuar una prueba a pequeña escala para determinar si se forman precipitados. Si se forman, no debe inyectarse APP 10-34-0 a menos que el agua pueda ser

acidificada. La prueba precedente debe hacerse con agua tomada directamente de la línea de riego y cerca del punto de aplicación. La composición química del agua puede cambiar en períodos relativamente cortos y por ello es importante tomar la muestra de agua en momentos cercanos a la aplicación del fertilizante. Para evitar la formación de fosfatos insolubles de Ca y Mg a partir del agregado de APP a aguas duras, se debe agregar ácido fosfórico hasta alcanzar un pH de 4,0 o inferior.

Tratamientos con ácidos

El agua de riego puede acidificarse para reducir los problemas de taponamiento de las líneas o emisores causados por precipitados de carbonato de Ca y Mg o de otro tipo (pirofosfatos, de origen microbiano). El uso del ácido sulfúrico o clorhídrico (ácido muriático) para la reducción de los taponamientos en los sistemas de riego por goteo son procedimientos comunes, siendo suficiente 20 a 50 ppm de ácido sulfúrico para remover carbonatos y bicarbonatos de sistemas cerrados. Esta práctica reduce con eficacia los precipitados de Ca y Mg y también evita y/o reduce las pérdidas de amoníaco por la inyección de sales de amonio en el agua de riego. En la Tabla 8 se muestra la cantidad de ácido sulfúrico requerida para neutralizar los precipitados según el contenido de bicarbonato del agua.

Tabla 8. Cantidades de ácido sulfúrico requeridas para neutralizar el 90% del bicarbonato en el agua de irrigación.

Bicarbonato en agua	Acido requerido	
<i>ppm</i>	<i>ppm</i>	<i>Kg</i>
50	38	47
100	76	94
200	152	187
400	304	374

Si la dureza del agua se expresa en ppm en lugar de miliequivalentes (meq) de carbonato o bicarbonato, los meq pueden obtenerse dividiendo las ppm de dureza por 50.

También pueden usarse ácido fosfórico, nítrico, o combinaciones de éstos, para bajar el pH del agua, con la ventaja de agregar nutrientes (P, N). Sin embargo, el ácido sulfúrico es el más utilizado para reducir el pH, debido a su disponibilidad y menor costo.

Cuando se inyectan fertilizantes ácidos NPK en sistemas de riego por goteo, el ácido clorhídrico que resulta del cloruro del potasio en solución ácida puede prevenir la formación de mucilagos bacterianos. Estas bacterias son sensibles al Cl libre residual presente en fertilizantes ácidos que contienen cloruro del potasio.

Es importante resaltar que se debe tener mucho cuidado al manipular ácidos porque son altamente corrosivos y pueden causar daños al personal, al cultivo y sistema de riego. Algo de corrosión del equipo de riego aparece con el uso frecuente a valores de pH debajo de 6,0 a menos que el equipo sea de plástico o acero inoxidable.

Inyectar ácidos después de la unidad de bombeo por medio de inyectoras a prueba de ácido funciona muy bien si se realiza un riego de lavado luego del uso. La adición de ácido para evitar la obstrucción por depósitos debe hacerse rutinariamente. Si se demora la inyección hasta que se presenten los problemas, el ácido puede desprender precipitados ya presentes y causar taponamientos en las líneas de riego.

Distribución de los fertilizantes

Para asegurar una distribución uniforme de los fertilizantes en el sistema de fertirriego es esencial la dilución y mezclado adecuado de los productos a medida que entran al sistema de riego. La uniformidad de la distribución de los fertilizantes está asociada a la uniformidad de la distribución del agua. Si bien la mayor eficiencia y uniformidad de distribución de agua y nutrientes se logra en sistemas con riego localizado bien diseñados, también es posible la aplicación a través de otros sistemas de riego, como por surco (Figura 11).

Figura 11. Dosificador de fertilizante líquido para fertirriego en surcos (imagen gentileza Jorge Bassi).



En riego en canales y/o surcos, la solución fertilizante normalmente se agrega al agua de riego en canales secundarios que riegan áreas bien controladas. En sistemas simples de operación de sifonado, los nutrientes deben entrar al sistema del lado donde se succiona. Para sistemas de riego presurizados (aspersión, goteo) la solución de nutrientes debe introducirse después de la bomba de riego. El equipo destinado a la inyección de fertilizantes, sea tanque, inyector o bomba, se ubica después de la válvula dosificadora y antes del filtro o sistema de filtrado.

La distribución uniforme del fertilizante, una vez que está bien mezclado en el agua de riego, dependerá del patrón de distribución del agua de riego desde el comienzo al final del sistema. Para aspersores, debe existir un buen traslape para tener una buena cobertura. Los sistemas de pivote o de avance frontal requieren que el fertilizante sea inyectado durante todo el tiempo que se necesita completar un ciclo. La distribución exacta de agua y fertilizantes en sistemas de aspersión también es afectada por la velocidad del viento, aunque los sistemas móviles son menos afectados. Cuando la velocidad del viento es superior a 15 km/h la distribución es muy heterogénea.

Cuando se aplican herbicidas y/o plaguicidas a través del sistema de fertirriego, es

necesario lograr una adecuada exactitud en la dosificación y distribución en el suelo. Para lograrlo, puede ser necesario realizar las operaciones de noche cuando la velocidad del viento es habitualmente menor.

Fertilizantes apropiados para fertirriego

Los fertilizantes líquidos son ideales para su uso en fertirriego, aunque también los fertilizantes sólidos disueltos en agua, también se utilizan para este propósito. Este tema se trata en el capítulo “Tipo de fertilizantes fluidos”.

Métodos de inyección de fertilizantes

Los fertilizantes o plaguicidas son introducidos o inyectados en las líneas de riego por sistemas que pueden ser:

- » **Sistema de tanque o presión diferencial**
- » **Succión por una válvula tipo Venturi (presión negativa)**
- » **Inyección del fertilizante por medio de una bomba (presión positiva).** Entre estos se distinguen los del tipo proporcional, que inyectan cantidades de solución fertilizante proporcionalmente al flujo del agua en el sistema, y aquellos de tipo constante, cuya tasa de inyección es independiente del flujo de agua en el sistema. La **Tabla 9** presenta un resumen de los diferentes sistemas de inyección y su comparación. En el capítulo de “Sistemas de aplicación” se describen de un modo más detallado las características de cada uno y su funcionamiento

Tabla 9. Principales características de cada sistema de fertilización en función de varios aspectos de la operación de fertirriego.

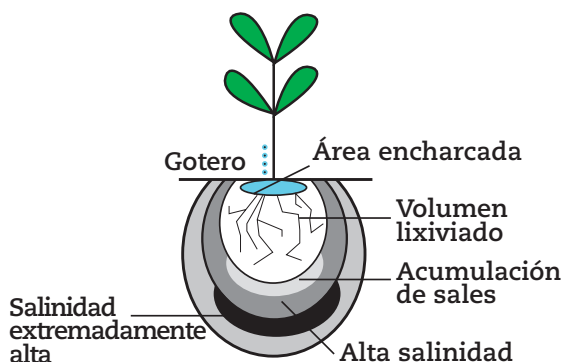
	Tanque	Inyector Venturi	Bomba dosificadora
Facilidad de manejo	Alta	Media	Baja
Uso de fertilizantes sólidos	Posible	No	No
Velocidad de descarga	Alta	Baja	Alta
Control de la concentración	Ninguna	Media	Buena
Control del volumen	Bueno	Medio	Bueno
Pérdida de presión	Baja	Muy Alta	Ninguna
Automatización	Baja	Media	Alta
Precio	Bajo	Medio	Alto

Patrón de distribución de los nutrientes en el bulbo de mojado

El área del bulbo de mojado tiene una región superficial expuesta a la evaporación directa de agua y a una gradual acumulación de sales en la superficie del suelo. Los ciclos de riego y de evaporación, crean un área de lavado justo debajo del emisor y las sales tanto del agua como de los fertilizantes se acumulan en los bordes del volumen mojado en la superficie del suelo (Kremmer y Kenig, 1996) (Figura 12).

La movilidad de los iones en el suelo a partir del punto de aplicación de un fertilizante fluido es importante porque condiciona el manejo de la nutrición de un cultivo. La distribución es muy diferente dependiendo si el nutriente presenta o no retención en el suelo. Así, el N en forma de nitratos presenta mayor movilidad vertical que el P, S, K, Ca y Mg que pueden presentar un grado variable de adsorción y/o fijación según el tipo de suelo.

Figura 12. Distribución de sales en un volumen de suelo húmedo debajo del emisor (Adaptado de Kremmer y Kenig, 1996).



Nitrógeno

La distribución inicial del N agregado al suelo desde un emisor varía ampliamente según la fuente de N aplicado. Cuando el N se aplica como amonio, éste se adsorberá en el complejo de cambio del suelo y se moverá una corta distancia desde el emisor. A medida que se saturan los sitios de intercambio, los iones amonio se moverán más lejos. Si bien la nitrificación es relativamente rápida en suelos agrícolas, no lo es comúnmente en el bulbo húmedo caracterizado por una baja saturación de oxígeno. La nitrificación se desarrolla en la zona insaturada del suelo. Así la acumulación de amonio bajo el emisor puede ser un problema para algunas especies sensibles o cuando se requiera una baja relación amonio/nitrato.

La urea, molécula no polar, es relativamente móvil en el suelo y su distribución se asemeja a la del nitrato. La urea se hidroliza en el suelo en un periodo relativamente breve, produciendo amonio y luego nitratos. El desplazamiento más profundo de la urea relativo al amonio tiende a minimizar las pérdidas de N por volatilización de amoníaco pero puede aumentar las pérdidas por lixiviación de nitratos.

El nitrato es muy soluble y móvil en el suelo, se mueve junto con el frente de mojado desde el emisor y tiende a acumularse en la periferia del bulbo húmedo y en la superficie del suelo entre los emisores. La absorción tendrá lugar preferentemente en el borde o frente de mojado. Es importante destacar que el nitrato es susceptible de perderse por lixiviación fuera del bulbo y también por desnitrificación. La desnitrificación es proceso anaeróbico que se genera en suelos saturados de agua. No obstante éste puede no ser un proceso muy importante ya que como se explicó, el nitrato se acumula más bien en la periferia del bulbo donde el suelo no está saturado, y a menos que el nitrato se aplique continuamente, este mecanismo de pérdida no sería demasiado significativo agronómicamente.

Fósforo

La magnitud del desplazamiento del ión ortofosfato en el suelo desde el emisor depende de la capacidad de adsorción de fosfatos del suelo (variable según tipo de suelo y mineralogía). El P aplicado queda confinado al volumen de suelo que rodea directamente al emisor. En general, la distancia de la difusión del P es proporcional a la dosis de

aplicación ya que el movimiento resulta de la saturación de los sitios de absorción del complejo de cambio del suelo cerca del punto de aplicación y movimientos posteriores a través del flujo de agua. En general, si se deseara una distribución relativamente uniforme de la concentración de P en el volumen de suelo, se requiere una aplicación basal incorporada al suelo, previa a la instalación del cultivo. Debe recordarse que, bajo condiciones normales, la distribución de P en la zona radicular no es uniforme ya que el P aplicado se acumula en la superficie del suelo, generando una estratificación.

Potasio y micronutrientes catiónicos

El K al igual que el amonio, se adsorbe en los coloides del suelo y su movilidad depende de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del mismo y de la dosis de aplicación. La distribución del K en el bulbo de humedad que la del nitrato fosfato. Los micronutrientes cationicos tienden a ser relativamente inmóviles en el suelo, aún cuando son agregados como quelatos, que una vez en el suelo el micronutriente metálico se separa del quelato.

En general la distribución irregular de nutrientes en la zona del bulbo húmedo donde proliferan las raíces parece no ser muy adecuada. Sin embargo las evidencias demuestran que las plantas se adaptan perfectamente a estas condiciones de variabilidad espacial y de concentración de nutrientes a través de dos mecanismos: (1) aumentando la tasa de absorción por unidad de raíz en la zona enriquecida y (2) incrementando la proliferación radicular en la zona del bulbo húmedo. Así, al menos en parte, las plantas ajustan su distribución radicular y patrón de absorción de nutrientes para compensar una distribución heterogénea de los mismos en el ambiente explorado por las raíces. El efecto de esta distribución irregular en el bulbo de humedad del emisor no es demasiado grande, en particular cuando se aplican dosis elevadas de nutrientes.

» Aplicación Foliar

La aplicación foliar de nutrientes es una práctica conocida y ampliamente adoptada en distintos tipos de cultivos, sean extensivos o intensivos. Bajo esta forma de aplicación se usan los nutrientes en solución y más recientemente, se han realizado significativos avances en desarrollo de fertilizantes foliares en base a suspensiones concentradas de compuestos inorgánicos de baja solubilidad en agua, pero alta efectividad agronómica (Bell & Dell, 2008). En cualquier caso, las formulaciones foliares deben ser desarrolladas específicamente para la aplicación foliar.

La fertilización foliar, en términos generales, se considera complementaria de la fertilización de base (realizada al suelo) ya sea efectuada con fertilizantes sólidos o fluidos. La aplicación foliar es particularmente atractiva cuando las condiciones de absorción de nutrientes en el suelo se encuentran condicionadas y/o limitadas. Algunos ejemplos pueden ser suelos con alta capacidad de adsorción, con baja disponibilidad hídrica y/o con un anegamiento temporal. Para que la práctica de la fertilización foliar resulte efectiva debe existir una adecuada área foliar (cobertura) y por consiguiente en general se realizan en estados vegetativos no muy tempranos o en etapas reproductivas. La aplicación en estadios reproductivos permite impactar principalmente en la calidad del producto cosechado. Realizar una aplicación a suelo en este estadio presenta baja eficiencia ya que la actividad radicular es muy baja.

Los principios fisiológicos del transporte de los nutrientes absorbidos por las hojas son similares a los que regulan la absorción por las raíces. Sin embargo, el transporte de los nutrientes aplicados sobre las hojas no es el mismo que el que se realiza desde las raíces al resto de la planta. Tampoco la movilidad de los nutrientes en el floema es la misma o la velocidad de absorción foliar (Tabla 10).

Tabla 10. Velocidad de absorción de los nutrientes en los tejidos foliares (Castro, 2009).

Nutriente	Tiempo necesario para una absorción del 50 %
Nitrógeno (como urea)	1/2 a 2 horas
Magnesio	10 a 24 horas
Potasio	10 a 24 horas
Calcio	10 a 94 horas
Zinc	1 a 2 días
Manganeso	1 a 2 días
Fósforo	5 a 10 días
Cloro	1 a 4 horas
Azufre	5 a 10 días
Hierro	10 a 20 días
Molibdeno	10 a 20 días

A pesar de que el N y el K son móviles en el floema, la posibilidad de cubrir la demanda de los mismos a través de la fertilización foliar es limitada, ya que se requieren en grandes cantidades (macronutrientes). En igual sentido, hay algunos nutrientes que presentan baja movilidad en el floema (e.g. Ca, Zn, Cu, Fe, Mn, Mo, S), que de ser deficientes, pueden restringir el crecimiento de los órganos en activo crecimiento (hojas nuevas y/o granos). Por ello, cuando se aplican nutrientes que presentan escasa movilidad en floema, se debe lograr una muy buena penetración del fertilizante en el canopeo, tanto en estratos superficiales como subsuperficiales.

Por lo mencionado antes, la fertilización foliar se suele utilizar preferentemente para aplicar micronutrientes, donde el requerimiento de los cultivos es menor al de los macronutrientes primarios o secundarios. La fertilización foliar puede resultar ventajosa cuando existen limitaciones edáficas para la absorción de los nutrientes (excesiva acidez, alcalinidad, sequía transitoria, compactación, etc.) o se requiera una rápida intervención para corregir una deficiencia y/o mejorar la calidad del producto cosechado. En algunos cultivos como florales y ornamentales, la fertilización foliar constituye una herramienta muy efectiva para modificar atributos de calidad comercial, como el vigor y/o la vida post-cosecha.

El proceso de absorción foliar

El proceso que ocurre desde que el fertilizante se aplica sobre la superficie de las hojas, penetra dentro de ellas y se distribuye al resto de la planta se puede caracterizar a través de las siguientes etapas:

(1) Mojado de superficie foliar con la solución fertilizante. La pared exterior de las células de la hoja está cubierta por la cutícula y una capa de cera con una fuerte característica hidrófoba (repelen el agua). El uso de surfactantes se puede utilizar para reducir la tensión superficial de las gotas, mientras que los humectantes permiten aumentar el tiempo de retención de las gotas en la superficie, facilitando la absorción de nutrientes. El uso de estos adyuvantes se debe analizar de acuerdo con el tipo de formulación (algunas ya vienen con adyuvantes incorporados) y condiciones ambientales durante la aplicación.

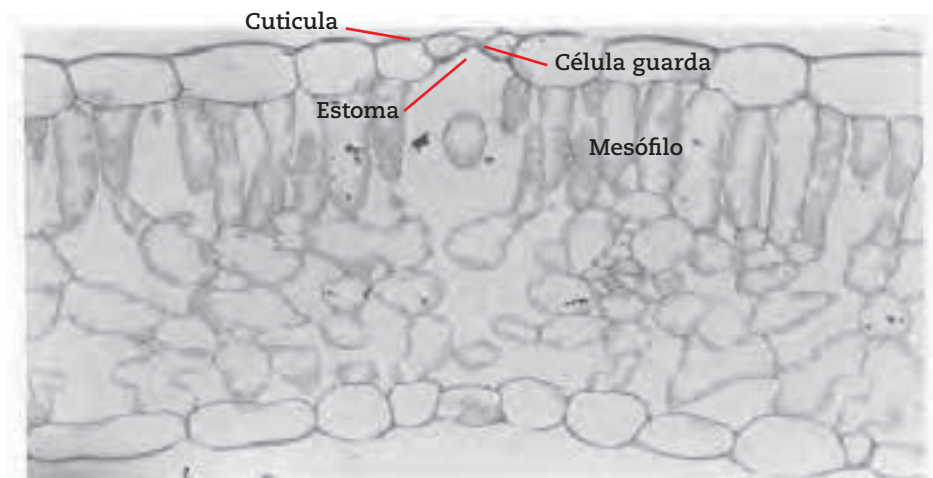
(2) Penetración a través de la pared externa de las células epidérmicas. Para

que los nutrientes penetren a través de la pared exterior de las células, el modelo más aceptado es la difusión a través de la cutícula.

(3) Entrada de los nutrientes en la pared celular. La pared celular es un espacio importante para la absorción y transporte de nutrientes. Los nutrientes entran en el espacio luego de penetrar la capa exterior de la epidermis. Para su entrada posterior dentro de las células las condiciones químicas en la pared celular, como el pH, son de importancia decisiva y pueden manipularse a través del uso de aditivos adecuados.

(4) Absorción de nutrientes dentro de la célula. Los principios fisiológicos de la absorción de nutrientes minerales desde la pared celular hacia el interior de las células, a través de la membrana plasmática, son similares a los que ocurren en las raíces. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con la absorción radicular, la absorción por las hojas tiene mayor dependencia de factores externos como la humedad relativa, temperatura y radiación. La luz incide directamente ya que el transporte de nutrientes está mediado por enzimas que requieren de energía (ATP) disponible en la hoja, que es obviamente afectada por la radiación a través del balance entre fotosíntesis y respiración.

Figura 13. Sección transversal de una hoja típica mostrando la posición y el tamaño relativo de los estomas y la cutícula.



Desventajas de la aplicación foliar

La nutrición foliar tiene sus limitaciones, aun cuando se la considera un método para superar problemas que puedan encontrarse en las aplicaciones al suelo.

- » Tasas de penetración bajas, particularmente cuando las hojas tienen cutículas gruesas y cerosas
- » Esgurrimiento del material pulverizado en superficies hidrofóbicas
- » Lavado por la lluvia luego de la aplicación
- » Baja eficiencia de absorción de iones cuando la solución pulverizada se seca rápi-

damente

- » **Baja movilidad de nutrientes en el floema (e.g. Ca y micronutrientes catiónicos)**
- » **Dosis relativamente bajas de macronutrientes que pueden ser aplicados**
- » **Posibles daños fitotóxicos sobre el follaje, como necrosis y quemado, asociados con dosis inadecuadas de formulación y/o adyuvantes (e.g. elevado contenido de biuret en soluciones de urea)**
- » **Se puede requerir más de una aplicación, aumentando los costos**
- » **Baja eficiencia de captación de la solución asperjada cuando el cultivo tiene baja área foliar**

Factores que afectan la performance de las aplicaciones foliares

La efectividad de la fertilización foliar depende de diversos factores, a saber:

(1) Características de la solución de pulverización

Concentración: Cuanto mayor es la concentración del nutriente, mayor es el gradiente en relación a la hoja, particularmente en la medida en que la penetración se realiza en forma pasiva. Reducir el volumen de aplicación en la práctica aumenta la concentración pero puede causar alguna fitotoxicidad. La aplicación debe hacerse a la concentración más alta posible sin que se supere los umbrales de fitotoxicidad o quemado de las hojas. Es muy importante tener en cuenta las recomendaciones del proveedor (ficha técnica del producto)

pH de la solución: El pH afecta principalmente el nivel de solubilidad de diversos elementos tales como el P y más acentuadamente el Ca, el cual mejora su solubilidad a medida que el pH de la solución disminuye. El pH puede afectar la forma iónica de los elementos y esto puede modificar la tasa de penetración de los nutrientes en el mesófilo. Además, cuando se mezcla el fertilizante con productos para control de adversidades (e.g. plaguicidas,) el pH debe ser adecuado para los dos componentes del caldo asperjado. La capacidad de absorción relativa de sustancias ácidas de la cutícula decrece en el rango de pH de 1 a 7 y las de sustancias alcalinas aumenta en el rango de pH de 3 a 9.

Tipo de molécula y forma iónica: Las moléculas y/o complejos con alta masa molecular penetran en forma más lenta que aquellas con baja masa molecular. Las moléculas neutras también se absorben más rápido que compuestos iónicos. Como ejemplo se puede mencionar al ácido bórico y el ion borato ($\text{H}_3\text{BO}_3 > \text{B}(\text{OH})_4^-$). La selectividad de absorción se facilita para los cationes monovalentes como K^+ en relación a los di o polivalentes como Ca^{2+} y Mg^{2+} . Relaciones semejantes ocurren con los aniones Cl^- , NO_3^- en relación al SO_4^{2-} . En general la velocidad de absorción además se relaciona con el tamaño de la molécula.

Aniones: $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$

Cationes: $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$

Tensión superficial del caldo de pulverización: La disminución en la tensión superficial incrementa la superficie de exposición para la absorción por la hoja. La capacidad de una solución para mojar la superficie foliar es función del ángulo de contacto, que depende de la tensión superficial y de la naturaleza de la superficie en cuestión. El uso de surfactantes reduce la tensión superficial de las gotas de la solución, aumentando

su ángulo de contacto y por lo tanto, incrementando la superficie de adherencia con la hoja.

Tamaño de la gota: Gotas más grandes mojan con menor uniformidad, pero pueden resistir la pérdida por evaporación. Gotas más pequeñas mojan una superficie mayor pero se evaporan más rápido. El tipo de pastilla de pulverización debe ser el adecuado para la presión de trabajo y tamaño de gotas deseada, así como el ángulo de ataque y proporción de traslape, necesario para lograr la mejor cobertura con el mínimo volumen. En términos generales, la fertilización foliar, desde el punto de vista de la técnica de aplicación, se maneja de un modo similar que la aplicación de fungicidas. El agregado de un surfactante que baje la tensión superficial puede ayudar a solucionar el problema de pérdida de eficiencia. Estos adyuvantes pueden contribuir a través de otros mecanismos como aumento de la viscosidad de la solución, mejora de la adhesión, agregado de aceites para disminución de la evaporación.

(2) Condiciones ambientales

El ambiente influye en la absorción de nutrientes por las hojas, en el desarrollo de la cutícula o en las reacciones fisiológicas relacionadas con el mecanismo de absorción activa. Entre los principales factores con influencia en la eficiencia de la fertilización foliar se encuentran:

Disponibilidad de nutrientes: En general, la absorción por las células de las hojas está regulada por el estado nutricional de la planta, al igual que en el caso de la absorción radicular. Es decir, cuanto más severa sea la deficiencia de un determinado nutriente, mayor será la respuesta a éste aplicado por vía foliar. En la Tabla 11 se muestra cómo la absorción de P marcado isotópicamente está regulada por el status nutricional del cultivo Tabla 11.

Tabla 11. Absorción y translocación de P aplicado (P32) por vía foliar.

Absorción y translocación de P	Control	Deficiente en P
Absorción por las hojas tratadas	5,3	9,9
Translocación fuera de la hoja tratada	2,0	6,0
Translocación a las raíces	0,6	4,4

Sin embargo, este modelo general a veces es controversial. Por ejemplo con nutrientes como el Fe, la condición de disponibilidad en el suelo no influye ya que, al igual que en la absorción radicular, la absorción de Fe por las células de la hoja requiere un proceso de reducción.

Humedad: Influye directamente en la evaporación de las gotas y la retención en la superficie de la hoja. Cuando la humedad relativa del ambiente (HRA) es alta, el producto estará activo por un período más largo permitiendo que los nutrientes penetren con más eficiencia. La HRA tiene influencia sobre el desarrollo y el estado fisiológico del cultivo. En condiciones de baja humedad, los estomas se cierran y las plantas pueden desarrollar una cutícula más gruesa y viceversa.

Temperatura: la temperatura aumenta la absorción de nutrientes, dentro de un rango óptimo. Con temperaturas mayores o menores, la absorción de reduce. Asimismo, la temperatura debe analizarse en conjunto con la HRA, buscando combinaciones óptimas donde pueda resultar conveniente realizar la aplicación.

Radiación: el efecto de la luz blanca sobre la apertura y cierre de los estomas y sobre la fotosíntesis afectan la absorción de nutrientes. Con los estomas abiertos, aumenta la circulación de agua y se afecta indirectamente la absorción. La energía provista por la fotosíntesis representa un aporte de asimilados para la absorción. Por otra parte, los diferentes niveles de radiación, modifican el grosor de la cutícula. El efecto de la luz se vincula con la apertura y cierre estomático, mientras que la radiación a su vez influye de un modo directo a través de la temperatura.

Por estas razones en general, se recomienda efectuar las pulverizaciones temprano durante la mañana o más bien tarde al final del día, ya que la radiación solar y la temperatura son más bajas, la velocidad del viento es menor, y la humedad relativa es más alta.

(3) Características de la planta

Edad de la hoja: a medida que la hoja envejece, aumenta el grosor de la cutícula y la cantidad de ceras, reduciendo la tasa de penetración de los nutrientes. Asimismo, las hojas más jóvenes presentan una elevada actividad metabólica, consumiendo nutrientes en los procesos de síntesis. La penetración se facilita por la cutícula más fina y la menor cantidad de ceras y cutina, en contraste con una cantidad relativamente alta de pectinas, que son altamente hidrófilas.

Superficie de la hoja: algunas plantas tienen una alta densidad de pelos, que provocan que las gotas de pulverización no hagan contacto con la superficie absorbente de la hoja. La textura de la superficie de las hojas difiere entre las especies cultivadas. Por el contrario, las hojas con superficies más lisas, pueden provocar que el caldo de asperjado presente menor adherencia.

Disposición de las hojas: el ángulo de las hojas respecto al suelo, como así también su morfología, influyen en la retención de las gotas pulverizadas. Las plantas que crecen en hábitats húmedos difieren de las de los ambientes más secos (plantas xerófilas) en cuanto al grosor de la cutícula y la posición de los estomas.

(4) Estado de desarrollo del cultivo:

- » Cuanto mayor es el índice de área foliar, mayor será el área de absorción.
- » Momentos críticos específicos del desarrollo, como la floración, o el llenado de granos, pueden requerir un mayor suministro de algún nutriente específico. Por ejemplo, la aplicación de B durante la floración del girasol o el maíz resulta en un aumento del número de granos fijados. Asimismo, la aplicación de N durante antesis y/o llenado de granos, aumenta el contenido de proteínas en los granos.
- » Algunos nutrientes expresan deficiencias en etapas tempranas cuando el volumen de raíces explorado aún no es muy significativo, y/o las temperaturas son bajas (e.g. Zn). Si bien es habitual que los síntomas de deficiencias desaparezca si el contenido de Zn del suelo es elevado, cuando ello no ocurre, la fertilización foliar constituye una práctica eficaz para corregir las deficiencias.

Situaciones más recomendadas para la fertilización foliar

1. Aplicación de micronutrientes

La fertilización foliar está especialmente recomendada para la aplicación de micronutrientes, donde se aplican dosis pequeñas (gramos/ha), debido a los bajos requerimientos de los cultivos, donde la limitada capacidad de absorción de nutrientes por

las hojas no constituye un problema. Por otra parte, teniendo en cuenta que se aplican dosis bajas en una superficie grande, la pulverización, cuando está bien realizada, es más exacta en la dosificación que otros métodos de aplicación.

2. Rápida Eficacia

Cuando se presentan condiciones severas de deficiencias de nutrientes, con presencia de síntomas foliares, la eficiencia de la fertilización foliar es mayor que la fertilización al suelo.

3. Independencia de la fijación en el suelo.

En los suelos con fuerte capacidad de fijación de nutrientes, la fertilización foliar ha demostrado una alta eficacia frente a la aplicación convencional al suelo, en especial para el P y micronutrientes catiónicos.

Aplicación conjunta de UAN con agroquímicos y/o fitoterápicos

La posibilidad de realizar aplicaciones conjuntas de UAN con herbicidas y/o fitosanitarios se menciona como una de las ventajas de la utilización de este tipo de fertilizantes. El principio de la aplicación conjunta de herbicidas y fertilizantes fluidos, es utilizar la solución de nutrientes como vehículo del herbicida en lugar de agua. Esta estrategia, permite ahorrar aplicaciones (reducción de costos) y simultáneamente, reduce el tránsito vehicular en los lotes que en algunos casos puede contribuir a generar procesos de compactación. Eventualmente el fertilizante puede diluirse con agua para aumentar el volumen de aplicación.

En la Argentina, se estima que alrededor de 200.000 Ha reciben algún tipo de aplicación conjunta de UAN y/o soluciones nitro-azufradas con herbicidas. De esta superficie, alrededor del 30% corresponde a aplicaciones realizadas en el barbecho; 20% en pre-emergencia de cultivos de maíz y 50% aplicaciones en post-emergencia de cultivos de invierno como trigo o cebada. En cuanto a las aplicaciones en el momento de barbecho, las mismas corresponden principalmente a mezclas de UAN con glifosato, herbicidas hormonales y/o residuales.

En pre-emergencia de cultivos de verano (e.g. maíz, sorgo) se realizan aplicaciones conjuntas de UAN con diferentes herbicidas como atrazina, metaloclor, acetoclor, entre otros; que se utilizan para controlar las diferentes tipos de malezas que se pueden presentar en los lotes de producción. En general todos los herbicidas que se utilizan en la actualidad son compatibles con el UAN, con excepción de las sal-aminas (e.g. 2,4 D no volátil). La mezcla de UAN con atrazina sólida requiere de la permanente agitación, que en general en pulverizadoras modernas no es un problema.

En cuanto a la mezcla de UAN y herbicidas en post-emergencia de trigo o cebada, es importante considerar algunos aspectos. En primer lugar es importante destacar que la mayoría de los herbicidas utilizados en estos cultivos son compatibles. Sin embargo, es necesario ajustar el momento de aplicación de acuerdo a los requerimientos de cada herbicida. También es importante evitar la aplicación cuando hay alta probabilidad de ocurrencia de heladas, ya que ello aumenta la severidad de la fitotoxicidad luego de la aplicación.

En EEUU se han evaluado sistemáticamente combinaciones de herbicidas y fertili-

zantes fluidos, tendientes a maximizar la eficiencia de los fertilizantes, sin causar daños al cultivo. Un ejemplo son las evaluaciones de Martens et al (1978), que realizaron evaluaciones de 10 herbicidas comunes como Alaclor, Atrazina, Butilato, DCPA, 2,4D, Linuron, Trifluralina y otros, con 11 soluciones o suspensiones fluidas. Los mismos fueron testados no solo en su capacidad de mantener la fitotoxicidad como agentes para el control de malezas sino en su estabilidad junto con los fertilizantes fluidos. De estos resultados, interesa especialmente los del UAN y del APP (0-34-0 y 11-37-0), y los fertilizantes fluidos NP a base de ortofosfatos como el 8-24-0. De éstos, el 11-37-0 fue el fertilizante más compatible con los herbicidas, mientras que la Atrazina y el Propacloro fueron los herbicidas más compatibles con los fertilizantes fluidos. No obstante, la agitación es esencial para mantener la actividad y efectividad de los dos componentes de la mezcla.

En cuanto a la utilización de herbicidas post-emergentes, es posible diseñar y realizar una fertilización y al mismo tiempo controlar malezas. Así, Vigna y Lopez (2004) evaluaron experimentalmente en el sur de Buenos Aires combinaciones de cuatro mezclas herbicidas a) Prosulfuron G.D. 75% + Triasulfuron G.D. 75% + Dicamba G.D. 87.5%; b) Metsulfuron GD 60%+ Dicamba C.S. 57,7%) 2,4-D (100%) + Picloram (24%) y d) Metsulfuron (60%) + 2,4-D (100%)] y tres fertilizantes líquidos usando urea sólida como testigo. Los fertilizantes fueron: UAN (32 %N), 100 L/ha, Solución NS (27-0-03S), 222 L/ha y urea en solución (20%N), 178 L/ha. Las mezclas se pulverizaron al macollaje del trigo. Las mezclas de diferentes herbicidas con fertilizantes líquidos permitieron un control adecuado de las malezas con los productos indicados, disminuyendo la posibilidad de síntomas fitotóxicos sobre el follaje de trigo. Los resultados de la Tabla 12 muestran los resultados de fitotoxicidad, promedio de los dos ensayos a los 3 y 7/8 días después de la aplicación. Las mezclas controlaron las malezas satisfactoriamente, excepto con la mezcla Metsulfuron y 2,4-D, herbicidas que no son específicos para el control de poligonáceas. Todas las mezclas controlaron en más del 90 % la principal maleza del cultivo (*Polygonum aviculare*) a los 28 días desde la aplicación.

Tabla 12. Fitotoxicidad de diferentes mezclas de herbicidas post-emergentes y fertilizantes fluidos sobre trigo luego de 3 y 8 días después de la aplicación (DD). Promedio de dos ensayos (Escala 0-5) (Adaptado de Vigna y Lopez, 2004).

	UAN		Sol NS		Urea Sol.		Urea gran.	
Herbicidas	3DD	8DD	3DD	8DD	3DD	8DD	3DD	8DD
Prosulfuron+Triasulfuron+Dicamba	2,1	1,0	1,8	1,2	1,0	10	0,5	0,5
Metsulfuron +Dicamba	2,3	1,0	2,2	1,0	0,9	0,5	0,6	0,9
24D+Picloram	2,2	0,5	2,0	1,0	1,0	0,3	0,7	0,3
Metsulfuron+24D	2,0	1,2	1,8	1,0	1,2	1,2	0,9	0,7
Promedio	2,1	0,9	1,9	1,1	1,0	0,8	0,7	0,6

Test de compatibilidad

Un ensayo previo de compatibilidad resulta importante cuando no hay antecedentes y/o experiencias donde se haya evaluado la compatibilidad de los productos utilizados. Simplemente el ensayo consiste en colocar un litro del fertilizante líquido en una jarra o botella y agregar el herbicida en una proporción similar a la que se utilizará a campo. Si el herbicida es una formulación seca, mezcle el herbicida con suficiente agua para disolverlo o suspenderlo y luego agregarlo a la solución de fertilizante. Luego se

cubre la jarra, se agita, y se observa. Compruebe que la mezcla permanezca en la misma condición luego de 30 minutos de reposo. Si la mezcla no se separa en fases, es compatible. El pH y el contenido mineral del agua pueden influir en la compatibilidad.

A menos que las instrucciones en los marbetes sugieran lo contrario, agregue el herbicida al agua o al fertilizante en el siguiente orden:

1) Polvos mojables o gránulos dispersables; 2) soluciones líquidos o acuosos; 3) concentrados emulsionables, 4) concentrados de aceite.

Los tanques del aplicador deben llenarse a la mitad con la solución fertilizante antes de agregar los herbicidas. No deben almacenarse mezclas de herbicidas y fertilizantes en el tanque por mucho tiempo. Los mejores resultados se obtienen aplicando las mezclas de inmediato.

Utilización de soluciones líquidas como activadoras de herbicidas

En los últimos años, se difundió el uso de soluciones nitrogenadas como adyuvantes para incrementar la efectividad de los herbicidas. Las sales de amonio son el componente más activo de estas soluciones fertilizantes y probadamente han mejorado la consistencia del funcionamiento de herbicidas comunes como el glifosato en algunas malezas, sobre todo cuando se utilizan aguas duras.

Si bien se han realizado pocas investigaciones al respecto, intervienen varios factores en la capacidad de las soluciones nitrogenadas para activar y/o mejorar la efectividad de los herbicidas. Uno de ellos es la capacidad secuestrante del amonio (NH_4^+) sobre cationes divalentes como Ca y Mg, propios de las aguas duras, disminuyendo el antagonismo del glifosato resultante de la formación de complejos con los cationes contenidos en el agua (Nalewaja y Matysiak 1993).

En varias malezas se ha reportado que el agregado de una solución nitrogenada a la mezcla, mejora entre un 10 y 25% la eficiencia del herbicida mediante la adición de un fertilizante con amonio (UAN, tiosulfato de amonio, sulfato de amonio) en comparación con el uso de aceite o de un surfactante no iónico (Molin y Hirase, 2004).

Uso de fertilizantes fluidos junto con fungicidas e insecticidas

La utilización de fungicidas en los cultivos de grano se ha incrementado en las últimas campañas, debido a la ocurrencia de condiciones climáticas predisponentes. Las enfermedades fúngicas reducen el área foliar efectiva y la duración de ésta, afectando los rendimientos y en algunos casos la calidad de granos (concentración de proteína, peso hectolitrico, etc.).

La aplicación conjunta de soluciones de urea, fungicidas e insecticidas ha sido evaluada en algunas investigaciones. En términos generales cuando se aplica urea foliar de bajo biuret para incrementar la concentración de proteína en grano, las aplicaciones se hacen en floración (anthesis) en dosis de 20-30 kg/ha de N. Cuando se realizan mezclas de urea foliar de bajo biuret con fungicidas, los mismos se aplican en diferentes momentos como hoja bandera (HB) o antes de aparición de la hoja bandera (HB-1, HB-2 o HB-3). La determinación del momento adecuado depende de las condiciones sitio-específicas como rendimiento esperado, y sobre todo si se pretende impactar en el rendimiento y/o en la calidad del grano. En cuanto a las mezclas que incluyen insecticidas, el momento ontogénico del cultivo en donde se realiza la aplicación en general está determinado por la presencia de la plaga.

En las Figuras 14 y 15 se presentan algunos resultados experimentales de la aplicación conjunta de urea foliar con fungicidas en el cultivo de trigo

Figura 14. Efecto del agregado conjunto de solución concentrada de urea y distintos fungicidas en trigo aplicado en hoja bandera sobre el rendimiento de grano en la Pampa (Fuente: J. Fernández, Com.Pers).

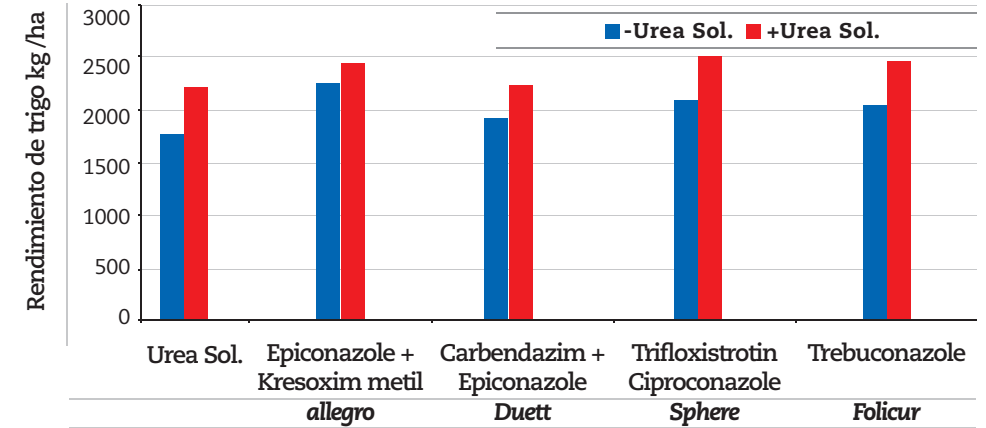
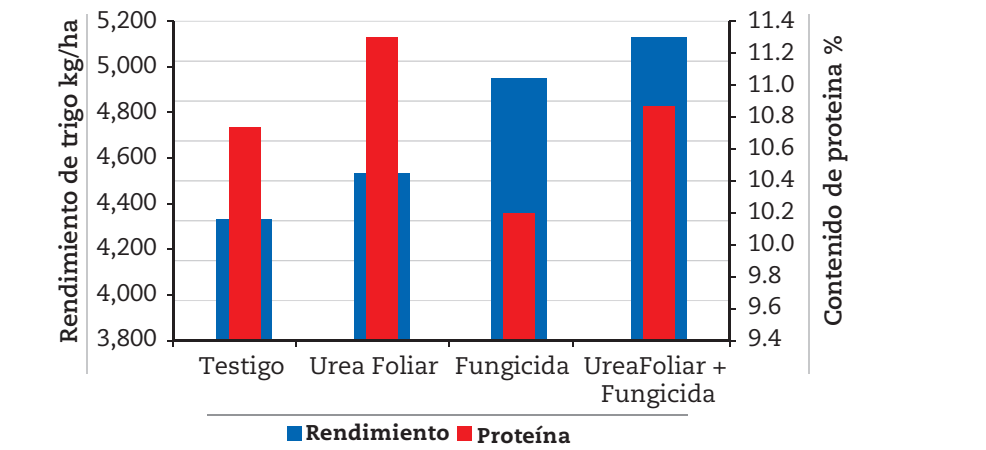


Figura 15. Efecto combinado de la aplicación de urea foliar y fungicidas (Azoxistrobina 25%, + Ciproconazole 10%) en trigo en la floración. Promedio de 9 ensayos en distintos tipos de trigo y localidades del sur de Buenos Aires (Adaptado de Bergh et al. 2003).

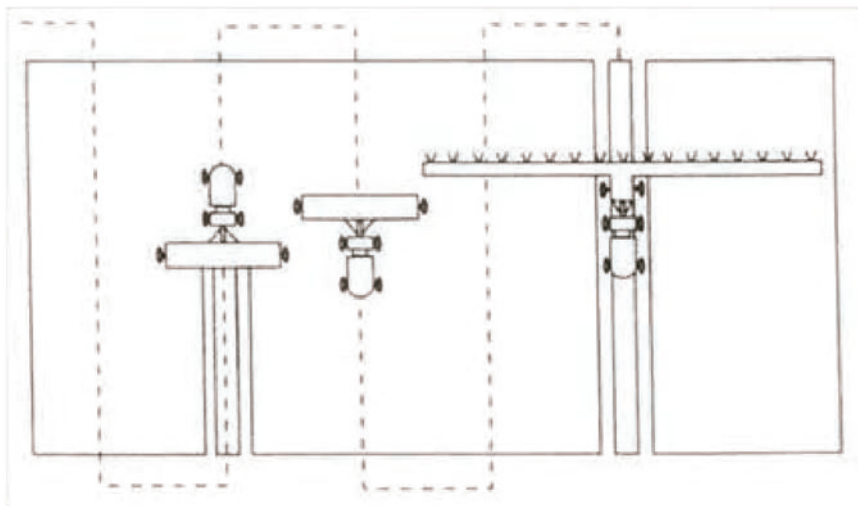


Uso de huellas para mejorar la exactitud de la aplicación

El uso de huellas es una de las mejores herramientas de manejo para lograr aplicaciones precisas. Las huellas son caminos o marcas efectuadas en el lote, en cultivos en masa, como trigo

o cebada, que se hacen a la siembra o en un momento posterior (e.g. con la primera labor de pulverización). Estas huellas corresponden al ancho de los neumáticos de la pulverizadora y se ubican en el espacio correspondiendo exactamente con el ancho del botalón (Figura 16).

Figura 16. Ilustración de un sistema de establecimiento de huellas, sincronizando las pasadas de sembradora con las de un pulverizador autotransportado.



La instalación de huellas en el sistema de cultivo es relativamente simple cuando se utiliza el mismo equipo aplicador en las sucesivas campañas. Las huellas son fácilmente realizadas bloqueando las aperturas de bajada de la semilla en la sembradora a la distancia que corresponda al ancho de la huella del tractor o pulverizadora autopropulsada. El número de las hileras de siembra a bloquear dependerá del ancho de los neumáticos. El uso de neumáticos angostos en el equipo pulverizador es recomendable ya que, de ese modo, se necesita bloquear solo una hilera de siembra por rueda. La distancia entre las huellas debe ser por lo menos 12 m, para evitar que el área dejada sin sembrar sea demasiado grande. Esto significa que los botalones del pulverizador o del aplicador de fertilizante también deben tener un ancho mínimo de 12 m. La distancia de la primera huella al borde del lote debe ser una mitad del ancho del pulverizador.

Otra forma de realizar el marcado temprano de las huellas es aprovechar la primera pasada de herbicidas, intercalando, también a la distancia apropiada, una boquilla pulverizadora con glifosato. La primera aplicación de herbicidas post-emergentes se hace alrededor de los 25 días de la emergencia con el trigo entre 2 y 3 hojas y las malezas pequeñas. Se debe disponer de un pequeño tanque adicional con el glifosato y una bomba eléctrica adicional o derivación de la principal.

SISTEMAS DE APLICACIÓN

» Juan B. Raggio

Introducción	96
Máquinas montadas	102
Evaluación estática de equipos	122
Análisis de eficiencia de prestaciones	123
Dosis variable	124
Equipos para fertirriego	124
Tipos de equipos	125
Sistemas basados en el arrastre de la solución fertilizante en el seno de la línea de riego.....	126
Succión mediante una válvula tipo Venturi	128
Sistemas por presión de inyección.....	128
Ubicación adecuada de los equipos	132
Seguridad.....	132
Mandos y control.....	132
Controles automáticos	133



Introducción

Los fertilizantes fluidos se distribuyen básicamente a través de tres tipos de equipos: (1) los asociados con las sembradoras (grano fino y grueso), (2) pulverizadoras y (3) equipos de riego.

Asimismo, las máquinas fertilizadoras se pueden clasificar de acuerdo a diferentes criterios (Tabla 1).

Tabla 1. Criterios de clasificación de las máquinas fertilizadoras.

Formas de aplicación	Variación del caudal de aplicación	Fuente de potencia
Inyección	Caudal proporcional al avance del equipo	Máquinas accionadas por la toma de potencia del tractor (montadas o de arrastre)
Chorreado	Caudal independiente del avance del equipo	Máquinas autopropulsadas

» Equipos asociados con las sembradoras

Estas son fertilizadoras de arrastre (Figura 1) o montadas (Figura 2), las cuales típicamente trabajan con una bomba que toma movimiento de una rueda motriz, y por ende entrega un caudal proporcional al avance del equipo. Inyectan el fertilizante en un surco que se abre en el suelo mediante surcadores del tipo doble disco, monodisco y zapata, doble cuchilla o cincel, aunque técnicamente también pueden distribuirlo chorreado sobre la superficie. En mecánica, se denomina rueda motriz a aquella que transmite movimiento a otro órgano, rueda o eje. En este caso la rueda motriz recibe movimiento desde el suelo por efecto de arrastre de la máquina. El caudal que suministra la bomba, es sometido a una presión inferior a la atmosférica, ya que el circuito no ofrece restricciones a la circulación del líquido, el que llega al surcador por acción de la gravedad, de manera similar a lo que ocurre en las sembradoras a chorrillo.

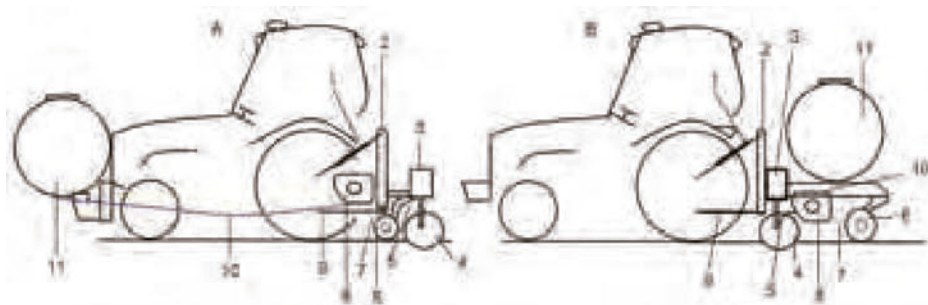
El sistema descrito, puede ser instalado en un chasis propio y conformar una máquina independiente, o bien el mismo sistema puede ser colocado en una sembradora paralelo al sistema de siembra, tal como ocurre con las sembradoras de fertilizantes granulados con fertilización simple o doble. Si bien en la actualidad y en nuestro medio, resulta poco frecuente encontrar estos equipos instalados sobre máquinas para la siembra, es probable que en el futuro éstos equipos se difundan para la distribución de fertilizantes arrancadores.

Es relevante diferenciar el concepto de inyección de fertilizante previamente definido, del concepto de incorporación, consistente en el mezclado del fertilizante previamente distribuidos en superficie, con el suelo, mediante máquinas de labranza.

Figura 1. Fertilizadora de arrastre para distribuir líquidos. 1) depósito con suficiente volumen para alcanzar una adecuada autonomía; 2) boca de acceso para limpieza; 3) barral de alimentación a los surcadores; 4) válvula antigoteo y derivación al surcador; 5) conducto de fertilizante al surcador; 6) lanza de trabajo; 7) bomba de pistones (o peristáltica en otros modelos); 8) rueda de transporte; 9) cilindro hidráulico de control remoto que levanta y baja la máquina (para pasar de posición de trabajo a transporte y viceversa); 10) larguero del bastidor; 11) primer travesaño del bastidor, porta cuerpos de fertilización; 12) segundo travesaño del bastidor para colocar una segunda línea de cuerpos de fertilización; 13) surcador monodisco con rueda limitadora de profundidad; 14) rueda tapadora; 15) plataforma para la revisión de la máquina; 16) pasamanos complemento de la plataforma; 17) lanza de transporte con tiro de punta.



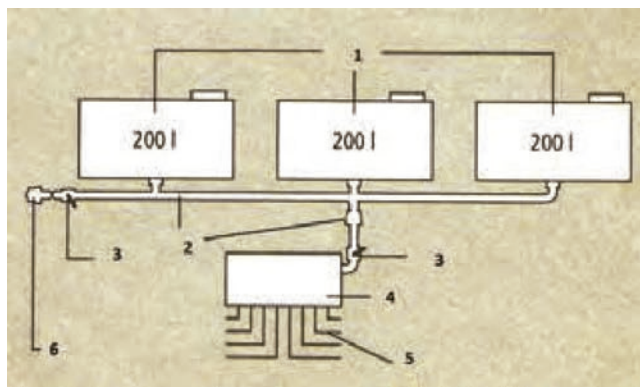
Figura 2. Fertilizadora montada. A) con tanque sobre el tractor (buen desempeño en terrenos quebrados). B) con tanque en el chasis de la máquina. 1) brazo superior del acople de tres puntos; 2) torreta para acoplar al tres puntos del tractor; 3) chasis de la fertilizadora; 4) surcador; 5) conducto de fertilizante desde el depósito a la bomba; 6) rueda motriz que da movimiento a la bomba (con la máquina en posición de transporte, la rueda no toca el suelo y se interrumpe el movimiento a la bomba); 7) cadena de transmisión de movimiento desde la rueda motriz a la bomba; 8) bomba (de pistones o peristáltica); 9) brazo inferior del tres puntos; 10) conducto de fertilizante desde el tanque a la bomba; 11) tanque de fertilizante.



» Circuito de fertilización

Si bien existen diferentes diseños de equipos, los componentes del circuito del fertilizante en el equipo son similares y se presentan en la Figura 3

Figura 3. Circuito para fertilización líquida; 1) Depósito o batería de depósitos con una capacidad acorde a la autonomía necesaria. Su altura debe ser superior al resto del circuito al cual el líquido llega por gravedad; 2) Conductos de salida hacia la bomba y filtro de línea; 3) Válvulas de apertura rápida; 4) Bomba peristáltica (o de pistones); 5) Tuberías de conducción a los surcadores, los cuales son los mismos que se utilizan para inyección de sólidos; 6) Boca acople para rápido aprovisionamiento del depósito. En el circuito no se incluyen materiales sensibles al fertilizante como aleaciones de cobre o zinc.



» Bombas

La bomba de la fertilizadora es uno de los componentes centrales de cada equipo, debido a que sus prestaciones (caudal, durabilidad y confiabilidad), inciden directamente en la calidad de aplicación del fertilizante y su distribución en el terreno. Quien diseña el equipo, instala en él la bomba adecuada a la cantidad de cuerpos de fertilización, el rango entre la dosis mínima y máxima de fertilizante, la diferencia entre las dosis sucesivas. En general se ofrecen dos tipos de bomba: peristáltico y de pistón (Figura 4 y 5). En las bombas peristálticas, la dosificación del fertilizante se regula cambiando la relación de movimiento entre el eje de la bomba y la rueda motriz. El líquido llega a la bomba por acción de la gravedad y circulando por el conducto de entrada. Se ofrecen modelos de bombas que alimentan hasta 16 cuerpos surcadores y otros que llegan a los 48 cuerpos.

En cuanto a las bombas de pistón, las mismas presentan válvulas de succión y de impulsión, que se abren y cierran permitiendo la circulación del líquido impulsado por uno o más pistones, según el modelo. Los pistones o émbolos toman movimiento de una rueda motriz. La bomba se ubica a menor altura que el tanque a fin de facilitar la llegada del líquido a la misma por acción de la gravedad. Las bombas están construidas con materiales resistentes a la acción corrosiva de los fertilizantes químicos, como fundición de aluminio, plásticos, acero.

Figura 4. Bomba peristáltica 1) Boquilla de salida del fertilizante hacia los surcadores; 2) soporte metálico de las salidas del fertilizante hacia los surcadores; 3) fondo de la bomba contra el cual el extremo de la estrella aprieta los conductos de goma; 4) punta de la estrella que aprieta los conductos de goma; 5) eje de la bomba que toma movimiento desde el rueda motriz; 6) rayo de la estrella; 7) tubo de goma apoyado contra el fondo de la bomba; su extremo se enchufa en (1); 3) rodillo; 8) conducto de alimentación desde el filtro; 9) soporte de la bomba. (Fuente John Blue).

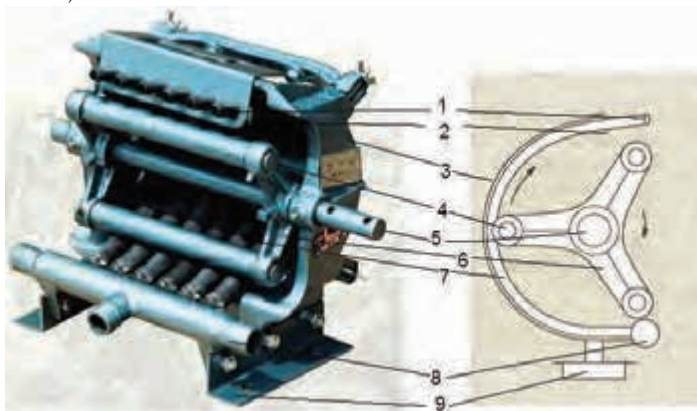
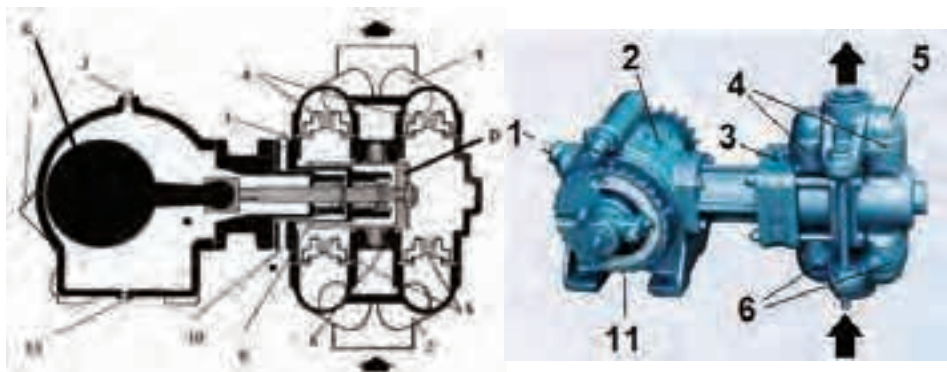


Figura 5. Bomba de pistón 1) Nivel de aceite; 2) boca de provisión de aceite; 3) empaquetadura; 4) válvulas de salida; 5) conducto de salida; 6) válvulas de succión; 7) conducto de entrada; 8) protector interno; 9) aros del pistón; 10) aro de empaquetadura; 11) drenaje; p) pistón; c) cigüeñal.



En cuanto a la instalación de las bombas, en general se dispone de un filtro con elemento lavable delante de la bomba a fin de proteger a la misma de suciedad eventualmente presente en el sistema. El manómetro suele ser en baño de glicerina a fin de minimizar oscilaciones de su aguja producto de los picos de caudal originados en la bomba de pistón. Una válvula antigoteo evita el desperdicio de fertilizante luego del corte del flujo a fin de dar vuelta en cabecera o bien iniciar el transporte del equipo. Las máquinas inyectoras pueden llevar marcadores mecánicos como los de las sembradoras a fin de aprovechar el ancho de trabajo (Figuras 6 y 7).

Figura 6. Instalación de la bomba de pistones. 1) Salida de fertilizante hacia los picos; 2) llegada de fertilizante desde el tanque a través del filtro de línea; 3) filtro similar al utilizado en las pulverizadoras de fitosanitarios; 4) transmisión desde la rueda motriz; 5) manómetro en baño de glicerina.



Figura 7. Detalle del circuito de instalación para fertilizantes líquidos. 1) boca de carga; 2) conducto de carga; 3) llave de paso; 4) conducto de salida del tanque hacia el filtro; 5) filtro de línea; 6) bomba; 7) manómetro en baño de glicerina; 8) conducto hacia el barral de salidas a los surcadores; 9) barral de salida hacia los surcadores; 10) conducto de bajada al surcador; 11) válvula antigoteo.



Cuando a la bomba le sigue en el circuito un divisor de caudal, éste se ubica a mayor altura, con su soporte específico, a fin de ganar presión para salir a los surcadores (Figura 8).

» Divisores de caudal

Se utilizan para dividir el caudal que sale de la bomba en varios conductos, cada uno de los cuales descarga en un surcador por acción de la gravedad. Para ello el divisor de caudal se ubica a cierta altura en el equipo. Este sistema se utiliza cuando las presiones de aplicación son bajas.

Figura 8. Divisor de caudal. 1) cabezal; 2) cabeza de pistón; 3) aro sellador; 4) cuerpo central; 5) distribuidor central; 6) aro junta; 7) resorte. a) rueda motriz de la fertilizadora; b) cadena de transmisión, c) divisor de caudal; d) bomba (John Blue).



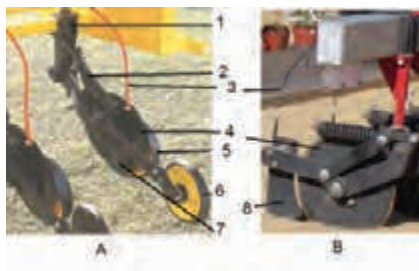
» Tren de fertilización

Entre los surcadores utilizados en las inyectoras se señalan los siguientes: cuchilla Rippled (Figura 9); cuchilla con zapata y cuchilla con bota (Figura 10). Con la cuchilla se corta el rastrojo a fin de minimizar el riesgo de atoramiento y comenzar la construcción del surco. Con la zapata y la bota se termina de armar el surco. Entre la cuchilla y la bota se ubica el conducto de bajada del fertilizante. En algunos casos puede haber una rueda limitadora de profundidad lateral a la cuchilla y una o dos ruedas tapadoras del surco.

Figura 9. Surcador cuchilla Rippled. 1) conducto de fertilizante; 2) resorte zafe de seguridad; 3) rueda tapadora con perfil cónico; 4) patín asienta rastrojo; 5) Cuchilla Rippled (Según Metalúrgica SR).



Figura 10. Trenes de fertilización. A) Tren fertilización cuchilla lisa y bota. B) Cuerpo de fertilización con surcador monodisco y zapata. 1) anclaje del cuerpo al bastidor; 2) resorte zafe de seguridad; 3) conducto de fertilizante; 4) cuchilla; 5) rueda limitadora de profundidad; 6) rueda tapadora; 7) bota conformadora del surco; 8) azadón fertilizador.

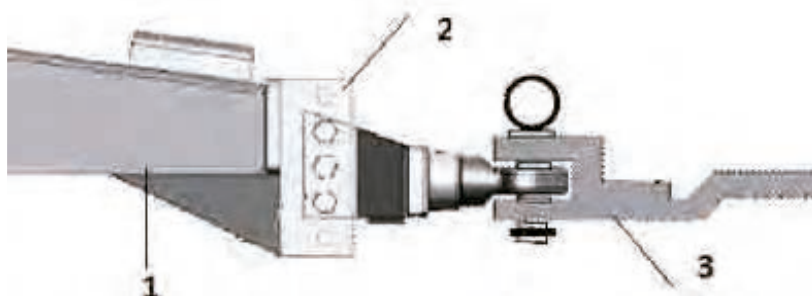


» Órganos de enganche y nivelación

En los equipos de arrastre con dos ruedas de sostén en un eje, su enganche al tractor es utilizado para la nivelación anteroposterior, es decir lograr su horizontalidad observando al equipo a cierta distancia (5 a 7 m) desde un costado. La nivelación es sumamente necesaria a fin de lograr el mejor desempeño de los surcadores y de la máquina en general.

Existen dos tipos de enganche: con lanza fija y regulación en la placa de enganche al tractor (Figura 11), o con lanza articulada al bastidor en cuyo caso se regula la longitud del manguito que gobierna la articulación.

Figura 11. Enganche fijo. 1) Lanza de tiro de la fertilizadora; 2) placa de enganche (con ella se nivela la máquina en sentido antero posterior); 3) barra de tiro del tractor.



La nivelación transversal se logra mediante la presión de inflado uniforme de las ruedas.

En las fertilizadoras montadas en el acople de tres puntos, la nivelación anteroposterior se logra con el brazo superior del referido tres puntos. Con los montantes de los brazos inferiores, se logra la nivelación transversal.

Máquinas montadas

Son equipos con tanques de menor capacidad y autonomía aunque de mayor maniobrabilidad que los de arrastre, por lo cual son pensados para superficies más reducidas, por ejemplo sistemas de producción intensiva (e.g. plantas ornamentales, hortícolas, etc.) (Figura 2).

Las fertilizadoras montadas distribuyen el fertilizante con los mismos elementos que las inyectoras de arrastre (bomba con caudal proporcional al avance, filtros, llaves, conductos y surcadores), si bien se presentan algunas diferencias. Entre estas se destacan: la presencia de elementos para el acople del tres puntos del tractor (torreta utilizada para su acople al sistema de tres puntos del tractor), ausencia de las ruedas de transporte, lanza de tiro y lanza de transporte. Asimismo, el tamaño del depósito

es limitado por el equilibrio del tractor que porta a la máquina y la capacidad de su levante. Otra característica que las hace aptas para los espacios reducidos es que precisamente al ser montadas sobre el tractor y sin ruedas ni lanza, permiten maniobras como los virajes en cabeceras en espacios reducidos. Existen equipos con el tanque separado de su estructura que se instala sobre la misma estructura del tractor con el objeto de lograr un mejor equilibrio más aún en terrenos quebrados (Figura 2 A).

» Ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de aplicación

Entre los beneficios de la inyección se destacan: 1) reducción de las pérdidas por volatilización; 2) reducción de la fijación y/o adsorción de nutrientes por el suelo; 3) ubicación del fertilizante en suelo húmedo cerca de las raíces; 4) uniformidad de distribución. Entre las desventajas de la inyección respecto del chorreado, pueden señalarse la menor capacidad de trabajo de los equipos, debido a la reducida velocidad de avance, que se ubica entre 5 y 9 km/h de acuerdo al estado del terreno, la dureza del suelo y la potencia disponible. Precisamente esta desventaja hace que en los últimos años estos equipos estén en retroceso ante el avance de las pulverizadoras, que distribuyen el fertilizante líquido por chorreado.

» Materiales de construcción

Los componentes de las bombas y divisores de caudal en contacto con los fertilizantes, es decir toda la estructura y elementos de medición de volumen, son construidos en materiales resistentes a la corrosión. Asimismo, se caracterizan por su fácil despiece y reparación, aspecto fundamental para no detener los equipos debido a las reparaciones y cambios de piezas por desgaste. Los fertilizantes son muy corrosivos para el cobre, bronce, zinc, galvanizados, y corrosivos para aceros al carbono y fundición de acero, debido a lo cual ninguna parte del equipo fertilizador puede ser construida con ellos. Los fertilizantes fluidos, sin embargo, no atacan el acero inoxidable, la goma, neoprene, polietileno, vidrio ni resinas vinílicas. También se deben tener en cuenta los inhibidores de corrosión para aceros al carbono. Asimismo, es sumamente importante, que el tanque o tanques se construyan con la suficiente robustez a fin de soportar el peso del fertilizante sin que se deformen sus paredes, ocasionando la fatiga acelerada de los materiales. Los chasis y elementos que no son construidos con los materiales resistentes a la corrosión se protegen con varias capas de pintura, como por ejemplo una de fosfatado de zinc, una base por inmersión catódica y una capa de pintura para terminación. Es por ello que el proceso de pintado de una fertilizadora suele ser uno de los aspectos que requiere alta inversión en una fábrica de maquinaria. Asimismo, la terminación de cada máquina y su presentación se vincula estrechamente con el sistema de pintura. Por otra parte, es importante evitar la contaminación del ambiente y realizar una adecuada eliminación de residuos tóxicos, aspecto que también se vincula con el sistema de pintura.

» Puesta a punto

La puesta a punto de las inyectoras de líquidos se puede ordenar en dos etapas definidas: 1) verificación de la uniformidad de dosificación y 2) verificación de la dosis de

fertilización. En las máquinas inyectoras, se entiende por uniformidad de distribución a la ausencia o presencia de diferencias entre los caudales entregados en cada cuerpo del equipo. Este grado de uniformidad, depende del correcto armado del circuito por donde se transporta el fertilizante y del buen desempeño del tren cinemático. Se entiende por tren cinemático al conjunto de elementos como ruedas dentadas, cadenas y ejes que conducen el movimiento hasta los dosificadores, en este caso hasta la bomba de fertilización. La uniformidad de distribución será máxima, cuando todos los surcadores reciban la misma cantidad de fertilizante, aceptándose desvíos que no afecten a los rendimientos en cosecha. En función de las tecnologías aplicadas en la fabricación de los equipos, se puede establecer un máximo de tolerancia del 10% en volumen o peso (en más o en menos), respecto del promedio de todos los cuerpos fertilizadores. En los cuerpos donde se encuentren diferencias por sobre el referido límite, se procede a la revisión correspondiente y a las correcciones necesarias. Por ejemplo puede haber tubos tapados, fugas de líquido por alguna abrazadera, o lo que es más grave, problemas en la bomba del equipo, la cual deberá ser eventualmente reparada.

Para verificar la uniformidad de dosificación se puede proceder de la siguiente manera. Con el tanque provisto de agua limpia, se mueve la máquina unos metros sobre el lote o una calle, a fin de que se llenen los conductos hasta los surcadores. Seguidamente se desconecta cada manguera de su surcador y se coloca en su extremo una bolsita de nailon fijada con una banda elástica. Luego se recorre una distancia midiendo el tiempo que se tarda en recorrerla. Lo importante en este caso es que el líquido en las bolsitas no rebalse a fin de proceder a una medición bien hecha. Para clarificar este tema, se presenta un caso. Datos de la fertilizadora: 24 surcadores distanciados a 35cm. Los surcadores se numeran de izquierda a derecha mirando la máquina desde atrás. En la Tabla 2 se dejó fuera de tolerancia al surcador N°15 el cual entrega una cantidad de líquido con un desvío fuera del límite admitido. Por ello este surcador deberá ser revisado y corregido, luego de lo cual deberá repetirse la determinación de la uniformidad de dosificación. En líneas generales, una vez que se ha reparado el dosificador N° 15 la máquina del ejemplo ofrece una aceptable uniformidad de dosificación. En la misma medición, conociendo la distancia recorrida con las bolsitas colocadas, se puede conocer la dosis de líquido entregado por hectárea, es decir la segunda parte de la calibración (dosis de fertilizante que corrientemente se expresa en l/ha). Como se trabajó con agua limpia, para conocer la dosis de fertilización es necesario afectar el resultado, por el factor de conversión por diferencia de densidad.

Si se supone una distancia recorrida de 100 m y que el fertilizante a utilizar es UAN. Se calcula que en 100 m de recorrido, la superficie cubierta por cada surcador, con 35 cm entre ellos será $100\text{ m} \times 0,35\text{ m} = 35\text{ m}^2$. Luego, si la cantidad de fertilizante entregada en cada surco es de 421,58 cm³ (Tabla 2) la dosis de agua en L/ha será $421,58\text{ cm}^3 \times 10.000\text{ m}^2/\text{ha} \times 35\text{ m}^2 / 1.000\text{ cm}^3/\text{litro} = 120,45\text{ L/ha}$. Si fuera necesario conocer los kg/ha de aplicación, deberá afectarse el resultado por la densidad del UAN (se toma 1,30 g/cm³). Es decir el UAN es un 30% más pesado que el agua. Utilizando UAN, para el ejemplo, se aplicará $120,45\text{ L/ha} \times 1,3 = 156,6\text{ kg/ha}$.

Tabla 2. Uniformidad de dosificación.

Surcador Número	Dosificación cm ³	Diferencia (*)		Diferencia (**)	
		En más cm ³	En menos cm ³	En más %	En menos %
1	390	-	31,5833	-	7,5
2	455	33,4167	-	7,9	-
3	455	33,4167	-	7,9	-
4	390	-	31,5833	-	7,5
5	380	-	41,5833	-	9,9
6	455	33,4167	-	7,9	-
7	410	-	11,5833	-	2,7
8	425	3,4167	-	0,8	-
9	395	-	26,5833	-	6,3
10	380	-	41,5833	-	9,9
11	455	33,4167	-	7,9	-
12	393	-	28,5833	-	6,8
13	449	27,4167	-	6,5	-
14	440	18,4167	-	4,4	-
15	350	-	71,583	-	17,0
16	450	28,4167	-	6,7	-
17	385	-	36,5833	-	8,7
18	460	38,4167	-	9,1	-
19	390	-	31,5833	-	7,5
20	455	33,4167	-	7,9	-
21	453	31,4167	-	7,5	-
22	450	28,4167	-	6,7	-
23	425	3,4167	-	0,8	-
24	428	6,4167	-	1,5	-
Suma		10118			
Promedio		421,58			

(*) Es la diferencia respecto del promedio expresada en cm³

(**) Es la diferencia expresada en porcentaje respecto del promedio.

Se presenta un segundo ejemplo que será de utilidad para analizar cómo se procede en el caso de trabajar con un equipo conocido, es decir donde se conoce su uniformidad de dosificación, y que se encuentra en buen estado de uso y mantenimiento, con el cual se desean aplicar 130 L/ha de UAN, utilizando un equipo de 15 surcadores distanciados a 52,5 cm. Considerando que la uniformidad de dosificación es adecuada, no se requiere realizar su verificación. Entonces se carga un 20 o 30% del tanque con agua limpia, y se recorre una distancia hasta cargar los conductos, se coloca una bolista en el tubo de un surcador y se recorre una distancia conocida a la velocidad de avance a la cual se trabajará, por ejemplo 8,3 km/h. ¿Qué volumen debe recolectarse para la medición?

Resolución:

» Superficie recorrida en la determinación: $0,525 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 52,5 \text{ m}^2$

» Volumen que debe entregar el conducto en la bolsa:

$52,5 \text{ m}^2 \times 130 \text{ L}/10.000 \text{ m}^2 = 0,6825 \text{ L}$ de agua que equivalen a 0,6825 kg de agua.

Pero para obtener 0,6825 kg de UAN, la máquina deberá entregar un 30% menos de volumen debido a que el UAN es un 30% más pesado. Por ello, para que se entregue un peso de UAN equivalente los litros de agua a recolectar, será:

0,6825 L/ 1,3 kg/L = 0,525 L de agua. Ello expresado por hectárea será:

10.000 m² x 0,525 L/ 52,5 m = 100 litros de agua por ha.

Es decir, 100 L de agua equivalen a 130 kg de UAN. Luego con la ayuda del manual de la máquina se coloca el mecanismo regulador de dosis (palanca de control) en la posición para que entregue 100 L de agua/ha. Finalmente se verifica que el cálculo se cumpla campo y se inicia la fertilización. Con la ayuda de una balanza se puede verificar que en 100 m de surco el equipo entrega 0,6825 kg de UAN.

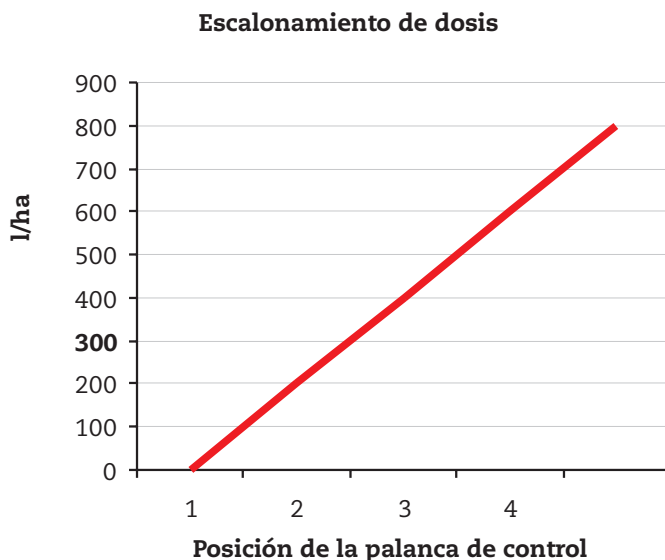
» **Precisión de calibración**

Es importante que los sistemas de regulación de la dosis ofrezcan la posibilidad de practicar ajustes con precisión, es decir con “sintonía fina”. En otros términos, es deseable que a cada movimiento del mando de regulación corresponda una pequeña y única variación en la entrega de producto. Ello permitirá lograr rápida y fácilmente la correcta dosis en todos los casos. Asimismo es deseable el escalonamiento continuo de dosis, que se verifica con la determinación de al menos tres dosis de fertilización y la confección de un gráfico (Figura 12).

Luego se determina una dosis intermedia y se compara con los valores que contiene la recta de la Figura 12. Cuando la curva presenta pendiente constante y los valores medidos a campo son contenidos en ella, es posible interpolar valores de diferentes posiciones de los mecanismos de regulación (palanca de control o cambio manual de engranajes) para inferir valores no medidos de dosis. Asimismo, el manual de uso y mantenimiento del equipo juega un papel de gran importancia para alcanzar el éxito buscado en la puesta a punto del equipo y uso correcto. En él se encuentra la tabla de dosis de fertilización que es sólo de carácter orientativo. Debido a este carácter orientativo, siempre es necesario verificar la dosis de fertilización debido a que se producen diferencias entre una operación y otra debido a diferencias entre partidas de producto. En la práctica, cuando se utilizan equipos conocidos, con buen estado de funcionamiento, no es necesario controlar la uniformidad de dosificación, con lo cual sólo se coloca una bolsita en un surcador a los efectos de verificar la dosis de aplicación. Otro punto de relevancia práctica es el mecanismo de corte rápido en cabeceras, de accionamiento mecánico o hidráulico, que resulta útil para agilizar los virajes en el lote.

Durante la operación de trabajo, resulta muy útil la evaluación visual del funcionamiento de las máquinas inyectoras. Así, a medida que las mismas avanzan, se puede observar como se desempeñan las cuchillas, los surcadores y ruedas tapadoras. Puede apreciarse como copian los desniveles del terreno y como no se atorán con el material de superficie. Detrás de la máquina es importante observar cuan homogénea queda la superficie del suelo.

Figura 12. Gráfico de dosis de fertilización.



» Mantenimiento preventivo

Para lograr un adecuado mantenimiento de los equipos se sugieren algunas recomendaciones:

- » Limpiar toda la máquina (interna y externamente) con abundante agua y secar a fondo con aire a presión. La aplicación de kerosén pulverizado a presión o con pincel o cepillo en partes específicas es altamente aconsejable para desengrasar y evitar la oxidación por agua, luego de quitar los restos de fertilizante. No se recomienda la aplicación de gasoil debido a su mayor contenido de elementos aceitosos respecto del kerosén, con lo cual se favorece el pegado de tierra y suciedad sobre la máquina.
- » En épocas prolongadas donde no se utilicen los equipos, se recomienda levantar la máquina sobre tacos, y extremar la aplicación en las tareas de limpieza a fondo de todas y cada una de las partes del equipo.

» Máquinas pulverizadoras

Las pulverizadoras de fitosanitarios adaptadas para la distribución de fertilizantes fluidos, son los equipos más difundido para aplicar fertilizantes líquidos en la Argentina, sobre todo en cultivos extensivos (Figura 13). Estas máquinas trabajan con una bomba que genera caudales independientes de la velocidad de avance del equipo. Son autopropulsadas, de arrastre o montadas, y distribuyen el fertilizante chorreado en superficie. Las autopropulsadas, con depósitos entre 2.500 y 5.000 litros o más de capacidad y anchos de trabajo a partir de los 18 m aproximadamente, reúnen grandes autonomías y capacidades de trabajo con elevada maniobrabilidad. Por ello, se las utiliza en cultivos extensivos, en explotaciones de gran escala. Las de arrastre ofrecen

algo menos de maniobrabilidad que las anteriores y menor precio debido a que no poseen motor ni transmisión ni puesto de mando. Por todo ello se utilizan en superficies intermedias. También las de arrastre con capacidades de tanque menores a los 2.000 L pueden ser utilizadas en superficies menores, como en sistemas hortícolas. Las montadas con depósitos de 500 a 600 L de capacidad, anchos de trabajo que no superan los 17 m y alta maniobrabilidad, están pensadas para superficies aún menores.

Figura 13. Pulverizadora adaptada para fertilizante. 1) chorro de fertilizante; 2) pico con pastilla de chorro; 3) tubo de bajada.



» Circuito y funcionamiento

Para un breve análisis del circuito de una pulverizadora, se cuenta con las Figuras 14 y 15.

Figura 14. Circuito hidráulico cerrado. 1) tanque; 2) tabique rompeolas; 3) boca de acceso amplia; 4) indicador de nivel de líquido en el tanque; 5) conducto de retorno de válvula reguladora de presión; 6) removedor; 7) llave de comando; 8) manómetro sin presión; 9) botallón sin presión; 10) picos pulverizando; 11) llave reguladora de presión; 12) desvío "T"; 13) bomba; 14) llave de desagote; 15) filtro de línea; 16) conducto de succión; p) sector del circuito con presión. a) a e) elementos para la carga de productos.

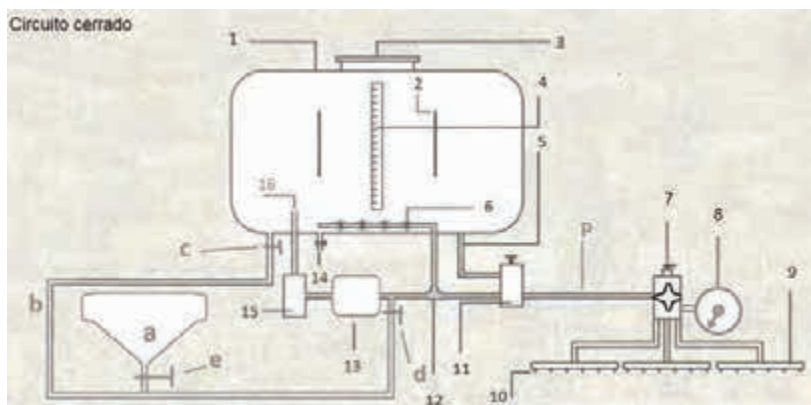
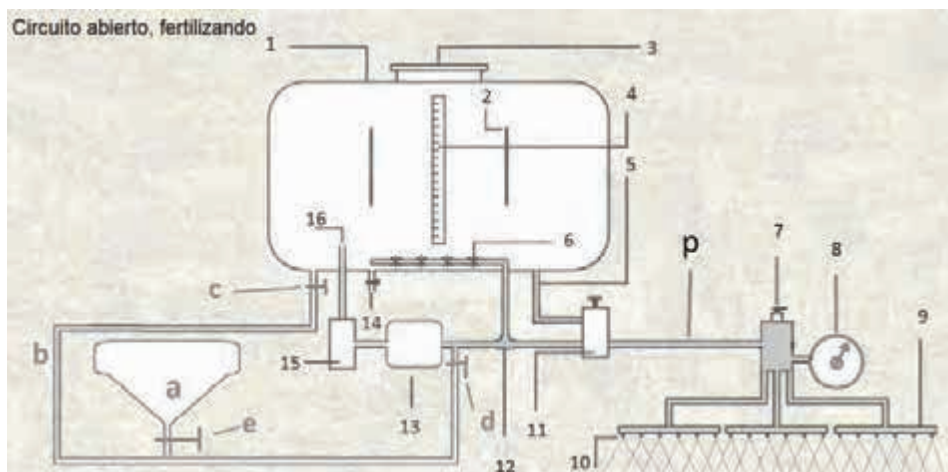


Figura 15. Circuito hidráulico fertilizando 1) tanque; 2) tabique rompeolas; 3) boca de acceso amplia; 4) indicador de nivel de líquido en el tanque; 5) conducto de retorno de válvula reguladora de presión; 6) removedor; 7) llave de comando; 8) manómetro en cero; 9) botalón sin presión; 10) picos cerrados; 11) llave reguladora de presión; 12) desvío “T”; 13) bomba; 14) llave de desagote; 15) filtro de línea; 16) conducto de succión; p) sector del circuito con presión. a) a e) elementos para la carga de productos.



» Tanque o depósito

El tanque se construye en resinas sintéticas, que lo hace más resistente los productos químicos y también puede ser de plástico rotomoldeado. La superficie interna lisa, la boca de acceso amplia, y la llave de desagote para lograr un adecuado vaciado desde el fondo del depósito, permiten su completa limpieza. En muchos casos, las paredes son traslúcidas para facilitar el control del nivel de líquido. De no ser, así deberá tener una franja transparente ubicada a la vista del tractorista. Otra característica es la utilización de los mecanismos rompeolas (tabiques transversales que van de pared a pared sin llegar al fondo del depósito), que al disminuir el efecto de los desplazamientos bruscos del líquido, brindan estabilidad a la máquina.

La toma de líquido que va hacia la bomba, toma unos centímetros por arriba del fondo del tanque, para evitar la entrada de la basura que pueda haberse depositado allí. Llegan al depósito dos conductos: uno es el agitador hidráulico, y otro el retorno del regulador de presión. A ellos se les dedica un párrafo más adelante, pero aquí cabe señalar, que ambos descargan líquido lo más cerca posible del fondo. Así se evitará la formación de espuma, lo cual significaría la entrada de aire al circuito de pulverización y la consiguiente falla en la misma por falta de líquido. El tanque se ubica por encima de la bomba, para reducir el riesgo de que la misma trabaje en seco. La capacidad del depósito, determina la autonomía del equipo (superficie trabajada sin reabastecimientos), aspecto que se vincula con la capacidad de trabajo (ha pulverizadas por hora). Por ello, la mayor capacidad es preferida por los usuarios y en general, tratándose de

grandes superficies a trabajar por campaña, la limitante será el monto de la inversión a realizar. La fuente de llenado rápido es el elemento que debe abastecer en pocos minutos al depósito de gran capacidad y esta compuesta por una bomba propia o bien aprovechando la del equipo, una manguera de buen diámetro, y un filtro en el extremo que toma del lugar donde se extra el agua. De no contar con este equipamiento, se requeriría mucho tiempo para la recarga, y se perdería una buena porción de la capacidad de trabajo. Otro elemento necesario, es el mezclador de productos, consistente en un pequeño depósito con boca amplia, ubicado a una altura cómoda para el operador. En él, se vierte el producto activo, que es arrastrado hacia el depósito, impulsado por efecto Venturi. Todo ello, brinda seguridad al operador en el manipuleo de productos tóxicos. El mismo dispositivo puede ser utilizado para limpiar los recipientes vacíos de producto y evitar, que estos se descarten con residuos de productos tóxicos (e.g. algunos fito-terápicos), contaminando el ambiente. Este aspecto presenta menor relevancia en el manipuleo de fertilizantes fluidos, de baja o nula riesgo de toxicidad para el operador. También es de gran utilidad, disponer de un recipiente con agua limpia, no bebible, para el aseo personal del operador. En el caso que se apliquen soluciones ácidas, que tienen cierta difusión en la Argentina, es importante el uso de antiparras y guantes para protección durante las aplicaciones, sobre todo en condiciones de viento, donde puede haber mayor deriva. Estas medidas no son necesarias cuando se utilizan soluciones de UAN.

» Autonomía

Una máquina que, por ejemplo, cuenta con una capacidad de trabajo de 12 ha/h y 2.000 L de volumen de depósito, al realizar una aplicación de 100 L/ha (dosis habitual en aplicación de fertilizantes líquidos) tendrá la siguiente autonomía:

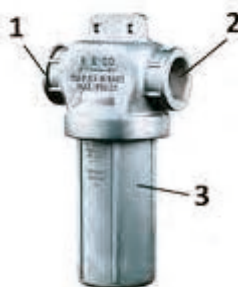
- » **2.000 L/depósito/100 L/ha = 20 ha/depósito, es decir que cada 20 ha reabastece el depósito.**
- » **20 ha/depósito/ 2 ha/h = 1,66 hora/depósito, es decir que cada 1,6 h se reabastece el depósito. Si tuviera un depósito de 3.000 L su autonomía sería mayor**
- » **3.000 L/depósito/100 L/ha = 30 ha/depósito, es decir que cada 30 ha reabastece el depósito.**
- » **30 ha/depósito/12 Ha/h = 2,5 hora/depósito, es decir que cada 2 horas y 30' se abastece el depósito.**

Cuando se aplican fito-terápicos con bajos volúmenes de aplicación, las autonomías son mayores a las mencionadas para la aplicación de fertilizantes líquidos.

» Filtro de aspiración o de línea

El filtro se ubica en el circuito con anticipación a la bomba (Figura 16). Su función es proteger a la misma de elementos extraños que podrían dañar sus mecanismos. Su malla debe ser menor que la del filtro de la boca de acceso al tanque y debe ser de acero inoxidable para prolongar su vida útil. Habrá que mantenerlo limpio, para que la bomba nunca quede sin líquido.

Figura 16. Filtro de línea o de succión. 1) entrada de caudal desde el tanque; 2) salida hacia la bomba; 3) recipiente roscado que contiene el cartucho filtrante (Teejet).



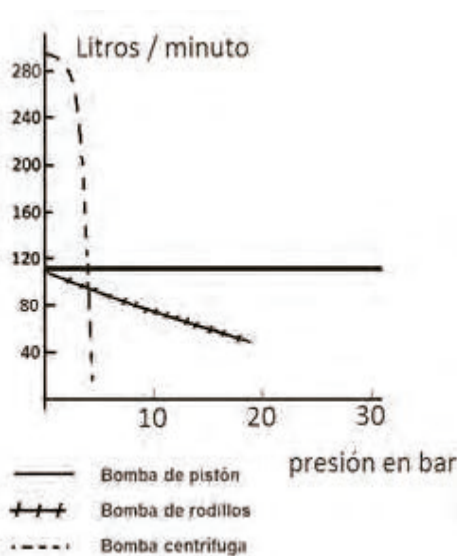
» Bomba

Las bombas utilizadas en máquinas pulverizadoras, en general, tienen caudales suficientes para realizar una adecuada aplicación. En la gran mayoría de los modelos de arrastre, está accionada por la toma de potencia del tractor (540 v/min). También existen versiones que toman movimiento de la rueda de la máquina a través de un cardan con lo cual el caudal de campo (L/ha) es proporcional al avance de la máquina. Además esta bomba puede variar la carrera de su pistón regulando de tal forma el caudal en L/min. Con estos mecanismos se busca facilitar la calibración de la pulverización. En máquinas de arrastre, estas bombas trabajan a bajo régimen, aunque en algunos casos se intercala un multiplicador a fin de aumentarlo. En las autopropulsadas, la fuente de energía es el motor de la máquina, que según los casos acciona la bomba mediante una transmisión mecánica o hidráulica. En éstos casos el régimen de funcionamiento es mayor, alrededor de 2.500 v/min.

Es importante destacar que las bombas generan caudal pero la presión nace de toda resistencia que se le aplique a la circulación del fluido impulsado por la bomba. Por construcción, algunas bombas generan caudal aún ante resistencias más bien elevadas. Son las que permiten trabajar con altas presiones (Figura 17).

Si bien existen diversos tipos de bombas en el mercado, se utilizan con frecuencia las de pistón, pistón-membrana de rodillos (llamadas de desplazamiento positivo) y las llamadas centrífugas, de paletas, o rotativas. En las bombas de pistón y pistón - membrana es importante contar con una cámara de aire (pulmón) para amortiguar los golpes de presión, originados en su principio de funcionamiento. Los pistones y camisas de material cerámico, prolongan la vida útil de estos elementos. Los caudales logrados son de hasta 160 L/min. En las de pistón-membrana una membrana de goma sintética, aísla a prácticamente todos los mecanismos del producto aplicado, con excepción de las válvulas. La vida útil de la bomba depende de la membrana, que es de fácil sustitución. Las presiones logradas con este sistema llegan a las 300 lb/pul² y los caudales a 150 L/min. Las bombas de rodillo generan hasta aproximadamente 350 lb/pul² y caudales de hasta 150 L/min. Finalmente las bombas centrífugas, generan elevados caudales, de hasta 450 L/min, y trabajan a bajas presiones.

Figura 17. Comportamiento de las bombas. La bomba de pistón mantiene constante su caudal ante aumentos de presión; para la de rodillos el caudal baja significativamente su caudal y en la bomba centrífuga lo hace de manera notable e inmediata. La bomba centrífuga genera altos caudales.



» Consumo de potencia

El consumo de potencia de una bomba se estima mediante el siguiente cálculo:

$$P \text{ (CV)} = Q \text{ (l/min)} \times p \text{ (kg/cm}^2\text{)} = \text{dcm}^3/\text{min} \times \text{kg/cm}^2$$

Donde P es la potencia en CV; Q caudal en l/min y p es presión en kg/cm²

La equivalencia de unidades es

$$\frac{0,001 \text{ m}^3}{60 \text{ seg}} \times \frac{1 \text{ kg}}{0,0001 \text{ m}^2} = 0,166 \text{ kgm/seg}$$

$$\frac{0,166 \text{ kgm/seg}}{75 \text{ kgm/seg/CV}} = 1 / 450 \text{ CV}$$

$$75 \text{ kgm/seg/CV}$$

Ejemplo

Caudal 190 L/min; presión 3 bar (1 kg/cm²= 0,981 bar, diferencia que para este cálculo se considera despreciable).

Potencia consumida asumiendo un rendimiento debido a fricciones internas de 50%:

$$P \text{ (CV)} = 190 \text{ (L/min)} \times 3 \text{ (bar)} / 450 \times 0,5 = 2,5 \text{ CV}$$

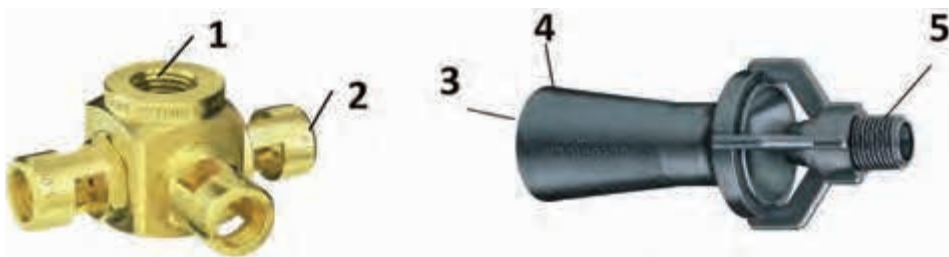
» Caudales de Bomba

Si se aplican por ejemplo 100 L/ha, con una máquina de 18 ha/h de capacidad de trabajo, deberá contarse con el siguiente caudal para alimentar con eficacia el botalón: $100 \text{ L/ha} \times 18 \text{ ha/h} = 1800 \text{ L/h}$, equivalen a 30L/min. Pero una parte del líquido impulsado por la bomba debe retornar al depósito a través del agitador para mantener el caldo en suspensión.

» Agitador hidráulico

Luego de la bomba debe encontrarse en el circuito, un conducto de derivación que regrese líquido al tanque, penetrando por el fondo o hasta él y que en cuyo extremo se encuentra un pico específico cuya función es agitar continuamente la formulación para mantenerla homogénea en todo su volumen (Figura 18). Cuanto mayor sea la cantidad de líquido que se derive al tanque, mejor será la homogeneización lograda. Otro tipo de agitador con que cuentan algunas pulverizadoras, y que resulta eficaz es el de tipo mecánico, que consta de un eje provisto de paletas. Es importante aclarar que las soluciones líquidas (e.g. UAN, mezclas de UAN con sulfato y/o tiosulfato de amonio) no requieren agitación, ya que los nutrientes se encuentran en solución.

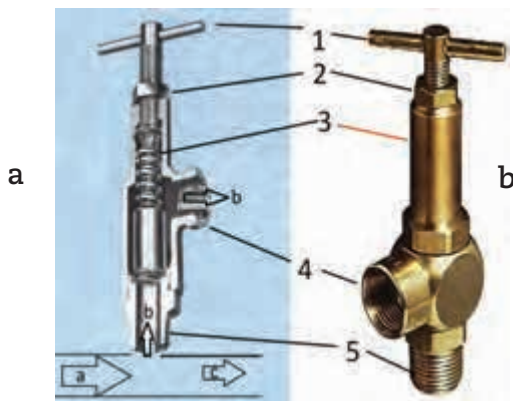
Figura 18. Agitadores hidráulicos. a) Pico agitador de tres salidas; b) pico agitador para remoción con menor caudal. 1) anclaje al tubo de alimentación desde la derivación; 2) una de las tres salidas; 3) salida; 4) cuerpo del pico; 5) anclaje al tubo de alimentación (TeeJet).



» Válvula reguladora de presión

La válvula reguladora de presión se ubica luego de la desviación del agitador hidráulico y tiene como función mantener constante la presión durante toda la pulverización derivando al tanque el exceso de líquido (Figura 19). La existencia de las dos desviaciones (agitador y válvula reguladora de presión), alivia el trabajo de ésta, aumentando su vida útil, y garantiza la adecuada agitación en el depósito, importante en formulaciones de fitoterápico (e.g. emulsiones). Debe tenerse muy en cuenta que la descarga de ambos conductos, debe ser lo más cercana posible del fondo del tanque a fin de evitar la formación de espuma. En la actualidad se han difundido mecanismos electrónicos de gran confiabilidad, que facilitan la regulación de la presión de pulverización desde el puesto de mando.

Figura 19. Válvula reguladora de presión. 1) comando regulador; 2) tuerca aseguradora; 3) resorte de presión; 4) salida de caudal al retorno; 5) entrada de caudal desde la bomba y salida al manómetro y llave de comando. **Caudal $a = b + c$** Con el tornillo 1) se regula la presión del resorte. A mayor presión menor caudal hacia el retorno, mayor caudal hacia el botalón y mayor presión al manómetro. (Teejet modificada).



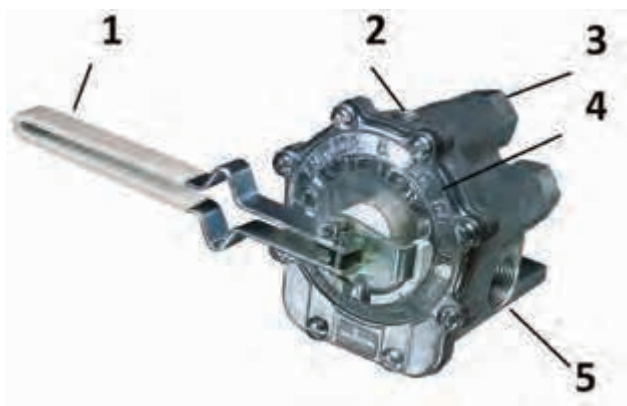
» Manómetro

Se ubica luego de la válvula reguladora de presión. El uso de un manómetro de mano para verificar la presión que llega a cada pico, no está de más a fin de verificar el funcionamiento del circuito, de modo que el operador siempre tenga la información de la presión real de pulverización y pueda intervenir si aparecen diferencias no deseables de valores de presión en el circuito. La amplitud de la presión debe ser acorde con las aplicaciones a realizar, por ejemplo de 0 a 100 lb/pul². Cuando la escala es mayor, pierde sensibilidad a valores que van de 25 a 100 o 150 lb/pul² que deberían ser las presiones de pulverización corrientes. Es muy conveniente el uso de manómetros en baño de glicerina, pues amortiguan las variaciones bruscas de presión, facilitando su lectura.

» Llave de paso o de comando

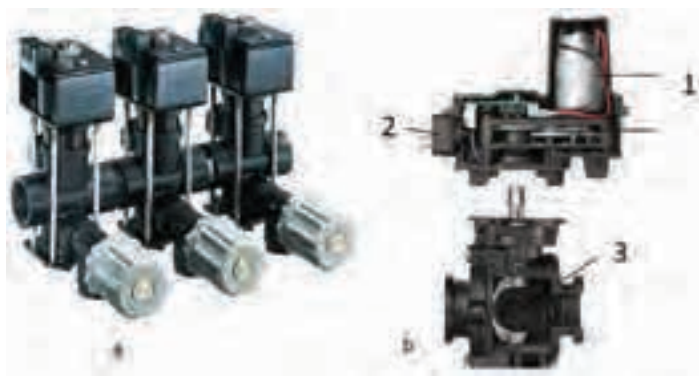
La llave de paso o de comando es la que permite el cierre o apertura del circuito a fin de que el líquido salga por los picos (Figura 20). Son muy ventajosos los circuitos que permiten comandar el botalón (barral que sostiene a los picos), en sectores independientes. Con ello se logra trabajar con diversos anchos de labor en terminaciones de lotes o contra alambrados, sin superposición de pasadas, con mayor agilidad. Asimismo, este tipo de “botalón sectorizado”, disminuyen las eventuales pérdidas de carga que se producen por circuitos hidráulicos con recorrido excesivamente extenso. Una opción difundida es de accionamiento en tres sectores independientes del barral: centro, ala izquierda, ala derecha y cualquier combinación de ellos, tomados de a dos. Asimismo, con el crecimiento de los anchos de trabajo, es decir de la longitud del botalón, aparecen los comandos de cinco secciones de botalón.

Figura 20. Llave de comando de múltiples vías. 1) comando manual; 2) conexión para manómetro; 3) salidas al botalón; 4) corredera de diferentes combinaciones de los tres sectores del barral; 5) conexión a la válvula reguladora de presión (SprayingSystems).



Actualmente las llaves de comando son de accionamiento eléctrico (Figura 21). Otras más completas, mantienen constante el volumen de aplicación aunque varíe la velocidad de avance del equipo. Con ello se compensa cualquier diferencia que pudiera generarse ante la disminución de velocidad al atravesar algún accidente del terreno. También se mantiene constante la presión cuando se trabaja con todo el botalón o sólo uno de sus sectores. Las computadoras y los sistemas electrohidráulicos han resuelto todos estos temas.

Figura 21. Llaves de comando. a) Llaves comando solenoide de desviación dosificada accionadas eléctricamente. b) Válvula de bola con mando eléctrico. 1) Motor; 2) alimentación; 3) válvula de bola (SprayingSystems).



» Barral de picos o botalón

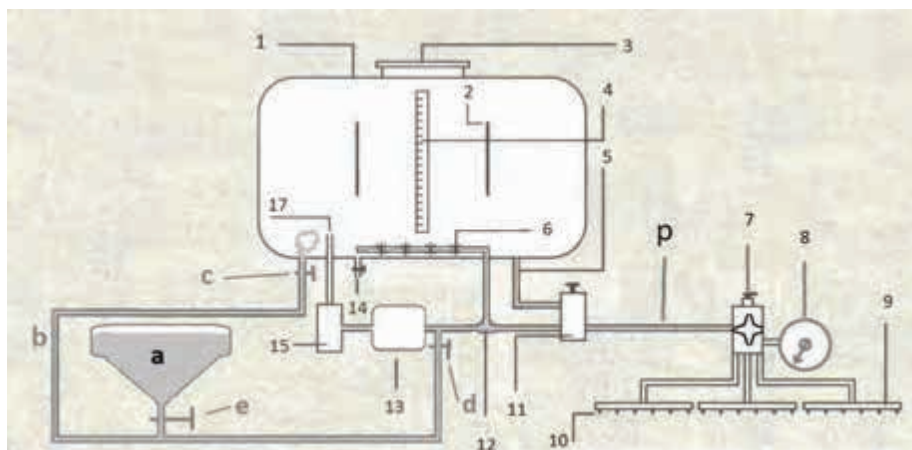
Entre las características deseables se pueden mencionar la posibilidad de variar tanto la distancia entre picos como la altura de botalón. Con estos dos factores, se determina la superposición de la proyección de los picos, y por lo tanto la uniformidad

de dosis en todo el ancho del botalón (aplicaciones en cobertura total) y el ancho de las bandas (aplicaciones en bandas). Es fundamental la existencia de un mecanismo, que mantenga el botalón paralelo al piso, que se denomina “flotación del botalón”, a través de la cual la estructura que porta los picos, permanece bastante paralela al terreno, a pesar de sus irregularidades y/o desniveles, requisito importante para lograr la adecuada uniformidad de distribución del producto en todo el ancho de trabajo de la máquina. Aunque esta condición, a veces es difícil de cumplir en la práctica, debido a lo despase de los lotes y al ancho de los barrales (las subidas y bajadas de las ruedas se multiplican bastante en los extremos del botalón), las máquinas actuales tienen resuelto el problema con gran eficacia. Un valioso aporte en este sentido, es el sistema de chasis deformable de algunos modelos de pulverizadoras autopropulsadas con largueiros flexibles que ayudan al copiado del terreno. Otro recurso para lograr el copiado del terreno, no muy difundido debido a que impone una seria limitación en el despeje, es el botalón apoyado en forma continua sobre sus ruedas, que permite mantener constante su altura de pulverización independientemente de las irregularidades del terreno.

Además, es bueno que el plegado de las alas sea sencillo y de fácil accionamiento (hidráulico casi siempre), que las alas tengan zafe de seguridad de manera que si tropiezan con algún impedimento, se plieguen y no se dañen. Asimismo, es importante que con el botalón plegado en posición de transporte, la máquina sea lo más angosta posible, para facilitar el cruce de tranqueras y la circulación en rutas.

» Cargador de productos

Figura 22. Circuito hidráulico, carga de fitosanitarios. a) cargador; b) tubería hacia el tanque; c), d), e) válvulas de cierre rápido. 1) tanque; 2) tabique rompeolas; 3) boca de acceso amplia; 4) indicador de nivel de líquido en el tanque; 5) conducto de retorno de válvula reguladora de presión; 6) removedor; 7) llave de comando; 8) manómetro sin presión; 9) botalón sin presión; 10) picos pulverizando; 11) llave reguladora de presión; 12) desvío “T”; 13) bomba; 14) llave de desagote; 15) filtro de línea; 16) conducto de succión; p) sector del circuito con presión. a) a e) elementos para la carga de productos.



Con el objeto de lograr la mayor seguridad en la carga de los fitosanitarios y fertilizantes, el equipo cuenta con un balde o mixer el cual puede ubicarse de manera tal que su borde se encuentre aproximadamente, a la altura de la cintura del operador parado en el piso (ello durante la posición de uso, cargado el producto en el tanque de la pulverizadora). Luego el cargador se coloca nuevamente en la posición que ocupa durante el movimiento del equipo, es decir más arriba, y debidamente asegurado con trabas específicas. En tanto se vuelca el balde de fitosanitario o fertilizante líquido en la boca del cargador, por su base se hace pasar un flujo de líquido proveniente del tanque de la máquina. Esto se logra mediante conductos y llaves de paso destinadas a tal fin. El fluido que pasa por la base arrastra al producto hasta el depósito de la pulverizadora (Figura 22).

» Tren de rodadura

Una característica importante en las pulverizadoras modernas es la capacidad de transitar por terrenos desparejos manteniendo constante la altura de botalón. Las suspensiones con pulmones de aire son uno de los recursos con los que se cuenta para lograr el copiado del terreno sin sobresaltos. Otro detalle es que estas suspensiones admiten cambios importantes de carga sin modificar la distancia del botalón al suelo.

Otros recursos que ayudan a la función de suspensión son los rodados en balancín, ruedas de grandes dimensiones, sistemas de paralelogramo deformable que sostienen el botalón paralelo al piso. Otro aspecto relevante es la trocha variable para adaptarse a todo cultivo. Algunas de las pulverizadoras automotrices accionan el cambio de trocha desde la cabina del operador.

» Lanza de enganche

En los equipos de arrastre, resulta ventajoso contar con regulación de altura en el punto de enganche, a fin de poder ubicar a la pulverizadora con cualquier modelo de tractor, independientemente de la altura de su barra de tiro. Las máquinas montadas, resultan ventajosas en lotes pequeños, pues aprovechan mejor el terreno debido a que son maniobrables con cabeceras más chicas como todo implemento para tres puntos. Su costo también es menor, a igualdad de las otras características, por carecer de tren de rodadura. Es necesario controlar que los elementos de acople al tractor sean compatibles con el tres puntos de éste. Es decir que pertenezcan a la misma categoría de la normalización del sistema de tres puntos.

» Otros aspectos relevantes

Entre los aspectos a destacar se encuentran: a) los materiales de construcción, que resultan similares a los que se analizaron para las inyectoras; y b) las pastillas específicas para fertilizantes. Como beneficios del chorreado de fertilizantes líquidos se pueden enunciar los siguientes: 1) gran capacidad de trabajo y agilidad de operación, y por ende menores tiempos y costos operativos; 2) menor superficie de contacto con el suelo, y por lo tanto menores pérdidas de volatilización de amoníaco

Las pulverizadoras autopropulsadas suelen estar equipadas con bombas de paletas o centrífugas que toman el movimiento desde el motor de la máquina y trabajan a altos regímenes, es decir unas 2.000 a 2.500 vueltas por minuto. Generan altos caudales a bajas presiones, y se las denomina dinámicas debido a que ante presiones en ascenso, bajan el caudal que entregan. No obstante existen equipos autopropulsados en el

mercado que cuentan con bombas de pistones o de diafragma, que son llamadas de desplazamiento positivo debido a que ante aumentos de la presión, mantienen constante su caudal.

Los equipos de arrastre se conforman por un chasis sobre ruedas, elementos de enganche, mecanismos para la conducción y dosificación de fertilizante, tren cinemático y tren de fertilización.

Los equipos montados se diferencian de los anteriores porque no presentan ruedas de sostén ni elementos de enganche y ofrecen la torreta para el acople al sistema de tres puntos del tractor.

Los equipos autopropulsados son las pulverizadoras utilizadas para la aplicación de fitosanitarios adecuadas a la distribución de fertilizantes. Desde el punto de vista de la distribución, puede decirse que la inyección del fertilizante en suelo a profundidad variable se asocia a los equipos de arrastre y montados, mientras que el chorreado se puede realizar tanto con pulverizadoras de arrastre, montadas y/o automotrices.

Se torna poco práctico el uso de sembradoras para la distribución de fertilizantes en función de la corrosión que los mismos ocasionan en las unidades no preparadas específicamente para la tarea y de las cantidades crecientes de fertilizante que se van requiriendo a medida que los sistemas de producción se intensifican.

» Pastillas

La selección de las pastillas juega un rol central en la calibración de las fertilizadoras de fertilizantes líquidos, base para lograr una adecuada distribución del producto en el terreno. Dentro de las pastillas más utilizadas se mencionan las Streamjet de un solo chorro (“chorro sólido”) (Figura 23A), construidas en acero inoxidable con gran orificio que ofrece una baja resistencia a la obstrucción. Trabaja bien a distancias de 70 a 75 cm. Otras son las pastillas de varios chorros, que se ofrecen modelos de 5 y 7 chorros (Figura 23 B).

Figura 23. A. Pastilla de chorro sólido (Stream Jet). El chorro sólido dirigido al suelo, reduce las posibilidades de ocasionar salpicaduras a las hojas del cultivo, excelente para aplicaciones dirigidas. B. Pastilla fertilizadora. Con 7 chorros de igual capacidad (Teejet).



Otros modelos de pastilla fertilizadora son con placa que se selecciona de acuerdo al caudal a aplicar (Figura 24). Es decir que para cambiar de caudal se cambia sólo la placa y no el conjunto completo.

Figura 24. Pico fertilizador con placa reguladora de caudal. Referencias: 1) placa reguladora de caudal (Teejet).



» **Calibración**

Los parámetros de la dosificación en los equipos modernos son controlados automáticamente a través de elementos electrónicos como los radares y navegadores que miden la velocidad de avance, los caudalímetros y los presostatos, comandos automatizados y computarizados. No obstante, a fin de entender el proceso es necesario conocer cuál es la variable que se está manejando en cada caso. A fin de analizar la calibración de manera práctica se propone un ejemplo en el que se desean distribuir 120 L/ha de UAN con un equipo con 36 picos, distanciados a 50 cm y con una velocidad de avance de 22,5 km/h (velocidad definida por las características de suspensión del equipo y la condición del terreno). La pastilla a utilizar es la StreamJet (Tabla 3). Antes de comenzar el trabajo se precisa siempre, disponer del manual o tabla correspondiente a las pastillas en uso, suministrada por el fabricante de las mismas.

Tabla 3. Caudales y presiones de la pastilla para fertilizantes líquidos StreamJet

Pastillas StreamJet								
			l/ha					
			0,5 m entre picos					
Pastilla	Presión Bar	Caudal (l/min)	km/h					
			4	6	8	15	20	25
H1 / 4U SS0008	1,00	1,82	546,0	364,0	273,0	145,6	109,2	87,4
	1,50	2,23	669,0	446,0	334,5	178,4	133,8	107,0
	2,00	2,58	774,0	516,0	387,0	206,4	154,8	123,8
	2,50	2,88	864,0	576,0	432,0	230,4	172,8	138,2
H1 / 4U SS0010	1,00	2,28	684,0	456,0	342,0	182,4	136,8	109,4
	1,50	2,79	837,0	558,0	418,5	223,2	167,4	133,9
	2,00	3,22	966,0	644,0	483,0	257,6	193,2	154,6
	2,50	3,6	1080,0	720,0	540,0	288,0	216,0	172,8

Al iniciar los controles se puede trabajar con agua limpia, y luego con una tabla de equivalencia de densidades y volúmenes se pasa de agua limpia al producto en cuestión. Con el tanque provisto de algo de agua limpia, por ejemplo el 20% de su

capacidad, con los picos provistos con las pastillas a utilizar, la bomba funcionando a régimen de trabajo y a la presión a la que se aplicará el tratamiento, observar el chorro que entrega cada pastilla, controlar que no exista chorros deformados. Luego se determina la uniformidad de dosificación, considerando que toda máquina trabaja con pastillas iguales en modelo, caudal y tiempo de uso acumulado, de lo contrario nunca se estará seguro que todas funcionen correctamente. El caudal que se requiere en cada pastilla se calcula según la siguiente expresión disponible en los manuales de pastillas:

$$Q \text{ (l/min)} = \frac{\text{Gasto (l/ha)} \times \text{velocidad (km/h)} \times \text{distancia (m)}}{600}$$

Donde

- » **Q (L/min)** es caudal por pastilla en litros por minuto
- » **Velocidad**, es la velocidad de avance del equipo (en km/h)
- » **Distancia** es la distancia entre picos (en metros)
- » **600** una constante para conversión de unidades.
- » **La densidad del UAN** es 1,3 kg/L y el factor de corrección de tablas es de 1,13.

Remplazando valores del ejemplo

$$Q \text{ (l/min)} = 120 \text{ (l/ha)} \times 22,5 \text{ (km/h)} \times 0,5 \text{ (m)} = 1,875 \text{ (l/min)}$$

$$600$$

Como se utilizó agua para la calibración (densidad= 1 kg/L), para determinar la pastilla correcta para la distribución de productos que tienen densidades diferentes, es necesario multiplicar por el factor de corrección correspondiente a la densidad del UAN la cual es 1,32 (32% de N) y el factor de conversión es de 1,15 (Tabla 4).

Tabla 4. Factores de conversión de acuerdo a la densidad

Densidad kg/l	Factor de conversión
0,84	0,92
0,96	0,98
1,00 Agua	1
1,08	1,04
1,2	1,1
1,28	1,13
1,32	1,15
1,44	1,2
1,68	1,3

Tabla 5. Uniformidad de distribución de UAN 32.

Pico Número	Dosificación cm ³	Diferencia (*)		Diferencia (**)	
		En más cm ³	En menos cm ³	En más %	En menos %
1	2,19	0,0700	-	3,3	-
2	2,12	-	-	-	0,0
3	2,12	-	-	-	0,0
4	2,2	0,0800	-	3,8	-
5	2,12	-	-	-	0,0
6	2,12	-	-	-	0,0
7	2,19	0,0700	-	3,3	-
8	2,12	-	-	-	0,0
9	2,12	-	-	-	0,0
10	2,14	0,0200	-	0,9	-
11	2,12	-	-	-	0,0
12	2,12	-	-	-	0,0
13	1,13	-	0,9900	-	46,7
14	2,12	-	-	-	0,0
15	2,12	-	-	-	0,0
16	2,21	0,0900	-	4,2	-
17	2,12	-	-	-	0,0
18	2,12	-	-	-	0,0
19	2,12	-	-	-	0,0
20	2,23	0,1100	-	5,2	-
21	2,12	-	-	-	0,0
22	2,12	-	-	-	0,0
23	2,12	-	-	-	0,0
24	2,14	0,0200	-	0,9	-
25	2,12	-	-	-	0,0
26	2,12	-	-	-	0,0
27	2,16	0,0400	-	1,9	-
28	2,12	-	-	-	0,0
29	2,18	0,0600	-	2,8	-
30	2,12	-	-	-	0,0
31	2,19	0,0700	-	3,3	-
32	2,12	-	-	-	0,0
33	2,12	-	-	-	0,0
34	2,12	-	-	-	0,0
35	2,25	0,1300	-	6,1	-
36	2,12	-	-	-	0,0
Caudal de la pastilla nueva 2,12					

(*) Es la diferencia respecto del promedio expresada en cm³

(**) Es la diferencia expresada en porcentaje respecto del promedio.

Nota: Consignar el fertilizante y su densidad.

Luego se utiliza el nuevo caudal corregido en L/min o L/ha para seleccionar la pastilla de tamaño correcto. En el caso del ejemplo entonces será $1,875 \times 1,15 = 2,15$ L/min será el caudal en agua de la pastilla a elegir y la presión a trabajar. En la Tabla 3, la pastilla correcta es la StramJet H1 4U SS0008 a una presión definida entre 1,0 y 1,5 bares para lograr 2,15 L/min de caudal.

La uniformidad de dosificación, se verifica recogiendo el volumen de entrega por cada pico en recipientes graduados, con la máquina trabajando a presión de trabajo. Los datos recolectados se consignan en un cuadro como el que se muestra en la Tabla 5. Observando los valores de la tabla se decide si es necesario cambiar pastillas. Si hubiera pastillas que entregan menor caudal por estar tapadas u obstruidas, o bien el conducto que las alimenta tiene problemas, se puede admitir un cambio de pastillas si su caudal entregado es superior al 5% respecto del caudal de una pastilla sin uso. Se recomienda cambiar todas las pastillas al mismo tiempo.

Evaluación estática de equipos

A continuación se presentan algunas recomendaciones para la evaluación y alistamiento estático de equipos de aplicación de fertilizantes fluidos:

- » **Hidráulico:** estado y funcionamiento sin fugas de todos los acoples, mangueras, conjuntos y mecanismos relacionados con el sistema hidráulico (subir y bajar máquina o surcadores, marcadores, otros movimientos como motores de turbinas, de dosis variable).
- » **Tanques:** estado de limpieza y ausencia de roturas de las paredes, (presencia de elementos sueltos o atípicos en su interior).
- » **Bomba:** estado, revisar limpieza, ausencia de daños, o problemas de armado o construcción. Verificar el movimiento libre de sus ejes (sin ruedas dentadas y/o cadenas acoplados, excepto los necesario para mover con una llave de mano los dosificadores desde su eje).
- » **Tren cinemático:** cadenas de mando instaladas y todos los movimientos conectados hacer girar la rueda motriz y verificar que todos los movimientos se desarrollen sin inconvenientes, estado y tensión de las cadenas. Anclaje y giro de las ruedas dentadas.
- » **Tubos de bajada:** limpieza y estado de los tubos de bajada. Sus anclajes en estado firme.
- » **Bulonería:** ajuste de bulones en general.
- » **Cuchillas, surcadores:** movimiento libre con la mano. Desgaste de la hoja. Funcionamiento del zafe. Alineación cuchilla – surcador.
- » **Tapadoras:** alineación de las ruedas tapadoras y su estado general.
- » **Distancia:** verificar uniformidad de la distancia entre los cuerpos (perpendicular al avance).
- » **Resortes de carga:** verificarlos que los mismos se encuentren en buenas condiciones de servicio.
- » **Ruedas limitadoras de profundidad:** presencia de movimientos que indiquen desgaste, estado de la banda de rodamiento.
- » **Lubricación:** revisar todos las áreas que llevan engrase y de aquellos puntos que llevan un nivel de aceite lubricante.
- » **Presión de inflado de rodados:** verificar la presión de inflado de todos los neumáticos. Respetar valores de presión suministrado por el fabricante del equipo o del neumático.

» **Enganche al tractor:** con la fertilizadora en posición de trabajo, verificar que el chasis se encuentre en posición horizontal.

Análisis de eficiencia de prestaciones

Cada tipo de fertilizadora ofrece un beneficio a considerar en el momento de su elección. Las máquinas para chorreado de fertilizantes fluidos, se destacan por su bajo costo operativo, el cual se sustenta en su gran ancho de trabajo y alta velocidad de desplazamiento, limitada por sobre todas las cosas por el estado del terreno. El bajo consumo de potencia, es precisamente, el factor que permite su alta velocidad de trabajo. Asimismo, el fertilizante luego de su aplicación se debe incorporar con una lluvia o riego. En contraposición, las inyectoras ofrecen un mejor aprovechamiento del fertilizante, ya que incorporan los nutrientes en el suelo, en la zona de aprovechamiento de las raíces. La elección del tractor para una pulverizadora de arrastre, pasa más por el peso y su capacidad de frenado que por su potencia.

Para analizar desde un punto de vista práctico la manera en que se puede evaluar la eficiencia de uso de un equipo se propone un ejemplo. En una fertilización por chorreado con un equipo de 49 picos a 50 cm que trabaja a 18 km/h de velocidad efectiva, en doce días de 8 horas de trabajo efectivo por día, se logró el objetivo de 2.470 hectáreas fertilizadas. Las pérdidas de tiempo trabajando con buena logística de abastecimiento de insumos fueron de 30% ¿Con qué eficiencia se operó el equipo?

» **Respuesta:**

Capacidad efectiva de trabajo $[ha/h] = a [m] \times v [km/h] \times pt \times Cae \times 0,1$

Donde:

» **a** es el ancho de trabajo del equipo (en m) que se determina multiplicando la cantidad de picos por la distancia entre ellos.

» **v** es la velocidad de avance del equipo medida a campo (km/h):

» **pt** es el coeficiente de tiempo efectivo, que es la relación entre el tiempo durante el cual el equipo estuvo fertilizando y el tiempo total, el cual incluye los tiempos utilizados en las vueltas en cabecera

» **Cae** es el coeficiente de ancho efectivo, que resulta ser el ancho de trabajo del equipo descontada la superposición de pasadas. Una pulverizadora con banderillero satelital prácticamente no superpone pasadas o lo hace en un orden del 2%, por lo cual el coeficiente puede estimarse de 0,98.

» **0,1** es el coeficiente para conversión de unidades.

Entonces la capacidad de trabajo del equipo en cuestión es:

$CT (ha/h) = 49 \text{ picos} \times 0,5 (m) \times 18 (km/h) \times 0,7 \times 0,98 \times 0,1 = 30,25 (ha/h)$

$8 \text{ h/día} \times 12 \text{ días} \times 30,25 \text{ ha/h} = 2.904 \text{ ha}$

Eficiencia: $2.470 (ha)/2.904 (ha) = 0,85$.

La máxima eficiencia es de 1 cuando ambas capacidades son iguales.

Dosis variable

En los equipos con caudal de bomba proporcional al avance y con dosis variable, se reemplazan la rueda motriz y algunas las cadenas de transmisión por un motor hidráulico que se alimenta de una bomba hidráulica (del tractor o accionada por la toma de potencia del mismo). El fluido llega al motor por la orden generada por una válvula comandada electrónicamente desde una computadora. A su vez la computadora puede obedecer mediante un software a un mapa pre diseñado o bien puede ser accionada por el operador del equipo de manera manual, en tiempo real, de acuerdo a criterios pre-establecidos.

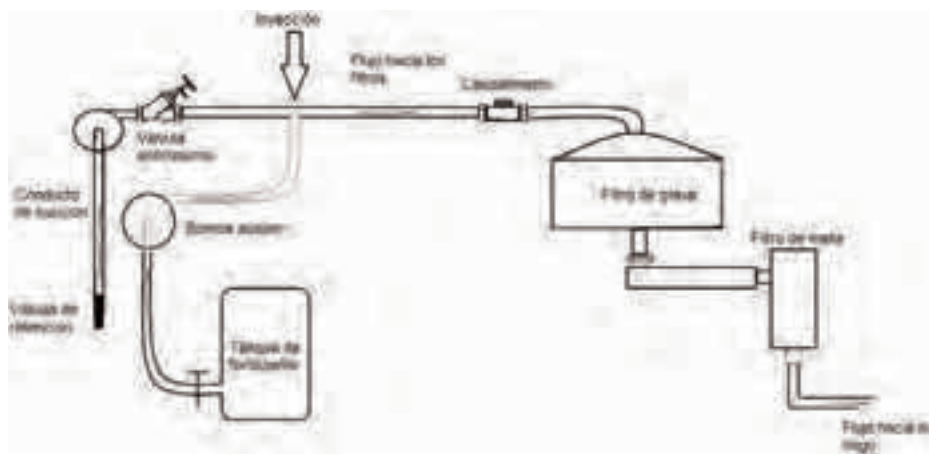
Este equipamiento reemplaza entre otras cosas a la rueda motriz y sus inconvenientes como el patinamiento y el desgaste de la misma. Los electrohidráulicos son equipos cada vez más confiables y económicos, sobre todo para máquinas de grandes anchos de trabajo. En las pulverizadoras, la dosis variable es una tecnología ya difundida y trabaja mediante las variaciones de caudal de comando electrónico desde la computadora de abord, la cual puede responder a un software pre-cargado, o bien a la orden del operador. El corte por secciones de los barrales, también ayuda a la terminación de lotes sin desperdicio de fertilizante.

Con las comunicaciones vía Internet o telefonía celular de alta capacidad de transmisión de datos, la información que llega al puesto de mando del tractor emitida desde los dosificadores de la máquina o desde las ruedas para medir la velocidad de avance, también puede transmitirse a mayores distancias. Los datos pueden recibirse en el mismo momento que son relevados, es decir en tiempo real, en una oficina cercana al lote donde trabaja el equipo, o a muy grandes distancias.

Equipos para fertirriego

El equipamiento básico para realizar fertirrigación se compone de un inyector de fertilizante y un tanque de mezcla de fertilizantes, preferentemente de material plástico el hierro o acero sufre una corrosión muy rápida, para aportar el fertilizante líquido o, en su caso, preparar la disolución con fuentes cristalinas. También es necesario un removedor, una válvula de control y un filtro (Figura 25).

Figura 25. Circuito básico de fertirriego



De acuerdo al sistema de fertirrigación, se pueden requerir equipos adicionales como válvulas, reguladores de presión, bombas mezcladoras.

Cada fabricante provee catálogos con suficiente detalle para adecuar, cambiar, o agregar componentes al sistema.

Todo sistema de fertirrigación requiere de un tanque resistente a la presión y corrosión, de construcción de 50 a 1.000 L de capacidad para suministro del fertilizante, ya sea previamente diluido o para colocar directamente el fertilizante sólido. El contenido del tanque debe ser suficiente para cubrir el área de un turno de riego. Para elegir el volumen adecuado del tanque se necesita conocer la solubilidad en agua de los fertilizantes; la superficie a fertilizar; la cantidad de fertilizante a aplicar en cada turno y la cantidad de aplicaciones entre recargas sucesivas.

$$V = n \times Q \times s/c$$

Donde:

- » **V (m³) es el volumen del tanque**
- » **n: es la cantidad de aplicaciones entre cargas sucesivas**
- » **Q (kg/ha) dosis de fertilizante a aplicar por vez**
- » **S (ha) superficie a fertilizar**
- » **c (kg/m³) concentración de la solución de fertirriego**

Los filtros más adecuados para separar partículas del tamaño comúnmente encontradas en los fertilizantes comerciales son del tipo de malla, de material resistente a la corrosión, y aberturas de malla entre 0,08 y 0,15 mm de diámetro. Si las impurezas presentes son de otro tipo (arena o materia orgánica) son necesarios los hidrociclones o filtros de grava. Se ubican a la salida del tanque contenedor de la solución fertilizadora, antes de la línea de riego.

Tipos de equipos

La introducción de la solución del fertilizante en las tuberías, al mismo tiempo que se aplica el riego, se lleva a cabo superando la presión existente en la red de riego. La misma en los cabezales de riego por goteo suele ser entre 20 y 30 m y en las redes de aspersión entre 40 a 50 m y aún más. Existen diversos sistemas de introducción:

- » **Por arrastre de la solución en el seno del riego**
- » **Por succión mediante una válvula tipo Venturi**
- » **Por presión e inyección mediante una bomba**

Entre los últimos mencionados, se distinguen aquellos inyectoras de tipo proporcional, que inyectan cantidades de solución fertilizante proporcionalmente al flujo del agua en el sistema, y aquellos de inyección independiente del flujo de agua en el sistema. El mercado ofrece diversos tipos como el dosificador hidráulico; la bomba proporcional y la bomba con motor de agua.

En la Tabla 6 se resumen las principales características de cada sistema de introducción de fertilizantes en sistemas de fertirriego.

Tabla 6. Ventajas y desventajas de los sistemas de introducción de fertilizantes en sistemas de fertirriego

Característica	Arrastre	Venturi	Bomba
Facilidad de manejo	Alta	Media	Baja
Aplicación para fertilizantes sólidos	Si	En solución	En solución
Aplicación para fertilizantes líquidos	Si	Menos	Si
Velocidad de descarga	Alta	Baja	Alta
Control de la concentración	Ninguna	Media	Buena
Control del volumen	Bueno	Medio	Bueno
Pérdida de presión	Baja	Muy alta	Ninguna
Automatización	Baja	Media	Alta
Precio	Bajo	Medio	Alto

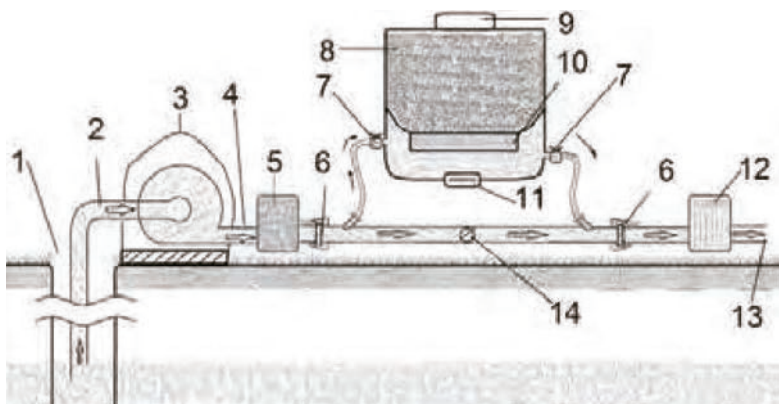
Sistemas basados en el arrastre de la solución fertilizante en el seno de la línea de riego.

Es un sistema muy común, denominado también equipo básico de fertirrigación debido a su sencillez de funcionamiento, inversión requerida y practicidad de uso. No requiere fuente de energía, es transportable y no es demasiado sensible a las fluctuaciones de presión y caudal. La relación de dilución es muy amplia. Posee como desventajas que el tanque debe resistir la presión existente en la red de riego, la pérdida de presión que provoca en el sistema, falta de precisión en las cantidades de aplicación, ya que diferencias de presión en la red provocan diferencias en las proporciones de dilución; en cada turno debe vaciarse el tanque y volver a llenarlo. Además, cuando los turnos de riego son cortos, hay dificultades en la operación. Como se observa en la Figura 26, el equipo básico se compone de un tanque conectado a la red a través de dos líneas de agua; entre los dos puntos de conexión sobre la línea de riego, se coloca una válvula que funciona como reguladora de presión o bien limitadora del paso de agua. A través del cierre parcial del circuito principal mediante la referida válvula, se produce un gradiente de presión de 1 a 2 m que origina turbulencia y circulación de una parte del agua por el primero de los tubos, y que debe llegar hasta el fondo del tanque, mezclando la solución. Por el otro tubo circula la solución de salida del tanque de solución, hacia la línea principal. De esta manera disminuye la concentración de la solución hasta que se consume totalmente el fertilizante. Para este tipo de tanque y usando fertilizantes ya diluidos, un volumen de agua de riego equivalente a cuatro veces el volumen del tanque de fertilización es suficiente para arrastrar por dilución prácticamente toda la solución fertilizadora, derivándola a la línea de riego. Así podemos calcular el tiempo de riego en función del caudal de descarga, o bien para un turno de riego determinado, especificar la caída de presión a regular en la línea.

Existe un sistema denominado tanque de corriente directa, en el que la solución del fertilizante se coloca en una bolsa de plástico que se encuentra dentro del tanque. El agua de la red de agua también entra al tanque, y presiona sobre la superficie exterior de la bolsa de plástico que contiene la solución, la que se impulsa y es obligada a pasar a través de una abertura en la corriente de riego. El ritmo de salida es determinado de

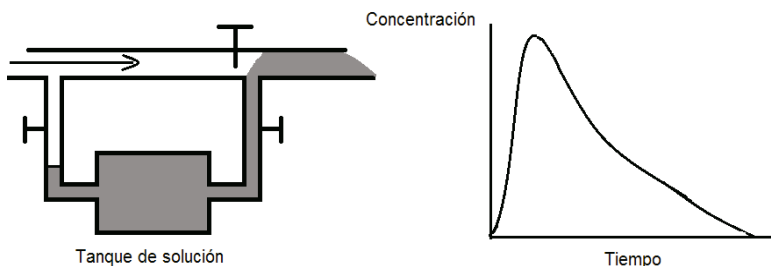
acuerdo con la relación entre el diámetro de la bocas de entrada del agua y de la salida de la bolsa con la solución. Estas dos bocas son cambiables de sección para obtener relaciones de dilución diferentes. La ventaja de este sistema es que no hay contacto entre la solución y el tanque, y por lo tanto se reduce la corrosión. La concentración de la solución es constante. Hay una pérdida de presión relativamente pequeña y es posible hacerlo móvil. Como desventaja se menciona que pequeñas variaciones de presión afectan el desempeño del sistema, es decir la acción y reacción en la bolsa. Las variaciones de caudales exigen efectuar cambios en las aberturas de las bocas de entrada o salida. El tanque debe resistir la presión de agua de la línea por lo tanto deberá ser metálico. Además el volumen posible de manejar por vez, está limitado por su propio tamaño.

Figura 26. Incorporación de fertilizantes mediante el sistema gravitacional con tanque. Presión diferencial. Referencias: 1) fuente de agua (pozo o acequia); 2) tubería de succión; 3) equipo de bombeo; 4) tubería de impulsión de agua de riego; 5) filtro de arena; 6) Acople de tubería; 7) llave de paso de agua a la tolva de fertilizante (puede ser con mando a distancia y electrónico); 8) tolva con fertilizante; 9) tapa de abastecimiento; 10) dosificador de fertilizante; 11) llave de desagote para limpieza; 12) filtro de mallas; 13) tubería hacia el equipo de riego; 14) válvula de limitación del paso de agua.



El sistema de arrastre genera una dosificación cuantitativa, de concentración variable que se diluye a medida que se consume el producto del tanque (Figura 27).

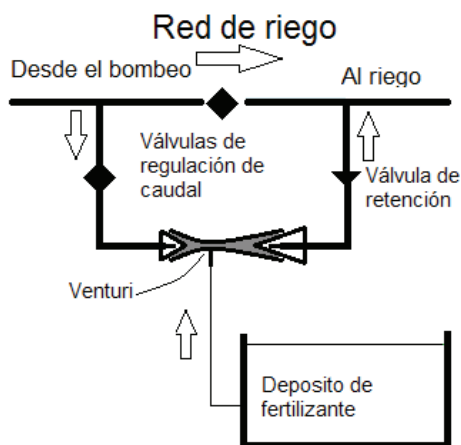
Figura 27. Sistema de inyección cuantitativo. El sistema de arrastre genera una inyección del tipo cuantitativa.



Succión mediante una válvula tipo Venturi

En este sistema, la introducción del fertilizante en la línea de riego se logra a través de la presión negativa (succión) de agua del sistema, sin fuentes externas de energía. También se produce una pérdida de carga en el riego. La capacidad de succión varía entre 40 y 100 L/h, según la presión de entrada, necesitando un caudal mínimo de agua a través de la bomba de 0,3 m³ a 1,2 m³/h. El principio de funcionamiento se basa en la transformación de la energía de la presión de agua en la tubería, en energía cinética cuando el agua pasa por la sección estrangulada del Venturi, la cual vuelve a energía de presión cuando retorna a la tubería principal. Debidamente dimensionado ocasiona la succión del fertilizante colocado en un tanque abierto y su distribución en la red de riego. Consiste en un estrechamiento en la corriente de agua, de modo tal de causar cambios en la velocidad de la corriente y la presión (Figura 28). Las medidas de estrechamiento y ensanchamiento de la pieza son tales que provocan un cierto vacío en determinada zona, donde se conecta un tubo que absorbe la solución fertilizante de un recipiente abierto. El equipo está instalado en la línea, y a través del mismo pasa todo el caudal; esto implica la necesidad de que el equipo sea construido con materiales resistentes a la corrosión y frotamiento.

Figura 28. Inyector Venturi



Las ventajas de este equipamiento son la construcción sencilla, sin piezas móviles. Asimismo, no se necesita una fuente de energía especial y es relativamente barato. El uso de un recipiente abierto permite elasticidad y comodidad. Cuando se opera en condiciones definidas de presión/caudal, se obtiene una proporción de dilución constante. Como limitantes puede presentarse una sensible pérdida de presión, que el margen de operación es muy limitado, es decir una pequeña diferencia en la presión o el caudal influye marcadamente en los resultados. Se requiere de una rama de circunvalación con el objeto de impedir pérdidas de presión en el caso en que no sea usado durante el riego. Por este motivo su uso es limitado.

Sistemas por presión de inyección.

Estos sistemas que utilizan bombas dosificadoras o inyectoras se encuentran muy difundidos en todo el mundo. El principio de operación es la inyección de la solución en

un tanque abierto en la red de riego a una presión superior (positiva) a la del agua en la tubería utilizando una bomba apropiada. La bomba puede ser accionada por un sistema eléctrico, hidráulico o motor de combustión. El mando eléctrico brinda muchas posibilidades: precisión, tiempo óptimo, automatización. Generalmente la bomba es a diafragma o a pistón, cuyas partes están protegidas de los fertilizantes (cubiertas o hechas de plástico). Son equipos que requieren de mayor inversión que los otros, aunque es posible mencionar algunas ventajas, como permitir trabajar con cualquier tipo de tanque abierto y controlar el ritmo de inyección a diversas relaciones de dilución. Los diversos tipos se diferencian de acuerdo con la fuente de energía que impulsa a la bomba. Existen en el mercado equipos completos, pero también es posible armarlos. La dosificación del fertilizante puede hacerse regulando la bomba, o con ayuda de un regulador de caudal de tamaño adecuado a las necesidades. Una de las ventajas que se consideran en este sistema es poder controlar el ritmo de inyección, siempre y cuando la concentración sea constante. Es posible usar tanques de cualquier volumen, mientras se reponga su contenido periódicamente y éste sea de material adecuado (fibra de vidrio, polietileno). Si tiene suficiente volumen es posible operar durante varios turnos sin necesidad de llenado o tratamiento. Se puede operar con un equipo central para toda el área y eventualmente moverlo, representando economía de tiempo, trabajo y equipo. Entre las limitaciones en comparación con el tanque de circulación cerrado, el equipo es complicado y relativamente más caro, requiriendo presencia de un operador y atención constante a posibles cortes de energía. Cuando el sistema está en funcionamiento, la inyección del fertilizante dentro de la red continuará, aún cuando se corte accidentalmente el flujo de agua.

Dosificador hidráulico

Es un tipo de inyector en el cual se utiliza una bomba hidráulica que posee una cámara que se llena y se vacía sucesivamente accionada por un motor hidráulico de movimiento alterno, utilizando la propia energía del agua de riego. El periodo de llenado de la cámara corresponde a la succión de la solución fertilizante desde un depósito, y cuando se vacía la inyecta en la red de riego. El dosificador se conecta a la tubería de riego entre dos puntos. Algunos modelos necesitan una presión mínima de operación de 20 m, lo que puede constituirse en un inconveniente en particular en sistemas de riego de baja presión. El agua utilizada para accionar el dosificador se drena y corresponde a un volumen de aproximadamente el doble o al triple de la solución fertilizante inyectado; consumiendo entre 2 L y 3 L de agua por litro de solución fertilizante inyectada. Cada movimiento de émbolo inyecta un volumen constante de solución, pero variando el ritmo de movimiento puede modificarse el caudal inyectado. Para ello se regula una válvula del circuito de accionamiento o el recorrido del pistón. Cuanto más abierta está la válvula, o menor es el recorrido del pistón, más rápido debe ser el movimiento del émbolo y combinando estas dos regulaciones se obtienen diferentes caudales. Además puede colocarse una válvula volumétrica que interrumpe la inyección cuando el volumen necesario ya fue inyectado. Entre las ventajas se pueden mencionar el hecho que utilizan la propia presión de la red como fuente de energía, el caudal puede regularse normalmente entre 20 y 300 L/h pudiendo instalarse varios dosificadores para exigencias de volúmenes mayores, son portátiles y no provocan pérdida de carga en la tubería de riego. Entre los inconvenientes se destacan la necesidad de una presión mínima de 20 m y su alto costo.

El flujo de agua mueve el pistón. Al final de cada golpe, funciona el mecanismo de inversión y el pistón cambia su dirección. El agua que viene a presión se conecta al cilindro. El pistón hace ingresar la solución madre del fertilizante de un contenedor, se mezcla con el agua y se inyecta una cantidad predeterminada de solución de fertirriego en la cañería (Figura 30 y 31).

Figura 29. Equipo fertirrigador.

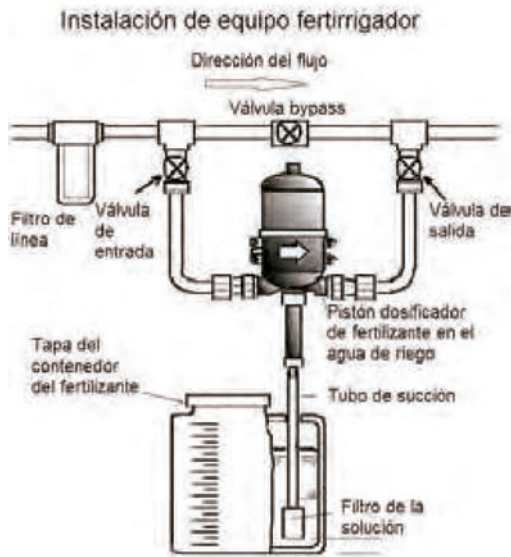
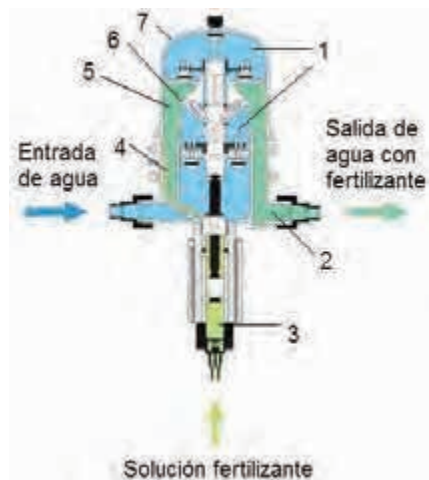


Figura 30. Pistón dosificador. 1) agua de riego que impulsa al pistón; 2) agua con fertilizante; 3) entrada de la solución; 4) área de ingreso de la solución fertilizante; 5) solución de fertilizante como ingresa de la fuente; 6) pared del pistón; 7) carcasa del dosificador.



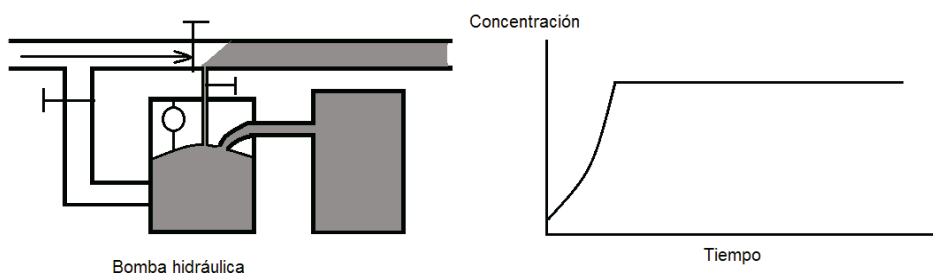
Bomba proporcional

Esta es una bomba que introduce la solución del fertilizante en el agua de riego en una relación de dilución constante, aunque se ofrecen modelos que regulan la cantidad de fertilizante de acuerdo al contenido de sales en el agua. Existen instrumentos de alta precisión, que demandan alta inversión, utilizados especialmente en los invernáculos. Generalmente se trata de una bomba a pistón destinada a la fertilización, accionada por agua o electricidad. Las relaciones de dilución corrientes son 1: 100 ó 1: 200.

Bomba con motor de agua

Se aprovecha la presión del agua para accionar una bomba de tipo de diafragma o pistón (Figura 32). El ritmo de introducción depende de la presión del agua, pero con posibilidades de regulación. No hay pérdidas de presión en el sistema y no es necesaria la presencia del operador. La interrupción de la introducción del fertilizante queda asegurada cuando se corta el flujo de agua. Es móvil y las posibilidades de mando automático son variadas, inclusive automatización o fertilizador proporcional comandado por un medidor de agua de cierre automático. Para cada volumen de fertilizante introducido, se requiere una cantidad proporcional y constante de agua; es decir que midiendo la cantidad de agua que entra a la bomba se sabe exactamente la cantidad de solución introducida. Este tipo de bombas, de gran difusión, son económicas y fácilmente transportables.

Figura 31. Dosificación proporcional. Las bombas de inyección generan una concentración constante en el agua de riego.



Las bombas de inyección ofrecen constancia en la concentración del fertilizante en el agua de riego. La regulación del caudal a inyectar debe tomar en cuenta la concentración de la solución fertilizadora, el volumen a fertilizar y el caudal de agua de riego que pasa por la línea. Por ejemplo para un riego de 3 mm y una recomendación de 10 L/ha, el equipo de fertirrigación debe calibrarse para inyectar 300 cc/m³ de solución fertilizante en el agua de irrigación. La dosis recomendada en litros por período, de solución debe adecuarse al volumen efectivo de irrigación y a los turnos de riego. Siguiendo el ejemplo, si se deben regar 5 ha por turno y el riego es de dos horas (h), el caudal necesario será:

Caudal necesario en litros/ hora = 5 ha x 10 l/2h = 25 l/h

Ubicación adecuada de los equipos

El equipo puede instalarse en las siguientes modalidades:

Conjuntos pequeños: para regar un área determinada, se pueden instalar varios conjuntos o cabezales pequeños de bajo precio unitario. Aunque el costo total resultante de la suma de las partes, puede resultar elevado respecto de la instalación de una única central de riego. Por otro lado resulta más compleja la eventual automatización, será necesario transportar el fertilizante a los distintos cabezales y la operación de cada cabezal será por separado. A manera de ventajas pueden consignarse las menores posibilidades de que resulte contaminada la red de riego y la posibilidad de realizar ajustes a los requerimientos de cada parcela.

Un conjunto en la cabecera de cada línea de riego: se aplica en montes frutales que se riegan desde la línea sin cabezales.

Conjunto de gran tamaño: ubicada en el centro de una gran área de riego. Su elevado costo de inversión, se puede amortizar en una mayor área de riego. Entre sus ventajas se puede señalar la simplificación de la operación, el ahorro de trabajo y las posibilidades de mando automatizado. Frente a ello, existe el peligro eventual de contaminación de la red de agua. Asimismo, se reduce la precisión de la distribución del producto en las distintas parcelas. La centralización admite la conducción del fertilizante desde el tanque central a los ramales de riego, a través de un conducto plástico de pequeño diámetro.

Seguridad

Cuando el establecimiento se encuentra incluido en un área de riego, el equipo fertilizador se instala después del regulador de la cuota de agua y antes del filtro. Si eventualmente se cortara el flujo de agua durante el riego, es posible que se genere rebote de la circulación y el agua de riego con fertilizante retorne a la red de abastecimiento general que provee el agua potable o a una parcela vecina donde hay un cultivo sensible. Este efecto se puede manejar a través de dos recursos: conjunto unidireccional y válvula de vacío.

Con el conjunto unidireccional se obstruye la línea cuando comienza la corriente en sentido inverso, mediante dos válvulas de cierre, con una cámara pequeña que contiene una válvula de drenaje. Con la otra posibilidad, es decir la válvula de vacío, se introduce aire a la tubería, y se neutraliza la aspiración del agua que ocasiona la corriente de retorno. La conducción del agua por un codo ubicado a tres metros de altura, portador en la parte superior de una válvula de vacío, ubicada más alto que cualquier punto regado, impedirá la corriente inversa al introducir aire en la tubería. Dado el peligro de que ocurra ello, deben adoptarse todas las precauciones, comenzando por la planificación, instalación y sobre todo durante su uso. Las precauciones incluyen carteles de prevención claros y visibles, que llamen la atención de los operarios y personal que utiliza el equipo, para que no beban agua.

Mandos y control

Estos incluyen: válvulas hidráulicas y eléctricas, medidores al paso, válvulas de comando y también sistemas comandados por computadoras. A continuación se describen algunas de las funciones exigidas y los métodos de comando existentes.

El tanque de circunvalación, se trata de un equipo que incluye un reloj en el cual se

fija el tiempo de espera y que da la orden de apertura a una válvula eléctrica que a su vez abre una válvula hidráulica. Se necesita una batería para suministrar electricidad. Otro tipo de mando menos preciso, es un aspersor pequeño al que se le suministra una pequeña cuota de agua a través de un medidor de paso, que es el que determina el tiempo de espera. El equipo fertilizante se pone en funcionamiento al cerrarse el medidor de tiempo.

* Otro tipo es compuesto por varios tanques, con corriente de circunvalación, se dispone de tantos tanques como turnos de riego. Antes de cada tanque se instala la válvula que abrirá un nuevo turno. La apertura “conforme al tiempo” y cerrado hidráulico “conforme a cantidad” es destinada, generalmente, a las bombas de inyección. La apertura se efectúa como en el caso anterior; en el tubito de abastecimiento del agua a la bomba, se coloca un pequeño medidor de paso, en el que se fija una cierta cantidad de agua de acuerdo con la relación agua/fertilizante requerido según la bomba. En el tubito de abastecimiento de agua se instalaran tantos pares de válvulas y medidores de paso como la cantidad de turnos de riego. Cada vez se abrirá una nueva válvula al cerrarse la anterior, de acuerdo con la cantidad aplicada. Apertura y cierre “conforme al tiempo” está destinado a la bomba de inyección usada en el sistema, comandada conforme al tiempo, como en los invernáculos, especialmente en turnos cortos. También es posible la combinación de comando, tiempo y cantidad. El comando del grupo fertilizador como parte del sistema electrónico - operación del equipo por intermedio de válvula eléctrica, que a su vez hace funcionar una válvula hidráulica. Las posibilidades de operación son muy diversas, comenzando por el comando conforme a tiempo, la fertilización superpuesta con riego, el comienzo de fertilización pasada una cierta cantidad de agua y la conclusión antes que pase una cierta cantidad para agua de lavado. Instrumentos perfeccionados, posibilitan fertilizar conforme a la concentración programada de sales en el agua. El comando, conforme a la cantidad, se basa sobre el medidor de agua provisto de un impulso eléctrico. Cuando el medidor de agua está instalado a la entrada de la bomba de inyección, el agua de operación es la medida y hay un cierto error, pues no se mide directamente el fertilizante. Cuando se mide la solución fertilizante inyectada se consigue mayor precisión. En este caso el medidor de agua es de acero inoxidable y elementos inertes, y ha sido preparado para obtener impulsos eléctricos que llegan a la central de comando, donde se hacen los cálculos y se dan las órdenes correspondientes para la apertura y cierre del equipo fertilizador. La bomba comienza su operación por uno de los caminos corrientes. Se llena el tanque con la cantidad exacta de la solución fijada y cuando se agota la solución, se interrumpe el trabajo de la bomba en forma automática. En la bomba con motor de agua, la bomba deja de funcionar por el vacío provocado, en cambio en el caso de motor de combustión o eléctrico, se silencia el motor por medio de una perita eléctrica sumergida en el tanque en posición vertical mientras haya solución y llega a la posición horizontal con el vaciado, lo que detiene el motor. Conclusión: debe prestarse la debida atención al elemento de comando en la operación total del sistema. Cuando se utiliza solución preparada (fertilizante líquido), éste se almacena en grandes recipientes (2,5; 5 ó 10 m³) y se transvasa a recipientes pequeños para la operación diaria. Un equipo móvil remolcado por un tractor contiene: soporte, recipiente de operación, bomba y unidad de movimiento.

Controles automáticos

El control cada vez más preciso del fertirriego evoluciona de la mano de la experiencia y de la evolución de la tecnología aplicada. El mercado ofrece una amplia variedad de

sofisticados medios de mando, muchos del tipo electrónico y que permiten el control en dos aspectos:

Dosificación: la cual puede ser cuantitativa (fija) o proporcional al agua de riego.

Duración de la inyección: continua a lo largo de todo el riego, o parcial, en un periodo definido.

» Dosificación

Dosificación cuantitativa

- » Se coloca en el tanque una cantidad medida de fertilizante que se inyecta al sistema a través de los sistemas ya analizados previamente. Una caja de mandos electrónicos independiente, dosifica la cantidad de fertilizante programada para el turno de riego y registra también la cantidad de fertilizante acumulada.
- » Es posible aplicar el fertilizante en serie por medio de un equipo de mando electrónico que dosifica la cantidad programada para cada turno. La operación se lleva a cabo por medio de pulsos electrónicos, transferido del equipo de comando a la bomba de inyección, o por medio de un dosificador independiente, a través del cual fluye la solución fertilizante de la bomba. Existe también la posibilidad de dosificar el fertilizante por tiempo.

Dosificación proporcional

El motivo principal para fertilizar en forma proporcional es permitir el riego en varios turnos con caudales diferentes, o para facilitar el funcionamiento de sistemas complejos. Cuando se fertiliza en forma proporcional, se tiende a que la inyección continúe el mayor tiempo, de tal manera que el intervalo entre los pulsos sea lo más corto posible. Con la tecnología disponible puede asumirse alta precisión en la dosis de fertilizante inyectada por turno de riego en proporción directa a la lámina de agua aplicada. Las alternativas son:

- » **Sistema fijo y estable, el caudal y la presión bajo control.** Si la presión varía, el ritmo de emisión de pulsos varía en la misma proporción de tal manera que la proporción se mantiene.
- » **Sistemas variables o dinámicos, con condiciones de operación cambiantes.**

Los equipos usados para llevar a cabo estos procesos son los siguientes:

- » **a) Bombas independientes:** funcionan sobre la base de un pulso proveniente de una válvula volumétrica o caja electrónica que recibe también pulsos de bombas de fertilizantes, en las que se fija la relación requerida. Se adaptan a fertilización continua.
- » **b) Bomba incorporada al equipo de mando electrónico de riego:** el equipo recibe los pulsos de la válvula volumétrica operando según las instrucciones fijadas, registrando las cantidades de fertilizante acumuladas. Los mandos para la recepción de la relación de dilución requerida se emiten en unidades de cantidad de fertilizante por cantidad de agua a aplicar.
- » **c) Dosificador:** A los efectos de obtener una mayor exactitud en la dosificación, se acostumbra incluir un accesorio adicional, el dosificador, que va instalado antes del inyector o bomba fertilizante.

TRANSPORTE Y MANIPULEO DE FERTILIZANTES FLUIDOS

» Oscar Lopez Matorras, Pablo Poklepovic; y Martín Torres Duggan

El sistema de distribución de fertilizantes fluidos 136

Transporte y almacenamiento 137

» Puertos 137

» Logística. Medios de transporte 138

» Logística a nivel de distribuidor minorista 139

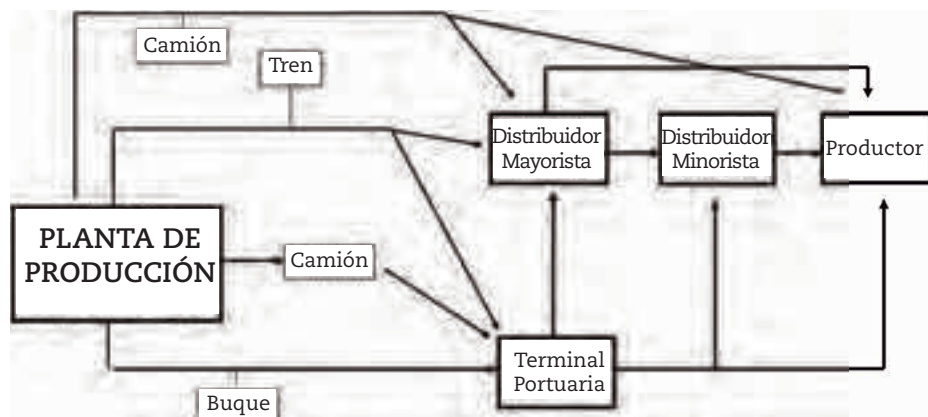
» Logística a nivel de campo..... 141



El sistema de distribución de fertilizantes fluidos

El mercado de fertilizantes en la Argentina está integrado por una red de distribución minorista que se encuentra en contacto directo con empresas agropecuarias que demandan los fertilizantes (Garre et al. 2012). A su vez, los distribuidores minoristas adquieren los fertilizantes a partir de la compra a las empresas mayoristas (productoras, importadoras y/o comercializadoras de fertilizantes). En la Figura 1 se muestra un esquema simplificado del sistema de distribución de fertilizantes fluidos, donde se indican algunos circuitos logísticos posibles.

Figura 1. Esquema simplificado de distribución de fertilizantes fluidos.

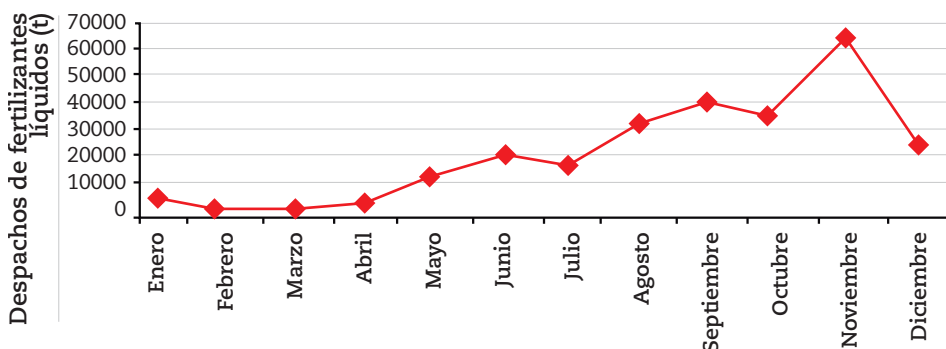


Como se observa, el fertilizante puede seguir diferentes circuitos de distribución desde la planta de producción o desde terminales portuarias donde es importado. Así, por ejemplo, desde la planta de producción se puede despachar el fertilizante hacia terminales portuarias (donde se puede almacenar y/o redistribuir hacia distribuidores mayoristas, minoristas, o directamente al campo). También es habitual que se realicen despachos directos desde la planta de producción al campo.

Las empresas más profesionalizadas, en términos generales, programan sus despachos de acuerdo a la demanda esperada para cada campaña de ventas. La estacionalidad de la demanda de fertilizantes fluidos es diferente al de los fertilizantes sólidos. Los fertilizantes sólidos en general presentan dos momentos o picos de demanda bien diferenciados vinculados con la siembra de cultivos de invierno (trigo, cebada) y de verano (maíz, soja, girasol). Por el contrario, la demanda de fertilizantes fluidos en una determinada región depende de la configuración de cultivos en donde se demandan éste tipo de fuentes, en general en cultivos de ciclo estival, en donde la menor pérdida de nitrógeno por volatilización de amoníaco constituye una ventaja diferencial en relación a otras fuentes. En la Figura 2 se muestra el patrón de abastecimiento de fertilizantes líquidos en la Argentina. Como se puede observar, existe una fuerte concentración de la demanda en el segundo semestre del año y en especial en el último trimestre, asociado a la mayor demanda de UAN y mezclas de UAN con TSA en cultivos de verano (principalmente maíz) en relación a cultivos de ciclo invernal (trigo, cebada). El pico de despachos se presenta normalmente entre el 20 de octubre y el 15 de noviembre. La mayor concentración de la demanda en los meses de octubre y noviembre requiere

de un gran esfuerzo logístico para poder cubrir la demanda, que en general se logra a partir de la producción local, como así también de las importaciones. La cantidad de fertilizante importado se va ajustando a la demanda esperada, el remanente de fertilizante del año anterior (carry over) y la capacidad de producción local.

Figura 2. Estacionalidad en la distribución (despachos) de fertilizantes líquidos (UAN y mezclas de UA con TSA) en la Argentina (Fuente: Bunge).



Transporte y almacenamiento

» Puertos

Si bien la Argentina cuenta con una industria de fertilizantes líquidos, el mercado extranjero constituye un origen importante. Los fertilizantes fluidos llegan a través del transporte marítimo, mediante buques tanques. Los más comunes tienen una capacidad de 16.000 a 25.000 t. La descarga en puerto se realiza con bombas que poseen los mismos buques, que tienen una capacidad aproximada de 1000 t/h. Estas bombean el producto a través de ductos (cañerías de hierro aéreas o subterráneas), que lo conducen hasta las estructuras de almacenamiento del puerto. Posteriormente se distribuyen a los distintos tanques utilizando mangueras de goma caucho, siempre ingresando por la parte inferior de los mismos, para evitar la formación de espuma. Los principales puertos que están operando actualmente en el país son: San Lorenzo, Rosario, San Nicolás, Necochea y Bahía Blanca (Garré et al. 2012). El puerto de Rosario es el complejo más extenso, con un total de 65 ha, comprendiendo 1620 metros de muelles, 30.000 m² de galpones para almacenamiento de cargas múltiples y 33 km de vías férreas. También cuenta con un área de almacenamiento fuera del área de atraque de 3000 m² e instalaciones fuera del área portuaria (Terminal 1 y Terminal 2, Norte y Sur).

La descarga desde estos tanques se realiza a través de un sistema de bombeo de la propia planta. El dimensionamiento del sistema depende de la capacidad de los tanques y del distanciamiento de los mismos hasta la zona de carga de camiones. De acuerdo a la capacidad de las bombas, se puede cargar un camión en 17 a 20 minutos. Desde el tablero de control ubicado en el área de carga un operario puede dirigir la carga de uno o varios equipos, como así también cargar diferentes productos e.g. tiosulfato de amonio y UAN en las proporciones deseadas.

Los depósitos primarios ubicados en las terminales portuarias suelen poseer tanques de chapa de 3.000.000 a 5.000.000 L cada uno. Suelen de ser de chapa de acero al carbón y son de uso exclusivos para fertilizantes líquidos (Figura 3).

Figura 3. Tanques de almacenamiento primario para UAN en terminales portuarias.



Estos tanques suelen necesitar una limpieza entre campañas ya que la acción corrosiva del fertilizante suele producir una cantidad de herrumbre que se deposita en el fondo de los tanques. Si se trata de tanques de materiales plásticos o de fibra de vidrio, el tiempo de almacenamiento no debiera ser una limitante, ya que el producto no se degrada, por tratarse de soluciones verdaderas. Aun así, habitualmente se observa que en ciertas zonas y durante el invierno, el producto que se expone varios días a temperaturas por debajo de la temperatura de cristalización puede formar cristales en las paredes y en el fondo de los mismos. En el capítulo de “Plantas de almacenamiento y despacho de fertilizantes fluidos” se describe en detalle los diferentes tipos de estructuras para el almacenamiento de fertilizantes fluidos y su comportamiento frente a la corrosión.

» Logística. Medios de transporte

Como se mencionó antes, el fertilizante fluido puede seguir diferentes circuitos logísticos durante el proceso de abastecimiento hacia el destino final. El principal medio de transporte utilizado en la Argentina para el transporte de fertilizantes fluidos ya sea desde planta de producción o desde las terminales portuarias hacia los distribuidores y/o al destino final es el camión cisterna, que presenta una capacidad aproximada de 30 t (Figura 4). La infraestructura de transporte de fertilizantes líquidos y sólidos en la Argentina no ha seguido una evolución equivalente al crecimiento de la producción de granos, ni del propio consumo de fertilizantes, con lo cual se está convirtiendo en una limitación del propio sistema. De hecho, se considera que el desarrollo en infraestructura caminera, ferroviaria y de vías fluviales, presenta un retraso significativo,

que debería mejorarse en el corto y mediano plazo, para poder hacer frente a los aumentos en la producción de granos y de insumos que se proyectan para el mediano y largo plazo. Esto es un aspecto diferencial respecto de países como EE.UU, donde la mayor parte del transporte de fertilizantes líquidos se realiza por ferrocarril, vías fluviales y/o ductos (en el caso del N anhidro), que son medios de transporte muy eficiente y que generan además menor contaminación.

Figura 4. Camión cisterna para el transporte de fertilizantes líquidos



» **Logística a nivel de distribuidor minorista**

Los elementos básicos que disponen los distribuidores minoristas para proveer fertilizantes líquidos y servicios de aplicación a los productores son:

- » **Tanques de almacenamiento rotomoldeados, con una capacidad de 30.000 t**
- » **Carritos para el transporte de tanques rotomoldeados vacíos para dejar en los campos**
- » **Pulverizadoras autopropulsadas para ofrecer los servicios de aplicación**
- » **Bombas y elementos para la carga/descarga de fertilizante desde y hacia los tanques/equipos aplicadores**

En la Región Pampeana, donde la aplicación de fertilizantes fluidos se realiza a partir de máquinas pulverizadoras autopropulsadas, el productor puede prescindir de instalaciones específicas, ya que la agilidad de aplicación muchas veces permite al camión cisterna ir aprovisionando al equipo aplicador hasta terminar la superficie de aplicación. De esta manera el mismo camión hace de ‘tanque provisorio’ de almacenamiento. Si no fuera posible (cuando se deben aplicar grandes superficies) o el camión no puede esperar durante toda la operación de aplicación, existen alternativas económicas de almacenamiento “en chacra” como los tanques rotomoldeados, que muchas veces son provistos por los mismos distribuidores y tienen una vida útil de aproximadamente 8 años (Figura 5).

»Recomendaciones para evitar el deterioro de la calidad del polifosfato de amonio (APP) durante el almacenamiento

Adaptado de Leikam (2007)

Uno de los principales problemas de manejo de la calidad del APP es el riesgo de deterioro de la calidad durante el almacenamiento. Una vez formados, los polifosfatos se hidrolizan (se rompen las cadenas), reduciendo la capacidad del APP de “secuestrar” cationes, ya sea las impurezas presentes en el ácido fosfórico utilizado como materia prima en la síntesis del APP o micronutrientes que se pueden haber agregado en la planta de fertilizantes o en el mismo campo. Existen diversos factores que inciden en la generación de precipitados (sludges) durante el almacenamiento: cantidad de polifosfato inicialmente presente; contenido de impurezas del material; temperatura del producto almacenado; pH de la formulación en almacenamiento; tiempo de almacenamiento; otras “impurezas” agregadas, en especial micronutrientes. Como gran promedio, el contenido de polifosfatos del APP se reduce 1% por mes con temperaturas menores a 32°C, siendo considerablemente más rápida a temperaturas más altas. A continuación se presentan algunas recomendaciones para evitar y/o minimizar el deterioro de la calidad del APP durante el almacenamiento, ya sea a nivel de distribuidores y/o en el campo:

- » No almacenar APP más tiempo del necesario. Dejar los tanques lo mas vacíos posible luego de cada campaña. Cuando el producto se almacene en chacra (establecimiento agropecuario), lavar los tanques luego de almacenamiento, luego de aplicado el producto, como así también los equipos de aplicación, bombas, etc.
- » Evitar el almacenamiento durante el verano, ya que se incrementa notablemente la velocidad de hidrólisis y el deterioro subsiguiente de la calidad del producto. En caso de que se aplique el fertilizante en esta estación del año, minimizar el tiempo de almacenamiento y realizar un buen mantenimiento de todo el sistema de distribución y aplicación.
- » Remover los residuos (precipitados acumulados en el fondo de tanques) todos los años y lavar los tanques.
- » Muestrear y analizar en laboratorio la calidad del APP remanente en tanques antes de agregar nuevo APP. Conociendo las características del mismo (e.g. pH, densidad, contenido de polifosfatos, % de N, % de P y haciendo una adecuada inspección visual del producto, se pueden evitar problemas potenciales de calidad).
- » Evitar la contaminación del APP con impurezas que pudieran afectar la calidad físico-química del mismo. Nunca manipular fertilizantes que contengan Ca o Mg en las plantas de formulación. Incluso una pequeña cantidad de estos cationes puede causar una intensa precipitación y deterioro de la calidad del producto. Tampoco transportar y/o manipular APP sobre equipamientos que tuvieron fuentes de Ca o Mg.

Figura 5. Tanques rotomoldeados utilizados para el almacenamiento de fertilizantes líquidos en plantas de distribución minorista y a campo.



Estos tanques son portátiles y pueden trasladarse por medio de un tráiler desde la planta de distribución al campo (Figura 6).

Figura 6. Trailer utilizados para el transporte de tanques rotomoldeados (imagen gentileza, Máximo Uranga)



» Logística a nivel de campo

La etapa final del proceso de abastecimiento de los fertilizantes líquidos corresponde al despacho del producto al campo y su aplicación. En la Figura 7 se presenta el sistema de equipos que intervienen en la operatorio que va desde la recepción del fertilizante en el campo (a través de camiones cisterna) hasta su aplicación (a través de pulverizadoras automotrices).

Una vez recibido el fertilizante en el campo, el producto se puede descargar directamente en la pulverizadora y el camión espera que se termine de aplicar (esto depende de la superficie a fertilizar) o bien se almacena en un tanque rotomoldeado ubicado en algún sitio del establecimiento. Estos tanques se instalan y se dejan varios años en el campo. En éste último caso, el fertilizante se descarga del tanque y con la ayuda de

una motobomba, se carga en la pulverizadora, que es el principal equipo utilizado para aplicar fertilizantes líquidos en la Argentina.

En términos generales, la inversión en infraestructura para el almacenamiento y aplicación de fertilizantes líquidos no resulta en una gran barrera de entrada para la utilización de fertilizantes líquidos, sobre todo en sistemas de producción con escala suficiente. Asimismo, una vez establecido el sistema logístico, el productor rápidamente comienza a aprovechar la mayor capacidad operativa y la gran flexibilidad en términos de momentos de aplicación, tanto previo a la implantación o dentro del ciclo del cultivo.

Figura 7. Equipamiento de logística utilizado para el manipuleo, almacenamiento y aplicación a campo de fertilizantes líquidos. De izquierda a derecha: camión cisterna con acoplado, pulverizadora autopropulsada, tráiler con tanque rotomoldeado y camioneta (imagen gentileza Máximo Uranga)



PLANTAS DE ALMACENAMIENTO Y DESPACHO DE FERTILIZANTES FLUIDOS

» Carlos Octtinger y Ricardo Melgar

Instalaciones comerciales.....	144
Diseño y disposición de los elementos de una planta.....	144
Tanques de almacenamiento	145
» Tanques metálicos	145
» Tanques no Metálicos	146
Plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV)	146
Poliétileno	147
Instalación de los tanques.....	147
» Tipos de tanques de almacenamiento	149
» Protección de tanques	150
Estructuras de contención secundaria.....	150
» Cálculo de las dimensiones de un área de contención secundaria.....	151
» Bandejas	153
Áreas de carga.....	153
Manejo de la corrosión	154
» La corrosión según el material	154
» Corrosividad	155
» Técnicas para prevenir la corrosión.....	156
Equipos para manipulación de fluidos, soluciones y ácidos.....	157
» Balanzas y despacho volumétrico.....	158
» Bombas Centrífugas.....	158
» Válvulas Esféricas	159
» Tuberías y mangueras.....	160
Almacenamiento local	160
» Estructuras menores de almacenamiento y transporte.....	160
Materiales para almacenar fertilizantes líquidos.....	163
Elementos de seguridad	167
» Seguridad y extinción de incendios:	167
» Carteles para advertencia/precaución:	167



Instalaciones comerciales

Por el alcance de este manual no nos ocuparemos de las grandes estructuras de almacenamiento y despacho de las plantas de producción de fertilizantes o terminales portuarias, enfocándose principalmente en las de la cadena comercial que comprenden comercios específicos, plantas de acopio de granos, manejadas por distribuidores independientes, cooperativas o acopios de granos.

El 85% del volumen de fertilizantes líquidos que se comercializa en Argentina es a través de distribuidores y todo a granel. Las estructuras de almacenamiento son tanques de diferentes volúmenes, pero básicamente tanques plásticos de 25 m³. Una parte significativa del volumen de fertilizantes líquidos se despacha directamente al campo del productor agropecuario sin pasar por los tanques del distribuidor.

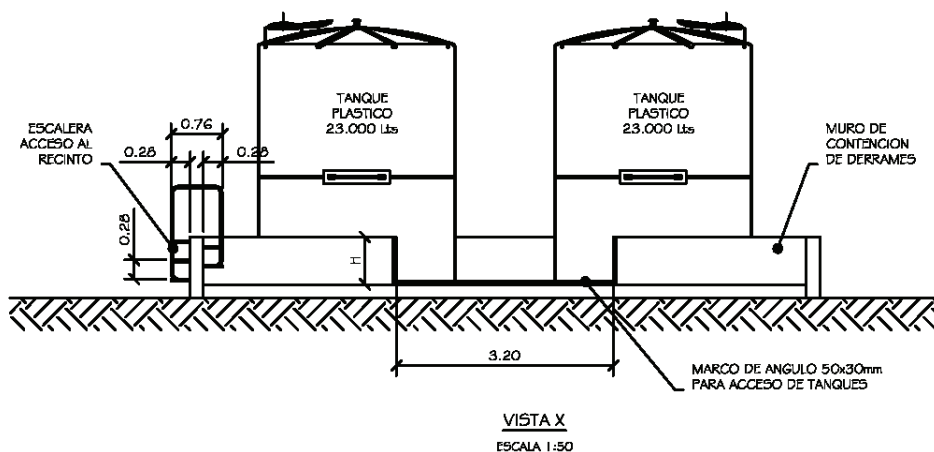
Normalmente, en el sistema de distribución local, los productos no se mezclan en las instalaciones de los distribuidores sino que son solo almacenados en dichos sitios. Actualmente los distribuidores de fertilizantes fluidos en la Argentina no realizan mezclas de fertilizantes en las plantas de distribución. Las mezclas las efectúan las empresas comercializadoras en las plantas de producción, de donde son despachadas hacia los distribuidores.

Diseño y disposición de los elementos de una planta

Las instalaciones básicas de una planta de distribución comercial constan de uno, dos o más tanques plástico, metálicos o PRFV de capacidad variable, con sus cañerías correspondientes, una bomba de carga y descarga y una pileta de contención que proteja a las instalaciones ante algún posible derrame.

Además del número variable de tanques, pueden existir bombas de trasvase, caudalímetros y sistemas de entrega por volumen. La Figura 1 muestra una instalación típica de dos tanques.

Figura 1. Instalación de dos tanques de almacenamiento con estructura secundaria de contención.



Tanques de almacenamiento

Los tanques son una componente fundamental en el proceso logístico que comprende desde la producción y/o importación hasta el despacho al productor agrícola, sirviendo para el almacenamiento de las soluciones fertilizantes en las diferentes etapas del proceso de abastecimiento.

Se utilizan muchas clases de materiales para la construcción de estos tanques multiusos. Los materiales utilizados más frecuentemente para los tanques son acero al carbono, acero inoxidable, aluminio, fibra de vidrio y plásticos o poliolefinas, (polietileno, PVC, etc.), estos últimos reforzados por fibra de vidrio o fibras de poliéster. Cada tipo de material tiene sus ventajas y desventajas, y su elección dependerá del balance entre las mismas, además de la disponibilidad local, ya que el transporte de estas unidades es costoso. Vale la pena comentar que las relaciones de costos de cada material son amplias: un tanque de acero inoxidable cuesta el triple que uno de plástico con fibra de vidrio, mientras uno de acero al carbono recubierto cuesta un 50% más.

El tamaño máximo de los tanques se define por el diámetro máximo que permite circular por las rutas sin permisos y medios especiales de transporte. Cuánto más grande es el tanque menor es su costo por unidad de volumen. Los tanques deben tener un agujero de hombre para acceso por mantenimiento y limpieza, dos válvulas de descarga, una de ellas operativa y la otra instalada más abajo para extraer precipitados, residuos y suciedad que se deposita en el fondo del tanque. En el caso de que se almacenen suspensiones líquidas, el fondo del tanque debe ser cónico, con la descarga en el fondo del cono. Según la estabilidad de la suspensión puede ser necesario incorporar sistemas de agitación que puedan ser agitadores mecánicos, inyección de aire por un caño perforado cerca del fondo o directamente por recirculación con la bomba de carga/descarga.

Un elemento importante de los tanques de almacenamiento es un dispositivo que debe instalarse en el techo del tanque para descargar el aire en el proceso de llenado y evitar la formación de vacío durante el vaciado. Numerosos tanques han colapsado por falta o falla de este dispositivo. El mismo puede ser un simple caño con la descarga apuntando al piso o preferentemente una válvula de alivio de presión vacío. Es conveniente inspeccionar periódicamente dichas válvulas porque las avispas y las abejas e inclusive aves las utilizan para anidar obstruyendo el pasaje de aire y provocando el colapso del tanque.

Un factor importante a tener en cuenta es que las soluciones fertilizantes tienen una densidad que puede alcanzar 1,32 kg/L (e.g. UAN 32) o superior, determinando que la columna de líquido sea mucho más pesada que el agua, lo que genera mayores esfuerzos sobre la pared de los tanques, provocando fallas, en algunos casos catastróficas, en tanques de polietileno mal soportados o diseñados originalmente para agua. El manejo de tanques de acero al carbono recuperado diseñado para combustibles líquidos debe ser muy cuidadoso. En estos tanques la presión sobre la pared cercana al fondo del tanque soportaría una presión estática 60% a 70% superior que cuando se almacena gasoil o nafta. Por lo tanto, un tanque para hidrocarburos destinado a fertilizantes líquidos solo podría llenarse al 55 a 60% de su nivel.

» Tanques metálicos

Los tanques de acero al carbono que se utilizan presentan un tamaño de 9 m³ a 140 m³, pueden ser tanques horizontales o verticales de techo cónico y fondo plano. Los verticales, son los más populares, éstos suelen ser más económicos, pero están más

expuestos a daños por efecto del viento cuando se encuentran vacíos. Para evitar esto, es necesario prever un anclaje adecuado a la base de hormigón armado en la que se asienta el tanque.

Los accesorios de los tanques de acero al carbono deben tener conexiones y accesorios de roscadas de acero inoxidable o de plástico para prevenir la corrosión.

Mantener los tanques de acero al carbono llenos a su máxima capacidad o con una capa de aceite flotante en la parte superior del líquido puede prolongar su vida útil. Si estos depósitos se utilizaran para almacenar fertilizantes ácidos, se requiere un revestimiento de goma.

Los tanques de aluminio son satisfactorios para el almacenamiento de soluciones nitrogenadas. Sin embargo, fertilizantes que contengan fosfatos almacenados en tanques de aluminio acortaran la vida útil del tanque. No es necesaria una capa protectora si se almacenan soluciones nitrogenadas.

» Tanques no Metálicos

Los tanques de plástico reforzados con fibra de vidrio (PRFV) y los de polietileno de alta densidad (PEAD) bi-capa fabricados por moldeo rotacional se utilizan cada vez más para el almacenamiento de fertilizantes líquidos, aplicando nuevos y mejores materiales, como así también el desarrollo de nuevas técnicas de fabricación, tanto para los tanques de polietileno como los de PRFV. El uso de resinas más resistentes y técnicas de aplicación de la fibra de vidrio han permitido mejorar tanto la resistencia mecánica como la resistencia a la corrosión, prolongando considerablemente la vida útil.

Plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV)

Los PRFV suelen llegar a una capacidad de 130 m³, pero en Argentina son muy utilizados los tanques de 100 m³. El FRPV es un polímero formado por una matriz plástica reforzado por fibra de vidrio. La fibra es un material de bajo peso y robusto. Su resistencia mecánica es menor a la de la fibra de carbono e inclusive menos rígido, es mucho menos quebradizo y mucho más económica. Sus propiedades, medidas por unidad de volumen se comparan favorablemente con las de los metales, y resulta muy fácil darle la forma apropiada de acuerdo al molde elegido. La matriz plástica puede ser epoxi, o un plástico termoestable como el poliéster.

El laminado dual o bi-capa es un proceso por el cual la capa interior se puede hacer con un material de diferentes propiedades, para resistir mejor el ataque del líquido contenido. Esta capa es rica en polímero y utiliza un tipo de fibra de vidrio diferente. Su espesor llega a 2,3 mm, y no contribuye a la resistencia mecánica del tanque.

Para la construcción de tanques se utilizan resinas termoestables (no se deforman con el calor). Las resinas más usadas son basadas en epoxi, poliéster, esteres vinílicos y furanos. La fibra de vidrio puede agregarse a varios tipos de plástico, se ha visto que para fertilizantes líquidos se utiliza como refuerzo del poliéster y del polipropileno.

La resistencia mecánica de estos materiales es directamente proporcional a la carga de fibra de vidrio y a la longitud de dichas fibras. En tanto la resistencia a la corrosión y al ambiente, depende del tipo y la concentración de la resina.

Los tanques de fibra de vidrio pueden almacenar ácido fosfórico, mezclas líquidas y otros materiales corrosivos sin problemas. Si se almacenan ácidos, debe consultarse al fabricante sobre las resinas utilizadas con la fibra de vidrio.

Polietileno

Para tamaños menores se utilizan los tanques de Polietileno de Alta Densidad (PEAD), roto moldeados con capacidades de 25 a 26 m³.

En el caso de los tanques de polietileno, el desarrollo de resinas y paquetes de aditivos, como la técnica de moldeo rotacional bi-capa, ha determinado que los tanques de polietileno constituyan la primera opción económica para tanques de tamaño mediano, hasta 30.000 L.

Tienen una relación altura/diámetro baja y un suncho reforzador. El medidor de nivel tiene lectura correcta, esto significa que cuando el tanque está lleno el indicador está al tope evitando errores operativos por confusión. Los accesorios son de acero inoxidable.

Los tanques de Polietileno de Alta y Media densidad producidos por rotomoldeo son los más comunes en Argentina por su disponibilidad y economía. Normalmente tienen 25 m³, capaces de almacenar hasta 30 t de fertilizante líquido, que complementa muy bien con la capacidad de carga de los camiones tanque que lo transportan desde las plantas de producción o desde los puertos. Estos tanques son de bajo costo, aunque tienen una vida útil limitada a 7 u 8 años. La ubicación de estos tanques es muy versátil, pudiéndose colocar en las plantas de distribución, o en sectores estratégicos de los establecimientos agropecuarios, solo se necesita un terreno liso, con leve pendiente hacia la descarga y accesos apropiados. Tienen además facilidades para moverlos de acuerdo a las necesidades del productor agropecuario.

Para prevenir roturas de los tanques es muy importante un buen anclaje para evitar daños por acción de vientos fuertes, cuando los tanques están vacíos, para ello se utilizan las agarraderas de elevación.

Estos tanques se utilizan durante períodos cortos ya que la fertilización tiene una alta estacionalidad, por lo que este aspecto debe tenerse muy en cuenta cuando se define la capacidad de almacenaje a proveerle a cada agricultor.

Figura 2. Tanques de gran capacidad para el almacenamiento de fertilizantes líquidos en plantas de distribución



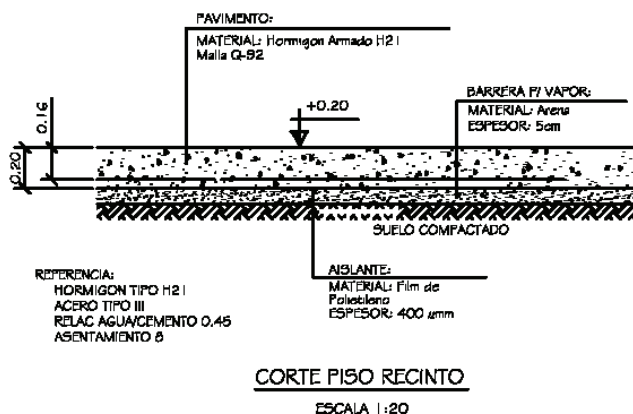
Instalación de los tanques

Todos los tipos de tanques deben asentarse en fundaciones a nivel, pero muy especialmente aquellos de fondo cónico o de fibra de vidrio. Es importante realizar un muy

buen anclaje del tanque a la fundación para evitar daños por el viento cuando está vacío. Una base de roca triturada es muy conveniente para crear una base porosa que permita que el agua y producto derramado lo derive fuera de la base del tanque, reduciendo así la corrosión.

La Figura 3 muestra la base de un depósito económico y eficaz para tanques de fondo plano. Una buena fundación del tanque puede ser asentarlo sobre una viga circular o una plataforma, ambas de hormigón armado. En el caso de la viga circular el hueco interior puede rellenarse con arena. La fundación de este tipo no se recomienda para la fibra de vidrio, poliolefinas o tanques cuya parte inferior es cónica; éstos deberían fijarse a los cimientos de hormigón reforzados con acero. Los tanques de fibra de vidrio se rompen fácilmente si se colocan mal, inclinados, o si la fundación no es adecuada. Además los tanques de base cónica pueden caerse más fácilmente debido a su centro de gravedad más elevado.

Figura 3. Base de un depósito de fertilizantes fluidos.



La parte inferior de los tanques de acero y la parte superior de la fundación deberían recubrirse con epoxi, alquitrán, pintura o algún material adecuado para evitar la corrosión. Antes de hacer la fundación, es importante que el suelo del sitio sea compactado a alta densidad. Todas las fundaciones deben ser al menos tan anchas como el área del tanque.

Debido a la importancia de la prevención de la contaminación, todos los tanques deben estar ubicados en estructuras de contención secundaria, que se describen más adelante. Los tanques deben anclarse para impedir que floten cuando estén vacíos. La preocupación es que otros tanques en la contención pueden perder producto de tubería dañada o pueden romperse de colisiones con el tanque flotante. La forma más sencilla de tanques de anclaje es soldar los soportes de tres o más para el depósito de los lados donde unen el piso. Cada soporte, a continuación, está atornillado al hormigón con pernos de anclaje. Se pueden utilizar cadenas y cables de amarre con los soportes soldados sobre el fondo del tanque

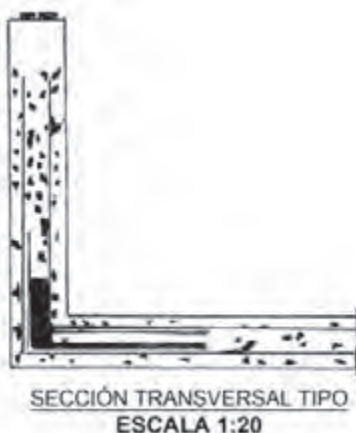
El buen anclaje de tanques es una práctica que a menudo se descuida cuando los tan-

ques se colocan dentro de las estructuras de contención secundarias. Cuando un tanque está vacío o levemente cargado dentro de ésta estructura secundaria, existe riesgo de que por alguna circunstancia la estructura se llene por daños en otro tanque y se genere fuerza de flotabilidad que empuja el tanque vacío o apenas cargado hacia arriba. Los tanques que son de plástico o fibra de vidrio son muy livianos y por lo tanto muy vulnerables a la flotación forzada.

Una pendiente de 2%, que es lo normal para las áreas de carga y descarga de piso de concreto, puede reducirse a 1% en los pisos del área de contención secundaria porque el contacto con el fertilizante es mucho menos frecuente que en las áreas operativas. Los muros de contención pueden ubicarse sobre losas flotantes, que son comunes en zonas más frías donde las heladas en profundidad son tales que se hacen necesarios cimientos profundos.

Los distribuidores sin experiencia en construcción, deben asegurarse el servicio de un contratista experimentado en concreto impermeable. En la Figura 4 se muestra una típica contención secundaria con anclajes.

Figura 4. Sección transversal del piso y pared. Referencias: Hormigón H-21. Acero Malla SIMA Q -336, 15 x 15 cm. Relación W/Q: 0,45; Recubrimiento mínimo: 5 cm, máximo: 13 cm.



También pueden utilizarse bloques de hormigón para armar los muros de contención secundaria. Para soportar las cargas previstas, las paredes de bloque deben reforzarse con acero y rellenos de hormigón. También se debe utilizar algún tipo de sellador ya que los bloques de concreto no son estancos. Antes de la puesta en marcha de la planta se debe hacer un control exhaustivo de fugas y verificar las válvulas de alivio de presión vacío.

» Tipos de tanques de almacenamiento

Las soluciones nitrogenadas se almacenan generalmente en tanques de fondo plano de acero al carbono, plástico, con o sin fibra de vidrio, o aluminio. Las soluciones amoniacales generalmente se almacena en los mismos tipos de tanques que se utilizan para soluciones nitrogenadas. Estos depósitos deben ser cubiertos y capaces de soportar una presión de 1,35 bares (135 kPa) por encima de la presión del líquido en el tanque. Estos

depósitos deben estar equipados con válvulas de alivio de dos vías (presión y vacío).

Las soluciones de fosfato de amonio pueden almacenarse en tanques con fondo plano, hechos de acero inoxidable, plástico reforzado con fibra de vidrio o acero al carbono. Las soluciones de fosfato de amonio y de polifosfato de amonio (APP) reaccionan con el acero al carbono para formar una película de fosfato ferroso en las paredes del tanque, que lo protege de mayor corrosión. Los tanques de acero al carbono pueden forrarse con goma o neopreno para evitar la corrosión y prolongar la vida útil.

» Protección de tanques

Existen buenas prácticas de tratamiento y cuidado de los tanques de acero al carbono, que permiten extender su vida útil. El recubrimiento interior adecuado en su selección y aplicado es clave para lograr este objetivo. Lo más importante, una vez seleccionado el material para revestir, es un adecuado tratamiento de la superficie y la eliminación de hendiduras en la conexión de accesorios como agujeros de hombre y bridas, ya que en esas hendiduras puede no penetrar bien el recubrimiento generando centros de corrosión acelerada. Es necesario arenar a fondo la superficie del tanque, hasta que el hierro se vea gris o inclusive blanco. El revestimiento debe tener entre 0,1 y 0,2 mm.

Los fabricantes entregan los tanques pintados con anti óxido, el pintado definitivo debe hacerse con pintura resistente a los fertilizantes a almacenar. Los tanques son pintados una vez completada el montaje y la instalación del resto de la planta para evitar daños a la pintura durante este proceso.

Los tanques de plástico se fabrican con capa interior de polietileno de alta densidad, sin pigmentos, lo que le otorga una superior resistencia a los ataques químicos que la de los polímeros coloreados. Además permite una inspección más rápida y sencilla.

La capa exterior es realizada en polietileno de alta densidad compuesto, con aditivo para protección contra los rayos ultravioletas que degradan al polímero. Esto le brinda una mejor protección a la intemperie y/o atmósferas corrosivas.

Estructuras de contención secundaria

Una planta de despacho de fertilizantes fluidos en donde se utilizan tanques de almacenamiento requiere un muro de contención con capacidad para contener el posible derrame del volumen del tanque de mayor capacidad. Es decir, los tanque-depósitos en los que los fertilizantes líquidos se almacenan deben estar ubicados dentro de estructuras de contención cerradas hechas de hormigón que tienen más capacidad que la del propio tanque-depósito.

Estas estructuras son un sistema de almacenamiento de emergencia temporal, diseñada para retener pérdidas o derrames de tanques que contienen sustancias peligrosas. Cuando se utilizan estructuras de contención secundarias, las distancias mínimas requeridas entre tanques y demás instalaciones de la planta pueden reducirse.

El objetivo primordial es evitar que ocurran pérdidas de los fertilizantes almacenados (ya sea debido a fugas o derrames derivados de sobrellenos o caídas de recipientes) y que los mismos puedan alcanzar, contaminando el ambiente. Además, son necesarios para evitar que se mezclen productos químicos incompatibles con las consecuencias económicas que esto acarrea. Las pérdidas económicas serán tanto más importantes cuanto mayor sea el precio del producto perdido. De aquí que los medios de conten-

ción sirvan también para recuperar el producto derramado y permitir su tratamiento y re-uso.

Un sistema de contención secundario debe estar equipado con un sistema de detección de pérdidas capaz de detectar una falla, ya sea en la estructura de contención primaria (el propio tanque contenedor) o secundaria, dentro de las 24 hs o en el menor tiempo practicable. Estos sistemas pueden ser de diferentes tipos: sensores de conductividad térmica; de resistividad eléctrica ó detectores de vapores. Una inspección visual diaria puede ser un recurso de mínima para la detección de problemas.

La forma de contención más utilizada es un muro perimetral rodeando a uno o a un conjunto de tanques de almacenamiento, contruidos de material impermeable, resistente al contacto con las sustancias a retener y de suficiente robustez para que resista la presión lateral a la altura máxima del líquido que puede retener. El material de construcción más usado es el concreto u hormigón, revestido o no con membranas sintéticas. Debe poder contener al menos el 100 % o hasta el 125 % (según la regulación que existiera) del contenido del tanque más grande que existe dentro de sus límites. Cuando varios tanques grandes están dentro del mismo muro de contención, pueden instalarse opcionalmente paredes intermedias entre los tanques, para que pequeños derrames no afecten a los tanques anexos. Asimismo, si hubiera sustancias incompatibles almacenadas, los tanques o recipientes que las contengan deberán estar separados dentro de diques independientes. Es importante que el piso sea también impermeable y que exista un sellado impermeable entre el piso y las paredes del muro de contención. Se puede construir de concreto recubiertos por un material impermeable tanto para evitar pérdidas hacia el exterior como también la infiltración del agua hacia el interior. El piso normalmente tiene pendiente hacia un sumidero o bandeja donde el líquido puede bombearse hacia otro tanque o fuera de la instalación.

» **Calculo de las dimensiones de un área de contención secundaria**

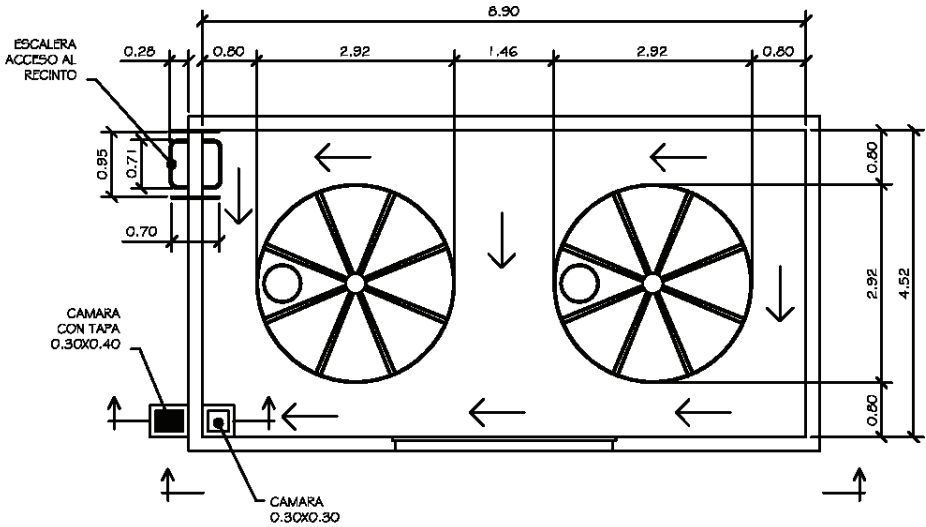
Una instalación típica tiene los tanques agrupados en uno o más grupos. Si fuera posible, los tanques deberían consolidarse en un clúster o grupo. Esto en general reduce al mínimo la altura del muro, ya que el volumen de la contención se basa en un solo tanque, el más grande. Si hay un espacio adecuado entre los tanques disminuirá la altura de la pared. En general, la mayor altura práctica para un muro de contención secundario es de 1,20 m. Paredes de mayor altura pueden resultar más baratas debido a la reducción en la superficie, pero ya alturas mayores a 1,20 m impiden el acceso del personal, aumentan el problema de flotación de los tanques, y exponen a un riesgo mayor a los empleados que trabajen dentro de la estructura.

El primer paso para diseñar el tamaño de esta estructura secundaria consiste en determinar el volumen requerido. Debe hacerse un dibujo a escala de los tanques y la contención. La zona de contención neta debe determinarse restando el área de la base de todos los tanques del área total de la zona de contención. La altura de la pared de contención se determina dividiendo el volumen requerido por la zona de contención neta. Si la pared de contención es mayor que el deseado, debe ampliarse la zona de contención.

Por ejemplo, se desea calcular la contención para dos tanques de 23.000 , con 2,92 m de diámetro y fondo plano. El área del piso de la contención tiene 4,5 m por 8,9 m y se

desea que el volumen de contención sea 125% del tanque mayor (Figura 5).

Figura 5. Vista en planta de una estructura de contención secundaria



Volumen requerido (VR) en metros cúbicos: $VR = TMV \times FF$

»Donde

TMV = tanque de mayor volumen en metros cúbicos (1000 L = 1 m³).

FF = Factor de francobordo, 1,1 para 110% ó 1,25 para 125%

»En este ejemplo,

$$VR = 23 \text{ m}^3 \times 1.25 = 28,75 \text{ m}^3$$

Área de contención neta (ACN) en metros cuadrados

ACN = área Total - área de los tanques

$$ACN = (4,52 \times 8,90) - ([2,92/2]^2 \times 3,1416) = 40,23 - 6,73 = 33,50 \text{ m}^2$$

»Nota: Se considera el área de un sólo tanque ya que el líquido derramado ocupará espacio en el tanque con fugas.

Altura de la pared (AP) en metros

$$AP = VR/ACN = 28,75 / 33,50 = 0,85 \text{ m}$$

La altura de pared requerida para este diseño es 0,85 m.

En los sistemas de contención secundaria, las cañerías deben pasar por encima y no a través de la pared de contención. Si las tuberías tuvieran que atravesar la pared de contención debería lograr un buen sellado entre los tubos y la pared. No se debe ver comprometida la integridad estructural de la pared, ni tampoco la capacidad de re-

tención del líquido.

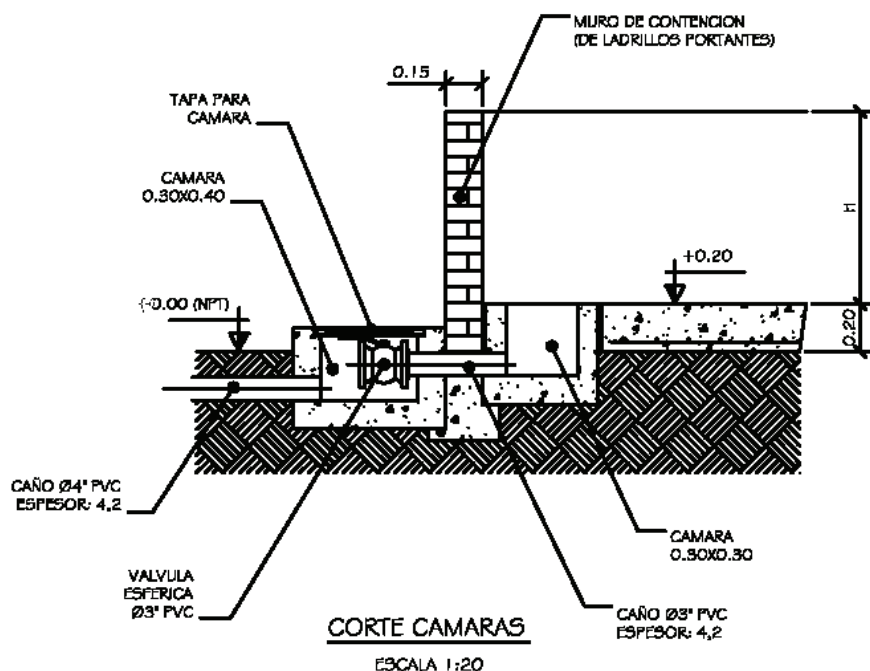
El agua proveniente de la acumulación de las lluvias debe bombearse con una bomba controlada manualmente. Los desagües deben utilizarse con una válvula de cierre y evitar estrictamente la liberación involuntaria del fertilizante.

Los medidores visuales externos para controlar los niveles de los fluidos en los tanques son una fuente frecuente de problemas debido a que se dañan o rompen fácilmente, liberando así el contenido del tanque. Los medidores a la vista sólo deben utilizarse si se instala una válvula de acero inoxidable, normalmente cerrada, entre la parte inferior del tanque y del tubo de medición.

» Bandejas

Se disponen debajo de los recipientes o tanques para recoger y conducir los derrames a un contenedor distante mediante tuberías por gravedad. La Figura 6 muestra un detalle de construcción de éstas, donde se indican el colector interno y la cámara para la disposición final.

Figura 6. Bandeja para conducción de derrames en estructuras de contención secundarias.



Áreas de carga

Las áreas de carga son con frecuencia sitios de salpicaduras. Dado que es imposible evitarlas deben proveerse condiciones para capturar el material antes que alcance el

suelo, contaminando el ambiente. La carga y descarga de producto debe hacerse sobre un piso impermeabilizado, donde los derrames puedan recogerse. Los paños de carga y descarga son normalmente pisos de concreto con pendiente a un sitio donde se pueda recoger el eventual derrame.

Manejo de la corrosión

Los problemas de corrosión afectan la distribución y el manejo de los fertilizantes líquidos. La corrosividad se mide en micrones por año de disminución de espesor de una plaqueta testigo expuesta al corrosivo en estudio. Valores de 0-50 μm por año son excelentes y aquellos de más de 1200 μm por año indican corrosión muy severa. Sin embargo, existen fenómenos de corrosión puntuales (pitting –picado), que en el análisis no muestran signos de corrosión pero provocan fallas aceleradas.

» La corrosión según el material

Aluminio

El aluminio y sus aleaciones son materiales proclives a la corrosión. Si bien el aluminio se protege con una capa de óxido de aluminio hidratado, si el fertilizante destruye esta capa se produce una corrosión acelerada del metal. Por esta razón el aluminio es sensible a los ácidos y álcalis. Las aleaciones de aluminio en rangos de acidez pH 4,5 a 7,0 dan mejores resultados, pero sin embargo son sensibles al ataque con cloruros. Las aleaciones de aluminio con cobre son muy sensibles al ataque con ión amonio.

Aleaciones de cobre

Estas aleaciones de las que se destaca el bronce, aleación de cobre y estaño y el latón cobre y zinc no resisten la corrosión en presencia del ión amonio, o sea que en presencia de amoniaco, oxígeno y humedad debe evitarse el uso de bronce y cobre en las instalaciones.

Acero al carbono

Se utiliza en tanques por su bajo costo, y en fundición se utiliza en cuerpo de bombas y accesorios. También las cañerías de acero al carbono son extensamente usadas en la industria. Muchos fertilizantes líquidos atacan al acero al carbono, por lo que los tanques deben ser protegidos con pinturas especiales por dentro y por fuera. Ejemplos de la protección interior de los tanques son la ebonita (solución cara), epoxi, o pinturas basadas en cauchos clorados.

Plásticos

Estos materiales son resistentes a la corrosión ya que la acidez, las impurezas y la presencia de oxígeno no los afecta. Por ello se los utilizan ampliamente en fertilizantes líquidos. Sin embargo las ventajas de los plásticos se ven limitadas por las altas temperaturas, las presiones elevadas y la baja resistencia a golpes y errores de diseño o montaje que concentren tensiones puntuales.

Los plásticos más utilizados en el almacenamiento y en el procesamiento y almacenaje de fertilizantes líquidos son el Polietileno de Alta y Media Densidad (PEAD), el polipropileno (PP) para bombas, caños y accesorios, el cloruro de polivinilo (PVC) en caños y mangueras flexibles, y el Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV).

Es importante seleccionar adecuadamente el paquete de aditivos que protegen a los plásticos, ya que éstos influyen en la resistencia a la corrosión, al ataque del ambiente exterior y a la radiación solar. Definitivamente la vida útil del equipamiento de plástico depende de la aditivación incorporada.

» Corrosividad

Desde el punto de vista de la corrosión, los fertilizantes líquidos pueden ser desde altamente corrosivos hasta prácticamente inertes.

- » **Ácido Nítrico:** es muy corrosivo a las aleaciones que contienen cobre, por lo que para su manejo se utiliza acero inoxidable, AISI 304 L (la L indica bajo contenido de Carbono) para evitar la corrosión inter-granular en zonas de soldadura y de concentración de tensiones. El acero inoxidable AISI 316 que es de mayor aleación y por ende más caro sólo se puede usar a temperatura ambiente
- » **Ácido Fosfórico:** se recomienda usar acero inoxidable AISI 316 y AISI 317, también el acero al carbono recubierto con PVC, caucho butílico o natural. El acero inoxidable AISI 304 puede resistir hasta 20% de P_2O_5 hasta 93 °C, pero a concentraciones entre 39 y 56% se corroe.
- » **PRFV:** se puede utilizar para tanques de almacenaje, pero como se describió antes, no todos los PRFV son iguales, debiéndose hacer una cuidadosa selección según la resina empleada.
- » **Polietileno y el Polipropileno:** son aptos para manejar ácido fosfórico a temperaturas de hasta 85-90 °C y concentraciones de hasta 60/52% respectivamente
- » **Ácido Sulfúrico:** este ácido tiene variadas propiedades corrosivas según su concentración. Resulta reductor por debajo del 85% y es oxidante a mayor concentración, pero desde 65% a 100% se puede usar acero al carbono si se agrega un sistema de protección catódica. Para los accesorios se debe usar acero inoxidable, prestando atención a las recomendaciones del fabricante para las aplicaciones. En la industria se utiliza ácido sulfúrico recuperado, éstos tienen diversas impurezas, por ejemplo cloruros, que son altamente corrosivos para los aceros inoxidables.
- » **Soluciones ácidas como fertilizantes líquidos:** el uso creciente de estos fertilizantes hace que se deba prestar cada vez mayor atención al manejo de este tipo de productos, en general todos muy ácidos con pH debajo de 3. Para estos productos, los materiales no metálicos tienen muy buena resistencia.
- » **Soluciones amoniacales:** este tipo de material, aún con concentraciones bajas de amoníaco, atacan severamente al aluminio. También provocan corrosión por tensión en los tanques de acero al carbono, por lo que para su uso se deben aplicar varias medidas preventivas, a saber:
 - » Evitar contaminación con aire
 - » Presencia de agua menor a 0,2%
 - » Evitar que en la fase gaseosa del tanque se condense amoníaco
 - » Diseño y construcción bajo normas ASME y aplicar técnicas de soldadura adecuadas, radiografiando el 100% de las mismas

» Usar aceros de baja resistencia mecánica que resisten mejor la corrosión bajo tensión, esto resulta en mayores espesores (peso y costo) de los tanques refrigerado o de las esferas presurizadas

» Inspeccionar frecuentemente los almacenajes y corregir las fallas detectadas

» **Fosfato de Amonio y polifosfatos:** las soluciones de DAP (fosfato diamónico) son más corrosivas para las aleaciones de aluminio que las de MAP (fosfato monoamónico). En cambio, la solución de polifosfato de amonio (APP) o las suspensiones, no son corrosivas para los plásticos, ni para el acero inoxidable o el caucho. El acero al carbono no es adecuado en aplicaciones donde la velocidad de movimiento o la alta concentración agravan la corrosión. Este se corroe severamente dónde el acero inoxidable tiene buen desempeño.

» **Soluciones concentradas de cloruro de potasio:** los fertilizantes líquidos que contienen cloruros, como las mezclas NPK, resultan corrosivas para el acero inoxidable serie 300 y el acero al carbono. Los pH bajos y la temperatura aceleran este proceso. Los cloruros no sólo están presentes en las mezclas con potasio, sino que aquellas mezclas que contienen ácido fosfórico presentan mayor riesgo de corrosión debido a las impurezas provenientes del proceso de fabricación, pues la materia prima empleada los contiene como impurezas. En estas condiciones estas mezclas son particularmente corrosivas. En cambio, las mezclas con cloruro de potasio que tienen menor acidez provocan menos daño.

» **Herbicidas y micronutrientes:** normalmente se almacenan en recipientes plásticos y allí deben mantenerse hasta su aplicación.

» Técnicas para prevenir la Corrosión

Estas técnicas incluyen: protección catódica, uso de inhibidores de corrosión, pintura y otros revestimientos interiores anticorrosivos, protección de equipos auxiliares.

» **Protección Catódica:** se emplea para prevenir la corrosión en el fondo exterior de los tanques metálicos. Consiste en la instalación de ánodos de sacrificio y a veces circuitos de corrientes impresas. Para el acero al carbono se instalan ánodos de sacrificio, a veces de zinc (éste método se utiliza en los termo tanques domiciliarios) que se corroen antes que el acero del tanque, pero muchas veces esta protección no es suficiente y se debe instalar un sistema de corrientes impresas y pintar adecuadamente el fondo de los tanques.

» **Inhibidores de Corrosión:** se trata de aditivos que se incorporan a los fertilizantes líquidos para evitar que corroan a sus recipientes y a los equipos de manejo y aplicación. Para los fertilizantes nitrogenados como el nitrato de amonio, UAN, y otros fertilizantes líquidos formulados a partir de urea, se utilizan amoníaco y/o fosfatos. Cada uno protege de una manera diferente, el amoníaco eleva el pH de la solución a la zona neutra segura pH 7,0 a 7,5; en cambio el fosfato de amonio (hasta 0,02% P_2O_5) forma una capa protectora sobre la superficie metálica. Otros inhibidores conocidos: Tiocianato de amonio (0,1%) y tiourea (0,2%). Además hay otros inhibidores comercializados bajo fórmulas propias del vendedor y otros

como el dicromato de sodio que tienen serios cuestionamientos ambientales, por lo que difícilmente se utilice.

» **Recubrimiento de Tanques:** la protección interior de tanques de acero al carbono ofrece buenas posibilidades de evitar la corrosión en forma económica. Los recubrimientos más usados son: elastómeros de caucho butílico o EPDM (Etileno-Propileno Dieno), neopreno, epoxi cargado con brea, fluoelastómeros y diversos polímeros como poliuretanos, poliésteres y vinílicos. También se puede cubrir con forros de plástico adheridos a la pared del tanque usando polietileno, polipropileno, PVC o aún teflón.

En la Tabla 1 se detalle el comportamiento frente a la corrosión de algunos materiales utilizados para recubrir los tanques respecto a los ataques físicos o corrosivos de diferentes fertilizantes.

Tabla 1. Comportamiento ante la corrosión de diferentes materiales utilizados en recubrimiento de tanques

Material	Abrasión	Ácidos	Álcalis	Solventes	Radiación UV
Caucho Clorinado	R	R	B	B	M
Neopreno	C	B	B	E	B
Epoxi	B	E	E	M	B
Fluocarbonos	E	E	E	E	E
Uretanos	E	M	M	M	B
Vinílicos	B	B	E	M	E

E = Excelente, B = Bueno, R = Regular, M= Malo

Es importante tener en cuenta para el manejo de la corrosión en instalaciones que manejan fertilizantes líquidos que las soluciones nitrogenadas y el APP resultan corrosivos para el cemento, sea por el ataque directo al mismo o por penetración en fisuras donde además de precipitar y ejercer presión agrandando y profundizándola; puede llegar hasta los hierros destruyéndolos. Es por ello que los pisos y las bases de concreto deben estar adecuadamente pintados. Inclusive puede ser necesario proveer un recubrimiento epoxi o un cincado (galvanizado) de las barras de acero.

Equipos para manipulación de fluidos, soluciones y ácidos

Las soluciones nitrogenadas pueden ser cargadas y descargadas de los vagón cisterna o camiones tanque con bombas o por presión de aire. La tubería de cisternas para el manejo de soluciones nitrogenadas puede ser acero inoxidable, PVC 80 y otros plásticos, mangueras de goma y tuberías de acero 40. Las soluciones de poli u ortofosfato de amonio pueden manejarse con equipos similares a los utilizados para las solucio-

nes nitrogenadas con la excepción que no puede utilizarse aluminio. Las soluciones amoniacales normalmente se despachan por camión tanque y puede ser bombeado o descargado con presión de aire. No puede utilizarse latón o bronce en el sistema, y debe tener cuidado que no escapen vapores de amoníaco. Los tanques deben limpiarse bien antes y después de haberlos llenados con soluciones de amoníaco acuoso. Las conexiones con los tanques se realizan con mangueras con refuerzo helicoidal de acero.

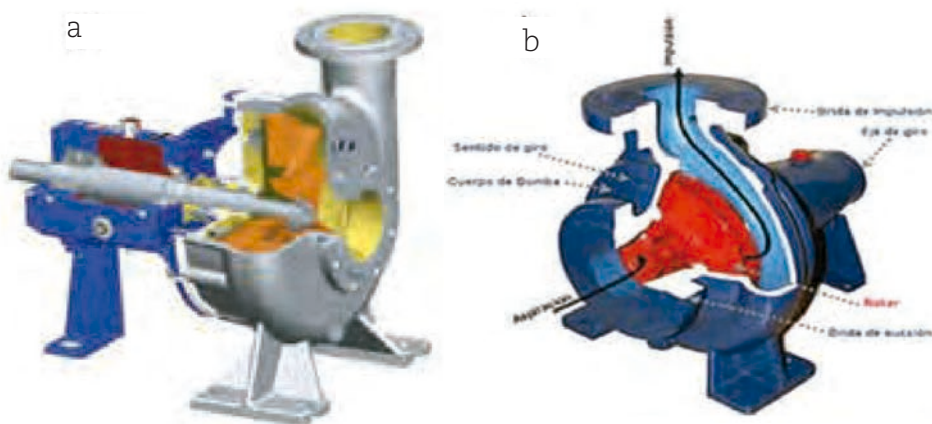
» **Balanzas y despacho volumétrico**

Para entrega directa a clientes en los centros de distribución los fertilizantes se despachan normalmente por peso, utilizándose balanzas certificadas, que por lo general emiten el ticket con el peso neto, descontada la tara del transporte. Las balanzas son parte integral de las instalaciones de acopio de cereales, o comercios específicos de fertilizantes y agroquímicos. Si las entregas se hicieran en forma volumétrica, sería necesario disponer de sistemas de despacho similar al de los combustibles, con medidores de caudal con el agregado de un sistema de emisión de tickets de carga.

» **Bombas Centrífugas**

Existen tres modos básicos para mover fluidos de un tanque a otro: gravedad; aire comprimido o por bombeo. El flujo por gravedad es el sistema más simple y usa el peso del fertilizante como fuerza motriz, pero es ineficiente ya que a medida que el tanque se vacía la presión cambia. El segundo tipo emplea energía y por ello son más eficientes las bombas. Éstas pueden ser de varios tipos, de pistón, de engranaje, de diafragma, pero las más populares y más eficientes en la industria son las centrífugas, que sirven para movilizar grandes volúmenes y con alta presión. Las bombas centrífugas deben su nombre al hecho de que elevan el líquido por la acción de la fuerza centrífuga, que la imprime un rotor colocado en su interior, el cual es accionado por un motor eléctrico o de otro tipo. La elección de una bomba, su material de construcción y su fuerza motriz depende principalmente del material a bombearse, la capacidad o volumen requerido por unidad de tiempo, y las preferencias personales. Los elementos constructivos de las bombas centrífugas son: a) una tubería de aspiración. b) el impulsor o rodete, formado por una serie de alabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular c) una tubería de impulsión. Los alabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando su presión en el impulsor según la distancia al eje. La carcasa, (voluta), está dispuesta en forma de caracol, de tal manera, que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior; la separación va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión. En algunas bombas existe, a la salida del rodete, una directriz de alabes que guía el líquido a la salida del impulsor antes de introducirlo en la voluta. En la Figura 7 se muestra un esquema de un modelo de bomba centrífuga usada para trasvase de fertilizantes líquidos.

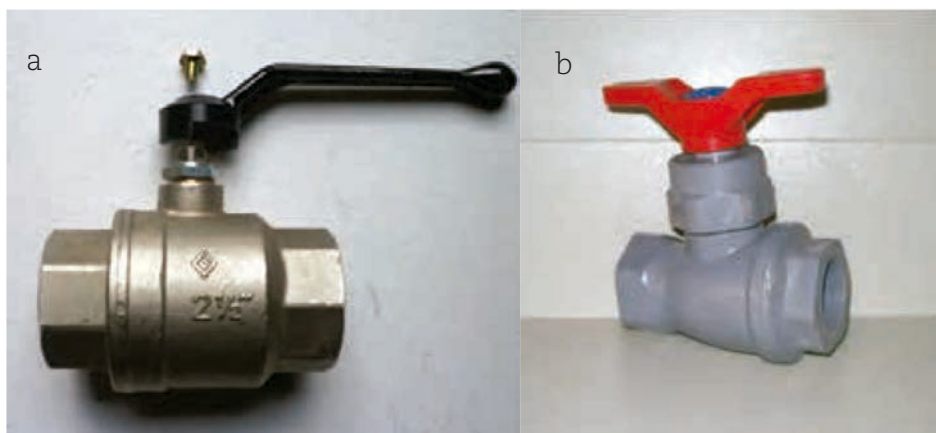
Figura 7. Modelo de bomba centrífuga, indicando su estructura (a) y funcionamiento (b).



» Válvulas Esféricas

Las válvulas pueden ser de tres tipos: a) Cierre, también llamadas mariposa, exclusiva o de retención; b) regulación de flujo o de presión, y c) control. Comúnmente se eligen las válvulas del primer tipo para regular el flujo, lo que es un error ya que por su diseño la gran turbulencia generada dañará las juntas y aumentará la corrosión. Igual que con las bombas, los materiales pueden ser plástico, polipropileno o inclusive acero inoxidable y aleaciones. La selección correcta del material permitirá una prolongada vida útil. En la Figura 8 se muestran válvulas de acero inoxidable y polipropileno, ambas aptas para fertilizantes líquidos.

Figura 8. Válvula de acero inoxidable (a) y polipropileno (b) utilizadas en fertilizantes líquidos.



» Tuberías y mangueras

Los materiales más comunes para la conducción de los fertilizantes fluidos son el PVC, acero al carbono y el aluminio. El PVC ofrece varias características deseables, es liviano, fácil de manipular y de instalar y es casi inerte a los fertilizantes fluidos hasta 65°C. Su resistencia a la tracción y al impacto son sus principales ventajas. También puede reforzarse con fibra de vidrio o polietileno de alta densidad.

Las mangueras no metálicas son un elemento vital para la operación de fertilizante fluidos, para transferir un líquido de un tanque a otro. Las mangueras poseen en general múltiples capas o paredes de plástico, que son reforzadas con uno o más de los siguientes materiales: alambre de acero, hélice plástica y fibras trenzadas. El interior de la manguera debe resistir la acción de los compuestos químicos y la corrosión, mientras que el exterior debe resistir las inclemencias climáticas como así también permitir el fácil movimiento a través del terreno, en especial superficies rústicas. Las mangueras más livianas son fáciles de usar pero su baja resistencia mecánica a la tracción limita su uso. De los materiales plásticos, los fluoelastómeros son satisfactorios para los fertilizantes en general y los ácidos (sulfúrico, nítrico y fosfórico). Los de PVC, poliamida y poliéster, son en general adecuados para todos los fertilizantes neutros (pH 6,5 a 7,5). De éstas, solo el poliéster es recomendado para soluciones de urea.

Almacenamiento local

En plantas medianas o menores, con un despacho entre 2000 a 4000 t/año, asumiendo una rotación de diez veces al año, es decir, las veces que un tanque se llena durante el año agrícola, requiere un único tanque de 30,0 t o de 23 m³ (asumiendo una densidad de 1,3 t/m³). Se estima que en meses con picos de demanda la capacidad de almacenamiento requerida es de 1200 t/mes o 600 t/semana. La capacidad horaria de carga y descarga debería ser de 20 t/h.

Una instalación típica de mayor envergadura consta de 3 o 4 tanques de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), una o dos bombas autocebantes de polipropileno con fibra de vidrio movidos por una potencia de 5 HP con capacidad de caudal de 15 a 20 m³/h. Tanto la carcasa de la bomba como el impulsor se construyen en polipropileno cargado con fibra de vidrio, mientras que los sellos pueden ser de viton con carbono o cerámicos aunque de acuerdo al tipo de soluciones que procesen pueden aplicarse sellos de carburo de silicio.

Las instalaciones pequeñas (capacidades entre 500 y 100 t/año), se basan en tanques de polietileno de alta o media densidad producidos por moldeo rotacional. Con dos tanques de 26.000 L y una rotación de 10 a 1 típica de la distribución de fertilizantes líquidos. Algunos productores pueden desear almacenar su propio fertilizante. Estos depósitos, que normalmente se encuentran en el establecimiento, se utilizan principalmente para almacenar temporalmente los fertilizantes que se utilizará en esa campaña. La mayor parte de ellos son cilíndricos y relativamente pequeños, menor a 10.000 L y puede ser móvil o fijo semipermanente.

» Estructuras menores de almacenamiento y transporte

Entre los elementos disponibles para el almacenamiento temporario, con aptitud y flexibilidad para el transporte se encuentran los contenedores tanque; las canastas o IBC's; los tanques vejigas y finalmente los bidones.

Contenedores tanque

Los contenedores tanques son estructuras metálicas con las dimensiones estandarizadas ISO de los contenedores comunes del transporte intermodal, aptos para el transporte y almacenamiento de fluidos, líquidos o gases. El tanque es normalmente de acero inoxidable rodeado por una caja o marco protector de acero (Figura 9). El marco tiene las dimensiones estándares ISO, de 20 pies (6,1 m) de largo, 8 de ancho (2,4 m) y 8 pies y 6 “de altura (2,6 m). No obstante, pueden ser diferentes a estas medidas y el contenido varía de 14 a 27.000 L. Como el tanque contenedor puede cargarse o descargarse desde la parte superior e inferior respectivamente, en los tanque contenedor estándar hay una boca y al menos una válvula en la parte superior, y otra en la parte inferior. Carga y descarga se realiza conectando las mangueras de la carga y descarga de la instalación de las válvulas del tanque. La carga o descarga se hace con una bomba. Dependiendo de la instalación y regulación de determinados productos, se determina cómo debe ser cargado o descargado el tanque.

Figura 9. Contenedores tanque.



Tanque canasta o IBC's.

Los tanques canasta, o IBC 's (del inglés: Intermediate Bulk Container) también llamados GRG's (Gran recipiente para mercancías a granel) son un embalaje transportable rígido o flexible de capacidad intermedia, entre 0,5 y 3 m³ con muchas ventajas. Son generalmente de forma cúbica y por lo tanto, puede transportar más material en un mismo espacio que los envases de formas cilíndricas y mucho más de lo que podría ser enviado en el mismo espacio si se emban en bidones. Los IBC's están concebidos para una manipulación mecánica, pueden tener bases como plataforma para que el montacargas auto elevador pueda moverlos por cualquiera de sus cuatro caras.

Los IBC's varían en tamaño, pero generalmente son entre 0,7 y 2,0 m y entre 1,17 a 1,32 m de altura. Los más comunes son de 1 m³. La longitud y anchura de un IBC de-

pende generalmente de la norma de dimensión de la plataforma de cada país.

En general se fabrican en polietileno de alta resistencia protegido con aditivos y estabilizadores a la radiación ultravioleta, realizados en una sola pieza, sin uniones ni costuras, evitando el riesgo de roturas y pérdidas. Son químicamente estables e inalterables. Su construcción está diseñada de tal manera que puedan resistir los esfuerzos que se producen durante la manipulación y el transporte. La estructura metálica es en acero o hierro cincado o galvanizado con tratamiento anticorrosivo que permite estibarlos o apilarlos verticalmente en hasta tres niveles.

Los IBC pueden ser llenados y descargados con una variedad de sistemas. Normalmente tienen una boca de carga con tapas a rosca de 5 a 25 cm, precintable con juntas que asegura la estanqueidad de la misma. Poseen una válvula de descarga en PVC o metálica, normalmente de 2 a 3" tipo mariposa, o roscable con tapón precintable. Pueden tener una escala graduada de 100 en 100 L que permite una visualización del contenido.

Figura 10. Tanque canasta o IBC



Tanques Vejiga

También se utilizan tanques flexibles tipo “vejiga” fabricados en caucho o PVC que se pueden usar tanto como tanques de almacenaje permanente o provisorio o como tanques de transporte y almacenaje, con la ventaja de que al ser colapsables y plegables, se acomodan en el camión de transporte, dejando mucho espacio libre para aprovechar el viaje de retorno.

Los tanques flexibles de vejigas están hechos con tejido de PVC de alta resistencia unida con técnicas apropiadas de soldadura. Los tejidos se hacen del poliéster (que le da

al depósito la resistencia que necesita) y una matriz de PVC. Los materiales utilizados son resistentes a la radiación UV y se utilizan por su capacidad de estabilidad química y a la abrasión mecánica.

Los tejidos son fabricados específicamente para apoyarse en cualquier superficie plana sin otra necesidad de contención. La instalación es rápida y sencilla. Sólo se necesita una superficie amplia donde se asentará el depósito. La superficie debe estar perfectamente horizontal, libre de rocas y recomendándose que se distribuya una capa de arena sobre la superficie. El líquido almacenado siempre estará limpio, libre de evaporación y de contaminación que puede entrar desde el exterior y contaminar el producto almacenado. El depósito es muy móvil y flexible, no es pesado y el material dura muchos años. Si se debe contener líquidos que emiten olores fuertes, hay una contención completa de este olor.

Figura 11. Tanque Vejiga



Materiales para almacenar fertilizantes líquidos

A continuación se enumeran los materiales utilizados para el almacenamiento y manejo de fertilizantes fluidos.

I. Tanques

A. Almacenamiento de ácido fosfórico

1. Materiales aceptables

- a. Acero inoxidable tipo 316 y 317.
- b. Acero revestido de caucho butílico y de PVC (cloruro de polivinilo)
- c. Plástico reforzado con fibra de vidrio
- d. Polietileno roto moldeado

2. Materiales inaceptables
 - a. Aluminio
 - b. Acero al carbono
 - c. Nylon
 - d. Aleaciones de cobre

B. Soluciones nitrogenadas

1. Materiales Aceptables
 - a. Acero al carbono
 - b. Aluminio
 - c. Acero inoxidable
 - d. Acero revestido de goma o plástico si se recomienda por el fabricante
 - e. Poli moldeado
 - f. Fibra de vidrio
2. Materiales inaceptables
 - a. Cobre
 - b. Latón
 - c. Zinc

C. Líquidos NPK

1. Acero al carbono, es lo más ampliamente utilizado
2. No se recomienda ninguna aleación que contenga cobre

D. Amoníaco anhidro

1. Acero al carbono
2. Todos los accesorios, contenidos y tanques deben cumplir con los códigos locales para recipientes a presión,

II. Accesorios, válvulas y tuberías

A. Ácido fosfórico

1. Se prefiere el acero inoxidable, sobre todo el Tipo 316
2. El PVC y el polipropileno son aceptables
3. El acero inoxidable Tipo 304 eventualmente se corroerá
4. El acero al carbono se corroe rápidamente por el ácido fosfórico
5. El nylon y el aluminio son inaceptables

B. Soluciones nitrogenadas

1. El acero al carbono, la mayoría de los plásticos, revestidos de goma, aceros inoxidables y materiales de fibra de vidrio son aceptables
2. El cobre, latón o zinc y sus aleaciones son inaceptables

3. Todos los sistemas de manipuleo de las soluciones nitrogenadas deben estar provista de una adecuada protección contra la corrosión galvánica

C. Líquidos NPK

1. El acero al carbono es ampliamente utilizado
2. las mezclas líquidas calientes eventualmente corroerán el acero al carbono especialmente cuando se den altas velocidades de flujo

D. Amoníaco anhidro

1. El acero al carbono es ampliamente utilizado
2. Deben consultarse los códigos para el manipuleo del amoníaco

III. Bombas

A. ácido fosfórico

1. Materiales aceptables
 - a. Acero inoxidable 316 o 317
 - b. Polipropileno, PVC u otro plástico recomendado por el fabricante
 - c. Grafito
2. El acero al carbono se corroe rápidamente

B. Soluciones nitrogenadas y fluidos NPK

1. El acero al carbono o hierro fundido son ampliamente utilizados
2. El acero inoxidable se recomienda por su resistencia a la corrosión y la abrasión

IV. Equipo de mezcla

A. Tanque

1. Tipo de acero inoxidable 304 o 316 son los más ampliamente utilizados
2. El polietileno roto moldeado es aceptable mientras se consideren las limitaciones de temperatura
3. El acero es aceptable para operaciones de mezclado en frío

B. Agitadores y bombas

1. El acero inoxidable Tipo 316 es el mejor debido a que causa el bajo pH encontrado durante la mezcla en caliente y debido a su resistencia a la abrasión
2. Bombas impulsoras son favorecidas debido a su capacidad para manejar las partículas grandes y altos sólidos

V. Juntas y mangueras

A. Juntas de fluorocarbono, EPDM u otras gomas recomendadas por el fabricante son adecuadas

B. Manguera con revestimiento de goma EPDM ha mostrado excelentes servicio para ácidos, mezclas calientes NPK y mezclas NPK conteniendo ciertos herbicidas.

A. Aceptable si es compatible con el contenedor y el contenido. N.No aceptable debido a incompatibilidad química.

Tabla 2. Compatibilidad de diferentes materiales para utilizar en almacenamiento de diferentes fertilizantes.

MATERIAL		UAN	Solución Amoniacal	Soluciones nitrogenadas	Tiosulfato de amonio	Polifosfato de Amonio	Acido fosfórico	Fosfato Potásico	Hidróxido de Potasio	Soluciones Potásicas	Soluciones NPK	Ácidos Fertilizantes
Tanques												
Acero Inoxidable		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Acero al carbono		1	A	N	1	A	N	N	N	3	3	N
Acero al carbono revestido		2	A	2	2	A	2	2	2	2	2	2
Aluminio		A	A	A	A	N	N	N	N	N	N	N
Fibra de vidrio		A	2	N	A	A	2	A	2	A	A	2
Poli o plástico		A	2	N	A	A	2	A	2	A	A	2
Bronce o aleaciones de cobre		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Tapones, válvulas, accesorios de tanques												
Acero Inoxidable		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Accesorios de fundición, de níquel inoxidable		A	A	A	A	A	N	A	2	A	A	N
Accesorios revestidos de metal inoxidable		A	2	A	A	A	2	A	N	A	A	2
Válvulas esféricas de nylon		A	2	2	A	A	N	A	A	A	A	2
Acero forjado		A	A	A	A	A	N	2	N	A	A	N
Poli o plástico		A	N	N	A	A	2	A	2	A	A	2
Fundición o acero al carbono		N	N	N	N	A	N	N	N	N	N	N
Bronce o aleación de cobre		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Tuberías y conducciones												
Acero inoxidable		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Fundición de acero		A	A	A	A	A	N	2	N	A	A	N
Fundición o acero al carbono		1	1	2	1	A	N	N	N	3	3	N
Galvanizado		N	N	N	N	A	N	N	N	N	3	N
PVC y otros sintéticos		2	2	N	2	2	N	A	2	2	2	2

En la Tabla 2 se presentan lineamientos de compatibilidad de diferentes materiales utilizados para el almacenamiento y manipuleo de diferentes tipos de fertilizantes fluidos.

1-Aceptable si el producto o se trata con inhibidor de corrosión.

2-Aceptable si lo garantiza el fabricante del equipamiento para el uso pretendido

3-Aceptable si se lava y enjuaga después del uso estacional y se usa para almacenar materiales por menos de tres meses (acumulativo) por año.

Elementos de seguridad

Las instalaciones de seguridad para operadores deben incluir fuente lavaojos, ducha de seguridad y pileta lavamanos alimentada desde un tanque de agua dulce. Además se debería disponer en las plantas los elementos de comunicación y seguridad, detallados a continuación:

» Seguridad y extinción de incendios:

- » 2 Matafuegos tri-clase (PQS) de 10 kg.
- » 1 Matafuego de anhídrido carbónico (CO₂) de 7 kg de capacidad.
- » 1 Balde reglamentario, con asa y tapa, relleno de material absorbente.
- » 1 Tambor de 205 L de capacidad con tapa y asa
- » 1 Cartel de rol de incendio
- » 1 cartel con la ficha toxicológica del producto.

» Carteles para advertencia/precaución:

- » Atención
- » Atención vehículos pesados,
- » Prohibido fumar,
- » Prohibido el ingreso o consumo de bebidas y alimentos,
- » Obligación de usar guantes,
- » Obligación de usar delantal
- » Obligación de usar casco
- » Obligación de usar calzado de seguridad
- » Obligación de usar protección ocular

1. Bibliografía citada

Álvarez, CR; Steinbach, HS & R Álvarez. 2012. El rol de los fertilizantes en la agricultura. En: *Fertilización de Cultivos y Pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Capítulo 3. Sección 1.* Álvarez, R; Prystupa, P; Rodríguez, M.; Álvarez, C. (Ed.). Editorial Facultad de Agronomía. Univ. Buenos Aires. 623 p.

Alvarez, R & HS Steinbach. 2012. Dosificación de la fertilización en trigo. En: *Fertilización de Cultivos y Pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Capítulo 11. Sección 1.* Álvarez, R; Prystupa, P; Rodríguez, M.; Álvarez, C. (editores). Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 623 p.

Barry, DAJ & MH Miller. 1989. Phosphorus nutritional requirement of maize seedlings for maximum yield. *Agron. J.* 81: 95-99.

Baumer C. 1999. Sembradoras y fertilizadoras para siembra directa, AAPRESID, INTA. 345 p.

Bell, RW & B Dell. 2008. Types of micronutrient fertilizer products: Advantages and disadvantages of the different types. In: *Micronutrients for sustainable food, feed, fiber and bioenergy production. IFA (International Fertilizer Industry Association).* 53-66 p.

Bergh, RM; M Zamora; L Seghezzo & E Molfese. 2003. Fertilización Nitrogenada Foliar en Trigo en el Centro-sur de la Provincia de Buenos Aires. *Informaciones Agronómicas No.19.*

Bermúdez M & D Barth. 2011. Cómo llevar a la práctica en gran escala el manejo sitio-específico de N y P. *Simposio Fertilidad 2011.* Rosario, Argentina.

Bertrand, I; MJ. McLaughling; RE Holloway; RD Armstrong & T McBeath. 2006. Changes in P bioavailability induced by the application of liquid and powder sources of P, N and Zn fertilizers in alkaline soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74:27-40.

Bixby, DW & JD Beaton. 1970. Sulphur-containing fertilizers. Properties and Applications. Technical Bulletin Number 17. The Sulphur Institute. 27 p.

Candelon, P. 1971. Las máquinas Agrícolas. Ediciones Mundiprensa. 679 p.

Castro, PRC. 2009. Principios de adubacao foliar. Jaboticabal. FUNEP. 42 p.

Ciampitti, IA; FO García; LI Picone & G Rubio. 2011. Phosphorus budget and soil extractable dynamics in field crop rotations in Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75 : 131-142

Colombino, AA y otros. 1986. *Mecánica Aplicada a la Maquinaria Agrícola.* Cátedra de Maquinaria Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 446 p.

Commercial Fertilizers Report. 2009 and 2010 editions. The Fertilizer Institute (TFI) and the Association of American Plant Food Control Officials.

Chien SH; LI Prochnow & H Cantarella. 2009. Recent Developments of Fertilizer Production and Use to Improve Nutrient Efficiency and Minimize Environmental Impacts. Chapter 8 (268-322 p). *Advances in Agronomy, Vol 2, 102.* Elsevier INC. ISSN 0065-2113.

Dowdle, S. 2000. *Fluid fertilizers. Proceedings of Productions and International Trade*. Shanghai, China, 17-19 October. IFA. 27 p.

Fairweather, T & D Leikam. 2012. *Fluid Journal. Careful, when blending fluid fertilizers*. In: *Fluid Journal* (20)(3) issue 77. 11p.

Fernández H & M Torres Duggan. 2008. *Fertilización en cultivos florales y ornamentales*. En: *Fertilización de Cultivos y Pasturas*. Segunda Edición. Hemisferio Sur-INTA. R. Melgar y M. Díaz Zorita. Coordinadores. 569 p.

Ferraris,GN; LA Couretot; LA Ventimiglia & F Mousegne. 2010. *Respuesta al zinc en maíz utilizando diferentes tecnologías de aplicación en la región Centro Norte de Buenos Aires*. IX Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Rosario, Argentina.

Fertilizar Manual. 1998. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and International Fertilizer Development Centre (IFDC). 615 p.

Ganga, M; E Hettiarachchi; MJ Lobi; D McLaughlin; D Chittleboroug & P Self. 2006. *Density changes around phosphorus granules and fluid bands in a calcareous soil*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:960-966.

García, F.O. and N. Darwich. 2009. *La fertilización: tecnología para sostener la producción de nuestros suelos*. En: *La Argentina 2050, La Revolución Tecnológica del Agro* (Ricci, D., ed). CSAFE. 744 p

García, FO & F Salvagiotti. 2010 a. *Best management practices to improve fertilizer N use efficiency in Argentinean agriculture*. *Proceedings of the 5th International Nitrogen Conference 2010*. 3-7 December. New Delhi, India. 18 p.

García, FO & F Salvagiotti. 2010. b. *Fertilizer Best Management Practices in Argentina with Emphasis in Cropping Systems*. En: *Boas Práticas Para Uso Eficiente de Fertilizantes*. Prochnow, L.; Casarin V.; Stipp, S.R. (Eds.). International Plant Nutrition Institute. Piracicaba. Brasil, SP. 462 p.

Garré, P; F Meyer; LB Pederiva; N Udaquiola & M Campos. 2012. *Mercado argentino de fertilizantes*. En: *Mercado de fertilizantes. La Argentina y el mundo*. JA del Río (Coordinador). AACREA. 94 p.

Gelderman RH. 2008. *Decision Aid for Estimating Seed-Placed Fertilizer Rates*. Plant Science Department, South Dakota State University (<http://seed-damage-calculator.herokuapp.com>).

Gordon, WB. 2007. *Management of enhanced efficiency fertilizers*. *Proc. 37th North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference*, Vol. 23, p. 19-23, IPNI, Bookings, SD, USA.

Gowariker V, VN Krishnamurthy; S Gowariker; M Dhanorkkar & K Paranjape. 2009. *The Fertilizer Encyclopedia*. A John Wiley & Sons, INC. 861 pp

Graziano, PL. 1990. *Improvement of nitrogen efficiency by addition of ammonium thiosulfate in the liquid fertilization of maize*. *Nutrient cycling in Agroecosystems*. 24: 111-114.

Haneklaus, S; E Bloem & E Schnug. 2000. *Sulphur in agroecosystems*. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis*. 204 Agricultura 81: 17-32

Hassell, JA. 2007. *Enhanced efficiency fertilizers and the advent of stabilized nitrogen technology*. En: *actas del Simposio de tecnología de la fertilización*. Universidad de Buenos Aires. 7 de septiembre. 7 p

Havlin, J.L., S.L. Tisdale, J.D. Beaton, and W.L. Nelson. 2005. *Soil Fertility*

and Fertilizers. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ

Hettiarachchi, G; MJ McLaughlin; KG Scheckel; DJ Chittleborough; M Nweville; S Sutton & E Lombi, 2008. Evidence for differential reaction pathways for liquid and granular micronutrients in calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72: 98-110.

Horowitz N & EJ Meurer. 2005. Uso de enxofre elemental como fertilizante. En *Informaciones Agronómicas*. N°12. Dezembro. POTAFOS. 26. p.

Hughes, M. 1994. *Fluid Fertilizer Manual* (CD versión). Fluid Fertilizer Foundation. Manhattan, Kansas State, USA.

Hunt D. 1995. *Farm Power and Machinery Management*. 9° Edición. Iowa State University Press. AMES. 363 p.

Kremmer, S & E Kenig. 1996. Principles of drip irrigation. Irrigation & Field Service. Extension Service, Ministry of Agriculture and Rural Development, Israel (en Hebreo). Citado En: U Kafkafi & J Tarchitzky. 2010. Fertigation. A Tool for efficient fertilizer and water management. IFA IPI 138 pp. Paris, Francia.

Lavado, RS & HS Steinbach. 2010. Principales rasgos de la agricultura pampeana. En: *Fertilidad de Suelos. Caracterización y manejo en la región pampeana. Sección 1. Capítulo 2*. Alvarez, R.; Rubio, G.; Alvarez, C.; Lavado, R. (editores). Editorial Facultad de Agronomía. Univ. Buenos Aires. 423 p.

Lombi, E; MJ McLaughlin; C Johnston; RD. Armstrong & RE .Holloway. 2004. Mobility, solubility and lability of fluid soils under laboratory conditions. *Plant & Soil*. 269:25-34.

Martens, AR; OC Burnside & G L Cramer. 1978. Compatibility and Phytotoxicity of Herbicide-Fertilizer Combinations. *Agron. J.* 70(6): 1089-1098.

Melgar, R; ME Camozzi, M Torres Duggan & M Figueroa. 2002. Guía de fertilización. INTA. Fertilizar. 136 p.

Melgar, R. 2005. El mercado de fertilizantes en la Argentina y su relación con el sector agropecuario. Capítulo 25. En: *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. H. Echeverría y F. García (Editores). 525 p.

Melgar, R & M Torres Duggan. 2005. Comercio y abastecimiento moderno de fertilizantes. Ed. Hemisferio Sur-INTA. 525 p.

Molin WT & K Hirase. 2004. Comparison of commercial glyphosate formulations for control of prickly sida, purple nutsedge, morningglory and sicklepod. *Weed Biology and Management* 4:136-141

Mortvedt, JJ. 2001. Calculating Salt Index . *Fluid Journal*. Spring 2001.

Nalewaja JD & R Matysiak. 1993. Influence of diammonium sulfate and other salts on glyphosate phytotoxicity. *Pestic. Sci.* 38: 77-84.

Nelson, L.B. 1990. History of the US fertilizer industry. *Tennessee Valley Authority* 522 p.

Palgrave, DA. 1991. History of Fluid Fertilizers. En: Palgrave, DA (Ed.) *Fluid Fertilizer, Science and Technology*. Marcel Dekker, New York. 633 p.

Palgrave, DA . 1991. *Fluid Fertilizer, Science and Technology*. Marcel Dekker, New York. 633 p.

Prystupa, P.; Torres Duggan; M.; Ferraris, G. 2012. Fuentes y formas de aplicación de azufre y micronutrientes en la Región Pampeana. En: *Fertilización de Cultivos y Pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana*. Capí-

tulo 6. Sección 2. Álvarez, R; Prystupa, P; Rodríguez, M.; Álvarez, C. (editores). Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 623 p.

Pussetto, P. 2012. *Agronomic outlook and fertilizer demand in Argentina. Proceedings of the Fertilizer Latinoamericano Conference. January, 18-20. FMB-CRU. Buenos Aires, Argentina. 15 p.*

Rodríguez, MB. 2004. *Fertilización sustentable: Fuentes y formas de aplicación de nitrógeno. Taller Internacional sobre contaminación de suelos y aguas por agroquímicos. En: Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos.*

Til, AR. 2010. *Sulphur sources. In: Sulphur and Sustainable Agricultura. First edition. IFA, Paris, France. 70 pp.*

Torres Duggan, M & MB Rodriguez. 2011. *Outlook and update on sulfur fertilizer use in Brazil, Argentina and other Southern Cone countries. Proceedings of the Sulphur World Symposium 2011. New York City (USA). 10-14 April. 34 p.*

Torres Duggan, M & J Lamelas, J. 2012. *Outlook and update on phosphate fertilizer use in South America, with emphasis on Brazil and Argentina. Proceedings of the Fertilizer Latino Americano Conference. January, 18-20. FMB-CRU. Buenos Aires, Argentina. 21 p.*

Trenkel, ME. 2010. *Slow and controlled release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agricultura. IFA. Paris, France, 163 p.*

Uranga, M. 2007. *Avances tecnológicos en fertilizantes líquidos. En: Simposio de Tecnología de la fertilización. 13 p.*

Valentini, A. 2011. *The global market for UAN. Nitrogen+Syngas 313. September-October. p 27-29 2011. <http://www.minagri.gob.ar/site/index.php>*

Vigna, M R & RL López. 2004. *Comportamiento de herbicidas vehiculizados con diferente fertilizantes líquidos en el cultivo de trigo. EEA INTA Bordenave. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/bordenave/contactos/autores/vigna/comportamiento_herbicidas_con_fertilizantes_liquidos.pdf. Acceso abril 2010*

Watson, CJ. 2000. *Urease activity and inhibition – principles and practice. Proceedings N° 454. The International Fertiliser Society, York, UK. 40pp.*

Young, RD; DG Wesfall & GW. Colliver. 1985. *Production, marketing and use of phosphorus fertilizers. p 323-376. In: Fertilizer Technology and Use. O.P Engelsstad, editor. Soil Science of Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 631 p.*

Zubillaga, MS & E Rimski-Korsacov. 2007. *Fuentes de nutrientes: reacciones y efectos sobre el agro-ecosistema. En: Tecnología de la fertilización en cultivos extensivos de la región pampeana. Capítulo 4. P. Prystupa (editor). Editorial Facultad de Agronomía (UBA). 69-99*

Zubillaga M & MS Zubillaga. 2012. *Estrategias de aplicación de nitrógeno en agrosistemas pampeanos. En: Fertilización de Cultivos y Pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Capítulo 4. Sección 2. Álvarez, R; Prystupa, P; Rodríguez, M.; Álvarez, C. (editores). Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 623 p.*

Zubillaga, MS & MM Zubillaga. 2012. *Características generales de los programas de fertilización. En: Fertilización de Cultivos y Pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Capítulo 1. Sección 3. Álvarez, R; Prystupa, P; Rodríguez, M.; Álvarez, C. (editores). Editorial Facultad de Agronomía. Univer-*

2. Bibliografía recomendada

Achorn FP; MF Broder & D Henley. 1994. *ARA Professional Dealers Manual for Fluid Fertilizer*. Agricultural Retailer Association, St. Louis, MO USA, vol.2 . 214 p.

Baumer C.1999. *Sembradoras y fertilizadoras para siembra directa*, AAPRESID, INTA. 345 p.

Blair, GJ; RDB Lefroy; M Dana & GC. Anderson. 1993. *Modelling of sulphur oxidation from elemental sulfur*. Plant and Soil. 155/156: 379-382.

Boswell CC & DK. Friesen. 1993. *Elemental sulfur fertilizers and their use on crops and pastures*. Fertilizer Research. 35:127-149.

Candelon, P. 1971. *Las máquinas Agrícolas*. Ediciones Mundiprensa. 679 p.

Colombino, AA y otros. 1986. *Mecánica Aplicada a la Maquinaria Agrícola*. Cátedra de Maquinaria Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 446 p.

Fernández, H & M Torres Duggan. 2008. *Fertilización en cultivos florales y ornamentales*. En: *Fertilización de Cultivos y Pasturas*. Segunda Edición. Hemisferio Sur-INTA. R. Melgar y M. Díaz Zorita. Coordinadores. 569 p.

Goos, RJ & TE Fairlie. 1998. *Effect of ammonium thiosulfate and liquid fertilizer droplet size on urea hydrolysis*. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 522-524.

Gutiérrez Boem FH; P Prystupa & G Ferraris, 2007. *Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops*. Journal of Plant Nutrition. 30: 93-104.

Hunt D. 1995. *Farm Power and Machinery Management*. 9° Edición. Iowa State University Press. AMES. 363 p.

IPNI, 2013. *Manual de Nutrición de Plantas 4R: Un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas*. TW Bruulsema; PE Fixen & GD Sulewski (Eds). International Plant Nutrition Institute. Norcross, GA. EE.UU.

Kafkafi U & J Tarchitzky J. 2011. *Fertigation: a tool for efficient fertilizer and water management*. IFA. IPI 141 p

Leikam, DF. 2007. *Fertilizer sources, technology and management*. En: *Actas del Simposio de tecnología de la fertilización. Avances en el manejo de los fertilizantes*. AACs-FA-UBA. 7 de septiembre de 2007. Buenos Aires, Argentina. 9 p

Lohry, R. 2001. *Ortho vs. Poly*. Fluid Fertilizer Journal . Fall 2001.

Melgar, R. 2009. *Fluid industry development in Argentina*. Proceedings. Fluid Fertilizer Foundation Symposium. Feb 15-17. Scottsdale, Arizona.

Melgar, 2012. *Guía de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales*. Fertilizar Asociación Civil. 203 p.

Prystupa, P.2007. *Tecnología de la fertilización de cultivos extensivos en la Región Pampeana*. Ed. FA-UBA. 207 p.

Raggio, J.B. 1997 *Cómo y Con Qué en Máquinas Agrícolas*. 144 p.

Raggio, J.B. 1999 *Cómo Controlar Costos en Máquinas Agrícolas*. 64 p.

Rodríguez, MB & M Torres Duggan. 2012. *Caracterización de los fertilizantes y su calidad agronómica*. En: *Fertilización de Cultivos y Pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana*. Capítulo 1. Sección 2. Álvarez, R; Prystupa, P; Rodríguez, M.; Álvarez, C. (editores). Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 623 p.

Torres Duggan M. 2008. *Fertilizantes químicos y minerales*. En: *Fertilización de Cultivos y Pasturas*. Segunda Edición. Hemisferio Sur-INTA. R. Melgar y M. Díaz Zorita. Coordinadores. 569 p.

3. Sitios web vinculados con la industria de los fertilizantes

Asociación Nacional de Difusión de Fertilizantes de Brasil: <http://www.anda.org.br/>

Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos: <http://www.ciafa.org.ar/>

Fertilizar-Asociación Civil: <http://www.fertilizar.org.ar/2014/>

Fluid Fertilizer Foundation: <http://www.fluidfertilizer.com/>

International Fertilizer Industry Association: <http://www.fertilizer.org/>

International Fertilizer Development Center: <http://www.ifdc.org/>

The Fertilizer Institute: <http://www.tfi.org/>

The Association of American Feed Control Officials (AAFCO): <http://www.aafco.org/>

The Sulphur Institute: <http://www.sulphurinstitute.org/>

Contenido de Nutrientes de Fertilizantes

Las tablas siguientes pueden usarse como una guía rápida de referencia de tipos de fertilizantes. Estos productos pueden usarse solos o en mezclas con otros materiales para conformar un fertilizante multinutriente.

Los contenidos reales de nutrientes se dan en porcentajes sobre peso y pueden variar dependiendo del fabricante, la pureza del producto u otros materiales que componen el producto comercial. La mayor parte de los valores corresponden a compuestos de grado fertilizante, y no a grados técnicos o puros. Las formulas químicas son ofrecidas para el compuesto activo primario.

Fuentes de Nutrientes Primarios y Secundarios								
Fertilizante	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Equiv. CaCO ₃ /100 kg*	Comentarios
Fertilizantes Nitrogenados								
Amoníaco Anhidro ** NH ₃	82	0	0	0	0	0	-148	Gas Presurizado
Cianamida Cálcica CaCN ₂	21	0	0	11	0	0	+63	El fertilizante nitrogenado mas alcalino
Nitrato de Amonio ** NH ₄ NO ₃	34	0	0	0	0	0	-61	
Nitrato de Amonio calcáreo NH ₄ NO ₃ + (CaCO ₃ + MgCO ₃)	27	0	0	6	4	0	0	Ca y Mg depende del material calcítico usado
Nitrato de Sodio NaNO ₃	16	0	0	0	0	0	+29	
Nitro Sulfato de Amonio NH ₄ NO ₃ + (NH ₄) ₂ SO ₄	26	0	0	0	0	12	-71	
UAN** (urea/ nitrato de amonio): 32% UAN (35% urea + 45% NA) 30% UAN (33% urea + 42% NA) 28% UAN (30% urea + 40% NA)	32 30 28	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	-55 -52 -49	Líquidos
Soluciones NS – Sulfo-Nitrogenadas (UAN+ Tiosulfato de amonio) (90% UAN + 10% TSA) (75% UAN + 25% TSA) (50% UAN + 50% TSA)	30 27 22	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	2.6 6.5 13	-53 -47 -39	Líquidos
Sulfato de Amonio ** (NH ₄) ₂ SO ₄	21	0	0	0	0	24	-110	
Urea	46	0	0	0	0	0	84	
Urea (Cubierta con azufre) CO(NH ₂) ₂ + S	36-38	0	0	0	0	13-16	-118	La liberación de N depende de la cobertura con S

Fertilizantes Fosfatados								
Fertilizante	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Equiv. CaCO ₃ /100 kg*	Comentarios
Acido Fosfórico** H ₃ PO ₄ Proceso húmedo Proceso húmedo Concentrado Acido Superfosfórico	0 0 0	30 40- 54 76	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	-63 -84 a - 110 -110	Líquido
Fosfato Diamónico ** (DAP) (NH ₄) ₂ H ₂ PO ₄	18	46	0	0	0	0	-70	
Fosfato Monoamónico ** (MAP) NH ₄ HPO ₂	11	48	0	1	0	0	-65	
Nitro fosfato	12- 17	22- 35	0	***	0	***	-20	
Nitro Fosfato Amónico NH ₄ H ₂ PO ₄ .NH ₄ NO ₃	30	10	0	0	0	0	-54	
Polifosfato de Amonio ** (NH ₄)HP ₂ O ₇ + (NH ₄) ₅ P ₃ O ₁₀	10	34	0	0	0	0	--	Líquido
Sulfato Fosfato Amónico 4NH ₄ H ₂ PO ₄ . x (NH ₄) ₂ SO ₄	16	20	0	0	0	15	-76 a - 113	Mezcla
Superfosfato Amoniacado	12- 17	22- 35	0	***	0	***	-7	
Superfosfato Simple o Normal Ca(H ₂ PO ₄) ₂ . x H ₂ O + CaSO ₄	0	20	0	21	0	11	0	
Superfosfato Triple ó Concentrado ** Ca(H ₂ PO ₄) ₂ . x H ₂ O	0	46	0	14	0	2	0	
Urea- Fosfato Amónico	23	35	0	0	0	0		
Urea Fosfato CO(NH ₂) ₂ + H ₃ PO ₄	17	44	0	0	0	0	-82	
Fertilizantes Potásicos								
Fertilizante	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Equiv. CaCO ₃ /100 kg*	Comentarios
Carbonato de Potasio K ₂ CO ₃ sólido K ₂ CO ₃ líquido	0 0	0 0	48 34	0 0	0 0	0 0	+70 +50	
Cloruro de Potasio ** KCl(muriato de potasio)	0	0	60	0	0	0	0	1

Fertilizantes Magnésicos								
Cal Dolomítica ** $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$	0	0	0	24-30	6-12	0	+95 a 108	Análisis variable; debe contener al menos 6% Mg
Fosfato Magnesio amónico $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	8	40	0	0	15	0		Solubilidad = 0.1 g/lt.
Oxido de Magnesio MgO	0	0	0	0	45	0	+250	Solubilidad = 0.00062g/100g
Sulfato de Magnesio ** (Sal de Epsom) $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0	0	0	0	10	13	0	Solubilidad = 0.9 kg/lt.
Sulfato de Magnesio (Kieserita) $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0	0	0	0	17	23	0	Solubilidad = 0.56 kg/lt
Nitrato de Magnesio $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	9	0	0	0	6	23	0	Solubilidad = 0.56 kg/lt
Fertilizantes Azufrados								
Sulfato de Amonio** $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21	0	0	0	0	24	-110	
Tiosulfato de Amonio ** (Solución al 60 %) $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$	12	0	0	0	0	26		Líquido
Azufre Elemental (S): S mojabable S floable S en flores	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	90-100 52-70 90-100	-312 -218 -312	El S elemental debe oxidarse para quedar disponible a las plantas
Acido Sulfúrico H_2SO_4	0	0	0	0	0	20-26	-62 a -81	Líquido;
* Valores negativos indican un efecto acidificante neto en el suelo; valores positivos indican una reacción básica neta en el suelo. ** Materiales comúnmente disponibles *** Presente en cantidades indeterminadas Símbolos: N = Nitrógeno; P₂O₅ = pentóxido de fósforo; K₂O = óxido de potasio Ca = Calcio; Mg = Magnesio; S = Azufre; CaCO₃ = Cal Calcítica								

Fuentes de micronutrientes	
Materiales	Contenido de Nutrientes
Cobre (Cu)	
Cu Quelatado*: Cu EDTA Cu HEDTA	13% Cu 9% Cu
Fosfato Cúprico amónico $\text{Cu}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	30% Cu
Oxido Cúprico (CuO)	60-80% Cu
Sulfato de Cobre*: $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$	35% Cu 25% Cu 13-53% Cu
Boro (B)	
Bórax (tetraborato de sodio decahidratado) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11% B
Acido bórico (H_3BO_3)	17% B
Borato de Calcio (colemanita) $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}5\text{H}_2\text{O}$	10% B
Solubor* $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	20% B
Borato de Magnesio (boracita) $2\text{Mg}_3\text{B}_8\text{O}_{15} \cdot \text{MgCl}_2$	21% B
Hierro (Fe)	
Sulfato Férrico $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	20% Fe
Sulfato Ferroso * $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	20% Fe
Sulfato ferro amónico $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	14% Fe
Fosfato ferro amónico $\text{Fe}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	29% Fe
Oxalato Ferroso $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	30% Fe
Carbonato Ferroso $\text{FeCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	42% Fe
Quelatos de hierro*: Fe DTPA Fe EDTA Fe EDDHA Fe HEDTA	10% Fe 9-12% Fe 6% Fe 5-9% Fe
Ligninsulfonato de hierro	5-11% Fe
Manganeso (Mn)	
Escoria Básica	1-3% Mn
Fritas de manganeso	10-25% Mn
Cloruro de manganeso MnCl_2	17% Mn
Carbonato de manganeso	31% Mn

Unidad base		Multiplicar por	Para obtener
<u>Presión</u>	Atm	1.103	bar
	Atm	101.320	kpa
	Atm	10.330	m.c.a.
	Atm	760.000	mm Hg
	Atm	14.695	psi
	Bar	0.980	atm
	Bar	99.990	kPa
	Bar	10.200	m.c.a.
	Bar	750.060	mm Hg
	Bar	14.500	psi
	Kpa	0.010	atm
	Kpa	0.986	bar
	Kpa	0.102	m.c.a.
	Kpa	7.500	mm Hg
	Kpa	0.145	psi
	m.c.a.	0.097	atm
	m.c.a.	0.098	bar
	m.c.a.	98.088	kPa
	m.c.a.	73.572	mm Hg
	m.c.a.	1.422	psi
	mm Hg	0.001	atm
	mm Hg	0.001	bar
	mm Hg	0.133	kPa
	mm Hg	0.0135	m.c.a.
	mm Hg	0.0193	psi
	psi	0.0680	atm
	psi	0.0689	bar
	psi	6.894	kPa
	psi	0.703	m.c.a.
	psi	51.715	mm Hg
<u>Caudal</u>	gpm	0.063	lt/s
	gpm	3.785	lt/min
	gpm	227.124	lt/hora
	gpm	0.000063	m3/hora
	gpm	0.00222	pie3 /s
	lt/s	15.8503	gpm
	lt/s	60	lt/min
	lts/s	3600	lt/hora
	lt/s	3.6	m3/hora
	lt/s	0.03531	pie3/s
	lt/min	0.2641	gpm
	lt/min	0.0166	lt/s
	lt/min	60	lt/hora
	lt/min	0.06	m3/hora

	lt/min	0.000588	pie3/s
	lt/hora	0.0044	gpm
	lt/hora	0.000277	lt/s
	lt/hora	0.01666	lt/min
	lt/hora	0.001	m3/hora
	lt/hora	0.000009	pie3/s
	M3/hora	4.402	gpm
	M3/hora	0.278	lt/s
	M3/hora	16.666	lt/min
	M3/hora	1000	m3/hora
	M3/hora	0.00981	pie3/s
	Pie3/s	448.831	gpm
	Pie3/s	28.316	lt/s
	Pie3/s	1699.01	lt/min
	Pie3/s	101940.6	lt/hora
	Pie3/s	101.94	m3/hora
<u>Volumen</u>	Gal	3785.412	cc
	Gal	3.785	lt
	Gal	0.0038	m3
	lt	1000	cc
	lt	0.2641	gal
	lt	0.001	m3
	M3	1000000	cc
	M3	264.172	gal
	M3	1000	lt
<u>Masa</u>	g	0.001	kg
	g	0.0022	lb
	g	0.000001	ton
	g	0.0352	oz
	kg	1000	g
	kg	2.204	lb
	kg	0.001	ton
	kg	35.273	oz
	lb	453.592	g
	lb	0.4535	kg
	lb	0.0005	ton
	lb	16	oz
	ton	1000000	g
	ton	1000	kg
	ton	2204.62	lb
	ton	35273.96	oz
	oz	28.349	g
	oz	0.028	kg
	oz	0.063	lb
	oz	0.000028	tn

<u>Longitud</u>	cm	0.01	m
	cm	10	mm
	cm	0.032	pie
	cm	0.393	pulgada
	cm	0.0109	yd
	m	0.01	cm
	m	0.001	mm
	m	3.281	pie
	m	39.37	pulgada
	m	1.094	yd
	mm	0.100	cm
	mm	0.0032	pie
	mm	0.039	pulgada
	mm	0.00109	yd
	pie	30.480	cm
	pie	0.304	m
	pie	304.8	mm
	pie	12	pulgada
	pie	0.333	yd
	yd	91.44	cm
	yd	0.914	m
	yd	914.4	mm
	yd	3	pie
	yd	12	pulgada

RENDIMIENTO Y PESOS

TRIGO y SOJA

1 bushel Trigo o Soja

Bushels a toneladas métricas

Una tonelada métrica es igual a:

= 60 lbs

= 27.216 kg

= 0.0272 ton métrica

= bu. x 0.027216

36.74371 bu de Trigo o Soja

Trigo: bu./acre x 0.06725 = ton métrica/hectárea

MAIZ y SORGO

1 bushel Maíz o Sorgo

Bushels a toneladas métricas

Una tonelada métrica es igual a:

= 56 lbs

= 25.4012 kg

= 0.0254 ton métrica

= bu. x 0.025400

39.3679 bu de Maíz o Sorgo

Maíz: bu./acre x 0.06277 = ton métrica/hectárea

CEBADA

1 bushel cebada

Bushels a toneladas métricas

Una tonelada métrica es igual a:

= 48 lbs

= 21.772 kg

= 0.0218 ton métrica

= bu. x 0.021772

45.9296 bu de Cebada

Cebada: bu./acre x 0.05380 = ton métrica/hectárea

AVENA

1 bushel Avena

= 32 lbs

= 14.515 kg

= 0.0145 ton métrica

Bushels a toneladas métricas

Una tonelada métrica es igual a:

= bu. x 0.014515

68.8944 bu de Avena

Avena: bu./acre x 0.03587 = ton métrica
/hectárea

OTRAS

1 kilogramo = 2.204622 libras

1 quintal = 100 kg

1 ton métrica = 10 quintales = 1 000 kg

1 hectárea= 2.4710 acres

1 milla cuadrada = 640 acres (259 hectáreas)

1 acre = 0.404694 hectárea

= 43.560 pies cuadrados

= 4.4800 yardas cuadradas

Leyenda

Atm	Atmósfera
Cc	Centímetros cúbicos
Cm	Centímetros
G	Gramo
Gal	Galones
Gpm	Galones/minuto
Lb	Libra
Kg	Kilogramo
Lt	Litros
Lt/hora	Litros/hora
Lt/min	Litros/minuto
Lt/s	Litros/segundo
M	Metro

M3	Metros cúbicos
M3/hora	Metros cúbicos/hora
Mm	Milímetros
Mm Hg Mm	columna de mercurio
m.c.a.	Metro columna de agua
oz	Onza
pie	Pie
pie3/s	Pie cúbico/segundo
psi	Libra por pulgada cuadrada
pulgada	Pulgada
ton	Tonelada métrica
yd	Yarda

Guía para la Recopilación de Datos para la Hoja de Seguridad de Materiales Fertilizantes

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y LA COMPAÑÍA

- 1.1 Identificación del Producto
- 1.2 Compañía
- 1.3 Llamada de Emergencia

2. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES

- 2.1 Naturaleza de los ingredientes y concentración
- 2.2 Clasificación

3. IDENTIFICACIONES DE RIESGOS

- 3.1 Salud Humana
- 3.2 Ambientales
- 3.3 Otros

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

- 4.1 Producto

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA EL FUEGO

- 5.1 Medios apropiados para extinción
- 5.2 Riesgos específicos si el producto está implicado en un incendio
- 5.3 Equipo protector especial
- 5.4 información adicional

6. MEDIDAS DE ESCAPE ACCIDENTAL

- 6.1 Precauciones Personales
- 6.2 Precauciones ambientales
- 6.3 Métodos para limpieza

7. MANIPULEO Y ALMACENAMIENTO

- 7.1 Manipuleo
- 7.2 Almacenamiento

8. CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

- 8.1 Límites de exposición Ocupacional

- 8.2 Medidas precautorias y de ingeniería

- 8.3 Protección Personal

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

- 10.1 Estabilidad
- 10.2 Condiciones a evitar
- 10.3 Materiales a evitar
- 10.4 Riesgos de productos de reacción/descomposición

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

- 11.1 General
- 11.2 Datos de Toxicidad
- 11.3 Otros Datos

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

- 12.1 Movilidad
- 12.2 Persistencia/Degradabilidad
- 12.3 Bio-acumulación
- 12.4 Eco toxicidad

13. CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN

- 13.1 General

14. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE

- 14.1 Clasificaciones
- 14.2 Detalles

15. INFORMACIÓN REGULATORIA

- 15.1 EEC Directivas
- 15.2 Leyes Nacionales

16. OTRA INFORMACIÓN

Producción a cargo de:



info@horizonteadigital.com



ISBN 978-987-03-5271-3



9 789873 135271