

Nuevos productos de fertilizantes¹

Introducción

En los últimos 40 años, la industria de fertilizantes ha realizado importantes avances en la mejora tecnológica de los fertilizantes, con la finalidad de mejorar su eficiencia de uso, es decir, proveer niveles óptimos de nutrientes que satisfagan las necesidades de las plantas de cultivo.

Los esfuerzos tecnológico industriales, para aumentar la eficiencia agronómica de los fertilizantes se han centrado principalmente en el nitrógeno (N) por tres razones principales: Es el factor de manejo más importante en los rendimientos a escala global, el de menor eficiencia relativa, (entre el 30 y el 50 %) y por la necesidad de sostener el rendimiento sin poner en riesgo la calidad del ambiente.

Desde que se aplica un fertilizante nitrogenado al suelo hasta que los nutrientes sean absorbidos por el cultivo pueden darse varios eventos de naturaleza biológica y fisicoquímica que afectarán su eficiencia. Cualquier fuente mineral de nitrógeno (N) aplicada al suelo será muy probablemente oxidada a nitrato, forma como el cultivo absorberá en su mayor parte el N aplicado, independientemente de la fuente aportada. Los nutrientes aplicados están expuestos a interacciones químicas complejas y a una competencia entre la flora de microorganismos del suelo y las raíces de la planta. Los procesos biológicos como la desnitrificación y la inmovilización reducirán la disponibilidad de los nutrientes para el cultivo. Así como también los procesos químicos y físicos como la fijación o lixiviación y volatilización. Un "fertilizante ideal" protege los nutrientes contra estos procesos químicos y biológicos y los mantiene disponibles para el cultivo.

El "fertilizante ideal" tiene las siguientes características: 1) Puede aplicarse de una única vez para todo el ciclo de cultivo, proveyendo la cantidad necesaria de nutrientes para un óptimo crecimiento. 2) Tiene la máxima recuperación porcentual del nutriente aplicado, lo que maximiza la rentabilidad por su uso, y 3) Tiene un mínimo impacto de daño ambiental, ya sea sobre el suelo, el agua y la atmósfera (Trenkel, 1997²).

Esta definición del fertilizante ideal nos obliga al empleo de una única aplicación. Sin embargo, los procesos que reducen la disponibilidad de los nutrientes para el cultivo son más importantes cuanto mayor sea la duración entre la aplicación del fertilizante y la absorción del nutriente por el cultivo. Es necesario por lo tanto alguna tecnología para aumentar la eficiencia de uso del fertilizante y por lo tanto sostener la estrategia de la única aplicación.

Este concepto, utilizado para desarrollar el fertilizante más conveniente y que al mismo tiempo proporcione la máxima eficiencia da forma a una gran cantidad de proyectos de investigación en

¹ Resumen de los principales conceptos e información presentada en el Taller Internacional de Fertilizantes de Eficiencia Mejorada. IFA, International Fertilizer Industry Association. Frankfurt, Alemania. 28-30 Junio 2005. con comentarios y análisis del Dr. Ricardo Melgar

² . Improving Fertilizer Use Efficiency. Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. Martin Frenkel, IFA, 1997.

curso. La figura 1 da una idea esquemática del patrón nutricional del comportamiento de un fertilizante ideal.

Una búsqueda de patentes con las palabras claves “fertilizantes de acción retardada o de liberación controlada”, ó “inhibidores de ureasa y de nitrificación”, reveló 1404 patentes industriales entre 1963 y 1999. La mayoría de éstas incluyen los fertilizantes revestidos y productos de liberación lenta con urea-formaldehído y otros productos derivados de la urea. Las tecnologías para los nuevos productos mejorados fertilizantes se enfocan en cuatro grupos; a) Fertilizantes recubiertos con polímeros, b) Fertilizantes de liberación lenta, c) Inhibidores de la nitrificación y d) Inhibidores de la ureasa.

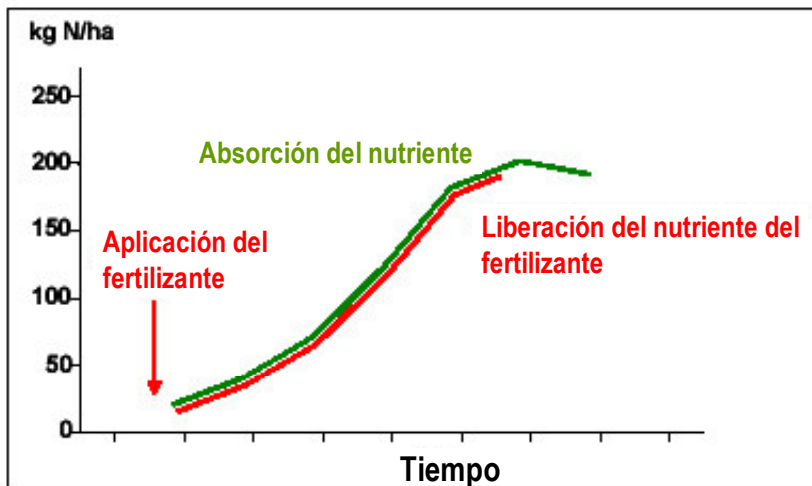


Figura 1. El “fertilizante ideal”: la liberación de nutrientes está sincronizada con la demanda de nutrientes por el cultivo.

De los 430 millones de t de fertilizantes consumidos en el mundo en 1999, los de liberación lenta y controlada apenas fueron 595 mil t (0,15%). Los principales mercados son EEUU (437 mil t) Europa occidental (97 mil t) y Japón (61 mil t) y usados en mercados no agrícolas. Es decir, hogares y jardines (25%), céspedes (35%) y viveros profesionales (32%) son los principales segmentos de mercado. Sólo el 8% se usa en agricultura tradicional. La razón principal de la participación tan baja de mercado de los fertilizantes especiales es su precio. Los fertilizantes mejorados, de liberación lenta o productos revestidos con polímeros son entre 4 y 12 veces más caros que los productos solubles comunes. Por esta razón, solo los cultivos de alto valor admiten su uso sin un impacto importante en el costo de producción. Es importante notar, sin embargo, que las tecnologías se abaratan con el tiempo, y estos supuestos pueden no ser relevantes para algunos cultivos en pocos años.

Los fertilizantes mejorados

Para cumplir con la premisa de entregar los nutrientes a medida que el cultivo los necesita, estos fertilizantes demoran la disponibilidad de entrega de los nutrientes por medio de algún mecanismo. La definición de la AAFCO, (Association of American Plant Food Control Officials) para “**Fertilizantes de liberación lenta o controlada**”: Es un fertilizante que contiene nutrientes vegetales en alguna forma tal que su disponibilidad para la absorción y uso

por las plantas se demora luego de su aplicación, o que su disponibilidad para las plantas se extiende por un tiempo suficiente en comparación a los “nutrientes de rápida disponibilidad”, de otros fertilizantes tales como nitrato de amonio ó urea. Tal demora en su disponibilidad inicial, extendida en el tiempo o disponibilidad continua puede ocurrir por una variedad de mecanismos. Estos incluyen la solubilidad controlada del material en agua (por una cobertura semipermeable, oclusión, o por la inherente insolubilidad en agua de polímeros, sustancias orgánicas nitrogenadas, materiales proteicos u otras formas químicas), la lenta hidrólisis de compuestos solubles de bajo peso molecular u otros mecanismos desconocidos. (AAPFCO, Official Publication #58, 2005).

Mas en detalles, AAPFCO clasifica los nutrientes vegetales lentamente solubles como:

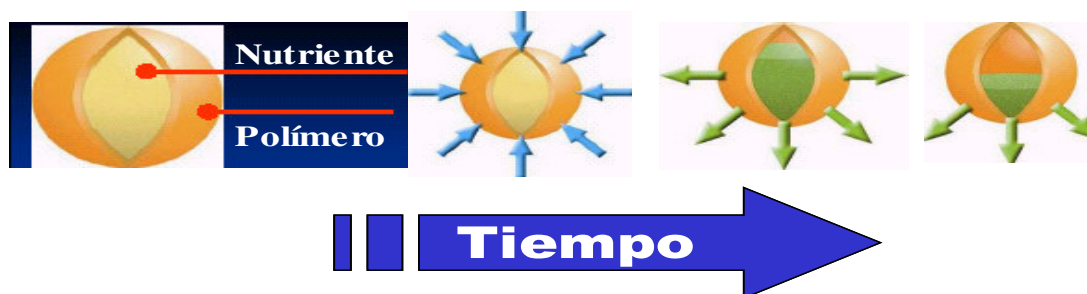
Insolubles en agua: naturales orgánicos, productos de urea-formaldehído IBDU (Isobutilen di urea), materiales urea formas, oxamidas, etc.

Recubiertas con azufre: En este caso el revestimiento de los gránulos de urea se realiza con azufre elemental.

Ocluidos: Fertilizantes mezclados con ceras, resinas, u otros materiales inertes.

Hidrosolubles lentamente disponibles: MDU, DMTU, DCD, solución urea-triazona, etc.

Entre los más modernos denominados de liberación controlada, a diferencia de los llamados de liberación lenta, se encuentran los recubiertos con polímeros. El primer patentado (1967) fue el Osmocote®; siguiéndole varios mas desde fines de los 80: Nutricote®, Meister®, Prokote®, Escote® (1985), y de los 90´ en adelante: PolyOn®, Multicote®, VCote®, TR2®, ESN®, Duration®. Estos muestran menor dependencia de los factores ambientales (humedad, población microbiana, etc.) pero también son mas caros.



Los aditivos a los fertilizantes o fertilizantes estabilizados

Estos productos, mucho más económicos y utilizados con cierta extensión entre los cultivos agrícolas de campo, son de dos clases: 1) Los inhibidores de la desnitrificación, que permiten mitigar las pérdidas por lixiviación y desnitrificación de los nitratos, y 2) Los inhibidores de ureasa, que mitigan las perdidas por volatilización gaseosa como amoniaco al demorar la hidrólisis de la urea.

El objetivo de los inhibidores de nitrificación es mantener el nitrógeno en forma amoniacal, durante más largo tiempo para controlar la lixiviación del nitrato y de tal modo aumentar la eficiencia del nitrógeno del fertilizante aplicado. Previendo, además, las pérdidas por desnitrificación.

Los inhibidores de ureasa retrasan la velocidad de conversión de la urea a amonio. Si la tasa de conversión es lenta, se reduce la volatilización del amoníaco. Los fertilizantes con inhibidores de la nitrificación o de ureasa se refieren como fertilizantes *estabilizados*. En contraste con los fertilizantes de liberación controlada, estos “aditivos” de los fertilizantes se utilizan casi exclusivamente en cultivos agrícolas tradicionales. Aún cuando su uso es mucho más rentable y económico para los productores comparados a los fertilizantes de liberación controlada, su uso ha sido hasta ahora limitado a cultivos de raíces someras poco profundas y bajo condiciones climáticas especiales que favoreces las pérdidas por lixiviación del N del fertilizante.

Entre los inhibidores de la nitrificación existen varios compuestos que se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Algunos inhibidores de nitrificación patentados.

Nombre Químico	Nombre Común.	Desarrollo de	Inhibición al día 14 %
2-cloro-6-(triclorometil) piridina	Nitrapirina	Dow Chemical	82
4-Amino-1,2,4-6-triazol-HCl	ATC	Ishihada Industries	78
2,4-Diamino-6-triclorometiltriazina	CL-1580	American Cyanamid	65
Diciandiamida	DCD	Showa Denko	53
Tiourea	TU	Nitto Ryuso	41
1-Mercapto-1,2,4-triazol	MT	Nippon	32
2-Amino-4-cloro-6-metilpirimidina	AM	Mitsui Toatsu	31

La sustancia denominada N- (n-butil) triamida tiofosfórica (n-BTPT) es el único inhibidor de ureasa disponible comercialmente, bajo la marca de Agrotain®; es un solvente verde claro que contiene entre 20 y 25 % de n-BTPT, y puede usarse para: Impregnar los gránulos de urea, agregarse al licor de urea durante su manufactura, o agregarse a las soluciones de UAN antes de la aplicación en el campo. Las dosis recomendadas varían entre 0,11 y 0.14 % /V/V). Este producto ya se ha ensayado con éxito en Argentina en trigo³, maíz, arroz y pasturas.

Los máximos beneficios de los inhibidores de ureasa se dan cuando: 1) El potencial de rinde de los cultivos es alto; 2) Los niveles de N del suelo son bajos; 3) La incorporación de la urea es difícil y 4) Condiciones ambientales de suelo promuevan una extensiva volatilización.

El incremento de precio de tales productos, normalmente entre un 10 y un 15 %, se compensa por ventajas adicionales y se comparan con el costo de las alternativas. Este incremento de precio resulta mucho menos costoso para la mayoría de los cultivos agrícolas que los fertilizantes de mayor eficiencia. No obstante, estos inhibidores de procesos biológicos del ciclo del N, no han sido más adoptados por varios factores. Entre ellos se mencionan, la adopción del manejo de aplicaciones divididas, fertilizantes relativamente baratos, respuestas

³ Sainz Rozas, H.R., Echeverría, H.E., Studdert, G.A., and Andrade, F.H. 1999. No-till corn nitrogen uptake and yield effect of urease inhibitor and application time, *Agronomy Journal* 91:950-955.

inconsistentes y escasa preocupación ambiental. Varias de estas consideraciones están en retroceso. En particular los altos precios de la energía que arrastran los costos de los fertilizantes. Estos incrementos, junto con una constante y progresiva preocupación ambiental, de la mano de regulaciones más severas, han revalorizado el interés por mejorar la eficiencia de uso del N. Sobre todo los esfuerzos educacionales y la presión social resultan en mayor adopción de practicas de buen manejo como contribución a la protección del ambiente. El desarrollo y la introducción en el mercado de un producto nuevo, efectivo, de bajo precio y no toxico es un proceso largo que requiere años de recolección de datos para su registro.

Perspectivas de los nuevos productos fertilizantes

El uso de los productos de mayor eficiencia progresará más allá de los nichos actuales de mercado solo si proporcionan soluciones más económicas y de menor impacto ambiental que las alternativas actuales. En principio es posible aplicar dos conceptos básicos para mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes. Uno es utilizar fertilizantes diferentes, como los productos mejorados. El otro concepto es utilizar los fertilizantes solubles estándares de una mejor manera. Estas opciones pueden describirse entonces como ***fertilizantes mejorados*** y como ***fertilización mejorada***. La tabla 2 compara una estrategia con foco primario en los productos, con una estrategia con foco primario en el manejo de los fertilizantes.

Tabla 2. Estrategias principales para mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes.

<i>Fertilizantes de eficiencia mejorada</i> (Estrategia de Producto)	<i>Fertilización de eficiencia mejorada</i> (Estrategia de Manejo)
<p><i>Enfoque primario en las características del producto</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fertilizales recubiertos • Fertilizantes de liberación lenta • Inhibidores de nitrificación • Inhibidores de ureasa 	<p><i>Características del producto</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fertilizantes solubles de acción rápida
<p><i>Características del Manejo</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Menor numero de aplicaciones • La expectativa de rinde determina la dosis N 	<p><i>Enfoque primario en el manejo de los nutrientes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación dividida de N • Dosis de N basada en el análisis de planta • Dosis variable de N (tiempo & espacio, agricultura de precisión)

La "estrategia del producto" es reducir el número de aplicaciones, resultando en ahorros de costos de trabajo y energía. Este objetivo describe la finalidad de los fertilizantes mejorados: Reducir las pérdidas de nutrientes que ocurren durante el largo periodo entre la aplicación y su absorción, y reducir cualquier problema de toxicidad causada por una alta dosis implícita en una única aplicación. Para reducir al mínimo las pérdidas de nutrientes y los riesgos de la toxicidad asociado a los fertilizantes solubles, la "estrategia de manejo" implica utilizar aplicaciones divididas donde sea posible.

Tabla 3.. Ventajas y desventajas de ambas estrategias.

<i>Fertilizantes de eficiencia mejorada</i> (Estrategia de Producto)	<i>Fertilización de eficiencia mejorada</i> (Estrategia de Manejo)
--	--

<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conveniencia para el productor • Ahorro de costos en aplicación <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor costo del fertilizante • Incierta expectativa de rinde = Dosis de N puede ser incorrecta 	<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de ajustar la dosis de fertilizante durante el ciclo • Manejo del cultivo • Menor costo del fertilizante <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adquisición de datos para aplicación dividida • Mayor costo por la aplicación dividida
---	---

Para reducir el número de aplicaciones de fertilizantes a una sola, el productor necesita decidir la dosis correcta del fertilizante a la siembra. Esto es un desafío importante ya que la demanda de N cambia de año en año, y más aun de lote en lote y dentro de cada lote. La principal causa es la variabilidad espacial y temporal de la oferta de N del suelo.

En principio la demanda del N del fertilizante depende de la demanda de N del cultivo menos la disponibilidad de N del suelo. Ambos son dependientes de las condiciones climáticas durante la estación de crecimiento. La demanda de N del cultivo puede estimarse por la expectativa de rinde, pero las variaciones climáticas como la temperatura y las precipitaciones, sin embargo, pueden causar desvíos significativos del crecimiento del cultivo respecto del esperado. De la misma manera, estas variaciones afectan la mineralización del N de la materia orgánica de suelo.

El aporte real de N del suelo en un período determinado del crecimiento puede ser absolutamente distinto del promedio. Por consiguiente, rendimientos similares pueden obtenerse en sitios diferentes con distintas dosis de N. Incluso en un sitio determinado la necesidad de N cambia de año en año.

Por lo tanto no una tarea fácil determinar la dosis requerida de fertilizante nitrogenado por anticipado al momento de la siembra. Cualquier estrategia que pretenda basarse en una única aplicación tiene que asumir y manejar ese riesgo. Una sobredosis de N debido a una sobrestimación del rinde previsto reducirá la eficiencia de uso del N, inclusive si se han empleado productos de liberación lenta o controlada. La alternativa es la aplicación dividida de las dosis previstas de fertilizante nitrogenado (Figura 3). Así se reduce la duración entre la aplicación y la absorción del nutriente por el cultivo y retrasa la decisión sobre la dosis total de fertilizante a las últimas etapas del crecimiento. Puede considerarse como un manejo controlado de los fertilizantes ya que el productor maneja la liberación de los nutrientes según la demanda del cultivo.

Los productos y las nuevas tecnologías de los fertilizantes que se discuten no son nuevos. Se han desarrollado durante las décadas pasadas y están comercialmente disponibles desde muchos años. Se asume así que la cuota de mercado en los varios segmentos de los fertilizantes de mayor eficiencia disponibles reflejan el equilibrio económico entre el costo y los beneficios en los segmentos de mercado relacionados

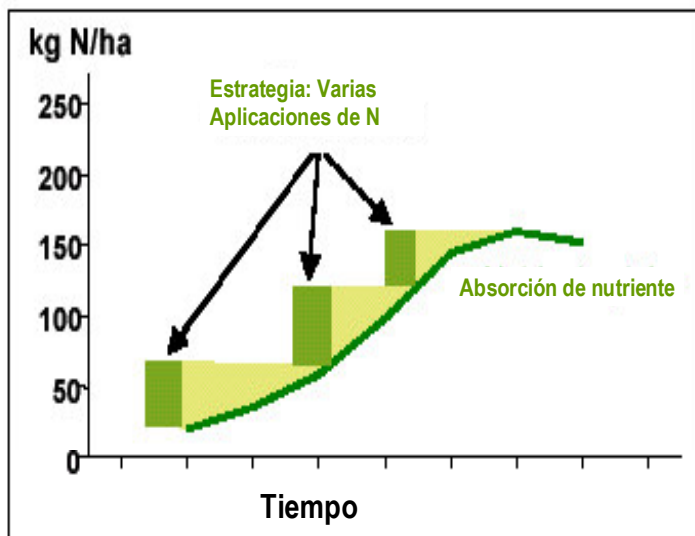


Figura 3. Concepto de la fertilización con mejor eficiencia: La aplicación del fertilizante se realiza en varios momentos.

Dividir las aplicaciones de N en varias veces permite al productor reaccionar ante específicas condiciones climáticas durante el periodo vegetativo y ajustar de esa manera la dosis de N. Así, el objetivo de aplicar la dosis correcta de nutrientes es mucho más fácil de alcanzar con aplicaciones divididas que con una única fertilización. Muchos experimentos de campo han probado este concepto.

Conclusiones

Los productos fertilizantes de mejor eficiencia proporcionan una solución económica para algunos segmentos o nichos de mercado, caracterizado por cultivos de alto valor. Para muchos otros cultivos, el uso de aplicaciones divididas de fertilizantes solubles estándares es una alternativa viable para aumentar la eficiencia de uso de nutrientes. El costo de las aplicaciones divididas fijará el marco para el precio adicional que el productor puede estar dispuesto a pagar por fertilizantes de mayor eficiencia.

Los fertilizantes de mayor eficiencia no son nuevos, existen en el mercado desde décadas y su uso ha venido creciendo. La alícuota del mercado total, sin embargo, sigue siendo muy baja, debido al hecho de que son mucho más caros que los fertilizantes convencionales. Solamente los segmentos de cultivos de alto valor pueden cubrir el costo adicional para ese tipo de productos..

Las perspectivas de los productos de mayor eficiencia dependen del costo futuro de los productos y de las alternativas para aumentar la eficiencia de uso de nutrientes. Una alternativa importante para mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes es la aplicación dividida ó parcelada de los fertilizantes tradicionales. En muchos cultivos las dos estrategias dan lugar a eficiencias de uso muy similares. La estrategia de una única aplicación de fertilizantes se sigue con el desafío de decidir la dosis correcta desde el principio a la siembra. El uso de aplicaciones divididas proporciona la posibilidad de ajustar la oferta de nutrientes durante el ciclo de crecimiento. En

agricultura mecanizada moderna, el costo de un mayor número de aplicaciones de fertilizantes es relativamente bajo, lo que hacen de éste, un concepto muy competitivo.