Calidad de fertilizantes: ¿Cuáles son las principales propiedades y atributos que determinan su valor agronómico?*

Ing.Agr. Esp. Martín Torres Duggan*
Tecnoagro y Comisión de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal-AACS
torresduggan@tecnoagro.com.ar

**Presentado en el Simposio de "Fertilidad 2007". IPNI Cono Sur /Fertilizar AC. Rosario, 10 y 11 de mayo de 2007.*

1. Introducción

La utilización de fertilizantes en la Argentina registró notables transformaciones en la última década, con incrementos considerables en el consumo global de nutrientes y en el desarrollo de la cadena de abastecimiento de productos (Melgar y Torres Duggan, 2005; Melgar, 2006). Las principales tendencias del mercado de fertilizantes son: incremento en consumo de mezclas físicas y del granel como forma de despacho de productos sólidos y líquidos; mayor diversidad de servicios ofrecidos por las empresas proveedoras; aparición de nuevas fuentes de nutrientes y presentaciones de productos; desarrollo de nuevas máquinas agrícolas adecuadas para la aplicación de fertilizantes líquidos y sólidos.

La aparición de nuevas fuentes de nutrientes genera en muchos casos cierta confusión sobre su aptitud agronómica. El ritmo de aparición de las mismas en el mercado frecuentemente supera la capacidad de evaluación agronómica por parte de organismos oficiales de investigación, determinando "vacíos" de información respecto al manejo de estas fuentes. Asimismo, existe escasa información local sobre temas de evaluación de calidad de fertilizantes. El objetivo del presente trabajo es caracterizar las principales propiedades y atributos que determinan la valoración agronómica de los fertilizantes sólidos, tanto de aquellos de síntesis química como de origen mineral.

2. ¿Cómo podemos definir la calidad de un fertilizante?

Debido a que los atributos de calidad de un fertilizante que se valoran o aprecian varían según el actor que se considere dentro del sistema de distribución, para poder definir y caracterizar la calidad de los fertilizantes debemos necesariamente ubicarnos dentro de algún eslabón de la cadena de abastecimiento. Desde la perspectiva del usuario final (quien tiene que decidir la compra del producto) y en un sentido amplio de calidad, para decidir entre alternativas de productos, se consideran diferentes atributos de productos. Algunos de estos son:

- Precio por tonelada y por unidad de nutriente
- Disponibilidad del producto
- Condiciones comerciales
- Presentación física y facilidad de aplicación
- Servicios adicionales ofrecidos por proveedor

La importancia relativa asignada a cada uno de estos atributos dependerá del perfil del comprador. Evidentemente en fertilizantes destinados a cultivos extensivos, el precio, las condiciones comerciales y los servicios ofrecidos por el proveedor tienen un peso relevante en la decisión final de la compra de un determinado producto.

Desde una perspectiva más restringida y orientada a la evaluación de la fuente de nutriente, la calidad de un fertilizante puede ser juzgada básicamente por dos criterios: propiedades químicas y físicas. Las propiedades químicas (contenido de nutrientes, forma y disponibilidad para los cultivos) y la performance agronómica son las principales razones que definen la utilización de un determinado fertilizante. Así, productos con adecuadas propiedades químicas, se verán reflejadas en la respuesta agronómica. En contraste, las propiedades físicas de un determinado fertilizante y su capacidad de resistir procesos de deterioro, son importantes tanto para el procesamiento, manipuleo, almacenamiento, aplicación y también para la respuesta agronómica (Fertilizer Manual, 1998).

3. Calidad de fertilizantes a nivel de la cadena de abastecimiento

3.1. Marco regulatorio

La Legislación Nacional relacionada con el uso de fertilizantes esta plasmada en la Ley 20.466 del 23 de mayo de 1973, su decreto reglamentario (4830/73) y numerosas resoluciones (66/73; 53/76; 1624/80; 403/83; 244/90; 583/93; 310/94; 410/94; 338/95; 273/95; 273/95; 181/96, 214/96; 708/97). El SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria) es la autoridad de aplicación de estas normativas. Dicho organismo está encargado de la regulación y fiscalización de la comercialización de fertilizantes y enmiendas. Todos los productos elaborados, importados y/o fraccionados en la Argentina deben ser inscriptos en este organismo y deben cumplir con la legislación vigente. Escapa al alcance de este escrito el análisis pormenorizado del marco normativo en materia de uso de fertilizantes. No obstante ello, es interesante mencionar que en las últimas resoluciones publicadas se observa un interés creciente en adaptar y actualizar el marco legal original a las nuevas características y exigencias del mercado. Algunos ejemplos son los esfuerzos en actualizar las normas en temas como fertilizantes biológicos y foliares, mezclas físicas, y enmiendas orgánicas, entre otros temas.

3.2. Tipos de fertilizantes y formas de despacho

Existen varias clasificaciones de fertilizantes. Desde una perspectiva de logística de fertilizantes y su relación con la calidad de productos, podemos mencionar la siguiente clasificación:

- **Fertilizantes simples**: formados por un solo compuesto químico y pueden tener uno o más nutrientes.

- **Mezclas físicas o blends**: surgen de la combinación física de dos o más fertilizantes simples. También se las denomina mezclas físicas secas.

- **Fertilizantes complejos:** se obtienen por reacción química (y en algunos casos por compactación física) de diferentes compuestos. Cada gránulo resultante contiene prácticamente el mismo grado. Son menos utilizados en agricultura extensiva, fundamentalmente por razones de costos. Son muy estables y homogéneos tanto en el contenido de nutrientes como en su presentación física.

Las mezclas físicas son las formas de fertilizantes que verificaron el mayor desarrollo en los últimos años. Las principales razones que explican su progresiva adopción son: facilidad de elaboración; menores costos de elaboración con respecto a fertilizantes complejos; mayor flexibilidad en confección de mezclas con diferentes grados (“mezclas a pedido”).

Las bolsas y el granel, constituyen las dos formas de despacho minorista de fertilizantes. En los últimos años, se observa una tendencia creciente al uso del granel, debido principalmente a razones logísticas, con una adopción variable según provincia y localidad. El mayor riesgo de deterioro de productos en fertilizantes a granel puede ser mitigado mediante la incorporación de buenas prácticas de manejo durante las operaciones de transporte, mezclado, almacenamiento y manipuelo de productos. En este escrito se profundizará sobre algunas de estas prácticas en relación a las propiedades de los fertilizantes y su influencia en la calidad final del producto.

3. 3. Factores que inciden en la calidad de producto

La calidad del producto adquirido por el usuario final esta influenciado tanto por la calidad original del mismo (luego de su elaboración) como por el manejo efectuado durante las diferentes etapas del abastecimiento (Fig. 1). La calidad de las operaciones y procesos efectuados en cada una de las etapas del sistema de distribución resultan fundamentales y pueden incidir marcadamente en la calidad del producto. Así, una adecuada calidad "original" del fertilizante (elaboración) es una condición necesaria pero no suficiente para garantizar la calidad final del producto y su adecuado funcionamiento agronómico. Un correcto manejo logístico (transporte, almacenaje, carga, descarga, etc.) en los diferentes eslabones de la cadena de abastecimiento también es imprescindible para garantizar un producto de buena calidad.

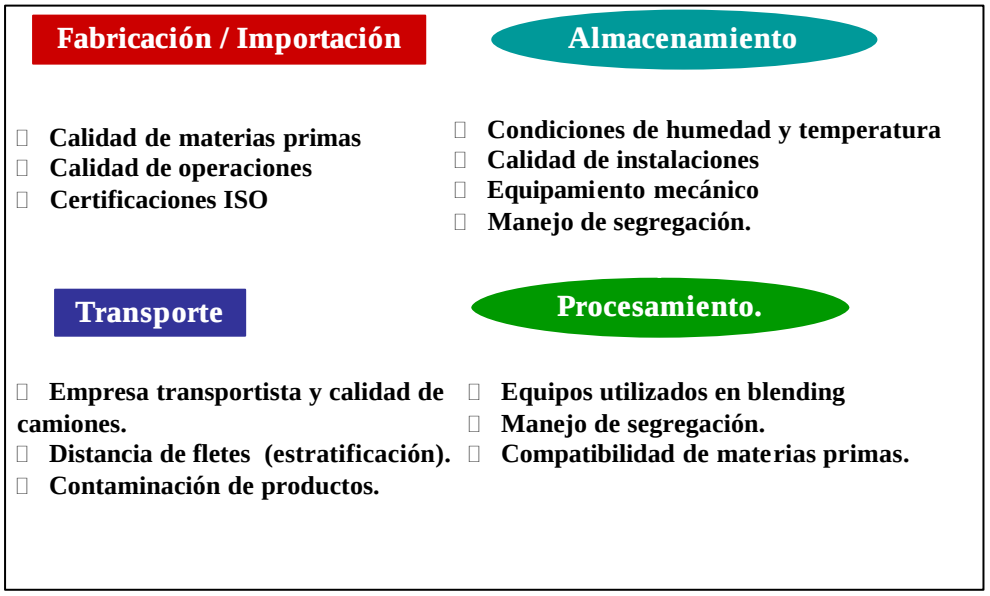

Figura 1. Factores que inciden en la calidad de fertilizantes en diferentes etapas de la cadena de abastecimiento.

4. Propiedades y atributos de fertilizantes

Por razones de espacio, no se caracterizarán en detalle las propiedades físico-químicas de cada fuente en particular. La misma puede ser consultada en bibliografía especializada como "Fertilizer Manual" (1998). También en Mortvedt *et.al.*(1999) y en Engelstad (1985) se puede encontrar información de fuentes y de tecnología de fertilización.

4.1. Granulometría y presentación física

Las dos formas más comunes de presentación de los fertilizantes sólidos son "granulados" y "cristalinos". Estos últimos, también se denominan fertilizantes "cristalino-solubles" o "hidro-

solubles" por su elevada pureza y solubilidad en agua, adecuados para su uso en cultivos intensivos. (fertirrigación).

La legislación vigente en la Argentina establece para los fertilizantes granulados (Resolución N°273/95, artículo primero) los siguientes requisitos: "todas las mezclas físicas granuladas y los fertilizantes complejos (ternarios o binarios) que ingresen o se comercialicen en el país, deberán cumplir con los siguientes parámetros de calidad física: el ochenta por ciento (80%) de la misma queda retenida en tres tamices consecutivos (Norma ASTM). No sobrepasar el dos porciento (2%) de polvo (no retenido en malla ASTM 20) y como máximo el uno coma cinco por ciento (1.5%) retenido en malla ASTM 4". La malla ASTM 20 y ASTM 4 corresponden a tamaños de abertura de 0.841 y 4.7 mm, respectivamente. Así, por ejemplo, un producto que cumpla con las tolerancias de polvo y partículas más grandes, presentará proporciones variables de tamaño de partícula, pero dentro de los extremos de granulometría de 1 y 4 mm.

Debido a la difusión que experimentaron en los últimos años algunas fuentes de fertilizantes de origen mineral como el yeso, se mencionarán brevemente las formas físicas de comercialización de este producto. Las principales formas de presentación física de los yesos ofrecidos en el mercado son:

- Sólido-Granulado
- Pelleteado o Granulado
- Polvo

La presentación de "sólido-granulado" es la denominación que se le asigna a los yesos que luego de la extracción del yacimiento son triturados, zarandeados y "tamañados" a un determinado rango de granulometría. El yeso "granulado o pelleteado" es aquel que luego de la extracción del yacimiento es molido a un tamaño de partícula de polvo fino o entrefino y luego granulado mediante equipamiento específico (disco pelletizador, tambor aglomerador, etc.) a un tamaño de partícula similar que en fertilizantes químicos granulados. En el proceso se utiliza aglomerantes (lignosulfonato de sodio, carboximetilcelulosa, etc.), obteniéndose gránulos esféricos. La cantidad de aglomerante representa un aspecto muy relevante del proceso de pelleteado, ya que cantidades insuficientes de ligante pueden determinar gránulos con baja dureza. Una baja dureza y resistencia a la rotura puede generar aumentos excesivos en la cantidad de polvo, aspecto poco deseable tanto para la elaboración de mezclas físicas como para el manipuleo y/o aplicación a campo. La principal ventaja del yeso "pelleteado" se vincularía con su mejor comportamiento físico durante el procesamiento, distribución y aplicación.

El yeso en polvo, en general, se vende para su utilización en corrección de suelos (enmienda). Todas las presentaciones mencionadas se ofrecen en bolsas pero el uso del granel también es relevante y creciente. Más información sobre las características del yeso agrícola y su manejo agronómico puede ser consultada en Ponce y Torres Duggan (2005).

Un material de referencia en calidad de yesos, es la reciente publicación de la Norma IRAM N°22452/2006 de "Yeso para uso agrícola" que establece requisitos físicos y químicos para su uso como fertilizante y enmienda.

Algunos problemas de contaminación de productos con "materiales extraños" se pueden presentar en fertilizantes importados y manejados a granel, cuando no se disponen de zarandas o equipamiento específico para detectarlos y eliminarlos. También puede ocurrir que el producto se contamine durante el transporte, cuando los camiones no presentan buenas condiciones de limpieza.

4.2. Grado y grado equivalente

El "grado" representa el porcentaje en peso de nutrientes primarios contenidos en un fertilizante, expresado en números enteros, separados por guiones, en el orden siguiente: nitrógeno (N), fósforo asimilable (P) y potasio soluble (K). El "grado equivalente**",** es similar al grado, pero con el P expresado como P_2O_5 y el K como K_2O. El grado es quizás uno de los principales indicadores de calidad química determinante del valor agronómico de un fertilizante.

4.3. Solubilidad en agua

El conocimiento de la solubilidad en agua de las fuentes granuladas utilizadas en cultivos extensivos presenta menor relevancia que en cultivos intensivos. Todos los fertilizantes químicos granulados y sus mezclas son 100% solubles en agua y eso garantiza, en términos generales, su disolución en el suelo y efectividad agronómica. Una excepción son las fuentes de microelementos aplicadas a suelos, ya sea en forma individual o en mezclas físicas, en donde la forma química y la solubilidad en agua de las diferentes fuentes tiene gran influencia sobre su eficiencia agronómica (Lopes, 1999).

Como ejemplos de materiales insolubles en agua utilizados como fertilizantes y/o enmiendas, podemos mencionar la roca fosfórica, la calita, la dolomita, etc. El yeso es un caso particular ya que tiene como característica destacable su relativamente alta solubilidad en agua pura (2.6 g/L a 25°C), considerablemente mayor que minerales como calcita, pero mucho menor que las sales solubles (Porta *et. al.;* 2003).

4.4. Índice salino

El índice salino (IS) es una medida de la tendencia relativa de un fertilizante a incrementar la presión osmótica de la solución del suelo, comparado con el incremento provocado por el mismo peso del nitrato de sodio que se toma como material de referencia. En cultivos extensivos, este indicador resulta de utilidad cuando se efectúan aplicaciones conjuntas de fertilizantes y semillas, por los posibles efectos fitotóxicos. Una reciente recopilación del tema de fitotoxicidad provocados por fertilizantes en cultivos extensivos de grano se puede consultar en Ciampitti *et. al*. (2006).

4.5. Índice de acidez y reacción del fertilizante

La reacción de la fuente de nutriente en el suelo puede resultar interesante en decisiones que tienen que ver con la tecnología de la fertilización (posibles pérdidas de N, fitotoxicidad, acidificación, etc.). Los valores de pH de reacción inicial de los fertilizantes, al igual que lo mencionado para el IS, resultan importantes cuando se analizan procesos de fitotoxicidad de fertilizantes, mientras que la reacción final (ácida, neutra o básica) de la fuente de nutriente dependerá tanto de su forma química como de la capacidad buffer del suelo. Para profundizar en estos temas es posible consultar en bibliografía internacional como Mortvedt *et.al.*, (1999), Halliday y Trenkel (1992), Fertilizer Manual (1998), Engelstad (1985), entre otras. También en bibliografía local como el "Manual de Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes" de N. Darwich (2005), es posible disponer de información de fuentes y su funcionamiento en el sistema suelo-cultivo.

4.6. Pureza

La pureza de un fertilizante es un atributo en general poco relevante en fertilizantes de síntesis química, debido a que los mismos en general tienen purezas muy elevadas. Un panorama muy diferente se evidencia en minerales de uso agrícola cuya pureza puede variar considerablemente entre recursos mineros y aún dentro de ellos. En el libro "Minerales para la Agricultura en Latinoamérica" (Nielson y Sarudiansky, 2005) es posible consultar información

actualizada sobre el estado actual y perspectivas del uso agrícola de varios minerales (fosfatos, carbonatos, yeso, etc.) tanto en la Argentina como en varios países latinoamericanos. En la Argentina, la experiencia indica que lamentablemente se ofrecen productos por fuera del "circuito oficial" indicando concentraciones de nutrientes que corresponden a minerales prácticamente puros, que por el aspecto visual (color, presencia de impurezas, etc.) y/o por su origen, generan dudas sobre la veracidad del grado reportado. Por ello, es importante verificar que el producto esté registrado en el SENASA, quien fiscaliza que la concentración de nutrientes del producto se encuentre dentro de los límites tolerados por la legislación vigente.

5. Calidad de mezclas físicas

5.1. ¿Qué son las mezclas físicas?

Las mezclas físicas o mezclas físicas secas, son fertilizantes que contienen dos o más nutrientes obtenidos a partir de la mezcla mecánica de dos o más fertilizantes simples, que no sean químicamente reactivos o que reaccionen en forma mínima. Los principales requisitos que deben cumplir las mezclas físicas son: tener flujo libre; estar libres de polvo; garantizar la concentración de nutrientes consignada en rótulo de producto (según límites exigidos por la legislación vigente), y presentar una adecuada homogeneidad física. Las mezclas físicas secas se elaboran en plantas de mezclado que pueden estar ubicadas, o bien en los principales puertos que operan con fertilizantes, o bien en plantas de distribución ubicadas en las áreas de servicio. En la Figura 2 se muestra una foto de un equipo mezclador de eje inclinado, acompañado por una tolva con balanza para carga de materias primas.



Figura 2. Equipo mezclador de eje inclinado con tolva con balanza. Imagen gentileza de Anne Yargus Sheehy (Yargus Manufacturing Inc.).

La Resolución N°708/97 establece la obligatoriedad de la inscripción de las plantas de mezclado cuyo volumen global anual supere las 500 toneladas. El SENASA, a través de sus agentes, realiza inspecciones anuales de las plantas registradas y evalúa si las instalaciones y el manejo del proceso son los adecuados para garantizar un producto de buena calidad. Las empresas proveedoras deben inscribir las mezclas físicas elaboradas y se debe garantizar el mínimo contenido de nutrientes que exige la legislación.

5.2. Materias primas o ingredientes utilizados

En la Argentina, los principales fertilizantes simples utilizados como ingredientes de mezclas físicas son: urea granulada, fosfatos de amonio (DAP y MAP), superfosfato simple de calcio (SPS), sulfato de amonio (SA) y yeso. En mezclas confeccionadas para algunos cultivos

regionales también se utilizan algunas fuentes potásicas como el sulfato doble de potasio y magnesio, cloruro de potasio, sulfato de potasio, etc.

5.3. Compatibilidad química de mezclas físicas

Uno de los pasos más importantes para elaborar mezclas físicas de alta calidad es seleccionar ingredientes que sean químicamente compatibles (Tabla 1). Para ello se deben utilizar fuentes que no reaccionen químicamente con otros ingredientes durante o después de la formulación, ni que alteren la composición química o que dañen las propiedades físicas de la mezcla. Si se utiliza materia prima químicamente incompatible, las reacciones entre los compuestos pueden desarrollar calor, gas, humedad, generando una degradación del gránulo, aglutinamiento y cambios en la composición química de la mezcla.

Tabla 1. Compatibilidad química de ingredientes de mezclas físicas.

NA								
X	**UREA**							
SI	SI	**SA**						
SI	L	SI	**SPT**					
SI	L	SI	SI	**SPS**				
SI	SI	SI	L	L	**DAP**			
SI	SI	SI	SI	SI	SI	**MAP**		
SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	**ClK**	
SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	**SK**

X = Incompatible; L = Compatibilidad por un tiempo limitado; SI = Compatible
NA, nitrato de amonio: SA, sulfato de amonio; SPT, superfosfato triple; SPS, superfosfato simple; DAP, fosfato diamonico; MAP, fosfato monoamónico; ClK, cloruro de potasio; SK, sulfato de potasio.

Como se desprende de la Tabla 1, son pocas las combinaciones de fuentes normalmente utilizadas que resultan incompatibles o con compatibilidad limitada. La única combinación incompatible es la de urea con nitrato de amonio, que determina una mezcla extremadamente higroscópica (ver higroscopicidad de fertilizantes). Las compatibilidades limitadas se presentan entre la urea y los superfosfatos o entre el DAP y los superfosfatos. Las mezclas de urea con superfosfatos pueden ser completamente incompatibles si los superfosfatos presentan un contenido de humedad libre elevado. La causa de esta incompatibilidad es la reacción química entre la urea y el fosfato monocálcico (principal constituyente de los superfosfatos), liberando agua de hidratación, y determinando aglutinación del producto (Fertilizer Manual, 1998). Cuando la humedad de la urea y de los superfosfatos es baja y/o se embolsa la mezcla, la reacción ocurre mas lentamente y no representa un problema grave. En el caso de las mezclas de DAP con superfosfatos, cuando los materiales son embolsados durante un largo período de tiempo, se han reportado procesos de apelmazamiento.

Una recomendación práctica es procurar que las mezclas sean aplicadas lo antes posible luego de la recepción en el campo, evitando que el producto se humedezca, alterando sus propiedades y funcionamiento agronómico. Para garantizar una adecuada estabilidad físico-

química, la humedad libre de fertilizantes nitrogenados (urea, nitrato de amonio, sulfato de amonio, etc.) no debería superar el 0.5% (p/p), mientras que en mezclas físicas que contengan algunas de estas fuentes no se debería superar el 0.5-1% de humedad libre (Fertilizer Manual, 1998).

¿Qué es la higroscopicidad de fertilizantes?

La higroscopicidad es definida como la propiedad que tienen los fertilizantes de absorber humedad bajo determinadas condiciones de humedad y temperatura (Fertilizar Manual, 1998). La mayoría de los fertilizantes, con algunas excepciones, son higroscópicos debido a su alta solubilidad en agua. Cuanto mayor es la higroscopicidad de un determinado fertilizante, mas probabilidades hay que se generen procesos de deterioro durante la distribución y aplicación.

La humedad relativa crítica (HRC) de un fertilizante es una propiedad muy importante para evaluar fuentes a emplear en mezclas y para el manejo de las mismas. La HRC es aquella humedad relativa del ambiente (normalmente determinada a 30°C) a partir de la cual un determinado fertilizante comienza a absorber humedad del medio que lo rodea. Esta principalmente influenciada por la composición química del producto y por la temperatura. El aire del interior de las celdas de almacenamiento de fertilizantes debe tener niveles de humedad relativa por debajo de los valores de HRC.

Los valores de HCR de mezclas de fertilizantes usualmente son más bajos que los valores de HCR de cada fuente en forma individual. Un caso muy particular se presenta con la mezcla de la urea (HRC: 70-75%) con nitrato de amonio (HRC: 55-60%). La HCR de la mezcla de estas fuentes determina un producto final con una HCR del orden del 18%, imposible de manipulear y/o almacenar. Esto significa que estas mezclas absorben humedad cuando la humedad relativa del ambiente (a 30° C) sea del 18% o superior. En la Tabla 2 se presentan los valores de humedad relativa de ingredientes y sus combinaciones en mezclas.

Tabla 2. Humedad crítica (%) de principales fertilizantes y sus combinaciones.

	NA	SA	Urea	DAP	MAP	SPT	ClK	SP
Nitrato amonio	55							
Sulfato amonio	55	75						
Urea	18	55	70					
Fosfato diamónico	55	70	50	70				
Fosfato monoamónico	55	70	55	70	70			
Superfosfato triple	50	70	60	75	80	80		
Cloruro potasio	55	70	50	65	65	65	70	
Sulfato potasio	55	70	50	65	65	75	75	75

5.4. Compatibilidad física. ¿Qué es la segregación de partículas?

Si los fertilizantes utilizados como ingredientes en mezclas físicas presentan diferencias considerables en granulometría, responderán en forma diferencial a las fuerzas y acciones mecánicas a las que sean sometidos durante el mezclado, almacenamiento y transporte. Este comportamiento diferencial se denomina "segregación de partículas". Por el contrario, si las fuentes de nutrientes son homogéneas físicamente, responderán de manera similar a las acciones mecánicas, alcanzando un producto uniforme. La densidad de las materias primas no es un factor importante para lograr mezclas homogéneas. Tampoco la forma del gránulo tiene un efecto relevante sobre las tendencias a la segregación. Solo el tamaño de partículas y su distribución debe considerarse para prevenir el proceso de segregación de partículas (Melgar y Torres Duggan, 2005).

La segregación que más influencia tiene en la calidad física de fertilizantes es la denominada por "flujo de partícula" y se genera durante el almacenamiento y manipuleo de productos. Este tipo de segregación se conoce como *"coning"* y se presenta durante la formación de pilas cónicas en las plantas de fertilizantes. Las partículas más pequeñas se desaceleran más fácilmente, mientras que las partículas más gruesas continúan su recorrido "cuesta abajo" hasta llegar al final. Como consecuencia, la mayoría de las partículas mas pequeñas tienden a acumularse en la parte central y superior de la pila, mientras que las partículas más grandes, lo hacen en la base y en la parte externa de la pila. Las plantas modernas de fertilizantes disponen de quipos y accesorios que permiten el "llenado nivelado" de las parvas de fertilizantes, evitando considerablemente la segregación por flujo de partícula.

Otro tipo de segregación es la denominada "por vibración", que se puede presentar durante el transporte de fertilizantes a granel. Cuando la masa de producto esta conformada por fuentes de nutrientes con tamaños de partícula muy diferentes, se puede producir "estratificación". Este proceso podría ocurrir en despachos a distancias muy grandes. En fletes cortos o en productos embolsados, este problema es poco relevante.

¿Cómo se evalúa la compatibilidad física de fertilizantes destinados a mezclas?

La técnica más utilizada en evaluación de compatibilidad física de fertilizantes destinados a mezclas físicas es a través del "SGN" (*"Size Guide Number"*) o "Número de Tamaño Guía" desarrollado por el Canadian Fertilizer Institute. Este indicador se calcula para cada ingrediente de la mezcla. Surge de obtener, en primer lugar, la mediana de la distribución acumulada en peso del producto en una serie de mallas. Posteriormente, el SGN se calcula como el tamaño de partícula en mm que corresponde con el 50% de acumulación de producto (gráficamente la mediana de la distribución), multiplicado por 100 y redondeado al cinco más cercano. Una vez que se calcula el SGN de cada ingrediente de la mezcla, se comparan los valores y se analiza si los mismos se encuentran dentro de los límites de tolerancia (Tabla 3).

Tabla 3. Evaluación de compatibilidad de fertilizantes mediante el uso del SGN (Fertilizer Manual, 1998).

Diferencia en Número de Tamaño Guía (SGN)	**Compatibilidad esperada**
0-10%	Buena compatibilidad
11-20%	Moderada compatibilidad*
>20%	Incompatible

* Precauciones en manipuleo del producto pueden reducir las tendencias a la segregación.

En la Figura 3 se ejemplifican dos casos de compatibilidad física evaluada mediante el SGN en una mezcla de DAP con fuentes potásicas. En un caso (gráfico izquierdo) el DAP (SGN 210) se mezcló con una fuente potásica granulada (SGN 205), logrando una mezcla con buena compatibilidad física. En otro caso (gráfico derecho), el mismo DAP se mezcló con una fuente no granulada de potasio (SGN 140) alcanzando una mezcla incompatible físicamente.

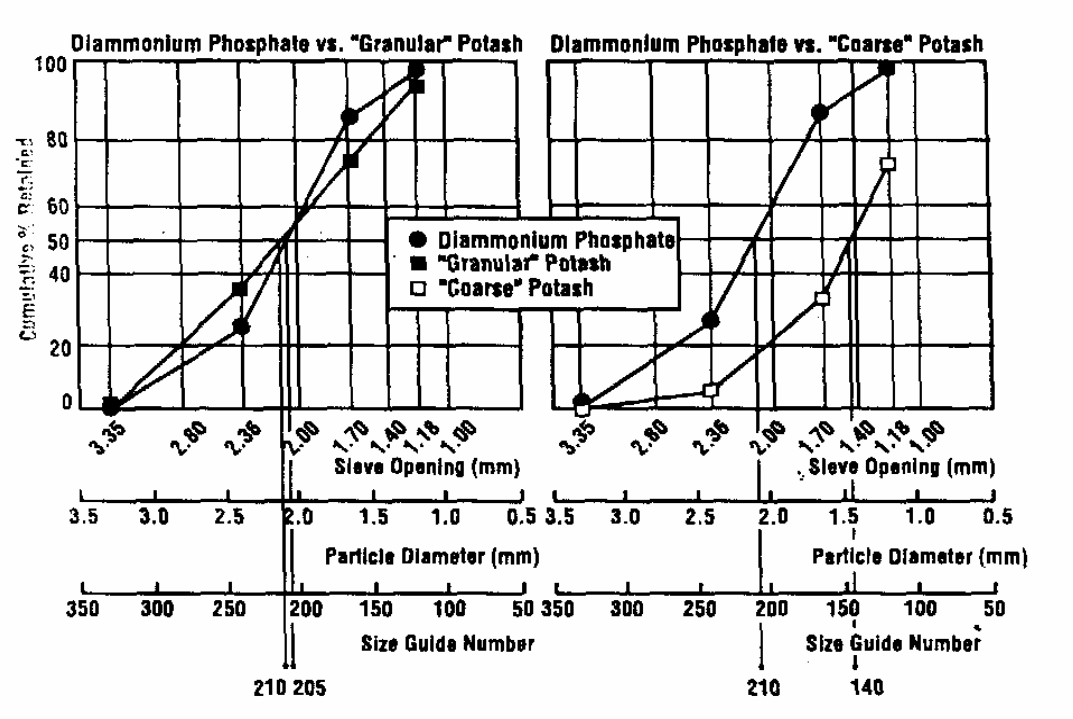

Figura 3. Evaluación de compatibilidad física de ingredientes de mezclas físicas de acuerdo a la acumulación de distribución de tamaños de partículas y uso del SGN (Fertilizer Manual, 1998).

Una problemática especial de la elaboración de mezclas físicas es la inclusión de microelementos debido a las bajas dosis de aplicación, en general menores a los 10 kg/ha de nutriente (Mortvedt y Cox, 1985). No obstante ello, las mezclas físicas constituyen la forma más difundida de aplicación de micronutrientes. Algunos de los problemas que se pueden presentar son los antagonismos entre fuentes de macronutrientes y microelemenos como lo indica Lopes (1999). Este aspecto, es poco considerado cuando se formulan mezclas multinutrientes en esquemas de "fertilización completa" y puede ser un factor determinante de la biodisponibilidad del nutriente y su respuesta agronómica. También la segregación debido a tamaños de partículas diferentes entre fuentes de macroelementos y microelementos constituye un fenómeno frecuente. En la Tabla 4 se muestra un ejemplo de segregación de partículas de una fuente de micronutriente en un control de calidad efectuado sobre bolsas de una mezcla física. La mezcla se confeccionó entre MAP granulado impregnado con Zn y una fuente de Mn en polvo (Mortvedt y Cox, 1985). Debido a la segregación de la fuente de Mn durante el proceso de mezclado y embolsado, se observó gran variabilidad en la concentración de Mn, considerablemente diferente a los valores deseados por el formulador del producto.

Tabla 4. Rango de concentración de microelementos en cuatro bolsas de una mezcla física efectuada entre MAP granulado impregnado con Zn y una fuente de Mn en polvo (Mortvedt y Cox, 1985).

Número de bolsa	Test 1		Test 2	
	% Mn	%Zn	%Mn	%Zn
1	3.0	0.7	2.9	1.4
2	0.7	0.6	0.9	1.6
3	2.9	0.6	9.8	1.1
4	0.6	0.6	4.9	1.4
Concentración deseada	3.0	0.5	3.0	1.2

A continuación se resumen algunas consideraciones y recomendaciones sobre el uso de fuentes de micronutrientes en mezclas físicas:

- ? Las fuentes de microelementos utilizadas en mezclas físicas deben ser reactivas en suelos.
- ? Se deben utilizar fuentes granuladas o impregnadas en gránulos de macroelmentos.
- ? El proceso de mezclado (*blending*) se debe hacer lo más cerca posible del momento de la aplicación y se debe procurar mantener bajos los niveles de humedad del producto en todas las etapas del abastecimiento.
- ? La fertilización foliar o la incorporación de micronutrientes en semillas, representan formas de aplicación alternativas cuando resulta difícil garantizar una aplicación efectiva a suelo.

Las empresas de fertilizantes más modernas y profesionalizadas, en general disponen de programas de control de calidad tanto de los fertilizantes que elaboran como de aquellos que se importan. La evaluación física (mediante el uso del SGN u otras técnicas) forma parte de estos programas. Inclusive muchas de ellas, normalmente evalúan las propiedades físicas a nivel de lotes de productos, pudiendo manejar diferencialmente el manipuleo y despacho según la diferente tendencia a la segregación. Lamentablemente todavía se siguen utilizando fuentes que, o bien por su presentación física o bien por su escasa solubilidad y reactividad en suelo, resultan de respuesta incierta.

Desde el punto de vista del usuario final del producto, la recomendación básica sería adquirir mezclas físicas que estén registradas en el SENASA (en el rótulo del producto debe figurar el número de registro). Este organismo, habilita las plantas de mezclado y evalúa si los equipos y procesos son los adecuados para garantizar un producto final confiable químicamente (uniformidad de grado) y físicamente (homogeneidad granulométrica). Si las mezclas contienen microelementos se debe procurar que los mismos se encuentren en formas químicas y granulométricas adecuadas para garantizar su biodisponibilidad y efectividad agronómica.

La observación visual de la mezcla puede resultar útil en personas que tienen cierta experiencia y entrenamiento. Las diferencias granulométricas muy evidentes pueden alertar sobre la presencia de lotes de productos “fuera de tipo”. Este tipo de situación resulta común cuando se utilizan productos de origen mineral, que como se indicó en este reporte, suelen evidenciar más variabilidad físico-química que los productos de síntesis química. Asimismo, la existencia de empresas que no tienen yacimientos propios y actúan como revendedores de estos minerales, determina que en la práctica resulta muy difícil sostener en el tiempo condiciones de homogeneidad físico-química de los productos comercializados.

6. Conclusiones

La calidad de fertilizantes es un tema considerablemente amplio y sobre el que se dispone de escasa información local. En un sentido amplio, la calidad del producto adquirido por el usuario final (productor o quien tenga que decidir la compra) estará influenciado tanto por la “calidad original” (dependiente del proceso de elaboración) como así también por la calidad de los procesos y operaciones llevados a cabo durante el abastecimiento del fertilizante: elaboración y/o importación, transporte, almacenamiento, manipuleo de productos, etc. Desde un enfoque más restringido y desde una perspectiva del usuario final, la calidad de un fertilizante se puede evaluar a través de algunas propiedades físicas y químicas que tienen relevancia agronómica. El grado, la granulometría, las formas químicas de nutrientes y su aptitud para el mezclado físico, son algunas de los atributos que podemos analizar para determinar el valor agronómico de un fertilizante. En términos prácticos y desde la perspectiva del usuario final, resulta fundamental como garantía básica de calidad, verificar que el fertilizante este inscripto en el SENASA. Esto se puede comprobar observando el rótulo del producto, en donde debería figurar el número de registro y en el

caso de tratarse de una mezcla física, también el número de inscripción de la planta de elaboración. Esto constituye una "garantía oficial" fundamental que el producto adquirido cumple con la legislación vigente, tanto en sus requisitos físicos como químicos. En el caso de algunas fuentes de origen mineral como el yeso, en donde aún no se establecieron requisitos de uso por parte de los organismos oficiales, es posible consultar materiales de referencia como las normas establecidas por organismos reconocidos como el IRAM u otros.

7. Agradecimientos

Al Ing. Agr. Augusto Piazza por facilitarme la legislación vigente en materia de uso de fertilizantes en la Argentina.

8. Bibliografía

Ciampitti I.A., H. Fontanetto, F.G. Micucci, F.O. Garcia. 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto con la semilla: efectos fitotóxicos. IPNI Cono Sur. Archivo Agronómico N°10. www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf

Darwich N. 2005. Manual de Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes. Segunda Edición. Talleres de Gráfica Armedenho. Mar del Plata. 289 p.

Engelstad O.P. 1985. Fertilizer Technology and Use. Editor. Soil Science of Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 631 p.

Fertilizer Manual. 1998. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and Internationl Fertilizer Development Center (IFDC). 615 p.

Halliday D.J y M.E. Trenkel. 1994. Editors. Fertilizer and their efficient use. In: IFA Word Fertilizer Use Manual 632 p.

Lopes A.S. 1999. Micronutrientes. Filosofias de aplicacao e eficiencia agronomica. ANDA (Associacao Nacional para Difusao de Adobos). Sao Pablo. 70 p.

Melgar R. 2006. El mercado de fertilizantes en la Argentina y su relación con el sector agropecuario. En: Fertilidad de suelos y Fertilización de Cultivos. H. E. Echeverría y F.O , García (Editores). Ediciones INTA. 525 p

Melgar R. y M. Torres Duggan. 2005. Comercio y abastecimiento moderno de fertilizantes. Ed. Hemisferio Sur-INTA. 196 p.

Mortvedt J.J., L.S. Murphy, R.H. Follet. 1999. Fertilizer technology and application. Maister Publishing Co. 199 p

Mortvedt J.J. y F.R. Cox. Production, marketing and use of calcium, magnesium, and micronutrient fertilizer. 455-481. p. In: Engelstad, O.P.1985. Fertilizer Technology and Use. Editor. Soil Science of Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 631 p.

Norma IRAM N°22452/2006. Yeso para uso agrícola. Primera edición. 34 p.

Nielson H. y R. Sarudiansky. 2005 (Editores). Minerales para la agricultura en Latinoamérica. CyTED-UNSAM-OLAMI. 574 p.

Ponce B. y M. Torres Duggan. 2005. Yeso. (425-515 p) En: Minerales para la agricultura en Latinoamérica. CyTED-UNSAM-OLAMI. 574 p.

Porta J., M. López Acevedo, C. Roquero. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Editorial Mundi-Prensa. Tercera Edición. 929 p.