

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

21 MAR. 2012

24634

59770

Propiedades generales de los fertilizantes sólidos

PROPIEDADES GENERALES DE LOS FERTILIZANTES SÓLIDOS

MANUAL TÉCNICO

Ricardo Guerrero Riascos

Ingeniero Agrónomo, M. Sc., Asesor técnico, Monómeros Colombo Venezolanos.
Profesor Emérito, Universidad Nacional de Colombia.

Monómeros Colombo Venezolanos S.A. (E.M.A.)

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, sin permiso de Monómeros Colombo Venezolanos, S.A. (E.M.A.)

Prohibida su venta

Cuarta edición, 2004

ISBN: 958-95295-5-0

Monómeros Colombo Venezolanos, S.A. (E.M.A.)

Oficina principal y planta: Vía 40, Las Flores

Barranquilla, Colombia

Oficina Bogotá: Avenida 13 No. 100-34 piso 4º

Bogotá, Colombia

Diseño y diagramación: Justo García Noriega.
Claudia Acosta Ortiz

Contenido

Introducción	7
Capítulo 1: Definiciones y conceptos	9
1.1 Definición de fertilizantes	9
1.2 Aprovechabilidad del fertilizante	9
1.3 Expresión del contenido nutricional	10
1.4 Definición de algunos términos usuales	11
Capítulo 2: Propiedades físicas	14
2.1 Granulometría	14
2.2 Consistencia del gránulo	17
2.3 Densidad aparente	18
2.4 Humedad relativa crítica	21
Capítulo 3: Problemas físicos	25
3.1 Segregación	25
3.2 Compactación	27
Capítulo 4: Propiedades químicas	29
4.1 Solubilidad	29
4.1.1 Disolución de los fertilizantes	29
4.1.2 Significado agronómico	31
4.2 pH de la solución saturada	32
4.2.1 Fertilizantes nitrogenados	34
4.2.2 Fertilizantes fosfóricos	35
4.3 Equivalente de acidez o basicidad residual	36
4.4 Índice de salinidad	39
Capítulo 5: Compatibilidad química en mezclas	41
Bibliografía citada	43
Características de los abonos NUTRIMON	45
1. Solubilidad	45
2. Granulación	45
3. Portadores Nutricionales	45
4. Especificaciones de los Fertilizantes NUTRIMON	46

Introducción

La comisión del Medio Ambiente y Desarrollo estima que los países en vías de desarrollo han mostrado un tremendo incremento en el uso de fertilizantes en las últimas décadas y que ello explica, en gran parte, el también notable aumento en su producción de alimentos (Baanate, et. al, 1989).

Ya en el comienzo del tercer milenio, la agricultura tecnificada mundial sigue utilizando a la fertilización o abonamiento como una de las herramientas claves para el manejo adecuado de la nutrición vegetal y la obtención de altos rendimientos y máximas utilidades en el negocio agrícola.

Sin embargo, en los sistemas agrícolas contemporáneos, el uso adecuado y eficaz de fertilizantes debe estar encaminado también a la obtención de:

- a) Óptima calidad de los alimentos y materias primas.
- b) Tolerancia de las especies cultivadas a la incidencia de plagas y enfermedades, al igual que a otras condiciones adversas.
- c) Mantenimiento del suelo como recurso natural, en general, y de su fertilidad, en particular, como factores claves de la agricultura sostenible.

Además, sigue siendo primordial la búsqueda de una mayor eficiencia en la fertilización. En nuestros sistemas agrícolas se sigue obteniendo una baja eficacia en el abonamiento, lo cual repercute en limitaciones de la productividad y mayores costos.

La obtención de los objetivos señalados exige, de entrada, conocer muy bien y entender el significado agronómico de las características físicas y químicas de los materiales fertilizantes, lo cual justifica la publicación de este manual técnico cuyo propósito es el de ofrecer una información válida ya actualizada a los estudiantes, técnicos, profesionales y agricultores, sobre las propiedades de los productos fertilizantes sólidos.

1. Definiciones y conceptos

1.1 Definición de fertilizantes

Por fertilizante se entiende cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético, que suministra a las plantas uno o más de los elementos nutricionales necesarios para su normal crecimiento.

Lo anterior supone que la condición indispensable para que un material se considere como fertilizante es doble: de una parte, debe contener uno o más de los nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal y, de otra, la sustancia en cuestión debe estar en capacidad de ceder estos elementos por su naturaleza y propiedades específicas a las plantas, es decir, debe contenerlos en estado aprovechable.

1.2 Aprovechabilidad del fertilizante

Un fertilizante comercial es un material que contiene al menos uno de los nutrientes primarios en forma asimilable para las plantas. Los elementos esenciales primarios forman una muy amplia variedad de compuestos químicos con diferentes grados de solubilidad en agua. Sin embargo, la solubilidad en agua no es el único criterio para medir o calificar la aprovechabilidad de un fertilizante.



Partículas cristalinas de sulfato de amonio

Algunos materiales fertilizantes de solubilidad limitada en agua han demostrado ser aprovechados por la planta y, en algunos casos, ser tanto o más efectivos que aquellos fertilizantes altamente solubles en agua. Sin embargo, algunos materiales son tan insolubles que virtualmente no pueden ser considerados como fertilizantes. Por ello, la mayoría de los países exige que, al menos, una proporción del contenido del nutriente en el fertilizante sea soluble en agua o en otro reactivo: por ejemplo, solución de acetato de amonio neutro.

Puesto que los fertilizantes nitrogenados y potásicos convencionales son de muy alta solubilidad, la solubilidad en agua se acepta universalmente como una medida de la aprovechabilidad nutricional para la planta. Algunos métodos especiales deben ser aplicados para materiales menos solubles, solamente cuando haya evidencia que señale a la solubilidad baja o controlada como ventajosa para la planta.

En el caso de los fertilizantes fosfatados hay una variedad muy amplia que contiene fósforo total o casi totalmente soluble en agua y materiales de solubilidad limitada, cuya disponibilidad agronómica se evalúa mediante diferentes metodologías. Además de la solubilidad en agua, los métodos más comunes se basan en la solubilidad del fósforo en soluciones neutras o alcalinas de nitrato de amonio, o en soluciones de ácido cítrico o fórmico. Además, el contenido total de fósforo puede ser aceptado para algunos materiales. En Colombia, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) estipula o acepta como fósforo asimilable de los fertilizantes aquel que resulta de la suma del fósforo soluble en agua y del fósforo soluble en citrato de amonio neutro.

1.3 Expresión del contenido nutricional

En la actualidad, la mayoría de los países aceptan que los contenidos nutricionales de los abonos se expresan en términos de nitrógeno elemental (N), pentóxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de potasio (K_2O). Los elementos secundarios y los microelementos se expresan usualmente en términos de base elemental; sin embargo, el calcio y el magnesio son expresados frecuentemente como óxidos.

Este sistema de expresión es utilizado internacionalmente, en particular en el ámbito comercial. Sin embargo, es completamente convencional y arbitrario. Las siglas utilizadas no están relacionadas con ninguna característica del abono. Así, el hecho de expresar el contenido de nitrógeno como N elemental, no debe interpretarse en el sentido de que ese sea el estado químico del elemento en el abono: lo propio es aplicable al resto de los nutrientes. En el ámbito científico actual se tiende en a utilizar la expresión elemental para todos los nutrientes.

En la tabla 1 se recopilan los factores que deben aplicarse para convertir los contenidos nutricionales de la base elemental a la de óxido o viceversa. Este tipo de conversión es utilizado con frecuencia para los cálculos requeridos en la práctica de la fertilización.

1.4 Definición de algunos términos usuales

a) Grado

El grado de un fertilizante se define como la relación del contenido nutricional expresado en porcentaje (peso), en el siguiente orden: N-P₂O₅-K₂O. En consecuencia, el fertilizante cuyo grado es 13-26-10, por ejemplo, contendría 13% de nitrógeno (N), 26% de fósforo (P₂O₅) y 10% de potasio (K₂O). En el caso de los fertilizantes compuestos, el grado se emplea usualmente para designar el respectivo producto. En nuestro medio, es muy común utilizar la denominación de fórmula en lugar de grado, pero estrictamente hablando ese término tiene otro significado.

Tabla I. Factores de conversión de la expresión en base óxido a la expresión en base elemental y viceversa (IFDC 1979)

P ₂ O ₅	X 0,44	(0,4364)**	=P
P	X 2,29	(2,2914)	=P ₂ O ₅
K ₂ O	X 0,83	(0,8302)	=K
K	X 1,20	(1,2046)	=K ₂ O
CaO	X 0,71	(1,3992)	=CaO
MgO	X 0,60	(0,6030)	=Mg
Mg	X 1,66	(1,6582)	=MgO
SO ₄	X 0,33	(0,3333)	=S
S	X 3,00	(3,0000)	=SO ₄

** Los factores entre paréntesis deben utilizarse para cálculos que demanden alta precisión

b) Fertilizante químico

Es un producto manufacturado que contiene cantidades sustanciales de uno o más de los elementos esenciales primarios. El proceso de producción industrial suele involucrar reacciones químicas, pero también puede consistir simplemente en la refinación de las fuentes fertilizantes naturales. Tal es el caso del cloruro de potasio.

c) Fertilizante simple

Se denomina así al abono que contiene solamente uno de los tres elementos esenciales primarios. Tal es el caso de la úrea, el superfosfato triple o el cloruro de potasio.

d) Fertilizante compuesto

Es el abono que contiene más de uno de los tres elementos esenciales primarios. Los fosfatos de amonio, por ejemplo, son fertilizantes compuestos ya que contienen fósforo y nitrógeno. Sin embargo, en algunos países estos fertilizantes se consideran erróneamente simples.

e) Fertilizante de mezcla física

Es el fertilizante compuesto resultante de la simple mezcla física o mecánica de dos o más materiales, sin que medie reacción química alguna. Así por ejemplo, de la mezcla de fosfato diamónico y cloruro de potasio, en proporción 83,3% y 16,7%, respectivamente, resulta el fertilizante compuesto de grado 15-38-10.

f) Fertilizante complejo

Se define como tal el abono compuesto resultante de la reacción química de ingredientes o materias primas. Normalmente, la producción de este tipo de abonos requiere de un montaje industrial relativamente complicado, de donde resulta la denominación de «complejo» que recibe el producto resultante. En esencia, el fertilizante complejo difiere del mezclado en que cada una de sus partículas presentará la misma composición de N, P_2O_5 y K_2O . Por el contrario, la composición de una partícula en un fertilizante compuesto producido mediante mezcla física será la del ingrediente de la mezcla al cual pertenece. Esta característica tiene trascendencia en lo relativo a los efectos del fenómeno de segregación que se verán más adelante.

g) Estado físico

En general, los fertilizantes se utilizan en estado sólido, líquido o gaseoso. Este tratado considera los fertilizantes sólidos pero, aun en este estado, debe tenerse en cuenta que existe más de una alternativa de presentación física. Así, el estado cristalino es común en algunos fertilizantes de origen natural; tal es el caso del cloruro de potasio, en tanto que los fertilizantes manufacturados o sintéticos pueden ser granulados o cristalinos.

h) Fertilizante natural

Es aquel producto fertilizante obtenido de depósitos o yacimientos minerales, el cual es comercializado después de ser sometido a un proceso de beneficio y empaque. La roca fosfórica y el cloruro de potasio constituyen ejemplos de fertilizantes de origen natural.

i) Fertilizante sintético

Es el abono manufacturado mediante un proceso industrial. Como ya se indicó, los fertilizantes complejos son sintéticos, al igual que una gran variedad de fertilizantes simples, como la úrea, superfosfatos, nitrato de amonio, etc.

Una variante del origen sintético es el de los subproductos. En efecto, algunos materiales fertilizantes resultan de procesos industriales no encaminados a su obtención sino a la fabricación de otro producto. Los ejemplos más conocidos en esta categoría son el de las escorias thomas, que son subproductos de siderurgia, y el del sulfato de amonio, remanente del proceso de producción de la caprolactama.

j) Fertilizante granulado

Material fertilizante en el cual las partículas están constituidas por gránulos de diámetro variable que oscilan generalmente entre 2 y 4 mm. En general, el término granular no implica un proceso específico para obtener la granulación, ya que esta puede lograrse mediante la agregación de partículas pequeñas, fraccionamiento y tamizado de fragmentos grandes y control del tamaño del cristal en los procesos de cristalización.

k) Fertilizante cristalino

Es el abono cuyas partículas están constituidas por cristales de diferente tamaño y forma. El sulfato de amonio, nitrato de potasio y el cloruro de potasio constituyen ejemplos de fertilizantes cristalinos.

l) Fertilizante «prilled» o perlado

Fertilizante cuya granulación de forma esférica se obtiene mediante la solidificación de gotas durante su caída en aire u otro medio fluido, tal es el caso de algunos tipos de úrea. Las partículas resultantes son pequeñas y su diámetro oscila entre 1 y 2 mm.

m) Portador nutricional

Se refiere al compuesto químico que contiene el nutriente en el abono. Así, el portador del fósforo en el superfosfato es el fosfato monocalcico $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$. Como es lógico, el portador nutricional de un abono podrá ser de naturaleza mineral u orgánica. Casi todos los fertilizantes sintéticos convencionales son de origen mineral, es decir, el portador nutricional es inorgánico; la excepción la constituye la úrea cuyo portador es orgánico $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$.

n) Abono orgánico

Se denomina abono orgánico al material fertilizante cuyo portador nutricional es un compuesto de tal naturaleza. Entre los fertilizantes sintéticos, el único con portador nutricional orgánico es la úrea. Otros abonos orgánicos son los de origen natural, tales como los residuos de cosecha, abonos verdes y estiércoles.

ñ) Sigla Comercial

Se refiere a los vocablos cortos con los cuales se identifican los fertilizantes, tales como SAM (Sulfato de Amonio), SULPOMAG (Sulfato doble de potasio y magnesio), etc.

2. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de un fertilizante son de considerable importancia, tanto desde el punto de vista de su efectividad agronómica, como en lo relativo a sus satisfactorias condiciones de aplicación, transporte y almacenamiento. Una buena cantidad de problemas que se presentan con los fertilizantes, tales como la compactación, segregación y excesiva higroscopicidad, son el resultado de inadecuadas propiedades físicas. Generalmente, las técnicas de manufactura utilizan diferentes tratamientos para generar condiciones físicas favorables.

2.1 Granulometría

Antes de 1950 la mayoría de los materiales fertilizantes se producían en polvo o cristales finos. Como resultado, los fertilizantes tenían un manejo engorroso y eran muy susceptibles a sufrir compactación durante su almacenamiento, lo cual significaba un trabajo largo y tedioso para romper los aglomerados y dejar el producto en condiciones de ser aplicado. El advenimiento y generalización de la granulación ha mejorado notablemente las condiciones de manejo y almacenamiento de los fertilizantes.

Así mismo, la granulación ha hecho posible las aplicaciones aéreas de los fertilizantes y la utilización del sistema «bulk blending» en la preparación de fertilizantes compuestos por mezcla física, tecnología ésta que disminuye la tendencia a la segregación de las partículas.

La determinación del tamaño de partículas y su distribución es importante y es aplicada con frecuencia en los análisis de rutina por los laboratorios de control de calidad de las industrias productoras de fertilizantes. Sin embargo, su importancia varía de un producto a otro. Así, es conocido que los abonos con muy baja solubilidad en agua deben tener un tamaño de partícula fino para asegurar su disolución en el suelo y su adecuada utilización por las plantas. En este caso estarían la roca fosfórica, las escorias thomas, el fosfato bicálcico, los fosfatos térmicos, el yeso, las cales y las dolomitas. Desde luego que la finura requerida por estos materiales produce una condición polvosa que dificulta su manejo.

La importancia del tamaño de partícula en los fertilizantes de alta solubilidad radica en el hecho de que la tasa de disolución está relacionada inversamente con el tamaño del gránulo, lo cual es clave cuando se trata de fabricar fertilizantes de lenta liberación. De otra parte, se ha demostrado que un tamaño de partícula superior a 5 mm conduce a una mejor eficiencia de los fertilizantes fosfatados de alta solubilidad, tales como los superfosfatos o los fosfatos de amonio, cuando son aplicados en suelos altamente fijadores de fosfatos (Suárez, 1971).

La Figura 1 ilustra este patrón de comportamiento, en lo que podría ser el efecto promedio del tamaño de partícula sobre la eficacia agronómica de los fertilizantes

fosfatados, en función de la solubilidad, según lo planteado por Engelstad y Russel (1975). Sin embargo, el efecto de la granulometría sobre la aprovechabilidad de los fertilizantes hidrosolubles es muy variable y depende de factores múltiples como las características del suelo, especie cultivada, naturaleza del fertilizante y tecnología utilizada para su aplicación.

Fassbender (1968) encontró en condiciones de invernadero que la eficacia del superfosfato hidrosoluble en polvo fue prácticamente nula, pero se incrementó sustancialmente cuando se utilizó superfosfato granulado, cuando la capacidad de fijación de fosfatos en el suelo es muy acentuada, como ocurre en los andisoles. Contrario a lo esperado, la eficacia de las escorias thomas, bajo las mismas condiciones, fue igualmente baja o nula (Figura 2). En el suelo de baja capacidad de fijación de fosfatos se incrementaron tanto la eficacia del superfosfato en polvo como la de las escorias, siendo superior, sin embargo, la que se obtuvo con el superfosfato granulado.

De igual manera, Suárez (1971) encontró que la utilización de P por el tomate, a partir del superfosfato triple, se incrementó acentuadamente cuando el tamaño de la partícula aumentó de 0,5 a 6 mm de diámetro en un suelo alofánico con alta capacidad de fijación de fosfatos (Figura 3). En contraste, Arias y Cantillo (1983) encontraron que tanto el fosfato monoamónico como el fosfato diamónico fueron más eficaces cuando el diámetro de partícula osciló entre 1 y 2 mm, aplicados a la cebada en un suelo tropept de la sabana de Bogotá (Figura 4).

Engelstad y Terman (1980) explican que la relación tamaño de partícula solubilidad del P, y su efecto sobre la eficiencia de los fertilizantes fosfatados hidrosolubles, no es clara y tiende a desaparecer en la medida que aumenta la disponibilidad del P en el suelo. De otra parte, la granulometría puede jugar un papel importante en lo concerniente al comportamiento agronómico de los fertilizantes nitrogenados. Así, la utilización de úreas granuladas y supergranuladas puede determinar un incremento en su eficiencia, en comparación a la úrea «Prilled» comúnmente usada en nuestro medio.

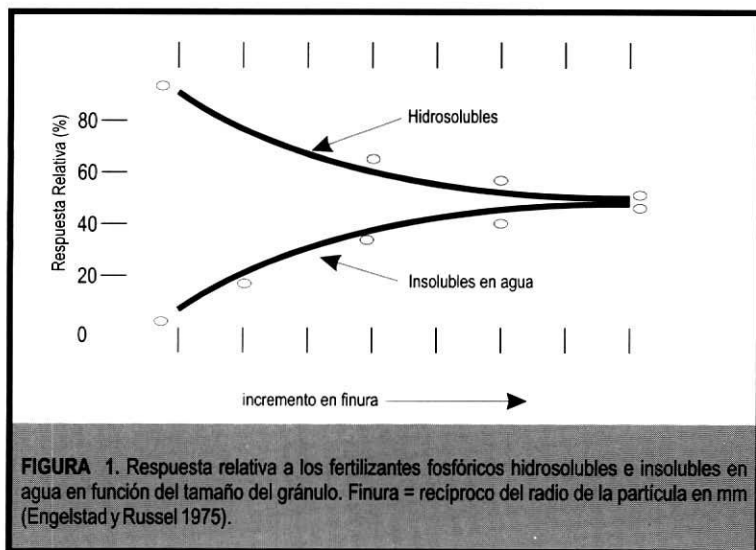
Al respecto, Nommik (1974) demostró que la pérdida de N por volatilización, a partir de la úrea, fue más rápida cuando se utilizó úrea «prilled» o de gránulo pequeño, en tanto que el proceso se retardó significativamente a medida que aumentó el tamaño del gránulo, tal como se ilustra en la Figura 5. El autor de la investigación explica que este efecto se puede explicar por:

- a) Una menor tasa en el proceso de hidrólisis enzimática de la úrea, a medida que aumenta el tamaño de la granulación.
- b) Un incremento en la tasa de difusión vertical de la úrea y del amonio liberado, merced al incremento en el gradiente de concentración. Así, el amonio, al moverse hacia un horizonte más profundo, queda protegido de la acción de la volatilización.

2.2 Consistencia del gránulo

Las partículas del fertilizante deben tener suficiente estabilidad mecánica, con el objeto de mantener un comportamiento normal durante las labores de manipuleo, sin que los gránulos se rompan y formen polvo. A efecto de lo anterior, se conocen tres distintos tipos de consistencia mecánica, reconocidos como deseables, a saber:

- Resistencia al rompimiento
- Resistencia a la abrasión
- Resistencia al impacto



En un buen número de países de la América Latina, los fertilizantes una vez empacados suelen requerir de un intenso manipuleo en operaciones de transporte y almacenamiento. Desde el momento en que un bulto de abono sale de la fábrica hasta cuando es aplicado en el predio o parcela del agricultor, el recorrido suele ser de miles de kilómetros, en medios de transporte diversos y bajo condiciones adversas. En estas circunstancias, el deterioro físico del abono puede ser acentuado. Las partículas o gránulos se rompen o desmoronan, produciendo una alta proporción de finos o de material polvoso indeseable, ya que genera atterramiento o compactación del producto. Estos problemas pueden evitarse o, cuando menos, atenuarse en los fertilizantes cuyos gránulos tienen un buen nivel de consistencia.

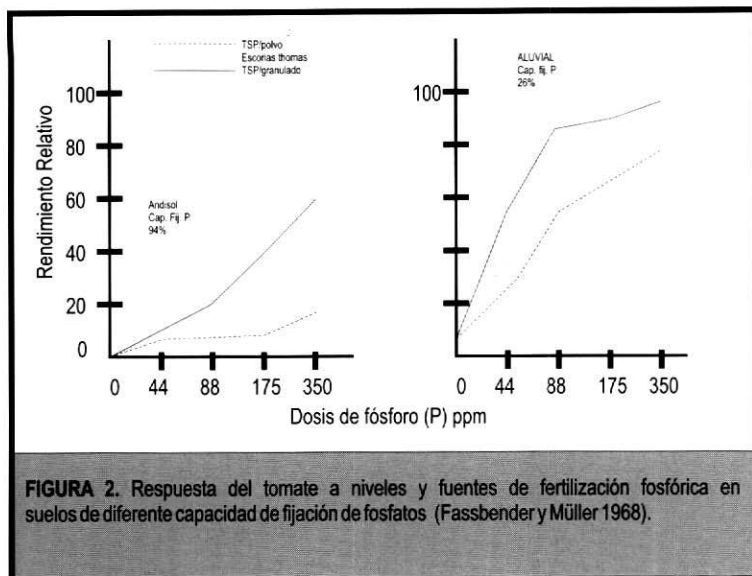


FIGURA 2. Respuesta del tomate a niveles y fuentes de fertilización fosfórica en suelos de diferente capacidad de fijación de fosfatos (Fassbender y Müller 1968).

2.3 Densidad aparente

La densidad aparente se define como el peso del producto por unidad de volumen a granel. La consideración de esta característica es importante para calcular el tamaño de los empaques, determinar la capacidad de almacenamiento en bodegas o en vehículos de transporte, así como para la calibración de dosificadores volumétricos de abono. En la Tabla 2 se recopilan los rangos de densidad aparente de algunos fertilizantes.

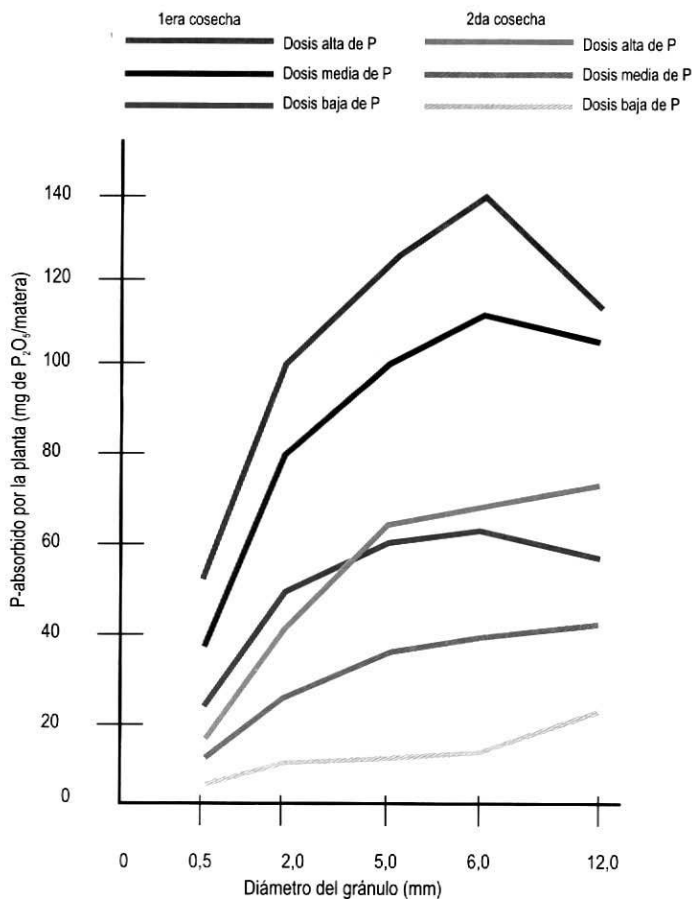


FIGURA 3. Efecto del tamaño del gránulo de superfosfato sobre el aprovechamiento del P por la planta en Andisol altamente fijador de fosfatos (Suárez e Igue 1973)

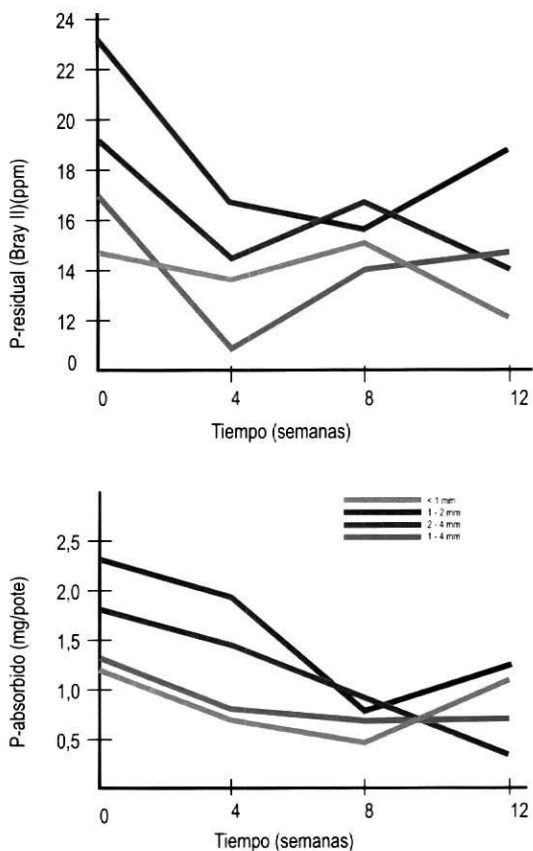


FIGURA 4. Efecto promedio de la granulometría y el tiempo de contacto del fertilizante con el suelo sobre el P-residual (Bray II) y la absorción de fósforo por la cebada en un suelo de la Sabana de Bogotá. Valores promedio para DAP,MAP y TSP (Arias y Cantillo 1983).

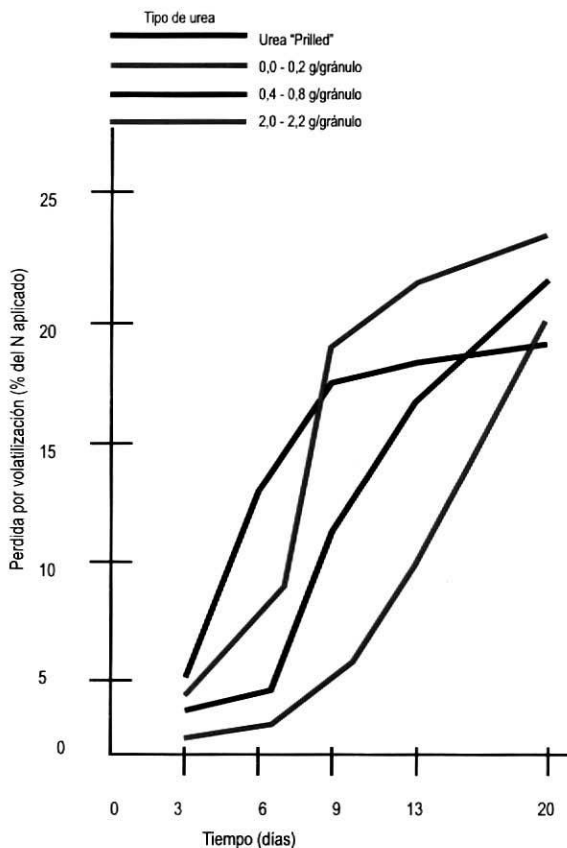


FIGURA 5. Pérdida acumulada de N por volatilización a partir de úrea en "prills" y diferentes úreas granuladas (Nomnik 1974).

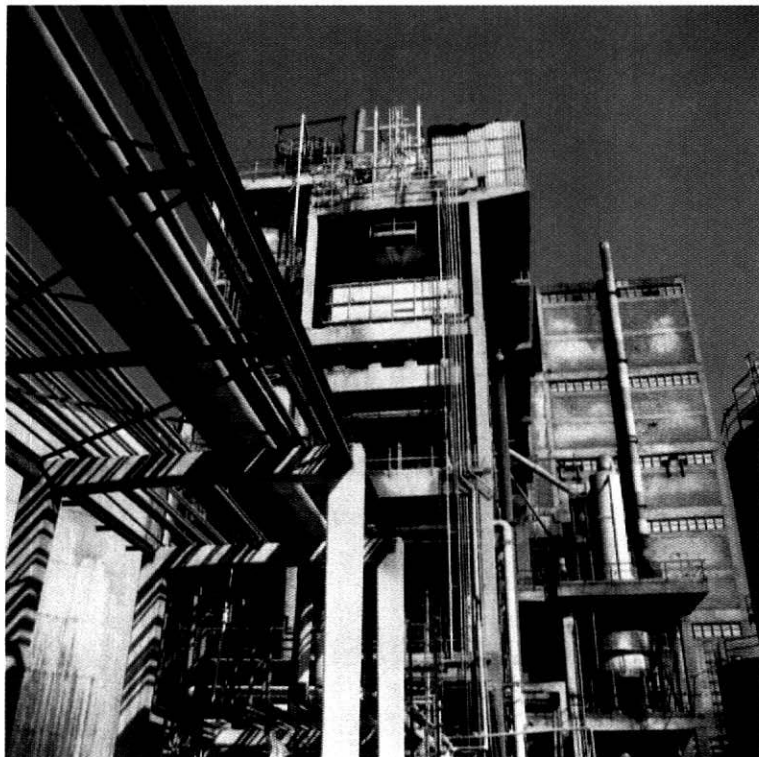
2.4 Humedad relativa crítica

La humedad relativa crítica de un fertilizante se define como la humedad de la atmósfera por encima de la cual el material absorbe espontáneamente humedad. Todas las sales solubles, incluidos los fertilizantes, tienen humedades críticas características, algunas de cuyas cifras se han incluido en la tabla 2. Es altamente deseable que un material fertilizante tenga una elevada humedad relativa crítica, de modo tal que pueda ser expuesto y manejado bajo altos niveles

de humedad atmosférica, sin que el fertilizante se humedezca y pierda fluidez y sin que el abono gane humedad y más tarde se compacte.

Tabla 2. Densidad aparente y humedad relativa crítica de los principales productos fertilizantes (IFDC 1979)		
Fertilizantes	densidad aparente	Humedad relativa crítica
Productos no granulados	Kg/m ³	% a 20 °C
Roca Fosforica	1.360 - 1.520	
Superfosfato simple	960 - 1.120	
Superfosfato Triple	880 - 1.040	
Cal agrícola	1.280 - 1.520	
Sulfato de amonio	1.020	
Cloruro de potasio	1.140 - 1.200	
Productos granulados		
Nitrato de amonio 'prill'	720	63
Urea 'prill'	740	81
Sulfato de amonio (cristales gruesos)	1.010 - 1.060	81
Superfosfato simple	1.120	90
Superfosfato triple	1.040 - 1.200	94
Fosfato diamónico	960 - 1.040	82
Fosfato monoamónico	960 - 1.040	91
Cloruro de potasio	1.040	84
Sulfato de potasio	1.180	96
Sulfato doble de potasio y magnesio	1.520 - 1.570	

La humedad relativa crítica de un fertilizante determina en gran proporción el tipo de empaque (grado de protección a la humedad) requerido en cada caso y es también determinante del nivel de manejo y almacenamiento a granel a que puede someterse un fertilizante dado. Esta consideración reviste particular importancia cuando su manejo se efectúa bajo condiciones de clima con alta humedad relativa.



Planta industrial de fertilizantes NPK granulados de Monómeros Colombo Venezolanos, S.A. (E.M.A.)
Barranquilla

Sin embargo, no debe sobrestimarse la importancia de esta propiedad. Por ejemplo, algunas veces la humedad relativa suele interpretarse erróneamente como una medida universal de la tendencia a la compactación de un fertilizante. Actualmente, si un fertilizante es empacado en bolsas a prueba de humedad, como es el caso de los empaques de polietileno, o si la pila de almacenamiento a granel es protegida con una cubierta plástica, la humedad atmosférica es efectivamente excluida y, por consiguiente, la humedad relativa crítica será de poca importancia. En estas circunstancias, la compactación, cuando ocurre, estará ligada a otros factores.

Generalmente, los materiales utilizados para el empaque de los fertilizantes en bultos de 50 kg son el polipropileno, para el empaque exterior, y el polietileno para el empaque interno sellado, que no permite la penetración de la humedad. Sin embargo, los problemas de humedecimiento del producto empacado se presentan con frecuencia debido a la ruptura de los sacos, causada durante el

prolongado lapso de transporte, por el muy alto nivel de manipuleo que no siempre es cuidadoso en nuestro medio.

De otra parte, como se observa en la Tabla 3, la combinación de diferentes fertilizantes genera modificaciones en la humedad relativa crítica de la mezcla física resultante. Así, es muy conocido cómo al mezclar nitrato de amonio (HRC:59) con urea (HRC:75) la humedad relativa crítica resultante baja a 18. Lo propio ocurre, aunque con menor gravedad, con otras mezclas (Tabla 3), lo cual puede generar efectos negativos en la calidad física del fertilizante obtenido por la mezcla de diferentes fuentes.

Tabla 3. Humedad relativa crítica de algunas sales fertilizantes y de sus mezclas físicas a 30°C. IMC (1990).

Nitrato de amonio																		
59,4	Urea																	
18,1	75,2	Cloruro de amonio																
51,4	57,9	77,2	Sulfato de amonio															
62,3	56,4	71,3	79,2	Fosfato diamónico														
59	62	-	72	82,8	Cloruro de potasio													
67,9	60,3	73,5	71,3	70	84,0	Nitrato potásico												
59,9	65,2	67,9	69,2	-	78,6	90,5	Fosfato monoamónico											
58,0	65,2	-	75,8	78	72,8	59,8	91,6	Sulfato de potasio										
69,2	71,5	71,3	81,4	77	-	87,8	79,0	96,3	Urea - DAP									
45	50	50	50	50	45	50	-	-	55	Urea - DAPS								
50	60	60	70	75	65	80	70	75	60	80*	Polifosfato de amonio							
55	50	70	70	65	65	70	65	70	-	75*	70*							

La resultante anterior adquirió un alcance importante en la agricultura colombiana, a partir del último decenio del siglo XX, debido al uso creciente de NPK obtenidos con mezcla física. Nótese, a manera de ejemplo (Tabla 3), que la urea y el KCl, portadores de una condición aceptable en su higroscopicidad (HUR: 75 y 84 respectivamente), producen una mezcla con una capacidad mayor de humedecerse (HRC = 60) y, en consecuencia, susceptible a una caída importante en la calidad física del abono NK obtenido.

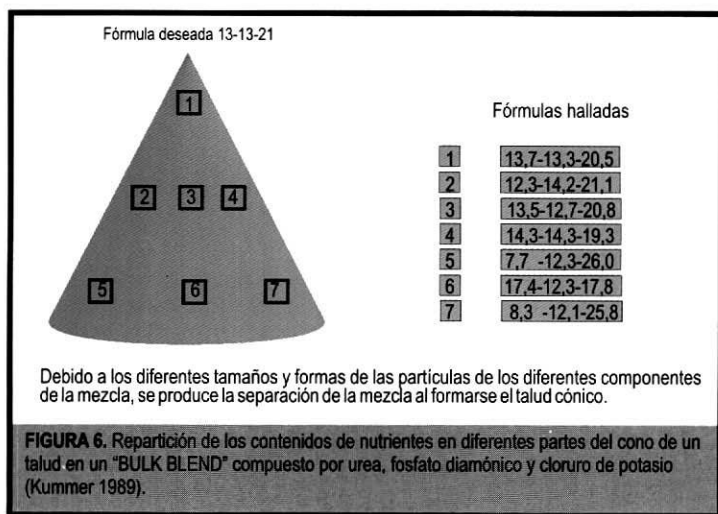
3. Problemas físicos

Los principales problemas físicos que pueden presentarse en los fertilizantes químicos convencionales, con el consecuente efecto sobre su eficacia agronómica o su facilidad de aplicación, son la segregación y la compactación o apelmazamiento.

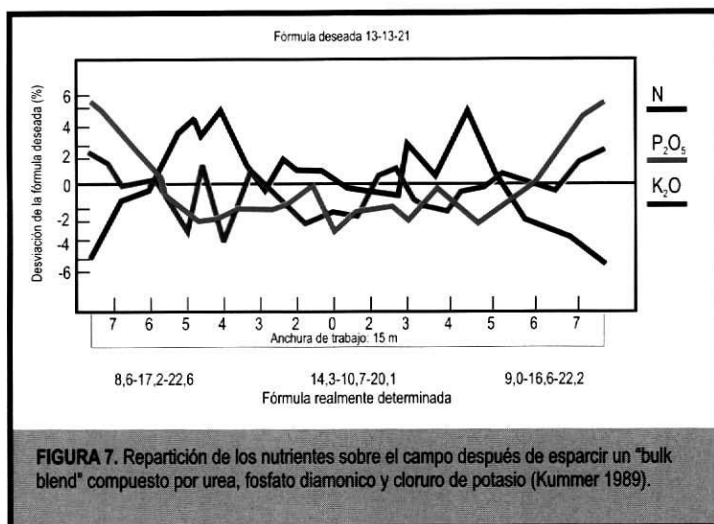
3.1 Segregación

La segregación ocurre cuando las partículas o gránulos individuales de un fertilizante difieren en propiedades físicas, en grado tal, que responden diferentemente a las alteraciones mecánicas causadas durante los procesos de manejo, almacenamiento y transporte de los fertilizantes. Como resultado, las partículas de propiedades físicas similares tienden a congregarse y, por consiguiente, a eliminar la homogeneidad de la mezcla fertilizante.

Si todas las partículas de un fertilizante fueran físicamente idénticas, ningún nivel de manejo afectaría su homogeneidad. Se ha demostrado que la característica física que más influye sobre la tendencia a la segregación es el tamaño de partícula. Las partículas de tamaños diferentes tienden a segregarse en los rangos normales de las fuentes fertilizantes, sin que la densidad ni la forma influyan significativamente sobre ello.



Por otra parte, si todas las partículas de un fertilizante tuvieran idéntica composición química pero diferentes tamaños, se produciría segregación física, pero ello no afectaría la uniformidad química del abono. Esta condición es la que prevalece en los fertilizantes complejos bien granulados y, por ello, en este tipo de abonos la segregación no es un problema.



* kummer, K.F. (1989).

En cambio, la segregación es un problema serio cuando se preparan fertilizantes compuestos mediante mezcla física de fuentes con diferentes tamaños de partícula y, desde luego, con materiales que difieren en su composición química. En este caso, cualquier nivel de segregación en los ingredientes de la mezcla resultará en variaciones químicas significativas.

El uso del sistema «bulk blending» ha permitido llevar a un mínimo los niveles de segregación en los fertilizantes compuestos resultantes de mezclas físicas. «Bulk blending», o mezcla a granel, es una tecnología para obtener mezclas fertilizantes en seco y en la cual sus componentes son completamente granulados y de aproximadamente el mismo tamaño de partícula. Los fertilizantes compuestos así obtenidos pueden distribuirse a granel o pueden empacarse para su mercadeo.

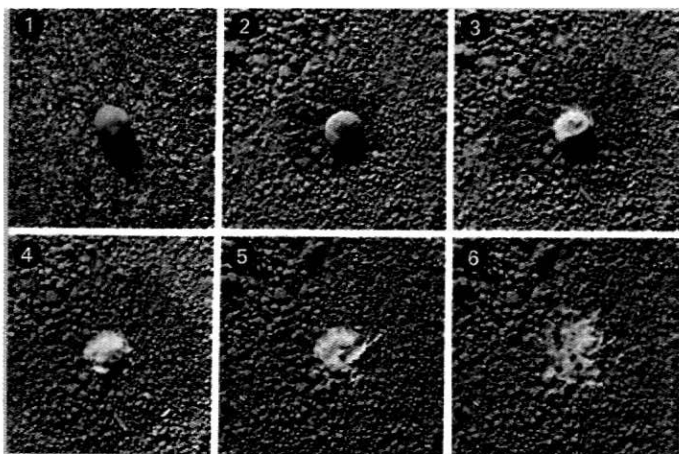
Sin embargo, aun en el caso de este tipo de mezclas «bulk blend» o «a granel», puede presentarse segregación: Kummer (1989) ha demostrado cómo las diferentes muestras obtenidas de un montón cónico resultado de la mezcla física de urea, DAP y KCl arrojaron grados distintos al 13-13-21 deseado (Figura 6). En consecuencia, al efectuar la aplicación de esta mezcla fertilizante en el lote del cultivo, la distribución nutricional no será uniforme ya que en los diferentes

sitios se estarán aplicando grados nutricionales diferentes, tal como se ilustra en la figura 7.

Desde luego que la segregación y los problemas de heterogeneidad nutricional, en su aplicación, no ocurren cuando se utilizan abonos NPK resultantes de reacción química industrial que presentan buena granulación. Los materiales utilizados como materia prima para la mezcla pueden ser fertilizantes simples, compuestos o una combinación de los dos. Los más utilizados para «bulk blending» son los fosfatos monoamónicos y diamónicos, el superfosfato triple, cloruro de potasio, nitrato de amonio, úrea y sulfato de amonio.

3.2 Compactación

Durante el período comprendido entre su producción y la aplicación, los fertilizantes deben ser almacenados a granel o en empaques. El período de almacenamiento varía considerablemente, desde menos de un mes hasta un año o más. Es esencial que durante este período el material fertilizante permanezca completamente suelto o, cuando más, que la compactación o tendencia a atorrónarse sea tan mínima, que la condición suelta original del fertilizante se restituya con el manejo o manipulación normal.



secuencia de la disolución de gránulos de fertilizantes NPK hidrosolubles.

Uno de los problemas más frecuentes en la industria de los fertilizantes químicos es la compactación. Para la mayoría de estos fertilizantes, las causas de dicho fenómeno son el desarrollo de enlaces cristalinos entre las partículas o gránulos del material. Estos enlaces se desarrollan durante el período de almacenamiento, tanto como resultado de reacciones químicas internas, como por efectos térmicos que producen la precipitación de cristales a partir de pequeñas cantidades de

soluciones salinas presentes en el material fertilizante. Entre los factores varios que influyen en la compactación se citan los principales:

- a) El tamaño de la partícula;
- b) La consistencia de los gránulos;
- c) El contenido de humedad en el material;
- d) La temperatura de almacenamiento
- e) La humedad relativa crítica de los ingredientes de la mezcla, o aquella resultante de la misma.

En general, el riesgo de apelmazamiento es mayor en los fertilizantes polvosos, o en los granulados con un bajo nivel de consistencia en la partícula. Así mismo, cuando el fertilizante se empaca sin mediar un adecuado período de secamiento o curado, la compactación se torna muy frecuente, al igual que cuando el producto se humedece debido al alto nivel de higroscopicidad en el material.

Un alto índice de salinidad en el fertilizante, o en uno de sus ingredientes, suele también predisponer el producto a la compactación. Tal es el caso de los grados altos en potasio, cuando el portador de este elemento es el cloruro de potasio. Como es lógico prever, el apelmazamiento en los fertilizantes constituye un grave problema por cuanto limita la fluidez del producto y, por consiguiente, dificulta acentuadamente las labores de aplicación, en particular cuando se trata de aplicaciones a máquina o en avión, hasta el punto de que esta labor puede tornarse impracticable. Polo (1980) señala las siguientes precauciones para disminuir el riesgo de compactación:

- a) No mezclar productos incompatibles.
- b) Secamiento adecuado durante la producción.
- c) Tamizado apropiado para evitar la presencia de finos.
- d) Almacenamiento correcto para no generar un muy alto nivel de compresión en el arrume.
- e) Utilización de acondicionadores.

4. Propiedades químicas

Entre las principales propiedades químicas básicas de los fertilizantes están la solubilidad, el índice de salinidad, la acidez o basicidad residual y el pH de la solución saturada.

4.1 Solubilidad

Esta es una propiedad fundamental en los fertilizantes químicos, ya que, como se discutió previamente, es en ella donde reside la mayor o menor disponibilidad de los nutrientes. En general se entiende que un abono soluble está en capacidad de liberar nutrientes del estado sólido, no aprovechable para la planta, al estado iónico requerido para su absorción. Por consiguiente, en principio habría que aceptar que la disponibilidad potencial de los nutrientes en un fertilizante está en relación directa con el nivel de solubilidad del portador.

Como ya se advirtió, la solubilidad en agua constituye un parámetro universalmente aceptado como criterio de aprovechabilidad. Los fertilizantes que exhiben un nivel significativo de solubilidad en agua se denominan hidrosolubles. Sin embargo, este criterio no es el único válido, pues también se reconoce la solubilidad en citrato de amonio neutro o en ácido cítrico como índice de disponibilidad del P en los abonos fosfóricos. Los abonos con baja o nula solubilidad en agua, pero con alta solubilidad en citrato o ácido cítrico se denominan citrosolubles, siendo el ejemplo más conocido el caso de las escorias thomas y el del fosfato bicálcico.

Evidentemente, la solubilidad y, por tanto, la aprovechabilidad del fósforo de los fertilizantes hidrosolubles es mayor que la correspondiente a los citrosolubles. No obstante, bajo determinadas circunstancias, los citrosolubles pueden resultar de igual o mayor eficacia agronómica que los hidrosolubles.

4.1.1 Disolución de los fertilizantes

La solubilidad inherente al portador nutricional del abono, constituye tan sólo uno de los factores que inciden en la intensidad con que ocurre el fenómeno de disolución del fertilizante en el suelo. Otros factores involucrados son los siguientes:

- a) Disponibilidad de agua en el suelo.
- b) Características del suelo.
- c) Temperatura.
- d) Tamaño y tipo de partícula.
- e) Tecnología de aplicación del abono.

Resulta evidente que el contenido de humedad en el suelo es factor definitivo para que tome lugar la disolución del abono. Las plantas no podrán utilizar los nutrientes aplicados, mientras no se cuente con el agua requerida para generar la liberación de los iones nutritivos hacia lo que se conoce como la solución del suelo. De allí que la práctica de la fertilización, cuando no se dispone de riego, debe estar supeditada y circunscrita a las épocas de lluvia.

Son numerosas las características físicas, químicas y mineralógicas del suelo que influyen en la disolución del abono, pero una de las más conocidas es la reacción del suelo o pH. A manera de ejemplo, ha sido muy estudiado el efecto de esta variable sobre la disolución de la roca fosfórica y, en general, sobre la tasa de disolución de los abonos fosfatados. McKay y Syers (1986) encontraron que la roca fosfórica de Sechura (Perú) había liberado un 34% de su fósforo por disolución, cuando el pH del medio fue de 5,2, pero la proporción del P liberado tan sólo fue del 2% cuando el pH se elevó a 6,9, a 90 días de su aplicación (Tabla 4).

Tabla 4. Disolución de la roca fosfórica de Sechura (Perú) en función del pH del suelo (McKay & Syers 1986).

pH (agua)	Proporción del P disuelto (%)		
	10 días	30 días	90 días
5.20	19.4	32.5	33.6
5.80	5.4	13.7	14.2
6.40	3.2	4.3	4.0
6.90	1.4	1.8	2.0

Desde luego que la temperatura es un factor que incide acentuadamente en la disolución del abono, tal como ocurre con todas las reacciones químicas conocidas. Como es obvio, su acción es directa y está asociada con la componente térmica del clima. Sin duda, cabe esperar que en los climas cálidos la velocidad con que disuelve un abono sea mayor que la que opera en los climas fríos, cuando otras condiciones influyentes permanecen constantes.

Previamente ya se discutió el efecto del tamaño de partícula sobre la disolución. Sin embargo, no es sólo el tamaño el que influye sino también otras características de los gránulos. Así, el recubrimiento aplicado a las partículas del abono suele tener una acentuada influencia sobre su reacción en el suelo. De hecho, la aplicación de cierto tipo de materiales para este propósito se utiliza en la producción de fertilizantes de liberación lenta.

De otra parte, la tecnología utilizada para la aplicación del fertilizante, en especial la relativa a la época y al sistema, constituye también factor determinante de la velocidad con que reacciona el producto, en interacción con los otros factores incidentes.

4.1.2 Significado agronómico

Desde el punto de vista agronómico, la disolución del abono no solamente determina o influye en la mayor o menor disponibilidad del nutriente o de los nutrientes aplicados, sino que, además, ejerce efectos significativos sobre otros componentes de la eficacia agronómica del fertilizante, a saber:

a) Pérdidas de nutrientes

Si bien es cierto que una alta solubilidad implica mayor disponibilidad para la planta, no lo es menos que un nutriente soluble puede estar sujeto a un mayor nivel de pérdidas, dependiendo de factores edáficos, ambientales y bióticos. Estas pérdidas están ligadas a la ocurrencia de procesos o grupos de procesos de naturaleza físico-química, química y bioquímica, entre los cuales se destacan los siguientes:

- i) Fijación.
- ii) Lixiviación.
- iii) Inmovilización.
- iv) Volatilización.
- v) Denitrificación.
- vi) Acomplejamiento.
- vii) Escorrentía y erosión.

La magnitud de las pérdidas de nutrientes a partir del fertilizante aplicado determina la eficacia de la fertilización. Tal eficacia se entiende como la proporción del nutriente utilizada por las plantas en relación con la cantidad total aplicada. Dicho parámetro generalmente se expresa en términos de porcentaje.

b) Persistencia del efecto fertilizante

Este parámetro se refiere al mayor o menor período durante el cual el nutriente o nutrientes aplicados permanece disponible para el cultivo. Resulta lógico pensar que una alta tasa de disolución del abono puede resultar en un nivel de pérdida de nutrientes también alto y, por consiguiente, en una escasa persistencia del efecto fertilizante durante el ciclo de cultivo, bajo determinadas circunstancias, aunque muchos otros factores edáficos, ambientales y tecnológicos influyen en esta resultante, como es obvio.

c) Efecto residual

La residualidad del fertilizante se interpreta como la prolongación de su efecto al cultivo o cultivos subsiguientes al que se le practicó el abonamiento. Como es natural, la solubilidad inherente del producto y también su tasa de disolución influyen en la magnitud de este efecto.

Como norma general, una mayor velocidad en la disolución suele estar asociada con una baja residualidad, en tanto que abonos de lenta disolución, como es el caso de las rocas fosfóricas, suelen exhibir un acentuado efecto residual, al punto de que, con frecuencia, su acción benéfica se expresa con mayor incidencia en el cultivo que sigue al que recibió la fertilización. Otro tanto ocurre con las cales.

Lo ya discutido permite concluir que la resultante de la velocidad de disolución del abono sobre su eficacia agronómica, depende de un buen número de factores edáficos, ambientales y tecnológicos, como también de sus interacciones. La tabla 5 recoge los valores de solubilidad en agua de los principales fertilizantes nitrogenados, fosfóricos y potásicos. Es importante tener en cuenta que estas cifras se han determinado mediante disolución en agua destilada y desmineralizada a una temperatura de 20 °C. Lógicamente que los cambios en la calidad y la temperatura del agua utilizada, en la práctica modifican la solubilidad de los productos, lo cual es importante tomar en cuenta para la fertilización líquida (foliar y fertirriego).

4.2 pH de la solución saturada

El pH de la solución saturada es una de las características químicas importantes en los fertilizantes, por cuanto explica ciertas particularidades del comportamiento agronómico de algunos de ellos. Como su nombre lo indica, este parámetro se refiere al valor del pH medido en el seno de una solución cuyo disolvente es agua destilada y cuyo soluto es el fertilizante en cuestión, siempre y cuando previamente se haya conseguido el estado de saturación.

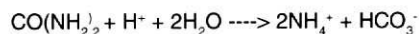
Su interés agronómico radica en el hecho de que el pH así obtenido se aproxima o constituye un índice del pH que se desarrollará en las proximidades de los gránulos o de la banda fertilizante en el momento que se produce su disolución en el suelo, siendo su magnitud independiente de la acidez o basicidad residual generada con posterioridad al momento en que el abono completa su reacción. En la tabla 6 se registran los valores de pH en solución saturadas típicos de los principales fertilizantes.

Tabla 5. Valores de Solubilidad para diferentes productos fertilizantes.		
Fertilizantes nitrogenados		
Producto	Solubilidad en agua (g/100ml) 20°C	
Úrea	108	
Nitrato de amonio	187	
Sulfato de amonio	80	
Fertilizantes fosfóricos		
Producto	Solubilidad	
	Agua(%)	Citrato(%)
Superfosfato triple	85	
Fosfato monoamónico	95	
Fosfato diamónico	95	
Escorias thomas	<2	80.0
Roca fosfórica		
Carolina del Norte	0	20.9
Roca Huila	0	16.3
Roca Pesca	0	9.0
Fertilizantes potásicos		
Producto	Solubilidad en Agua (g/100ml) 20°C	
Cloruro de potasio	35	
Sulfato de potasio	12	
Sulfato doble de potasio y Magnesio	25	
Nitrato de potasio	32	

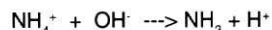
Tabla 6. Valores de pH en solución saturada de algunas fuentes fertilizantes (Hauck 1984).	
Producto	pH de la solución saturada
Úrea	>9.0
Nitrato de amonio	4.7
Nitrato de calcio	7.0
Sulfato de amonio	5.4
Agua amoniacal	>9.0
Fosfato monoamónico	3.5
Fosfato diamónico	8.0
Superfosfato triple	1.0
Nitrato de potasio	7.0

4.2.1 Fertilizantes nitrogenados

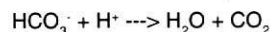
Sabido es que los fertilizantes nitrogenados, como resultado de la nitrificación del amonio, dejan un residuo ácido en el suelo. Sin embargo, en lo tocante al pH que se desarrolla durante su reacción, se presentan diferencias substanciales. Así, la úrea desarrolla un pH alcalino, en virtud de la reacción de hidrólisis que tiene lugar en el suelo, tal como lo describen Vlek y Craswell (1981) en la siguiente reacción:



El anión HCO_3^- es el responsable del desarrollo de un medio fuertemente alcalino, el cual va a favorecer el desprendimiento de NH_3 (amoníaco), en forma de gas, según la reacción:



La acidez generada por esta reacción es neutralizada por el bicarbonato resultante de la hidrólisis, así:



Estas ecuaciones ilustran el conocido fenómeno de volatilización del amonio, el cual puede generar pérdidas de nitrógeno considerables, a partir de la aplicación superficial de úrea, tal como ha sido demostrado por un buen número de investigadores. Un buen ejemplo constituye el caso de los resultados experimentales obtenidos en suelos arroceros inundados, en condiciones del trópico, por Vlek y Craswell (1979, 1981).

En general se acepta que, bajo condiciones adversas, las pérdidas por volatilización, a partir de urea aplicada superficialmente en arrozales inundados, puede alcanzar magnitudes tan altas como del 50% del nitrógeno aplicado, lo cual se explica por el hecho de que este fertilizante desarrolla un pH alcalino durante su reacción en el suelo, como se ilustró previamente. En contraste, el pH de la reacción del sulfato de amonio es ácido, circunstancia que inhibe el proceso de volatilización por hidrólisis y conlleva a pérdidas de N definitivamente inferiores.

El desprendimiento de NH_3 a partir de urea, no solamente conlleva a pérdidas de N por volatilización, sino que el amoníaco liberado es fitotóxico y puede afectar severamente la germinación o emergencia de las plántulas, en particular cuando el fertilizante es localizado muy cerca de la semilla.

4.2.2 Fertilizantes fosfóricos

El pH de la solución saturada de los fertilizantes fosfóricos presenta una amplia variación, según se observan los valores registrados en la tabla 6. La disolución de los superfosfatos desarrolla en la proximidad del gránulo una reacción fuertemente ácida (pH 1,0); lo mismo ocurre con el fosfato monoamónico, aunque la acidez generada es un tanto más débil (pH 3,5). Por el contrario, la disolución del fosfato diamónico resulta en reacción alcalina (pH 8,0).

Se ha comprobado que la reacción del fertilizante modifica el pH del suelo adyacente a la banda de aplicación durante cierto tiempo. Así, Sample y sus colaboradores (1980) encontraron que cuando el superfosfato triple se aplicó en bandas a un suelo de pH 5,6, la reacción del suelo próximo a la banda del fertilizante permaneció por debajo de un pH 3,0 durante por lo menos 6 semanas.

Los efectos agronómicos derivados del pH de la reacción del abono fosfórico en el suelo pueden ser importantes, pero su sentido positivo, negativo o inocuo dependerá de las condiciones del suelo, de la especie cultivada, de las condiciones ambientales y del sistema y la época de aplicación del producto.

Sullivan (1978) sostiene que los altos valores de pH generados por el fosfato diamónico pueden derivar en efectos negativos sobre la eficacia de este fertilizante, cuando este se aplica en suelos calcáreos o con alto contenido de calcio cambiante, debido a la precipitación de fosfatos insolubles de calcio. Indica, además que, en este caso, el fosfato monoamónico resultaría en una mayor eficacia agronómica, al desarrollar un pH ácido.

En cambio, bajo condiciones de suelos ácidos, pobres en calcio y con elevadas concentraciones de aluminio, la reacción alcalina del fosfato diamónico sería teóricamente ventajosa, por cuanto promovería una mayor eficacia del abono, en comparación al superfosfato triple, cuya reacción fuertemente ácida (pH 1,0) supone una intensa precipitación hacia fosfatos insolubles de aluminio y hierro, según ha sido demostrado por Amézquita (1981) y por Arias y Cantillo (1983).

Por otra parte, el incremento temporal del pH del suelo adyacente a la banda del fertilizante, generado por la disolución del fosfato diamónico, promueve, al igual que en el caso de la úrea, el desprendimiento de amoníaco y el consecuente desarrollo de efectos fitotóxicos, cuando el producto se aplica en banda cerca de la semilla (Engelstad y Terman, 1980). Se ha encontrado que el efecto es particularmente dañino cuando este abono se utiliza en la fertilización de la papa, según se desprende de experiencias a nivel comercial en Colombia.

4.3 Equivalente de acidez o basicidad residual

El uso de fertilizantes en agricultura tiende con frecuencia a cambiar el pH del suelo. La acidez o basicidad de un fertilizante es una medida del grado en que la reacción del suelo cambia cuando el material se aplica a un cultivo. Esta propiedad también suele denominarse acidez o basicidad potencial, residual o equivalente.

La acidez potencial de un fertilizante dado se expresa comúnmente en términos del peso del carbonato de calcio requerido para neutralizar la acidez causada por la aplicación de 100 kg del fertilizante en cuestión. A esta cifra se denomina índice de acidez residual y se le antepone el signo menos (-). Así mismo, la basicidad residual se expresa en términos del peso de carbonato de calcio requerido para generar un nivel de alcalinidad igual al dejado por la aplicación de 100 kg del fertilizante. Esta cifra constituye el índice de basicidad y se le antepone el signo positivo (+). Si el residuo generado por el fertilizante no es ni ácido ni alcalino, la residualidad del producto es neutra (0) (Tabla 7).

La acidez, alcalinidad o neutralidad residual de un fertilizante no debe confundirse con el pH de su reacción (pH de la solución saturada), discutido previamente. Así, por ejemplo, la úrea hidroliza en el suelo para dar amonio y esa reacción química eleva el pH en las proximidades del gránulo hasta un valor de 9 o más. Sin embargo, el amonio generado es oxidado posteriormente a nitrato y esta reacción deja residuos ácidos en el suelo. Por ello, todos los fertilizantes nitrogenados que se utilizan actualmente en la agricultura son, en mayor o menor grado, agentes acidificantes de los suelos.

El efecto de una sola aplicación anual de fertilizantes sobre el pH del suelo, a dosis normales, es relativamente débil y, en algunos casos, dependiendo del poder de amortiguación del suelo, su significado agronómico es despreciable. Sin embargo, el efecto acumulativo de aplicaciones sucesivas durante muchos años, puede acidificar el suelo hasta el punto de afectar su productividad, a menos que se tomen las medidas correctivas del caso. Por otro lado, hay que recordar que el uso de fertilizantes formadores de ácido en suelos alcalinos puede derivar en efectos benéficos.

En la Tabla 7 se registran los equivalentes de acidez o basicidad de algunos materiales fertilizantes. Como se ve, el sulfato de amonio, el cloruro de amonio y los fosfatos de amonio son fertilizantes formadores de ácido, debido a que el

catión amoniacal es formador de ácido. La úrea y el nitrato de amonio generan menor acidez debido a que la misma está asociada exclusivamente al contenido de nitrógeno. Los nitratos de sodio, potasio y calcio producen alcalinidad residual debido a que la acidez generada por el N es neutralizada y superada por la basicidad derivada del catión acompañante.

Tabla 7 Equivalentes de acidez o basicidad residual e índices de salinidad de los materiales fertilizantes (IFDC 1979).		
Material fertilizante	Equivalente de acidez (-) o basicidad (+) residual	Índice de salinidad
	Kg CaCO_3 /100Kg de Fertilizante	$\text{NaNO}_3 = 100$
Úrea	-84	75.4
Nitrato de amonio	-63	104.7
Sulfato de amonio	-112	69.0
Fosfato monoamónico	-65	29.9
Fosfato diamónico	-64	34.2
Superfosfato triple	0	10.1
Roca fosfórica	+56	
Cloruro de potasio	0	116.3
Sulfato de potasio	0	46.1
Sulpomag	0	43.2
Nitrato de potasio	0	40.2
Sulfato de calcio	0	8.1
Cales calcínicas	+80 a +95	4.7
Cales dolomíticas	+90 a +100	0.8
Azufre elemental	-312	

En nuestro medio, la acidez residual derivada de la aplicación de algunos fertilizantes se ha considerado tradicionalmente como nociva, desde el punto de vista agronómico. En realidad, la aplicación reiterada y prolongada de este tipo de fertilizantes en suelos con bajo poder de amortiguación, puede desembocar a la larga en una caída drástica del pH, con resultantes francamente adversos para el desarrollo vegetal. Pero, mediando la concurrencia de ciertos factores favorables, una ligera caída en el valor del pH del suelo puede resultar en efectos benéficos para la planta.

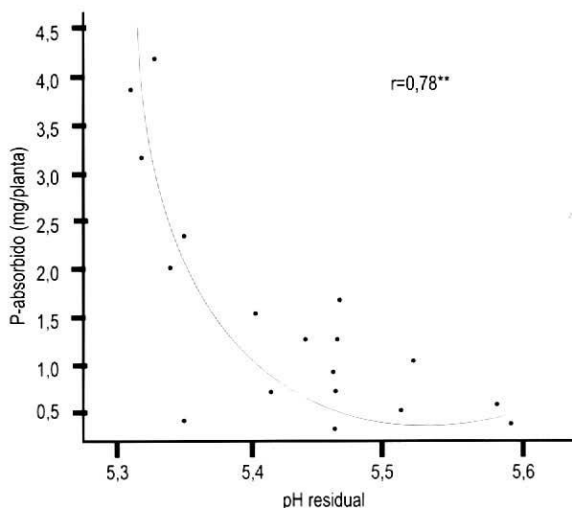


FIGURA 8. Relación entre pH residual del suelo y la absorción fósforo por la cebada fertilizada con fosfato monoamónico (MAP) en un suelo de la Sabana de Bogotá (Arias y Cantillo 1983).

Los fosfatos de amonio, por ejemplo, dejan un residuo ácido en el suelo debido a la nitrificación del amonio. Engelstad y Terman (1980) sostienen que esta acidificación temporal en la zona adyacente al gránulo o a la banda del fertilizante, puede resultar en un incremento en la disponibilidad y absorción de fósforo por la planta, dependiendo de las características del suelo.

Al respecto, Arias y Cantillo (1983) estudiaron el efecto del pH residual sobre la utilización de fósforo por la cebada en un suelo de la Sabana de Bogotá y comprobaron que la mayor eficiencia fertilizante de los fosfatos de amonio (DAP y MAP), en comparación con el superfosfato triple, estuvo asociada con la acidez residual generada por aquellos. La Figura 8 muestra cómo en la medida en que el pH residual disminuyó de 5,6 a 5,3, la absorción de fósforo por la planta de cebada aumentó significativamente.

Este mismo efecto puede ser producido por la acidificación residual resultante de la aplicación de fertilizantes nitrogenados amoniacales. Así, Miller y colaboradores (1970) comprobaron que la absorción de fósforo por el maíz se triplicó cuando el superfosfato triple se aplicó conjuntamente con el sulfato de amonio, resultado que estuvo asociado con la acción acidificante del sulfato que produjo una caída de 0,6 unidades en el pH del suelo próximo a la raíz.

Esta disminución del pH provocó una predominancia de los aniones $H_2PO_4^-$ sobre los HPO_4^{2-} , siendo los monovalentes más fácilmente asimilados que los divalentes, con lo cual se favoreció la disponibilidad del fósforo para la planta.

4.4 Índice de salinidad

Es bien conocido el hecho de que las altas concentraciones de sales solubles en la solución del suelo pueden causar daño a las plantas o impedir la normal germinación de las semillas o emergencia de las plántulas. Se cree que el efecto adverso de la salinidad está relacionado, en parte, con el aumento de la succión osmótica de la humedad del suelo. La relación de este fenómeno con los fertilizantes radica en el hecho de que estos materiales son efectivamente sales, aunque algunos lo son más que otros.

En condiciones normales, un fertilizante distribuido uniformemente, en la dosis normal de aplicación, no produce concentraciones salinas suficientemente altas como para causar daño a las plantas. Sin embargo, las aplicaciones localizadas en contacto con la semilla o en bandas muy cerca de la semilla o de las plántulas en crecimiento, puede causar daño, dependiendo de la localización, tipo de fertilizante, dosis de aplicación, especie cultivada, etc.

El índice de salinidad de un fertilizante es una cifra indicativa del grado en el cual una cantidad dada del producto incrementa la presión osmótica de la solución del suelo. La Tabla 7 recopila los índices de salinidad estimados para las fuentes fertilizantes más importantes. Esta, sin embargo, es una cifra relativa, ya que se interpreta como el incremento en la presión osmótica de la solución del suelo, en comparación con el incremento obtenido con la aplicación de un peso igual de nitrato de sodio.

Debe quedar claro, por lo tanto, que los índices de salinidad son válidos únicamente para comparar un fertilizante con otro. La cantidad de fertilizantes que puede ser aplicada sin peligro de daño al cultivo depende, además del índice de salinidad, de otros factores como la especie cultivada, la época de aplicación, sistema de aplicación, tipo de suelo, contenido de humedad, etc.

De otra parte, hay que tener en cuenta que el daño al cultivo puede ser causado por razones diferentes a la concentración de sales. Así, por ejemplo, el desprendimiento de amoníaco a partir de la úrea o del fosfato diamónico, en el ámbito adyacente a las semillas o plántulas, puede producir un efecto fitotóxico.

El índice de salinidad es particularmente útil para seleccionar fertilizantes que deben ser aplicados en contacto o muy cerca de la semilla. Con frecuencia, este sistema de aplicación permite obtener una alta eficiencia de utilización, siempre y cuando el fertilizante utilizado no cause daño a la planta.

De otra parte, cuando se trata de aplicar fertilizantes en suelos salinos, debe preferirse aquellos que tengan un bajo índice de salinidad.

Así mismo, el uso de fertilizantes en sistemas de fertirriego suele generar problemas muy serios de salinización cuando se aplican muy altas dosificaciones de nutrientes, particularmente en el riego por goteo bajo cubierta, como ocurre en los cultivos de flores para exportación (Wolf *et al.*, 1992).

La compatibilidad química de algunos materiales fertilizantes comúnmente utilizados en mezclas se muestra en la tabla 8. Como se ve, una de las combinaciones completamente incompatibles es la de nitrato de amonio con úrea, debido a que la humedad relativa crítica de esta mezcla disminuye hasta un nivel sumamente bajo, como es el del 18%, lo cual hace imposible su manejo en estado sólido, aun en condiciones de mínima humedad atmosférica (véase la tabla 3).

Las combinaciones de úrea con superfosfatos figuran en la tabla 8 como de compatibilidad limitada. No obstante, estas mezclas pueden tornarse completamente incompatibles, dependiendo del contenido de humedad del superfosfato. La causa de esta incompatibilidad se explica por la reacción química entre la úrea y el fosfato monocálcico que libera agua de hidratación y provoca una pegajosidad severa en la mezcla. De otra parte, la combinación de úrea con materiales alcalinos, como es el caso de las cales y las escorias thomas, provoca el desprendimiento de amoníaco desde la úrea, constituyéndose así en una mezcla incompatible.

Las mezclas de fosfato diamónico con superfosfatos son de compatibilidad limitada debido a que en un almacenamiento prolongado del producto empacado se generan reacciones que conducen a compactación en la mezcla. Otro tanto puede ocurrir cuando se mezclan algunos tipos de fertilizantes compuestos con cloruro de potasio.

El aumento de higroscopicidad en la mezcla, como ocurre entre la úrea y el nitrato de amonio, se genera con menor intensidad en muchas otras mezclas (véase Tabla 3) y constituye sin duda un componente de incompatibilidad que debe tenerse en cuenta.

6. Bibliografía citada

AMÉZQUITA, J. 1981. Persistencia del efecto fertilizante del fósforo proveniente de fuentes de distinta solubilidad en un suelo de páramo. Tesis de grado de Químico. Bogotá, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional. 99 p.

ARIAS, B.A. y CANTILLO, S.J. 1983. Efecto del tamaño del gránulo sobre la eficiencia y la persistencia del efecto fertilizante de fuentes hidrosolubles. Tesis de grado de Ingeniero Agrónomo. Bogotá, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional. 86 p.

BAANATE, C.A.; BUMB, B.L. y THOMPSON, T.P. 1989. The Benefits of Fertilizer use in Developing Countries. Muscle Shoals, Alabama, USA. International Fertilizer Development Center 10 p.

ENGELSTAD, O.P. y RUSSEL, D.A. 1975. Fertilizers for use under tropical conditions. *Advances in Agronomy* 27: 175-208.

_____ y Terman, G.L. 1980. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. In Dinauer, R.C., Ed. *The Role of Phosphorus in Agriculture*. Madison, Wis. American Society of Agronomy. pp: 311-332.

FASSBENDER, H.W. 1968. Efectividad de fertilizantes fosfóricos en suelos con diferente capacidad de fijación de fosfatos. *Fitotecnia Latinoamericana* 9 (2): 230-241.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) OF THE UNITED NATIONS. 1987. *Agriculture: Toward 2000*, Economic and Social Development Series. Roma, Italy.

GUERRERO, R.R. 1983. Los fertilizantes químicos, propiedades y comportamiento agronómico. Serie Punto Verde No. 4. Bogotá, Monómeros Colombo Venezolanos, S.A. 54 p.

HAUCK, D.R. 1984. Technological approaches to improving the efficiency of nitrogen fertilizer use by crop plants. In Hauck, D.R., ed. *Nitrogen in crop production*. Madison, Wis. Am. Soc of Agron. PP: 551-560.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta Aproximación. Manual de Asistencia Técnica No 25. ICA, Tibaitatá. 64 p.

INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. 1979. *Fertilizer Manual*. Muscle Shoals, Alabama, IFDC. 353 p.

IMC, FERTILIZER, INC. 1990. Efficient fertilizer use Mundelein, Ill, 264 p.

KUMMER, K.F. 1989. "Bulk blending" no es alternativa alguna para fertilizantes complejos NPK. BASF Reportes Agrícolas No 3. 4 p.

MACKAY, A.D. y SYERS, J.K. 1986. Effect of phosphate, calcium and pH on the dissolution of phosphate rock in soil. Fertilizer Research 10 (2): 175-184.

MILLER, M.H., et. al. 1970. Ammonium effects on phosphorus absorption through pH changes and phosphorus precipitation at the soil-root interface. Agronomy Journal 62 (4): 524-527.

NOMMIK, A.H. 1974. Effect of granulated urea on ammonia volatilization. Indian Journal of Soil Science 10 (2): 240-245.

POLO, Z. 1980. Propiedades físicas y químicas de los fertilizantes. En Curso sobre Investigación en la Eficiencia de fertilizantes en los trópicos. Cali, CIAT/IFDC. 7 p.

SAMPLE, E.D., SOPER, R.J. y RACZ, G.J. 1980. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In Dinauer, R.C., ed. The role of phosphorus in agriculture. Madison, Wis., American Society of Agronomy, pp: 263-310.

SUÁREZ, F.D. 1971. Efecto del tamaño de gránulo sobre la eficiencia del superfosfato concentrado en tres suelos fijadores de fósforo. Tesis de grado de M.Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA/OEA-CTEL. 89 p.

SULLIVAN, L.Z. 1978. Mono-ammonium phosphate (MAP) versus other sources. Tulsa. Agrico Chemical Company. 4 p.

VLEK, P.L. y CRASWELL, E.T. 1979. Effect of nitrogen source and management on ammonia volatilization losses from rice-soil systems. Soil Science Society American Journal, 43 (2): 352-358.

_____ 1981. Ammonia volatilization from flooded soils. Fertilizer Research 2: 227-245.

WOLF, B. et. al. 1992. Fluid Fertilizer Manual. NFSA. Vol. 1 and Vol. 2. 480 p.

Características de los abonos NUTRIMON

Monómeros Colombo Venezolanos, S.A. (E.M.A.) produce una amplia gama de FERTILIZANTES COMPUESTOS granulados de la marca NUTRIMON en su complejo industrial localizado en Barranquilla. También produce el SULFATO DE AMONIO y NITRATO DE POTASIO NUTRIMON y comercializa una línea completa de fertilizantes simples, con lo cual satisface un 70% de la demanda de fertilizantes que requiere la agricultura y ganadería para la producción de los alimentos y materias primas que el país requiere.

1. Solubilidad

La característica que distingue a los fertilizantes NUTRIMON es su alta solubilidad, condición esta que, como ya se discutió anteriormente, constituye una garantía de eficacia agronómica, por cuanto:

- a) Permite una rápida utilización por el cultivo de los nutrientes aplicados.
- b) Garantiza la eficacia de aplicaciones después de la germinación y aun en estados avanzados de desarrollo del cultivo.
- c) Permite obtener excelentes resultados en especies perennes en producción y en pastos establecidos.

2. Granulación

Otra propiedad relevante de los productos NUTRIMON es la calidad de su granulación. El tamaño del gránulo de los fertilizantes compuestos es mayor que el de otros productos existentes en el mercado, lo cual determina:

- a) Un suministro gradual de los nutrientes a lo largo del ciclo productivo del cultivo.
- b) El riesgo de compactación es bajo.
- c) Alta fluidez en la aplicación a máquina.
- d) Uniformidad en la aplicación.
- e) Máxima eficiencia en aplicaciones aéreas.

3. Portadores Nutricionales

La mayor parte del Nitrógeno (60-70%) de los fertilizantes compuestos NUTRIMON está como Nitrógeno Amoniacal (NH_4^+) y un 30 a 40% del mismo está presente en forma nítrica (NO_3^-).

La forma nítrica, permite una muy rápida acción fertilizante, debido a su inmediata disponibilidad para el cultivo. La porción amoniacal, como ya se explicó en otra parte de esta obra, puede ser almacenada en el suelo y, así, garantiza un adecuado suministro del elemento a lo largo del período vegetativo del cultivo.

Como ya se indicó, el fósforo de los fertilizantes compuestos NUTRIMON es de máxima solubilidad, en virtud de que los portadores del elemento son fosfato amónicos, cuya solubilidad en agua es superior al 95%.

Con excepción del grado 14-14-14-2, en el cual el portador del Potasio es Sulfato de Potasio, los fertilizantes compuestos NUTRIMON llevan este elemento en forma de Cloruro de Potasio.

4. Especificaciones de los Fertilizantes NUTRIMON

Los fertilizantes NUTRIMON se expenden en bultos de 50 kg cuyo empaque está constituido por una bolsa interior de polietileno sellada que permite aislar el producto de la atmósfera, eliminando así el riesgo de humedecimiento del abono y consecuentemente su deterioro físico. El saco exterior es de polipropileno.