



**ELABORACIÓN DE
FERTILIZANTES CON**



POLY4

“El fertilizante sigue siendo una de las mejores inversiones que puede hacer un productor agrícola. Reducir las tasas por debajo de lo óptimo implica menos ganancias para el productor y una extracción de los nutrientes del suelo. Mantener la fertilidad del suelo es más fácil y menos costoso que reconstruirla”.

Dr. Terry Roberts, International Plant Nutrient Institute

Pruebas independientes estudió el impacto de POLY4 en las características de los fertilizantes de NPK compactados y granulados químicamente o por vapor. Este manual presenta un resumen de los resultados concretos de las pruebas realizadas a partir de datos reales y muestra las propiedades físicas y químicas de los productos de NPK a base de KCL, urea y AN.



ÍNDICE

¿Qué son los fertilizantes?	2	Granulación química de POLY4	36
Nutrientes vitales para las plantas	3	Compuestos de NPK a base de urea granulados químicamente: Resultados de las pruebas	38
Formas de los fertilizantes	4	Compuestos de NPK a base de AN granulados químicamente: Resultados de las pruebas	40
Tipos de fertilizantes	5	NPK granulados químicamente de POLY4: Propiedades físicas	42
Calidad de las características de los fertilizantes	6	Resistencia a la abrasión	44
Compatibilidad en las mezclas	8	Formación de polvo	45
Elaboración de NPK con POLY4	10	Resistencia al impacto	46
Compactación de POLY4	11	Resistencia a la compresión	47
Mezcla de NPK a base de urea: Resultados de las pruebas	12	Absorción de la humedad	48
Mezcla de NPK a base de AN: Resultados de las pruebas	14	Penetración de la humedad	49
Compactación de POLY4: Propiedades física	16	Tendencia a la aglomeración	50
Resistencia a la abrasión	18	Fósforo en los NPK granulados químicamente de POLY4	51
HRC	19	Distribución	52
Formación de polvo	20	Distribución: gránulos de POLY4 simples	53
Resistencia a la compresión	21	Distribución: distribución del tamaño de las partículas	54
Granulación por vapor de POLY4	22	Distribución: mezcla	55
Compuestos de NPK a base de urea granulados por vapor: Resultados de las pruebas	24	Humedad relativa crítica (HRC)	56
Compuestos de NPK a base de AN granulados por vapor: Resultados de las pruebas	26	HRC: Mezcla a granel de NPK con urea	58
NPK granulados por vapor de POLY4: Propiedades físicas	28	HRC: Mezcla a granel de NPK con nitrato de amonio	59
Resistencia a la abrasión	30	Notas y referencias	60
Formación de polvo	31		
Resistencia al impacto	32		
Resistencia a la compresión	33		
Tendencia a la aglomeración	34		
Fósforo en los NPK granulados por vapor de POLY4	35		



¿QUÉ SON LOS FERTILIZANTES?

Los fertilizantes son una sustancia natural o artificial que suministra nutrientes para alimentar a las plantas y promover su crecimiento.

La seguridad alimentaria mundial sigue siendo una preocupación importante en el mundo. Se calcula que en la primera mitad de este siglo, la población mundial ascenderá a unos 9800 millones de personas.¹ Como consecuencia de este crecimiento demográfico, la demanda mundial de alimentos prácticamente se duplicará.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación proyectó un aumento anual de la demanda de fertilizantes de potasio a nivel mundial, con un aumento del 56% en Asia, el 27% en las Américas, el 1% en Europa, el 6% en África y el 0,4% en Oceanía.²

En la actualidad, los fertilizantes son imprescindibles en las prácticas agrícolas. Se reconoce que el 50% de la brecha en el rendimiento de los cultivos puede superarse aplicando fertilizantes. Los fertilizantes ayudan a producir más de la mitad de la producción mundial de alimentos y, debido a la mayor demanda, se necesitan más fertilizantes.

El asesoramiento agronómico está cambiando y la práctica de los fertilizantes está buscando ampliar el espectro de nutrientes para lograr rendimientos más elevados y mejorar la calidad de los cultivos. En consecuencia, los NPK básicos son reemplazados por NPK +S, NPKS +Mg o + micronutrientes y por lo tanto, se aprecia el valor de los recursos multinutrientes, como POLY4.

Nutrientes vitales para las plantas

La práctica de fertilización depende mucho del lugar, pero en esencia, tiene una función principal y es reemplazar los nutrientes exportados en el cultivo cosechado. Los cultivos extraen nutrientes de la tierra para construir la biomasa de la planta. Mientras el suelo siga suministrando nutrientes, la productividad del cultivo continúa.

Para crecer, las plantas necesitan 16 elementos esenciales, actualmente reconocidos por el sector agrícola.

Los fertilizantes suministran nutrientes para asegurar el crecimiento de las plantas. Cualquier sustancia que contenga uno o más de los nutrientes primarios, secundarios o micronutrientes en una forma que las plantas puedan asimilar, actuará como un fertilizante.

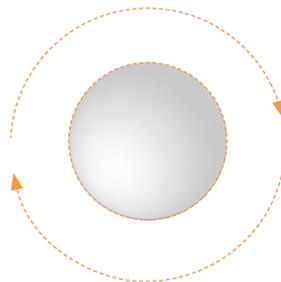
Componentes primordiales	Del aire y del agua	Carbono (C) Hidrógeno (H) Oxígeno (O)
	Del suelo: nutrientes primarios	Nitrógeno (N) Fósforo (P) Potasio (K)
	Del suelo: nutrientes secundarios	Calcio (Ca) Magnesio (Mg) Azufre (S)
Elementos menores	Del suelo: micronutrientes	Boro (B) Cloruro (Cl) Cobre (Cu) Hierro (Fe) Manganeso (Mn) Molibdeno (Mo) Zinc (Zn)

Formas de los fertilizantes

Hay diversas formas de fabricar fertilizantes sólidos que generan productos finales con distintas presentaciones.

Los fertilizantes perlados son partículas esféricas lisas que se forman al rociar los productos químicos licuados en una torre con una corriente ascendente de aire refrigerante. Las perlas se solidifican a medida que caen por la torre y se clasifican según el tamaño antes de envasarlas. Las perlas de calidad superior tienen una consistencia dura y sólida, con baja tendencia a la aglomeración. El tamaño normal va desde 1 mm a los 3 mm y un 75% se fabrican con tamaños de entre 2,4 mm y 2,8 mm.

Los gránulos tienen el fin de facilitar el manejo y la aplicación de los fertilizantes. Son de textura gruesa y se hacen pasando una pasta a través de una maquinaria giratoria para secarla y generar partículas esféricas. Los productos de mejor calidad son duros, con una densidad aparente de cierta consistencia, bajo potencial de aglomeración y bajo índice de abrasión. El 90% de los gránulos de POLY4 de alta calidad tienen un tamaño que varía en el rango de los 2 mm a los 4 mm.



“El **90%** de los gránulos de alta calidad de POLY4 se fabrican con un tamaño que va desde los **2mm a los 4mm**”.

Un fertilizante compactado es más angular que los gránulos y se fabrica presionando los productos entre rodillos para formar una masa sólida. Luego, el material compactado se rompe y clasifica para lograr un tamaño que varía en un rango consistente de entre 2 mm a 4 mm. Los productos compactados se pueden denominar gránulos o astillas.

Tipos de fertilizantes

Los agricultores pueden aplicar un solo nutriente para plantas (un fertilizante simple) o un producto con nutrientes mixtos que contenga por lo menos dos de los nutrientes primarios (un fertilizante compuesto). También hay otros tipos de fertilizantes que se describen como complejos, compuestos, mixtos, mezclas o fertilizantes NPK.

En la industria de los fertilizantes, la mayoría de los productos se distribuyen como fertilizantes mixtos en forma granular, que contienen por lo menos dos (generalmente tres) de los nutrientes primarios (N, P, K). Los fertilizantes mixtos pueden ser:

Fertilizantes compuestos que se obtienen por procesamiento químico y que comprenden gránulos de una composición similar

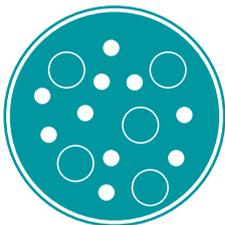
Fertilizantes mezclados que se obtienen mezclando materiales fertilizantes granulares en seco y comprenden gránulos de una composición mixta.

Ahora se reconoce que para cultivar plantas saludables, que reciban los nutrientes correctos en el momento adecuado y para lograr rendimientos más elevados, es fundamental aplicar un espectro más amplio de nutrientes. En consecuencia, los NPK básicos son reemplazados por NPK + S, NPKS + Mg o + micronutrientes. POLY4 ofrece el valor que otorgan los recursos multinutrientes disponibles en un único producto.

Calidad de las características de los fertilizantes

Los productos fertilizantes compuestos granulados químicamente, por vapor y compactados se pueden fabricar de distintas formas.

Sea cual fuere el método, la calidad del fertilizante se determina según las mismas características:



Tamaño de las partículas

de los productos fertilizantes, es decir, el rango de tamaño de las partículas.

La técnica de granulación afecta el tamaño de las partículas, lo que a su vez determina el rendimiento agronómico, el almacenamiento, la manipulación, la distribución y la mezcla.



Resistencia a la compresión

es la fuerza mínima necesaria para comprimir las partículas individuales. Ayuda a estimar el tipo de manipulación y almacenamiento necesarios, las propiedades de los materiales granulares y a determinar los límites de presión durante el almacenamiento de las bolsas y los productos a granel.

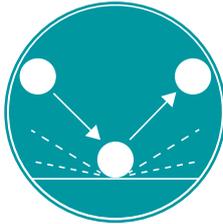


Resistencia a la abrasión

Es la resistencia a la formación de polvo y finos como consecuencia de la manipulación. Ayuda a evaluar la pérdida de material durante la manipulación, el almacenamiento y la aplicación, así como a controlar la contaminación y los riesgos, en algunos casos.

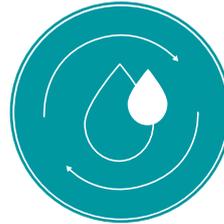
Calidad de las características de los fertilizantes...

continuado



Resistencia al impacto

es la resistencia de los gránulos a romperse como consecuencia del impacto con una superficie dura. Es una característica particularmente importante para los usuarios de abonadoras con ventilador y cuando el material se descarga desde un punto elevado a una pila de producto a granel, por ejemplo, durante la carga del buque.



Humedad relativa crítica (HRC)

es el valor de la humedad por encima del cual un material absorbe la humedad. HRC determina el grado de protección que necesita un producto fertilizante durante el almacenamiento, la manipulación y la distribución. Las pruebas se realizan en una cámara de humedad controlada, donde la absorción de la humedad se refleja en el peso del producto.



Higroscopicidad

Es la tendencia de un material a absorber el agua de la atmósfera. Los materiales fertilizantes con el mismo nivel de HRC pueden exhibir un comportamiento distinto, debido a la variación de la capacidad de retener la humedad. Los fertilizantes se pueden comparar exponiéndolos a varios períodos de humedad. Las evaluaciones se realizan en función de la tasa de captación de la humedad por unidad de superficie expuesta, la profundidad de la penetración de la humedad, la capacidad de retención de la humedad y la integridad de los gránulos humedecidos. Esta característica es importante para determinar la manipulación del fertilizante, así como su almacenamiento y vida útil en diferentes climas.

COMPATIBILIDAD EN LAS MEZCLAS

La compatibilidad química en las mezclas es la capacidad de dos materiales o más para mantenerse secos y fluir libremente al mezclarse. La incompatibilidad causa humedecimiento, aglomeración, generación de gases y/o desintegración de partículas. La compatibilidad no solo es importante en la mezcla a granel, sino que también es necesaria para cualquier sistema de granulación de NPK.

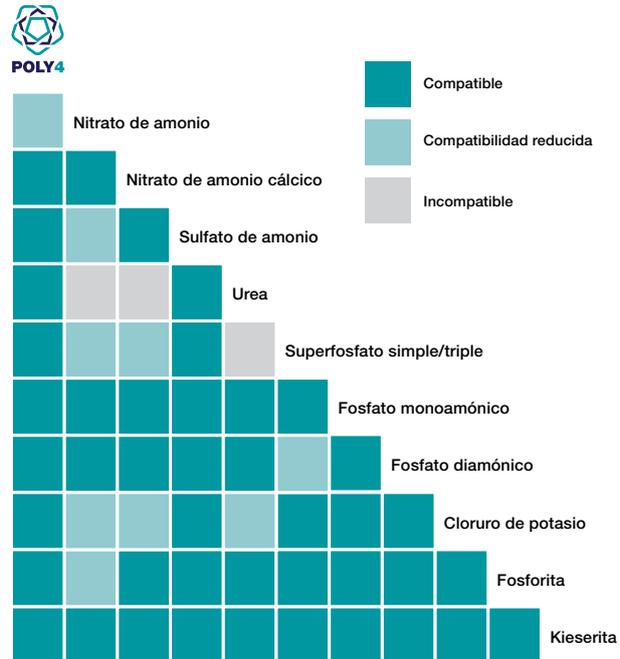
Para mezclar los fertilizantes se deben tener en cuenta todas las compatibilidades de los componentes. Las pruebas de compatibilidad química se pueden dividir en tres secciones: mezclas simples al 50:50, mezclas a granel de NPK a base de urea y mezclas a granel de NPK a base de nitrato de amonio (AN). El International Fertilizer Development Centre (IFDC), un especialista reconocido en la industria, realizó pruebas avanzadas con POLY4 para determinar su compatibilidad con diversas mezclas utilizando una amplia gama de materiales fertilizantes comunes. El IFDC probó dos series de NPK: mezclas a granel a base de urea y a AN.

Las pruebas se llevaron a cabo durante un período prolongado para imitar las condiciones industriales.³ Para determinar la compatibilidad, se combinaron las mezclas con POLY4: se colocó una muestra de 100 gramos en una botella de vidrio de 200 mililitros.⁴ Las botellas se taparon herméticamente y se colocaron en un horno de convección a 30 °C durante 30 días. Se utilizó una célula de carga de 500 N y un transductor de desplazamiento para medir el tiempo de demora hasta llegar a los 90 psi, lo que indica el tiempo necesario para que se forme una masa compactada. La presión de expulsión de la masa compactada demostró la propensión a la aglomeración.

El nitrato de amonio es reconocido en la industria por su incompatibilidad con la urea y su baja compatibilidad con el sulfato de amonio, el superfosfato triple, el superfosfato simple, el cloruro de potasio y el fosfato natural. El nitrato de amonio exhibió una tendencia similar con POLY4.

Sin embargo, los resultados demostraron que POLY4 tiene un amplio espectro y buen nivel de compatibilidad con el resto de los productos fertilizantes probados (urea, fosfato diamónico, fosfato natural y cloruro de potasio). El triángulo de compatibilidad con POLY4 amplía las normas de la Asociación Europea de Fabricantes de Fertilizantes para la compatibilidad de los fertilizantes⁶: los resultados de las pruebas demuestran que POLY4 es un componente compatible para mezclar con los fertilizantes de NPK.

Triángulo de compatibilidad de POLY4^{6,7}





ELABORACIÓN DE NPK CON POLY4

A la hora de mezclar fertilizantes es necesario tener en cuenta las compatibilidades entre todos los componentes para prevenir apelmazamientos y garantizar la seguridad. El International Fertilizer Development Center (IFDC) es un especialista consolidado en la industria. Utilizando una amplia gama de combinaciones de fertilizantes posibles, IFDC llevó a cabo pruebas avanzadas con POLY4 para determinar la compatibilidad de las mezclas.

Los productos POLY4-NPK tienen excelentes características que incluyen mejoras en la resistencia a la compresión, reducción del polvo y resistencia a la abrasión. Además, las características de penetración de humedad y HRC de estos productos reducen la tendencia a la aglomeración, lo que mejora la vida útil de los fertilizantes. Todas estas cualidades indican que los NPK hechos con POLY4 como componente de la mezcla son sumamente aptos para dicho propósito.

Compactación de POLY4

Los fertilizantes compactados, que se elaboran presionando los productos entre rodillos para formar una masa sólida, son una forma simple y económica de fabricar productos compuestos. Ciertos materiales no son tan fáciles de compactar, mientras que otros son aglutinantes y resultan eficaces para facilitar el proceso.

Durante las pruebas, las diversas materias primas necesarias para producir cada grado de NPK se mezclaron bien mientras estuvieron en forma de polvo. Luego, la mezcla se introdujo en un compactador, donde se aplicó presión para compactar los materiales. El material compactado se trituró antes de filtrarlo para separar los finos, el material demasiado grande y los productos del tamaño deseado. Los finos de tamaño inferior se reciclaron y se volvieron a introducir en el compactador junto con la mezcla fresca. El material que resultó demasiado grande se volvió a introducir en la trituradora, que lo descargó en el sistema de filtrado, cerrando el ciclo de procesamiento.

Para determinar las propiedades físicas de los compuestos de NPK a base de urea y AN, proceso que comprende el análisis del tamaño, la resistencia de los gránulos a la compresión, la resistencia a la abrasión, la capacidad para formar polvo, la HRC y la penetración y absorción de la humedad, el IFDC realizó el proceso de compactación a partir de varios grados de fertilizante de NPK de la serie a base de urea y AN (urea-DAP-KCl-POLY4 y AN-fosfato natural-KCl-POLY4, respectivamente).



Proceso de compactación de la mezcla de NPK a base de urea: Resultados de las pruebas⁸

Grado deseado	27:14:14	24:12:12	20:10:10	16:8:8
Contenido de materia prima deseado de POLY4 (%)	0.0	13.8	35.8	50.9
Propiedades físicas				
Análisis del tamaño (porcentaje acumulado luego del filtrado)				
4.00mm	0.1	0.4	1.1	1.2
3.35mm	2.6	5.9	16.0	22.9
2.80mm	19.3	30.3	42.2	55.5
2.36mm	42.9	61.3	68.6	85.8
2.00mm	61.9	82.7	84.6	98.3
1.70mm	72.3	91.6	91.5	99.4
Resistencia de los gránulos a la compresión (fracción de -2,80 mm +2,36 mm)				
Promedio (kg/gránulo)	0.98	1.67	2.26	2.19
Rango (kg/gránulo)	0.55-2.1	1.0-2.5	1.35-3.3	1.25-3.3
Resistencia a la abrasión (% degradación)	10.45	3.86	2.54	1.44
Resistencia al impacto (% gránulos rotos)	0.6	1.66	1.19	0.83

Proceso de compactación de la mezcla de NPK a base de urea: Resultados de las pruebas ... continuado⁸

Grado deseado	27:14:14	24:12:12	20:10:10	16:8:8
Contenido de materia prima deseado de POLY4 (%)	0.0	13.8	35.8	50.9
Propiedades físicas				
Acumulación de polvo (mg kg ⁻¹ del producto)	17,296	6,507	6,828	3,125
Humedad relativa crítica (HRC) (%)	55-60	55-60	55-60	55-60
Absorción - penetración de humedad (72 horas @ 300C, 80% HR)				
Absorción de la humedad (mg/cm ²)	486.1	505.9	478.7	492.6
Penetración de la humedad (cm)	9.2	7.0	6.5	6.3
Capacidad de retención de la humedad (mg/cm ³)	53.0	72.7	74.0	77.9
Capacidad de retención de la humedad (%)	6.8	9.4	8.4	8.6
Integridad del gránulo (húmedo)	Pobre	Pobre	Aceptable	Aceptable
Aglomeración 1 mes	4.7	10.6	0.0	0.0
Aglomeración 3 meses	36.1	28.9	1.4	0.6
Aglomeración 6 meses	31.1	37.8	4.2	0.6



Proceso de compactación de la mezcla de NPK a base de AN: Resultados de las pruebas⁸

Grado deseado	13:13:13	12:12:12	10:10:10	7:7:7
Contenido de materia prima deseado de POLY4 (%)	0.0	3.9	25.9	52.6
Propiedades físicas				
Análisis del tamaño (porcentaje acumulado luego del filtrado)				
4.00mm	0.2	0.3	0.2	0.1
3.35mm	7.4	8.3	4.7	5.8
2.80mm	30.4	32.0	24.8	29.9
2.36mm	53.0	53.9	46.5	53.2
2.00mm	73.6	74.0	67.3	75.1
1.70mm	83.5	84.5	78.6	86.0
Resistencia de los gránulos a la compresión (fracción de -2,80 mm +2,36 mm)				
Promedio (kg/gránulo)	0.95	0.94	0.78	1.02
Rango (kg/gránulo)	0.45-1.75	0.40-1.8	0.35-1.3	0.40-1.7
Resistencia a la abrasión (% degradación)	22.14	20.76	34.7	19.91
Resistencia al impacto (% gránulos rotos)	11.07	15.61	13.26	20.15

Proceso de compactación de la mezcla de NPK a base de AN: Resultados de las pruebas ... continuado⁸

Grado deseado	13:13:13	12:12:12	10:10:10	7:7:7
Contenido de materia prima deseado de POLY4 (%)	0.0	3.9	25.9	52.6
Propiedades físicas				
Acumulación de polvo (mg kg ⁻¹ del producto)	18,661	17,627	21,253	14,149
Humedad relativa crítica (HRC) (%)	60-65	60-65	60-65	60-65
Absorción - penetración de humedad (72 horas @ 300C, 80% HR)				
Absorción de la humedad (mg/cm ²)	385.4	374.8	411.4	405.1
Penetración de la humedad (cm)	6.6	7.9	8.0	7.1
Capacidad de retención de la humedad (mg/cm ³)	58.8	47.8	51.5	57.2
Capacidad de retención de la humedad (%)	6.4	4.8	5.1	5.0
Integridad del gránulo (húmedo)	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre
Aglomeración 1 mes	0.3	0.0	0.0	0.0
Aglomeración 3 meses	0.0	0.0	0.0	0.0
Aglomeración 6 meses	0.0	0.0	0.0	0.0



COMPACTACIÓN DE POLY4: PROPIEDADES FÍSICAS

Tanto los productos compactos a base de urea como los productos a base de AN fueron fabricados con los grados analizados, sin dificultades.

En el caso de los NPK a base de urea, la inclusión de un 35% de POLY4 aumentó al máximo la resistencia a la compresión y a la abrasión y redujo al mínimo la aparición de polvo. La HRC no cambió. La inclusión de un 35% de POLY4 aumentó al máximo la calidad del fertilizante.

En el caso de los NPK a base de AN, la inclusión de POLY4 no afectó la HRC, tal como se esperaba. Asimismo, la resistencia a la abrasión no se vio afectada y hubo un impacto menor en las características de penetración y retención de humedad. Al igual que con los grados de urea, hubo evidencia de una mejora en la formación de polvo del producto.

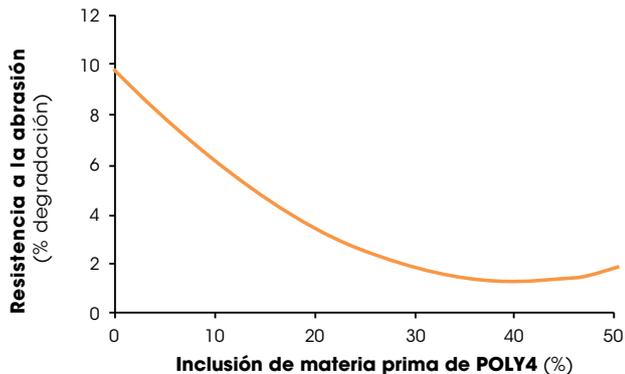


Resistencia a la abrasión

Los resultados concretos de las pruebas utilizando datos reales demostraron que la inclusión de un 35% de POLY4 aumentó al

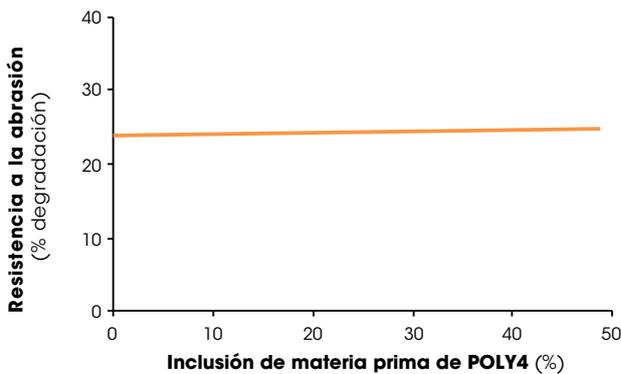
máximo la resistencia a la abrasión en los NPK a base de urea. La resistencia a la abrasión en los NPK a base de AN no se vio afectada.

Mezcla a base de urea*



* Datos sobre regresión en Genstat

Mezcla a base de AN*

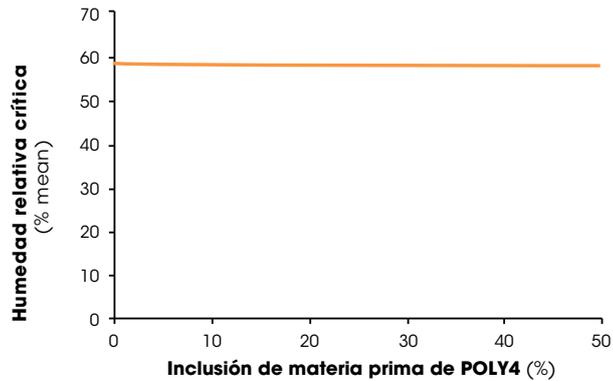


* Datos sobre regresión en Genstat

Humedad relativa crítica

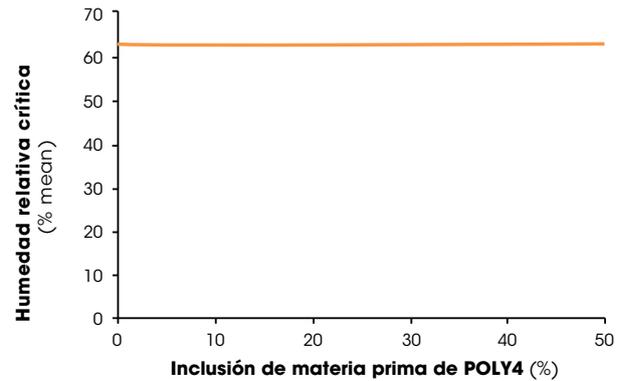
Tanto en el caso de los NPK a base de urea como de AN, la inclusión de POLY4 no afectó la HRC, tal como se esperaba.

Mezcla a base de urea*



* Datos sobre regresión en Genstat

Mezcla a base de AN*



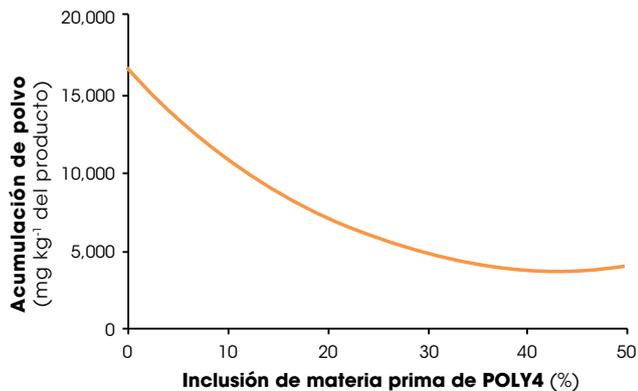
* Datos sobre regresión en Genstat

Formación de polvo

Los resultados concretos de las pruebas utilizando datos reales demostraron que la inclusión de un 35% de POLY4 redujo al mínimo la formación de polvo en los NPK a base de urea. También hubo

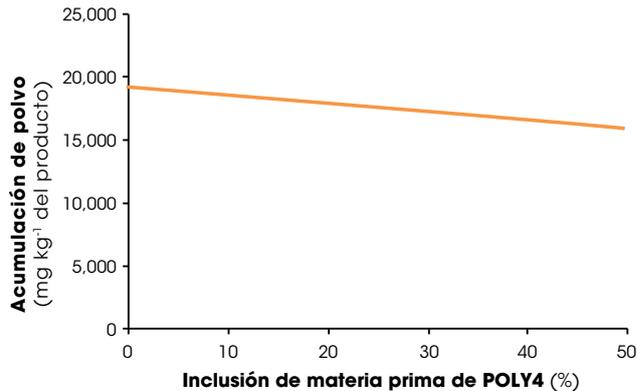
evidencias de una mejora en la formación de polvo en los NPK a base de AN.

Mezcla a base de urea*



* Datos sobre regresión en Genstat

Mezcla a base de AN*

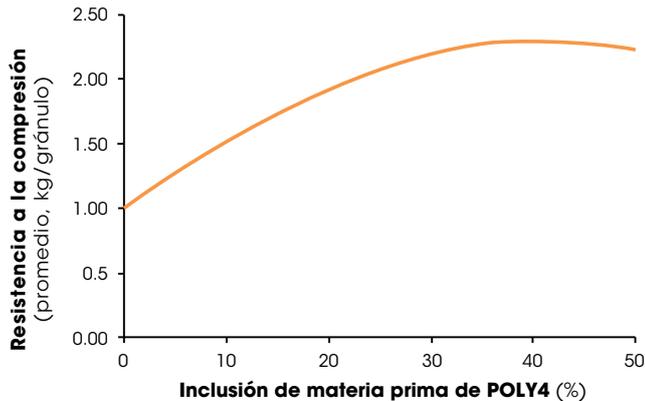


* Datos sobre regresión en Genstat

Resistencia a la compresión

Los resultados concretos de las pruebas utilizando datos reales demostraron que la inclusión de un 35% de POLY4 aumentó al máximo la resistencia a la compresión en los NPK a base de urea.

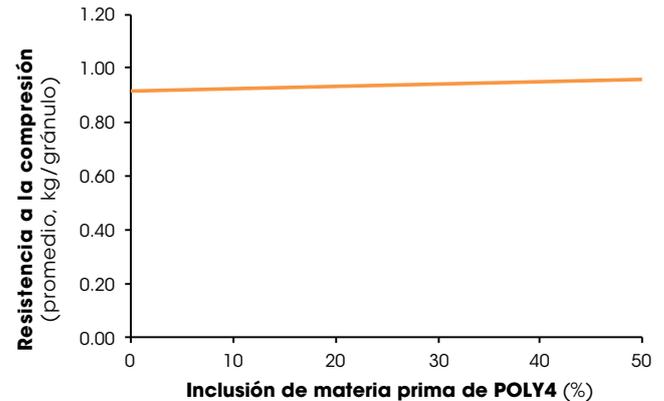
Mezcla a base de urea*



* Datos sobre regresión en Genstat

La resistencia a la compresión de los NPK a base de AN no resultó afectada.

Mezcla a base de AN*



* Datos sobre regresión en Genstat

GRANULACIÓN POR VAPOR DE POLY4

Los fertilizantes complejos se fabrican combinando dos nutrientes o más. En un complejo de NPK, todos los ingredientes se mezclan antes de darle forma de gránulos.

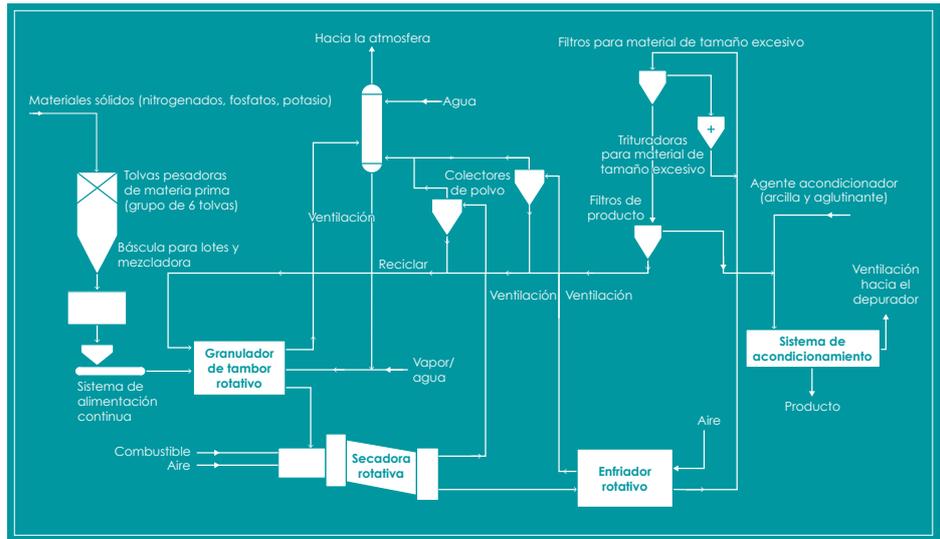
La granulación por vapor es uno de los métodos que se utilizan para elaborar fertilizantes compuestos. En este proceso, los gránulos se forman por aglomeración. Las materias primas se pesan y se mezclan antes de introducir las en un granulador (tambor rotativo o amasadora). Se agrega vapor y/o agua o depurador para que haya suficiente líquido y plasticidad para iniciar la aglomeración. En algunos casos, la amasadora se utiliza para mezclar los sólidos y los líquidos antes de proceder a la granulación en un tambor rotativo. En otros procesos, también se puede agregar una pequeña cantidad de amoníaco durante la granulación para provocar una reacción con los superfosfatos y promover la granulación, además de mejorar la calidad del fertilizante al disminuir la acidez y aumentar la HRC. Los gránulos húmedos se secan, generalmente en un secador de tambor y se tamizan para aislar la fracción del tamaño del producto. El producto final se selecciona mientras el material de tamaño excesivo e inferior se aplasta y se recicla en el granulador.

Para probar la compatibilidad con POLY4, el IFDC estableció una planta piloto de granulación a pequeña escala para simular una planta comercial de granulación de NPK. Para ejecutar el proceso, se utilizaron un granulador de tambor rotativo, un secador de tambor rotativo y un enfriador de tambor rotativo. Se introdujo en la amasadora material nitrogenado, ya sea nitrato de amonio o urea. Luego se agregó fosfato diamónico (DAP), cloruro de potasio y finalmente, POLY4. Todos los materiales fueron a un granulador. Desde el granulador, los materiales granulares húmedos se descargaron primero en un secador y luego se enfriaron. El producto seco se transfirió al sistema de filtro para separar el producto final del material cuyo tamaño resultaba insuficiente o excesivo. Los gránulos del tamaño deseado se pasaron a través de un enfriador y una vez frío, finalmente se recogió el producto granulado. El diagrama muestra el flujo típico del proceso de granulación por vapor.

Para determinar las propiedades físicas de las mezclas de NPK a base de urea y AN, proceso que comprende el análisis del tamaño, la resistencia de los gránulos a la compresión, la resistencia a la abrasión, la capacidad para formar polvo, la HRC y la penetración y absorción de la humedad, el IFDC realizó el proceso de granulación por vapor a partir de dos series de grados de fertilizante de NPK (urea-DAP-KCl-

POLY4 en el caso de los NPK a base de urea y AN-fosfato natural-KCl-POLY4 en el caso de los NPK a base de AN).

Planta típica de granulación de fertilizantes de NPK por vapor y/o agua



Compuestos de NPK a base de urea granulados por vapor: Resultados de las pruebas⁹

Grado deseado	27:14:14	24:12:12	20:10:10	16:8:8
Contenido de materia prima deseado de POLY4 (%)	0.0	13.8	35.8	50.9
Propiedades físicas				
Análisis del tamaño (porcentaje acumulado luego del filtrado)				
4.00mm	0.1	0.0	0.0	0.0
3.35mm	13.6	2.0	2.3	15.2
2.80mm	55.7	24.7	21.3	60.1
2.36mm	87.5	77.8	71.9	90.1
2.00mm	98.2	97.7	97.7	98.5
1.70mm	98.9	98.9	99.5	99.0
Resistencia de los gránulos a la compresión (fracción de -2,80 mm +2,36 mm)				
Promedio (kg/gránulo)	1.34	1.62	2.03	2.44
Rango (kg/gránulo)	0.95-1.9	1.05-2.6	1.55-2.85	1.75-3.35
Resistencia a la abrasión (% degradación)	2.02	0.71	0.57	2.41
Resistencia al impacto (% gránulos rotos)	1.82	1.43	0.27	1.2



Compuestos de NPK a base de urea granulados por vapor: Resultados de las pruebas... continuado⁹

Grado deseado	27:14:14	24:12:12	20:10:10	16:8:8
Contenido de materia prima deseado de POLY4 (%)	0.0	13.8	35.8	50.9
Propiedades físicas				
Acumulación de polvo (mg kg ⁻¹ del producto)	4,742	2,935	1,295	1,975
Humedad relativa crítica (HRC) (%)	50-55	50-55	50-55	50-55
Absorción - penetración de humedad (72 horas @ 30°C, 80% HR)				
Absorción de la humedad (mg/cm ²)	549.0	580.6	521.1	500.4
Penetración de la humedad (cm)	19.5	11.8	12.2	11.8
Capacidad de retención de la humedad (mg/cm ³)	28.2	50.5	42.6	43.6
Capacidad de retención de la humedad (%)	3.6	6.0	4.6	4.4
Integridad del gránulo (húmedo)	Pobre	Pobre	Aceptable	Aceptable
Aglomeración 1 mes	2.0	0.6	4.2	0.1
Aglomeración 3 meses	20.6	0.6	2.8	0.6
Aglomeración 6 meses	7.2	1.7	4.2	4.4



Compuestos de NPK a base de AN granulados por vapor: Resultados de las pruebas⁹

Grado deseado	18:18:18	17:17:17	14:14:14	10:10:10
Contenido de materia prima deseado de POLY4 (%)	0.0	3.9	25.9	52.6
Propiedades físicas				
Análisis del tamaño (porcentaje acumulado luego del filtrado)				
4.00mm	0.2	0.6	1.6	0.1
3.35mm	4.5	8.9	18.7	11.2
2.80mm	22.4	37.5	52.3	49.0
2.36mm	65.4	75.4	85.8	85.7
2.00mm	94.9	95.7	98.2	99.1
1.70mm	98.9	98.0	99.4	99.8
Resistencia de los gránulos a la compresión (fracción de -2,80mm +2,36mm)				
Promedio (kg/gránulo)	1.27	1.02	1.27	1.20
Rango (kg/gránulo)	0.5-3.35	0.9-3.0	0.5-2.75	0.55-1.95
Resistencia a la abrasión (% degradación)	9.35	4.94	1.41	0.34
Resistencia al impacto (% gránulos rotos)	10.05	3.53	1.16	0.68

Compuestos de NPK a base de AN granulados por vapor: Resultados de las pruebas... continued⁹

Grado deseado	18:18:18	17:17:17	14:14:14	10:10:10
Contenido de materia prima deseado de POLY4 (%)	0.0	3.9	25.9	52.6
Propiedades físicas				
Acumulación de polvo (mg kg ⁻¹ del producto)	3,244	1,362	456	195
Humedad relativa crítica (HRC) (%)	60-65	60-65	60-65	60-65
Absorción - penetración de humedad (72 horas @ 30°C, 80% HR)				
Absorción de la humedad (mg/cm ²)	423.6	437.5	475.8	453.9
Penetración de la humedad (cm)	7.2	7.0	5.7	4.7
Capacidad de retención de la humedad (mg/cm ³)	58.7	62.7	83.4	96.4
Capacidad de retención de la humedad (%)	7.2	7.4	8.3	8.4
Integridad del gránulo (húmedo)	Pobre	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Aglomeración 1 mes	21.1	25.6	23.3	12.2
Aglomeración 3 meses	36.1	36.7	33.3	7.8
Aglomeración 6 meses	69.4	47.9	55.6	28.6



NPK GRANULADOS POR VAPOR DE POLY4: PROPIEDADES FÍSICAS

Aplicando el método de granulación por vapor, se fabricaron sin dificultad los compuestos de NPK a base de urea con DAP, urea KCl y hasta un 51% de POLY4 en los grados analizados.

La adición de POLY4 fue consistente con una mejora continua en la resistencia a la abrasión. La formación de polvo en los productos de NPK a base de urea mostró una mejora con la adición de POLY4 a tasas de inclusión de hasta el 35%. También mejoró la resistencia al impacto de los productos finales.

POLY4 también tuvo un impacto positivo en la resistencia a la compresión de los gránulos.

Después de un mes, hubo poca diferencia en la tendencia a la aglomeración entre los productos. Sin embargo, a los tres meses el valor de POLY4 resultó evidente. A los tres meses, la inclusión más pequeña de POLY4 fue consistente con una reducción significativa de las pérdidas debido a la aglomeración. En el caso de los cuatro productos de NPK a base de urea, el porcentaje de aglomeración tras un almacenamiento de seis meses fue el siguiente:

- 7,2% de aglomeración en el producto sin POLY4
- 1,7% de aglomeración en el producto con 13,8% de POLY4
- 4,2% de aglomeración en el producto con 35,8% de POLY4
- 4,4% de aglomeración en el producto con 50,9% POLY4

Aplicando el método de granulación por vapor, se fabricaron sin dificultad los compuestos de NPK a base de AN con urea, DAP, KCl y hasta un 53% de POLY4 en los grados analizados.

La adición de POLY4 a una tasa de inclusión de hasta el 35% en estos productos de AN-NPK mejoró la resistencia a la abrasión y la formación de polvo. Hubo una tendencia general a mejorar la resistencia al impacto del producto final: la inclusión más reducida de

POLY4 disminuyó las pérdidas un 50%.

La sustitución de las tasas de inclusión de POLY4 no afectó la resistencia de los gránulos a la compresión y el impacto en las características de penetración y retención de la humedad pareció menor.

La tendencia a la aglomeración indica la vida útil del fertilizante en una granja. En el caso de los cuatro productos de NPK a base de AN, el porcentaje de aglomeración tras un almacenamiento de seis meses fue el siguiente:

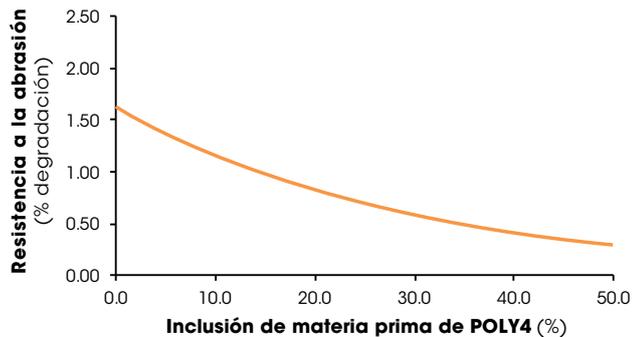
- 69,4% de aglomeración en el producto sin POLY4
- 47,2% de aglomeración en el producto con 3,9% de POLY4
- 55,6% de aglomeración en el producto con 25,9% de POLY4
- 25,6% de aglomeración en el producto con 52,6% POLY4

Resistencia a la abrasión

Los resultados concretos de las pruebas a partir de datos reales demostraron que al aumentar los porcentajes de inclusión de POLY4,

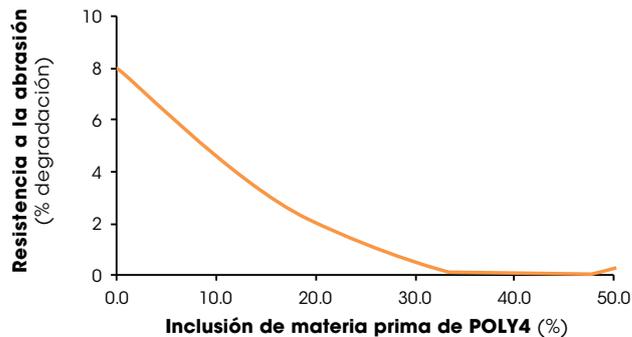
aumentó constantemente la resistencia a la abrasión tanto en los NPK a base de urea como de AN.

Compuestos a base de urea granulados por vapor*



* Datos sobre regresión en Genstat

Compuestos a base de AN granulados por vapor*

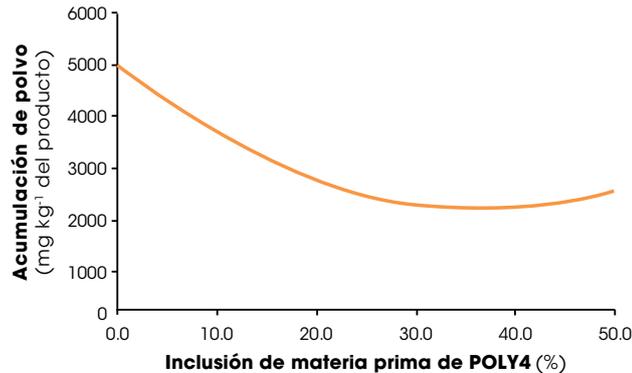


* Datos sobre regresión en Genstat

Formación de polvo

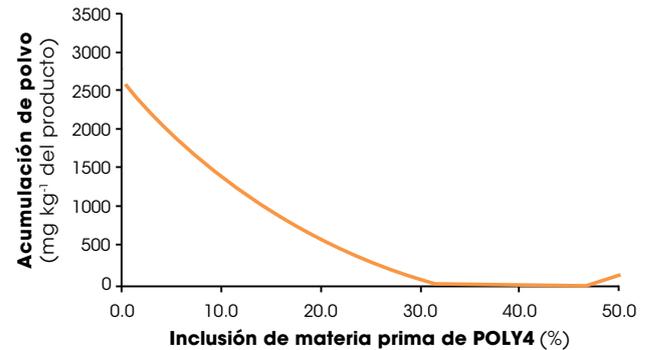
La formación de polvo mejoró con la adición de POLY4 a una tasa de inclusión de hasta el 35% en los productos de NPK a base urea y de AN.

Compuestos a base de urea granulados por vapor*



* Datos sobre regresión en Genstat

Compuestos a base de AN granulados por vapor*



* Datos sobre regresión en Genstat

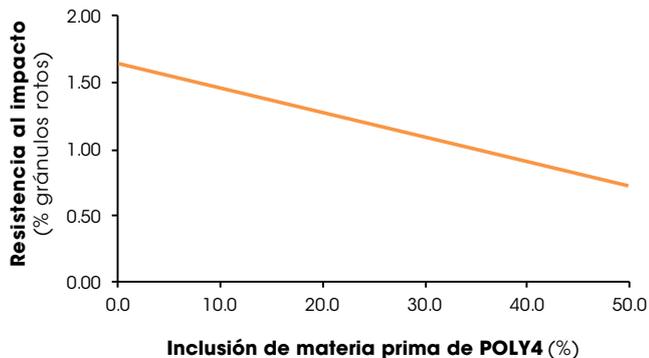


Resistencia al impacto

Los resultados concretos de las pruebas utilizando datos reales demostraron que mejoró la resistencia al impacto de los productos finales.

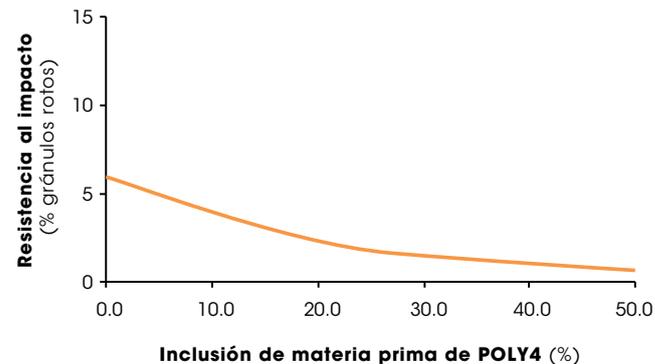
El menor porcentaje de inclusión de POLY4 promovió una reducción de las pérdidas del 50% en los NPK a base de AN.

Compuestos a base de urea granulados por vapor*



* Datos sobre regresión en Genstat

Compuestos a base de AN granulados por vapor*



* Datos sobre regresión en Genstat

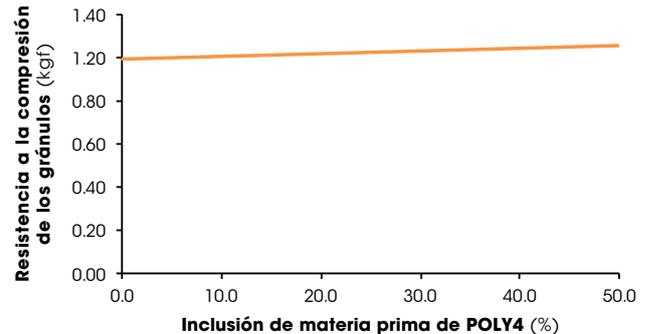
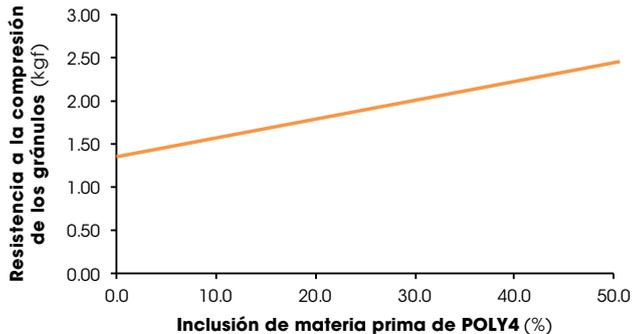
Resistencia a la compresión

POLY4 también tuvo un impacto positivo en la resistencia a la compresión en los NPK a base de urea.

La sustitución de las tasas de inclusión de POLY4 no afectó la resistencia a la compresión de los gránulos en los NPK a base de AN.

Compuestos a base de urea granulados por vapor*

Compuestos a base de AN granulados por vapor*



* Datos sobre regresión en Genstat

* Datos sobre regresión en Genstat

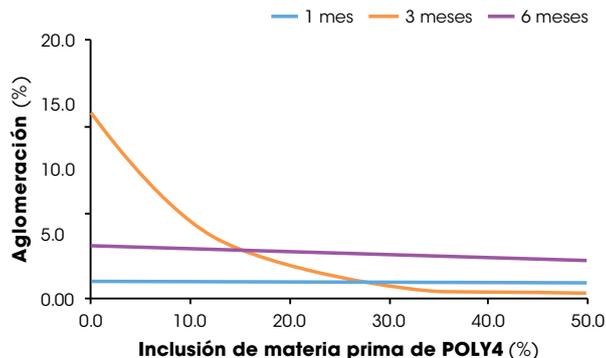


Tendencia a la aglomeración

Después de un mes, hubo poca diferencia en la tendencia a la aglomeración entre los productos. Sin embargo, a los tres meses el valor de POLY4 resultó evidente. Luego de tres meses, el menor

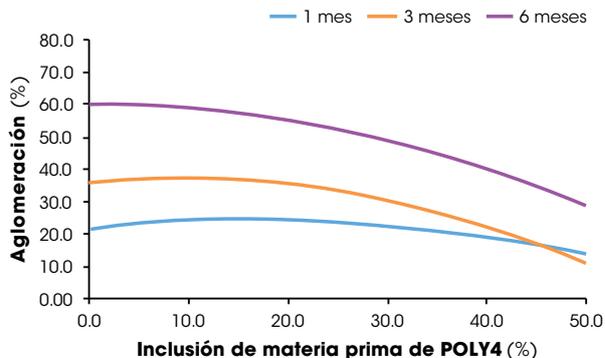
porcentaje de inclusión de POLY4 fue consistente con una reducción significativa de las pérdidas por aglomeración tanto en los NPK a base de urea como de AN.

Compuestos a base de urea granulados por vapor*



* Datos sobre regresión en Genstat

Compuestos a base de AN granulados por vapor*



* Datos sobre regresión en Genstat

Fósforo en los NPK granulados por vapor de POLY4

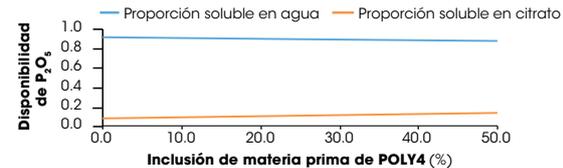
El calcio (Ca) y el fósforo (P) reactivos pueden formar fosfato dicálcico, que es conocido por su baja solubilidad.

Es importante seleccionar un fosfato natural mejor grado para asegurar una relación de calcio a fósforo deseable. Los procesos de vapor y químicos que utilizan fosfato natural para elaborar compuestos deben tener en cuenta el contenido de Ca.

El IFDC analizó tanto los productos finales a base de urea como de AN con fosfato soluble en citrato (P_2O_5).¹⁰ La inclusión de POLY4 provocó solo un cambio leve en función de las formas de P_2O_5 solubles en agua y en citrato: 5% en el caso del compuesto a base de urea y 11% en el de AN. Incluso en la tasa de inclusión de POLY4 más concentrada, el 87% del P_2O_5 estuvo disponible en forma soluble en agua en los NPK a base de urea y el 86% en los NPK a base de AN. Por lo tanto, el uso de POLY4 demostró su eficacia para introducir el calcio en los NPK sin inhibir la disponibilidad de P.

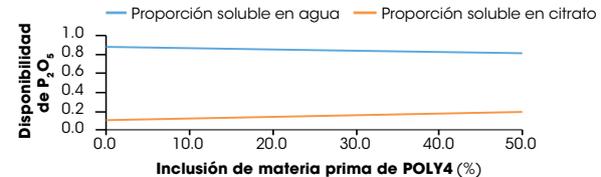
Las plantas absorbe P en forma soluble en agua. La elaboración de NPK con productos que contienen Ca podría restringir el fósforo soluble en agua. Las pruebas demostraron que la inclusión de POLY4 en la granulación tuvo un impacto mínimo en la disponibilidad de P_2O_5 : consulte las líneas de tendencia en relación con el fósforo soluble en agua en los gráficos. La línea de tendencia en relación con el fósforo soluble en citrato demuestra que no se perdió P durante el proceso de fabricación.

Compuestos a base de urea granulados por vapor*



* Datos sobre regresión en Genstat

Compuestos a base de AN granulados por vapor*



* Datos sobre regresión en Genstat

GRANULACIÓN QUÍMICA DE POLY4

La granulación química es el método más complejo para preparar NPK granulares. La granulación química es similar a la granulación por vapor, pero la mayor parte de la fase líquida se genera por la reacción del amoníaco con ácido fosfórico, sulfúrico y/o nítrico. También se puede utilizar una solución concentrada de urea o nitrato de amonio. Algunos procesos utilizan una reacción entre el amoníaco y un superfosfato simple o triple (SSP o TSP).

Gran parte de la reacción de amoníaco-ácido se realiza fuera del granulador en un reactor de neutralización previa o tubular. Se puede introducir agua, vapor o líquido de depuración en el granulador para optimizar el proceso. En la mayoría de las plantas de NPK, también se usa una cantidad significativa de materias primas sólidas, por eso, los gránulos se forman por aglomeración. Los factores que determinan la relación entre insumos sólidos y líquidos son:

- Requisitos de grado del NPK y solubilidad de los nutrientes
- Reacción a la temperatura y sus limitaciones
- Necesidades de fase líquida en la granulación
- Diseño de la planta física (aberturas en la planta)

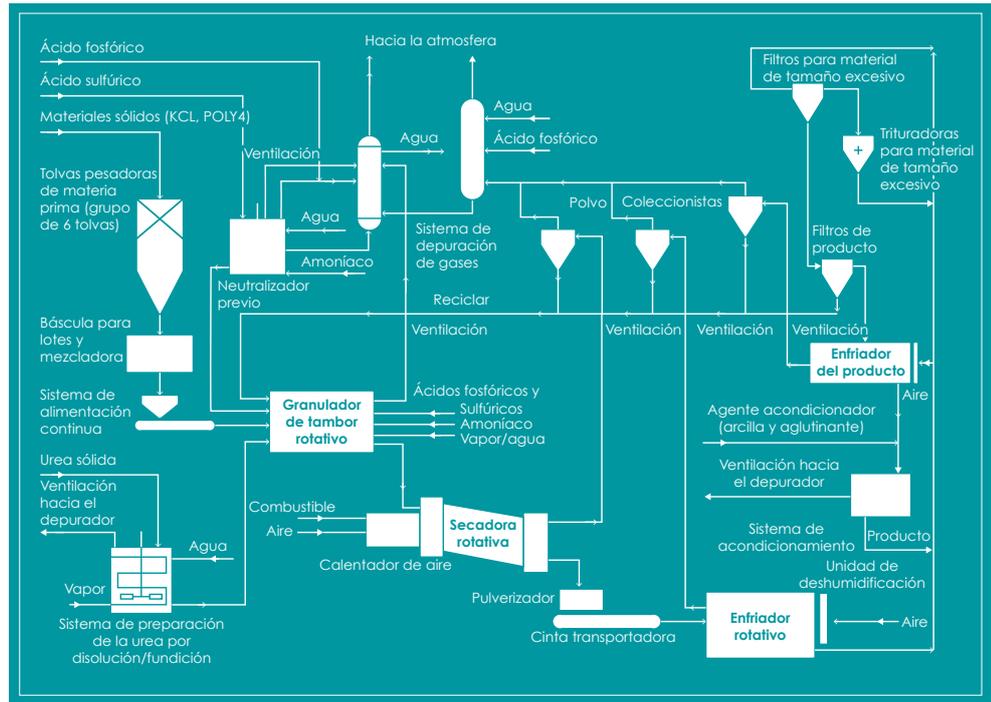
En algunas granulaciones químicas, la materia prima sólida, como el KCL, se disuelve parcialmente en fosfato de amonio y/o en una suspensión de nitrato de amonio, que luego se pulveriza en un tambor rotativo calentado. En este proceso, los gránulos se forman por la acumulación gradual de capas adicionales, también conocidas como acrecencias.

Para probar la compatibilidad con POLY4, el IFDC estableció una planta piloto de granulación a pequeña escala para simular una situación de procesamiento comercial. Se introdujeron el ácido fosfórico de grado comercial y el amoníaco en un neutralizador previo para producir una suspensión de fosfato de amonio. La relación fosfato : amonio ($\text{NH}_4:\text{H}_3\text{PO}_4$) fue de 1,5 a 1. La suspensión se bombeó a un granulador de tambor donde se introdujo más amoníaco debajo del lecho rodante de material fertilizante para elevar la relación de $\text{NH}_4:\text{H}_3\text{PO}_4$ a >1,8. Además de la pasta y el amoníaco, urea o AN, KCL y POLY, se introdujeron agua y material reciclado en el granulador. Luego, la descarga se introdujo en un secador rotativo de co-corriente y se enfrió en un enfriador rotativo de co-corriente antes de la clasificación

Para determinar las propiedades físicas de los compuestos de NPK a base de urea y AN, proceso que comprende el análisis del tamaño, la resistencia de los gránulos a la compresión, la resistencia a la abrasión, la capacidad para formar polvo, la HRC y la penetración y absorción de la humedad, el IFDC realizó el proceso de granulación química a partir de dos series de grados de fertilizante de NPK (urea-DAP-KCl-POLY4 en el caso de los NPK a base de urea y AN-

fosfato natural-KCl-POLY4 en el caso de los NPK a base de AN).

Planta típica de granulación de fertilizantes de NPK





Compuestos de NPK a base de urea granulados químicamente: Resultados de las pruebas¹¹

Grado deseado	27:14:14	24:12:12	20:10:10	16:8:8
Contenido de materia prima deseado de POLY4 (%)	0.0	13.8	35.8	50.9
Propiedades físicas				
Análisis del tamaño (porcentaje acumulado luego del filtrado)				
4.00mm	0.0	0.0	0.0	0.0
3.35mm	5.7	1.5	0.3	0.7
2.80mm	30.7	8.4	2.8	3.3
2.36mm	69.2	34.7	34.1	18.0
2.00mm	96.9	91.8	92.6	80.9
1.70mm	99.6	99.3	99.4	97.4
Resistencia de los gránulos a la compresión (fracción de -2,80mm +2,36mm)				
Promedio (kg/gránulo)	1.62	1.19	1.77	1.96
Rango (kg/gránulo)	0.95-2.45	0.85-1.6	1.1-2.85	1.2-3.65
Resistencia a la abrasión (% degradación)	3.16	3.50	1.24	2.01
Resistencia al impacto (% gránulos rotos)	1.99	1.29	2.73	1.61

Compuestos de NPK a base de urea granulados químicamente: Resultados de las pruebas... continuado¹¹

Grado deseado	27:14:14	24:12:12	20:10:10	16:8:8
Contenido de materia prima deseado de POLY4 (%)	0.0	13.8	35.8	50.9
Propiedades físicas				
Acumulación de polvo (mg kg⁻¹ del producto)	1,370	1,611	865	1,201
Humedad relativa crítica (HRC) (%)	55-60	55-60	60-65	60-65
Absorción - penetración de humedad (72 horas @ 30°C, 80% HR)				
Absorción de la humedad (mg/cm ²)	629.3	527.5	476.4	424.2
Penetración de la humedad (cm)	10.8	9.1	6.8	5.1
Capacidad de retención de la humedad (mg/cm ³)	58.4	59.1	70.1	87.6
Capacidad de retención de la humedad (%)	7.1	7.0	7.0	8.6
Integridad del gránulo (húmedo)	Pobre	Pobre	Aceptable	Aceptable
Aglomeración 1 mes	0.3	0	0	0
Aglomeración 3 meses	0	0	0	0



Compuestos de NPK a base de AN granulados químicamente: Resultados de las pruebas¹¹

Grado deseado	18:18:18	17:17:17	14:14:14	10:10:10
Contenido de materia prima deseado de POLY4 (%)	0.0	3.9	25.9	52.6
Propiedades físicas				
Análisis del tamaño (porcentaje acumulado luego del filtrado)				
4.00mm	0.1	0.3	0.2	0.1
3.35mm	12.8	11.8	15.2	8.6
2.80mm	50.6	48.3	57.7	43.4
2.36mm	80.6	80.8	88.5	82.1
2.00mm	97.3	94.9	98.9	98.7
1.70mm	99.4	96.8	99.7	99.8
Resistencia de los gránulos a la compresión (fracción de -2,80 mm +2,36 mm)				
Promedio (kg/gránulo)	3.55	1.77	2.26	3.02
Rango (kg/gránulo)	1.9-6.55	1-2.55	1.05-3.75	1.55-6.3
Resistencia a la abrasión (% degradación)	2.42	5.96	1.15	0.38
Resistencia al impacto (% gránulos rotos)	1.73	3.26	4.57	1.15

Compuestos de NPK a base de AN granulados químicamente: Resultados de las pruebas... continuado¹¹

Grado deseado	18:18:18	17:17:17	14:14:14	10:10:10
Contenido de materia prima deseado de POLY4 (%)	0.0	3.9	25.9	52.6
Propiedades físicas				
Acumulación de polvo (mg kg ⁻¹ del producto)	1,982	6,318	1,747	354
Humedad relativa crítica (HRC) (%)	60-65	65-70	65-70	65-70
Absorción - penetración de humedad (72 horas @ 30°C, 80% HR)				
Absorción de la humedad (mg/cm ²)	383.1	328.8	348.8	360.9
Penetración de la humedad (cm)	5.6	4.8	5.3	5.4
Capacidad de retención de la humedad (mg/cm ³)	67.7	68.1	66.6	67.6
Capacidad de retención de la humedad (%)	7.6	8.3	6.5	5.9
Integridad del gránulo (húmedo)	Pobre	Pobre	Aceptable	Aceptable
Aglomeración 1 mes	0	0	0.3	0
Aglomeración 3 meses	0	0	0	0
Aglomeración 6 meses	26.1	28.3	17.8	5.6



NPK GRANULADOS QUÍMICAMENTE DE POLY4: PROPIEDADES FÍSICAS

Aplicando el método de granulación química, se fabricaron sin dificultad los compuestos de NPK a base de urea con ácido fosfórico de grado comercial, amoníaco, urea, KCL y hasta un 51% de POLY4.

Se registró un aumento leve pero positivo de la resistencia a la abrasión con la adición de mayores tasas de inclusión de POLY4. También mejoró la resistencia de los gránulos a la compresión y se redujo la formación de polvo con la adición de mayores tasas de inclusión de POLY4. La resistencia al impacto no resultó afectada con la adición de POLY4. Sin embargo, las características de absorción y penetración de humedad mejoraron con POLY4: a mayor contenido de POLY4, menor absorción de humedad por unidad de superficie.

Aplicando el método de granulación química, se fabricaron sin dificultad los compuestos de NPK a base de AN con ácido fosfórico de grado comercial, amoníaco, AN, KCL y hasta un 53% de POLY4.

La inclusión de POLY4 no afectó las características de resistencia del gránulo a la compresión y al impacto, si bien se observó una tendencia positiva leve. La inclusión de POLY4 mejoró la resistencia a la abrasión. El aumento de las tasas de inclusión de POLY4 se tradujo en una reducción significativa de la formación de polvo en los NPK a base de AN granulados químicamente. Las características de absorción y penetración de la humedad no resultaron afectadas por el porcentaje de POLY4.

Se observó aglomeración tanto en los productos NPK a base de urea como de AN tras un período de almacenamiento de seis meses. Las pruebas demostraron que el aumento de las tasas de inclusión de POLY4 redujo la tendencia a la aglomeración.

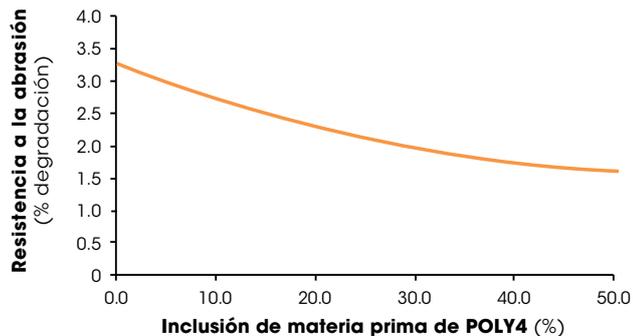


Resistencia a la abrasión

Los resultados concretos de las pruebas a partir de datos reales demostraron que al aumentar los porcentajes de inclusión de POLY4,

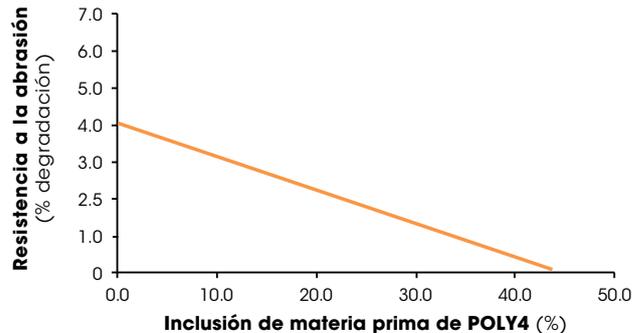
aumentó sustancialmente la resistencia a la abrasión tanto en los NPK a base de urea como de AN.

Compuestos a base de urea granulados químicamente*



* Datos sobre regresión en Genstat

Compuestos a base de AN granulados químicamente*



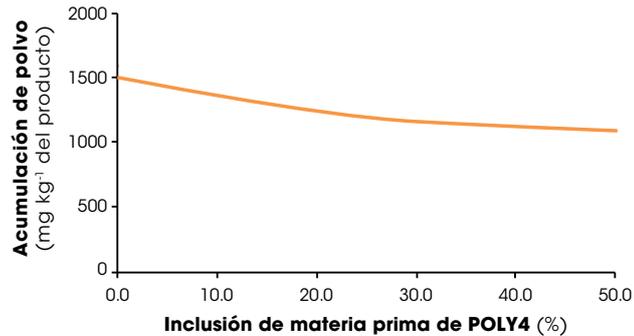
* Datos sobre regresión en Genstat

Formación de polvo

Se registró una reducción positiva de la formación de polvo con la adición de mayores tasas de inclusión de POLY4 en los NPK a base

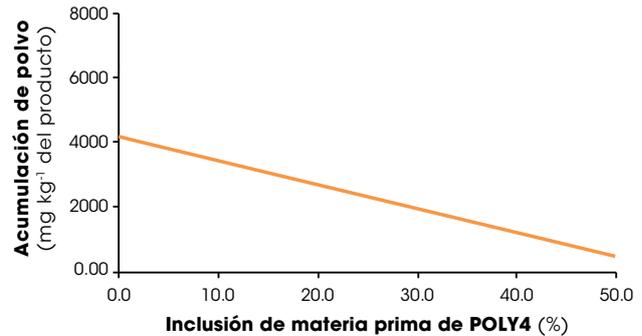
urea y de AN granulados químicamente.

Compuestos a base de urea granulados químicamente*



* Datos sobre regresión en Genstat

Compuestos a base de AN granulados químicamente*



* Datos sobre regresión en Genstat

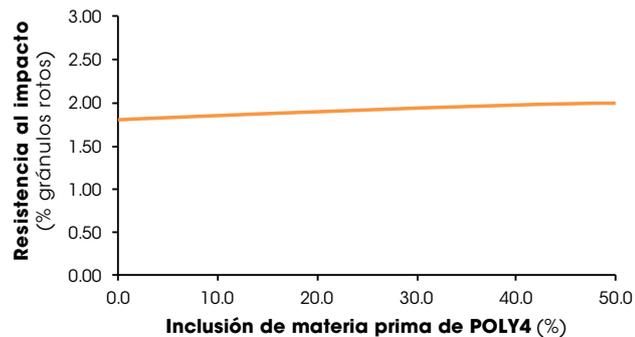


Resistencia al impacto

Los resultados concretos de las pruebas utilizando datos reales demostraron que no se modificó la resistencia al impacto con la adición de POLY4 ni en los NPK a base de urea ni en los NPK a base

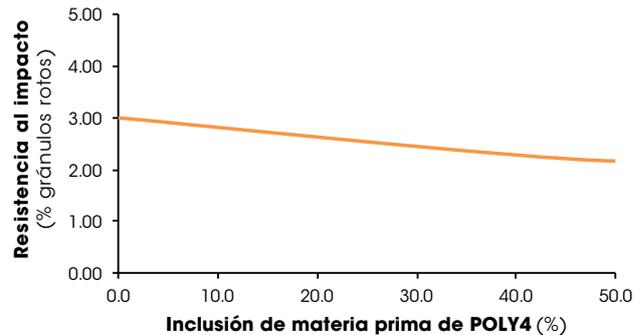
de AN, si bien se observó una tendencia positiva leve en estos últimos.

Compuestos a base de urea granulados químicamente*



* Datos sobre regresión en Genstat

Compuestos a base de AN granulados químicamente*

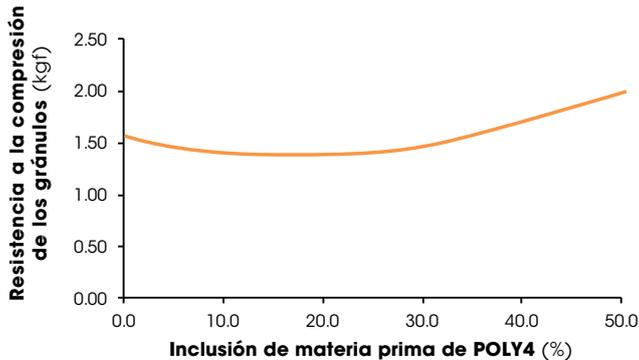


* Datos sobre regresión en Genstat

Resistencia a la compresión

Los resultados concretos de las pruebas utilizando datos reales demostraron que hubo una mejora de la resistencia a la compresión con la adición de mayores tasas de inclusión de POLY4 en los NPK a base de urea.

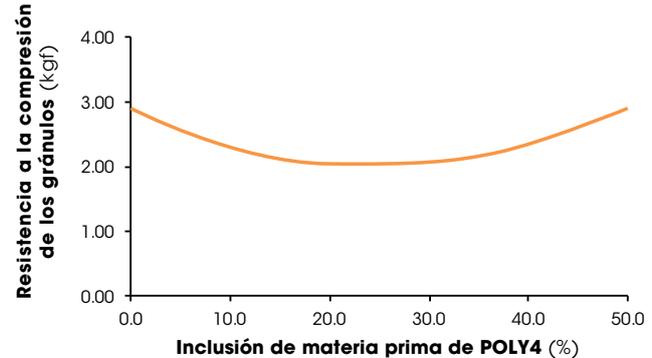
Compuestos a base de urea granulados químicamente*



* Datos sobre regresión en Genstat

La inclusión de POLY4 no afectó la resistencia a la compresión de los NPK a base de AN, si bien se observó una tendencia positiva leve.

Compuestos a base de AN granulados químicamente*



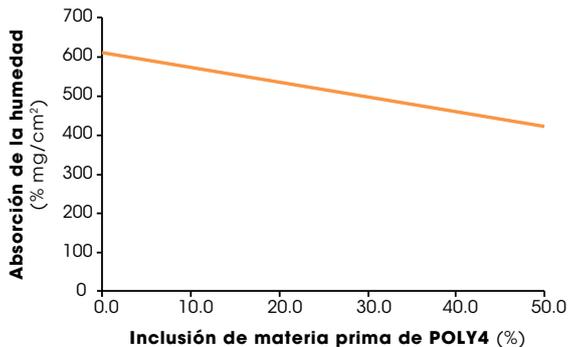
* Datos sobre regresión en Genstat

Absorción de la humedad

La característica de absorción de la humedad mejoró con la adición de POLY4 en los NPK a base de urea: a mayor contenido de POLY4, menor absorción de humedad por unidad de superficie. La absorción

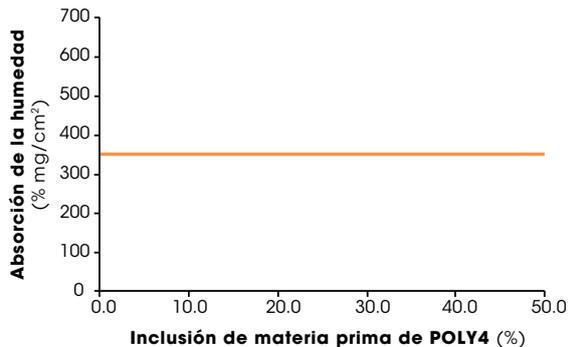
de la humedad de los NPK a base de AN no resultó afectada por el porcentaje de POLY4.

Compuestos a base de urea granulados químicamente*



* Datos sobre regresión en Genstat

Compuestos a base de AN granulados químicamente*



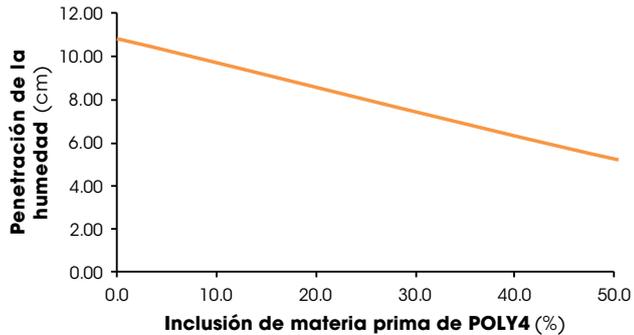
* Datos sobre regresión en Genstat



Penetración de la humedad

La penetración de la humedad mejoró con la adición de POLY4 en los NPK a base de urea: a mayor contenido de POLY4, menor absorción de humedad por unidad de superficie.

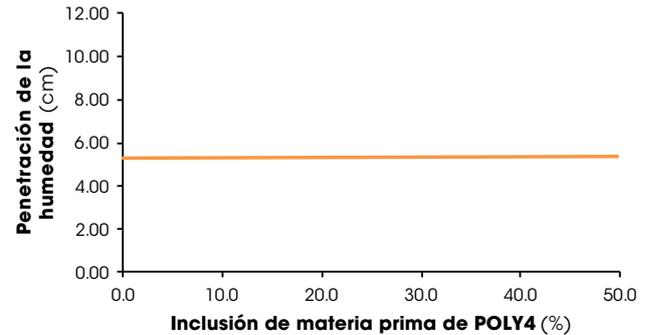
Compuestos a base de urea granulados químicamente*



* Datos sobre regresión en Genstat

La penetración de la humedad de los NPK a base de AN no resultó afectada por el porcentaje de POLY4.

Compuestos a base de AN granulados químicamente*



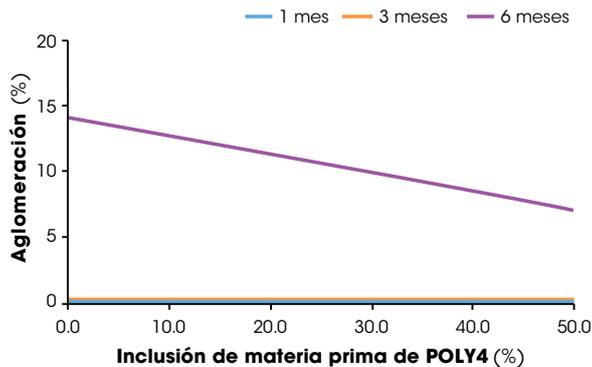
* Datos sobre regresión en Genstat

Tendencia a la aglomeración

Se observó aglomeración tanto en los productos NPK a base de urea como de AN tras un período de almacenamiento de seis meses. Las

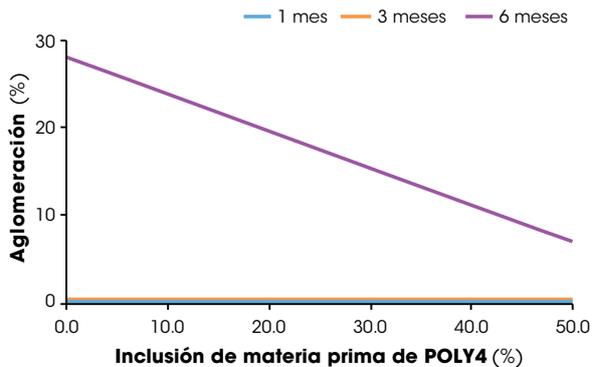
pruebas demostraron que el aumento de las tasas de inclusión de POLY4 redujo la tendencia a la aglomeración.

Compuestos a base de urea granulados por vapor*



* Datos sobre regresión en Genstat

Compuestos a base de AN granulados por vapor*



* Datos sobre regresión en Genstat

Fósforo en los NPK granulados químicamente de POLY4

El calcio (Ca) y el fósforo (P) reactivos pueden formar fosfato dicálcico, que es conocido por su baja solubilidad. POLY4 contiene Ca, las pruebas demostraron que esto no afectó la disponibilidad de P.

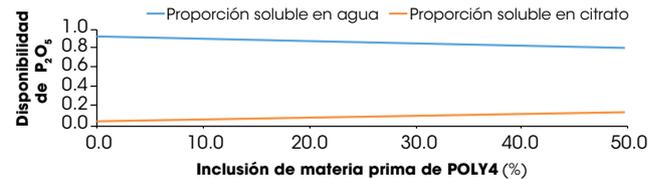
Es importante seleccionar un fosfato natural de mejor grado para asegurar una relación de calcio a fósforo deseable. Los procesos de vapor y químicos que utilizan fosfato natural para elaborar compuestos deben tener en cuenta el contenido de Ca.

El IFDC analizó tanto los productos finales a base de urea como de AN con fosfato soluble en citrato (P_2O_5).¹² La inclusión de POLY4 provocó solo un cambio leve en función de las formas de P_2O_5 solubles en agua y en citrato: 5% en el caso del compuesto a base de urea y 9% en el de AN. Incluso en la tasa de inclusión de POLY4 más concentrada, el 89% del P_2O_5 estuvo disponible en forma soluble en agua en los NPK a base de urea y el 83% en los NPK a base de AN. Por lo tanto, el uso de POLY4 demostró su eficacia para introducir el calcio en los NPK sin inhibir la disponibilidad de P.

Las plantas absorben P en forma soluble en agua. La elaboración de NPK con productos que contienen Ca podría restringir el fósforo soluble en agua. Las pruebas demostraron que la inclusión de POLY4 en la granulación tuvo un impacto mínimo en la disponibilidad de P_2O_5 ; consulte las líneas de tendencia en relación con el fósforo

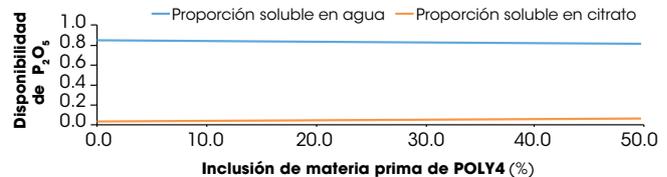
soluble en agua en los gráficos. La línea de tendencia en relación con el fósforo soluble en citrato demuestra que no se perdió P durante el proceso de fabricación.

Compuestos a base de urea granulados químicamente*



* Datos sobre regresión en Genstat

Compuestos a base de AN granulados químicamente*



* Datos sobre regresión en Genstat



DISTRIBUCIÓN

Los fertilizantes sólidos suelen aplicarse de forma mecánica.

Si se calibra mal la abonadora, esto puede implicar costos significativos para el productor. La abonadora se debe calibrar por lo menos una vez por año. La velocidad del disco, el ángulo de inclinación de la máquina, el ancho del implemento y el viento pueden afectar enormemente la uniformidad de la distribución, lo que se conoce como patrón de esparcimiento.

Las tasas de aplicación del fertilizante siguen siendo válidas si los agricultores pueden mantener el nivel de precisión necesario. Un coeficiente de variación (CV superior) al 20% genera estrías en el cultivo. Un CV más bajo indica una distribución más pareja del fertilizante. Posteriormente, el esparcido desparejo aumenta el costo de producción del cultivo debido a las penalizaciones de y a las medidas correctivas que se exigen.

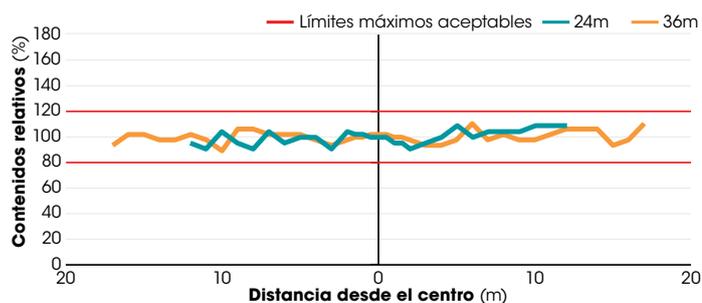
La calidad del producto fertilizante también influye en la distribución. Las principales propiedades de inducción de la segregación son el tamaño, la densidad y la forma de las partículas.¹³ El ángulo de reposo, la resistencia de las partículas y el coeficiente de fricción también se han relacionado con la segregación.¹⁴ El tamaño de las partículas de los productos de baja calidad no es homogéneo, lo cual afecta la capacidad de esparcimiento del fertilizante. Una mala distribución del fertilizante puede hacer que no cumpla con el contenido de nutrientes declarado. La distribución irregular del campo también hace que los cultivos exhiban un crecimiento desigual.

Distribución: gránulos de POLY4 simples

Se examinaron las propiedades físicas del gránulo POLY4 y los patrones de esparcimiento como fertilizante simple y en mezclas secas. Se evaluaron los gránulos de POLY4 con abonadoras fertilizantes configuradas con un ancho de distribución de 24m y 36m, que suele ser la distancia habitual para la aplicación de fertilizantes.

Los gráficos de distribución de los gránulos de POLY4 simples muestran que los resultados se encuentran dentro del 20% de los límites de tolerancia del CV. El patrón de distribución de calidad de POLY4 reduce el riesgo de incurrir en gastos adicionales.

Pruebas con gránulos de POLY4 simples¹⁵

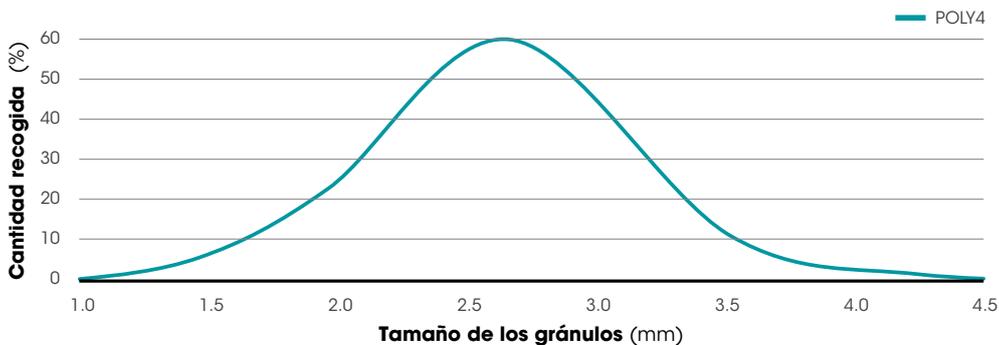


Distribución: distribución del tamaño de las partículas

Se estudiaron los gránulos de POLY4 para determinar la distribución del tamaño de las partículas. Es importante que el tamaño de las partículas sea homogéneo para facilitar la distribución por aplicación mecánica. El siguiente gráfico de distribución del tamaño de las

partículas indica el resultado de la prueba. Los gránulos de POLY4 tienen un tamaño que va de los 2 mm a los 4 mm de diámetro. El 92 por ciento de los gránulos de POLY4 estaban dentro de esta especificación para el tamaño de las partículas.

Distribución del tamaño de las partículas^{16,17}



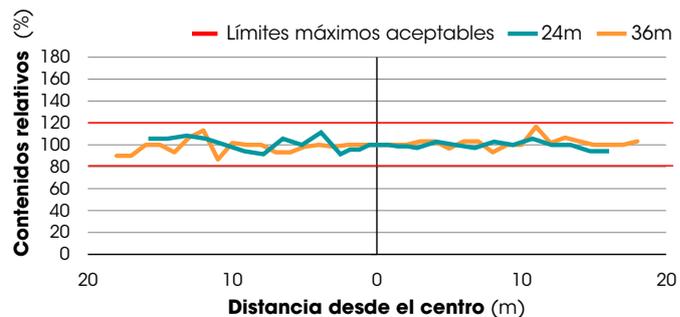
Distribución: mezcla

También se analizaron los patrones de esparcimiento de las mezclas de POLY4 al 20:10:10 en anchos de 24m y 36m.

Pruebas en mezclas de POLY4 al 20:10:10¹⁸

Mezcla	Gránulos	Ancho de distribución	CV
20:10:10	2mm-4mm	24m	5.03%
20:10:10	2mm-4mm	36m	5.52%
20:10:10	2mm-4mm	24m	7.82%
20:10:10	2mm-4mm	36m	6.4%

Patrón de distribución de 24m y 36m¹⁸





HUMEDAD RELATIVA CRÍTICA (HRC)

La HRC del fertilizante es el nivel de humedad relativa por encima del cual un fertilizante absorberá la humedad y por debajo del cual no absorberá humedad de la atmósfera.

La combinación de dos materiales fertilizantes o más reduce sustancialmente la HRC de la mezcla en comparación con la HRC de los componentes individuales. Dicha reducción promueve una aglomeración precoz. Por lo tanto, los fertilizantes mixtos se deben almacenar de manera diferente.



Las determinaciones de la HRC se realizaron en mezclas de NPK a granel al 50:50. Las pruebas se realizaron en productos tanto en forma granular como en polvo.¹⁹ Se encontraron diferencias mínimas entre las mezclas al 50:50, granulares y en polvo. Los acondicionadores o agentes protectores aumentaron un 5% la HRC. El porcentaje más bajo de HRC se observó con el nitrato de amonio, dato que demuestra consonancia con los resultados de la prueba de aglomeración acelerada (ver *Compatibilidad en las mezclas*, en la página 9).

Valores de HRC en mezclas al 50:50

Muestra	HRC
POLY4:urea — granular	70-75%
POLY4:urea — polvo	70-75%
POLY4:AN — granular	55-60%
POLY4:AN — polvo	50-55%
POLY4:DAP — granular	75-80%
POLY4:DAP — polvo	70-75%
POLY4:roca fosfórica — granular	85-90%
POLY4:roca fosfórica — polvo	80-85%
POLY4:KCl — granular	80-85%
POLY4:KCl — polvo	75-80%

HRC: Mezcla a granel de NPK con urea

Se estudió la compatibilidad química al producir los siguientes grados de NPK, sobre urea, fosfato diamónico (DAP), cloruro de potasio (KCl) y POLY4.

Composiciones de mezcla a granel con urea

Relación de nutrientes	Grado	Material (% p/p g/100g)			
		Urea	DAP	KCl	POLY4
2:1:1	27:14:14	47.57	29.51	22.92	0.00
	24:12:12	42.49	26.36	17.34	13.81
	20:10:10	34.39	21.34	8.44	35.83
	16:8:8	28.86	17.91	2.36	50.87

Al terminar la prueba, se observó que todas las mezclas a granel de NPK a base de urea eran compatibles. En particular, el grado al 16:8:8 fue notablemente sólido. El cuadro indica los resultados de las pruebas de HRC de las mezclas a granel de NPK a base de urea. La

HRC no se modificó al aumentar el contenido de POLY4 de 0 al 51%, con una reducción progresiva del contenido de cloruro de potasio del 23 al 0%. Se pudo observar una importante influencia del agente protector/acondicionador (resultados de las series de productos granulares).

HRC de las mezclas a granel de NPK con urea

Muestra	HRC
27:14:14 — granular	70-75%
27:14:14 — polvo	50-55%
24:12:12 — granular	70-75%
24:12:12 — polvo	50-55%
20:10:10 — granular	75-75%
20:10:10 — polvo	50-55%
16:8:8 — granular	70-75%
16:8:8 — polvo	50-55%



HRC: Mezcla a granel de NPK con nitrato de amonio

Se determinó la compatibilidad química de los grados de NPK con nitrato de amonio (AN), fosfato natural, cloruro de potasio (KCl) y POLY4.

Composición de la mezcla a granel con AN

Relación de nutrientes	Grado	Material (% p/p g/100g)			
		AN	Fosfato natural	KCl	POLY4
1:1:1	13:13:13	36.80	42.29	20.91	0.00
	12:12:12	35.68	41.00	19.38	3.95
	10:10:10	29.44	33.83	10.85	25.88
	7:7:7	21.83	25.08	0.46	52.63

Luego de realizar la prueba acelerada de 30 días de las mezclas a granel de NPK a base de AN, se pudo detectar trazas de amoníaco y por lo tanto, se realizaron otras pruebas para determinar la fuente. Se evaluaron seis mezclas al 50:50 y dos grados al 13:13:13 para determinar la compatibilidad química: AN/fosfato natural granular, AN/fosfato natural en perlas, AN/KCl granular, AN/KCl en perlas, AN/POLY4 granular, y AN/POLY4 al 13:13:13 con AN granular y al 13:13:13

con AN en perlas. La prueba de compatibilidad química adicional reveló que la mezcla de fosfato natural-AN generó el amoníaco, mientras que la mezcla con POLY4, no.

El cuadro siguiente indica los resultados de las pruebas de HRC de las mezclas con AN. La HRC no se modificó al aumentar el contenido de POLY4 de 0 al 53%, con una reducción progresiva del contenido de cloruro de potasio del 18 al 0%.

HRC de las mezclas a granel de NPK con AN

Muestra	HRC
13:13:13 — granular	65-70%
13:13:13 — polvo	60-65%
12:12:12 — granular	65-70%
12:12:12 — polvo	60-65%
10:10:10 — granular	65-70%
10:10:10 — polvo	55-60%
7:7:7 — granular	65-70%
7:7:7 — polvo	55-60%

NOTAS

- Página 2** 1) United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017) World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248; 2) FAO (2015) Current fertilizer trends and outlook to 2018 <http://www.fao.org/3/a-i4324e.pdf> (consultado el 18 de febrero de 2018).
- Página 8** 3) La metodología del IFDC ratifica los métodos de Walker et al (1998) y las conclusiones publicadas de Albadarin et al (2017); 4) Según datos del Manual for Determining Physical Properties of Fertilizer (IFDC-R-10).
- Página 9** 5) EFMA, 2006; 6) Fuentes: 66000-IFDC- 60010-17; 32000-LIM-32011-15; 7) Compatible significa que está seco y fluye libremente; compatibilidad reducida significa que está húmedo y fluye libremente a húmedo o no fluye; incompatible significa que está húmedo y no fluye.
- Página 12 a 15** 8) Las propiedades físicas se determinaron según los procedimientos del IFDC S-107, S-115, S-116, S-118, S-122, S-101 y S-100 descritos en Manual for Determining Physical Properties of Fertilizer (IFDC-R-10).
- Página 24 a 27** 9) Las propiedades físicas se determinaron según los procedimientos del IFDC S-107, S-115, S-116, S-118, S-122, S-101 y S-100 descritos en Manual for Determining Physical Properties of Fertilizer (IFDC-R-10).
- Página 35** 10) Según los métodos de AOAC International.
- Página 38 a 41** 11) Las propiedades físicas se determinaron según los procedimientos del IFDC S-107, S-115, S-116, S-118, S-122, S-101 y S-100 descritos en Manual for Determining Physical Properties of Fertilizer (IFDC-R-10).
- Página 51** 12) Según los métodos de AOAC International.
- Página 52** 13) Hoffmeister et al., 1964; Johanson, 1978; Williams, 1976 and 1990; 14) Williams, 1976; Carson and Marinelli, 1994.
- Página 53** 15) SCS, Spreader & Sprayer Testing Ltd. (UK), 2013.
- Página 54** 16) Medias obtenidas a través de Genstat; 17) Resultados de Novochem (2016) según análisis en agitador de tamices
- Página 55** 18) SCS, Spreader & Sprayer Testing Ltd. (UK), 2013.
- Página 57** 19) Las pruebas de la HRC se realizaron según el procedimiento del IFDC S-101 descrito en Manual for Determining Physical Properties of Fertilizer (IFDC-R-10).

REFERENCIAS

Albadarin, A. B., Lewis, T. D. and Walker, G. M. Powder Technology 308, pp. 193–199 (2017).

Carson, J. W. and Marinelli, J., Characterize Bulk Solids to Ensure Smooth Flow. Chemical Engineering, pp. 78-90 (1994).

Hoffmeister, G.; Watkins, S.C. and Silvergerg, J., Bulk Blending of Fertilizer Material: Effect of Size, Shape and Density on Segregation. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 12, n. 1, pp. 64-69 (1964).

Johanson, J. R., Particle Segregation... and What to Do about It. Chemical Engineering, pp. 183-188, (1978).

Walker, G. M., Magee, T. R. A., Holland, C.R., Ahmad, M.N., Fox, J.N., Moffatt, N.A. and Kells, A.G., Caking processes in granular NPK fertilizer, Ind. Eng. Chem. Res. 37, pp. 435–438, (1998).

Williams, J.C., The Segregation of Particulate Material. A Review. Powder Technology, v. 15, pp. 245-251 (1976).

Williams, J.C., Mixing and Segregation in Powder Technology. John Wiley & Sons, pp. 71-90 (1990).



poly4.com

Impreso en papel fabricado con fuentes de materias primas sustentables y trazables.

Versión: Octubre 2018