

Humedad, Compatibilidad y Fluidéz en Mezclas a Granel de Fertilizantes

Fluidibilidad

www.tripoliven.com

Julio 2009

CONTENIDO

	Pág.
Tripoliven y las mezclas a granel de fertilizantes	3
Mezclas a granel: Fluidez, Compatibilidad y Humedad	3
Mezclas a granel de fertilizantes	3
Fluidez	4
Compatibilidad química	4
Higroscopicidad	6
Humedad Relativa Crítica (HRC)	6
Cuantificación de la HRC	7
Mezclas a granel en Venezuela	10
Condiciones ambientales	11
Impacto de la humedad en las mezclas a granel	12
Apelmazamiento	12
Humedad inicial del fertilizante	12
Distribución de tamaños, puntos de contacto, área superficial	13
Solubilidad y porosidad	14
Resistencia mecánica	15
Orden de mezclado de los Fertilizantes	16
El ensacado como protección contra la humedad	16
Ensacado vs. Deshumidificación	17
Las buenas prácticas en mezclas a granel	17
Mezclas físicas con UFe y UF de Tripoliven	18
Métodos de evaluación de absorción de humedad	19
Absorción y penetración de humedad	19
Método dinámico: Fluidez y Compatibilidad Química	19
Ensayo de Fluidibilidad	20
Procedimiento para medir la fluidibilidad	20

Guía visual de fluidibilidad	21
Tiempos de fluidibilidad	21
Método estático: Integridad y Compatibilidad Química	22
Absorción y penetración de humedad en pilas	22
Procedimiento para medir el MHC	23
Procedimiento para medir la Integribilidad de los granos húmedos	25
A manera de conclusión	25
Referencias bibliográficas	27

TRIPOLIVEN Y LAS MEZCLAS A GRANEL DE FERTILIZANTES

Desde el año 2003, Tripoliven produce y comercializa fertilizantes hidrosolubles a base de urea fosfato cristal de alta pureza, cuya denominación comercial es **“URFOS” (UF)** y desde el año 2006 produce y comercializa fertilizantes edáficos granulados, a base de sulfato de calcio y urea fosfato, con la denominación comercial de **“URFOS edáfico” (UFe)**.

Dentro de las aplicaciones recomendadas, tanto para el **UF** como para el **UFe**, se encuentra su utilización como materia prima para la preparación de mezclas físicas o mezclas a granel de fertilizantes, para las siguientes áreas:

- Mezclas a granel de cristales y polvos hidrosolubles (<1 mm) para fertirrigación y para fertilización foliar (en el caso del **UF**).
- Mezclas a granel granuladas (entre 1 y 4 mm) para uso edáfico (en el caso del **UFe**).

Por esta razón se consideró importante generar un documento sencillo y práctico que sirviera de ilustración sobre algunas propiedades de las mezclas físicas de fertilizantes y que estén asociadas a la correcta incorporación tanto del **UF** como del **UFe** dentro de la dieta de materias primas para mezclas físicas de fertilizantes, con énfasis a su uso en Venezuela.

Dado el contexto ambiental de Venezuela, país ubicado en el trópico, con humedades relativas superiores a 60% en casi todo el territorio nacional y durante la mayor parte del año, el aspecto clave a considerar (y tratado en este documento) es el comportamiento frente a la humedad ambiente que presentan los fertilizantes y sus mezclas físicas

MEZCLAS A GRANEL: FLUIDEZ, COMPATIBILIDAD Y HUMEDAD

Mezclas a granel de fertilizantes

Al hablar de mezclas físicas o mezclas a granel de fertilizantes, se hace referencia a la mezcla mecánica de dos o más fertilizantes simples.

La calidad de las mezclas físicas de fertilizantes está determinada por la calidad y la compatibilidad de las materias primas utilizadas para su preparación, razón por la cual es esencial que éstas sean químicamente compatibles, y que además no sean susceptibles a degradación durante su manejo, es decir, que mantengan su integridad inicial.

Fluidez

Las mezclas físicas de fertilizantes deben ser fáciles de preparar, fáciles de transportar, fáciles de almacenar (ensacadas o a granel) y fáciles de aplicar al campo utilizando los equipos típicos existentes (abonadoras de granulados edáficos, sistemas de fertirrigación de cristales hidrosolubles, sistemas para aplicación foliar, etc.). Esto implica que la mezcla física debe **“fluir libremente”** (**“free-flowing”**), y debe permanecer suficientemente fluida a lo largo del proceso logístico de preparación, almacenamiento y uso de la mezcla.

Es esencial conocer en detalle los aspectos o variables que más influyen en la libre fluidez de una mezcla de fertilizantes. Estos aspectos son: a) la compatibilidad química y b) la higroscopicidad de los fertilizantes.

Compatibilidad química

La compatibilidad química en mezclas físicas de fertilizantes, es la habilidad de dos o más fertilizantes de mantener su libre fluidez cuando se mezclan entre ellos.

Una de las principales consideraciones a tener en cuenta a la hora de elaborar mezclas físicas de buena calidad es la selección de componentes químicamente compatibles, para lo cual se deben utilizar fuentes que no reaccionen químicamente entre ellas durante o después de realizada la mezcla, y que no alteren ni la composición química ni las propiedades físicas de la mezcla preparada. Si esta selección no se hace de la manera correcta, las reacciones entre los compuestos podrían generar calor, gases, humedad, incremento excesivo de la higroscopicidad y por consiguiente degradación y apelmazamiento, limitando o impidiendo la fluidez libre de la mezcla, y modificando su composición química.

La tabla 1 muestra la compatibilidad de mezclas físicas tomando en cuenta los fertilizantes y las condiciones climáticas típicas en Venezuela. Se observa que tan solo la combinación de urea con nitrato de amonio adquiere la clasificación de mezcla incompatible. Tanto la urea como el nitrato de amonio debido, a su elevada higroscopicidad, son fertilizantes que presentan compatibilidad limitada frente al resto de materiales fertilizantes típicos. Vale la pena resaltar la mezcla de urea con roca fosfática parcialmente acidulada (RPA), debido a la presencia, en ésta, del fosfato monocalcico (MCP). Entre la urea y el MCP ocurre una reacción química que libera parte del agua de hidratación del MCP, lo cual propicia el apelmazamiento de la mezcla. Por la misma razón que la urea, el DAP también presenta compatibilidad limitada con la roca fosfática parcialmente acidulada.

Tabla 1. Compatibilidad de fertilizantes de uso común en mezclas físicas en Venezuela

	NAM	Urea	SAM	RPA	KNO ₃	DAP	MAP	KCl	K ₂ SO ₄	UFe	UF
NAM	I										
Urea	I	I									
SAM	L	L	I								
RPA	L	L	C	I							
KNO ₃	L	L	C	C	I						
DAP	L	L	C	L	C	I					
MAP	L	L	C	C	C	C	I				
KCl	L	L	C	C	C	C	C	I			
K ₂ SO ₄	L	L	C	C	C	C	C	C	I		
UFe	L	L	C	C	C	C	C	C	C	I	
UF	L	L	C	C	C	C	C	C	C	C	I

I= Incompatibles; C= Compatibles; L= Compatibilidad limitada; NAM: nitrato de amonio; SAM: sulfato de amonio; RPA: roca fosfática parcial acidulada; KNO₃: nitrato de potasio; DAP: fosfato diamónico; MAP: fosfato monoamónico; KCl: cloruro de potasio; K₂SO₄: sulfato de potasio; UFe: Urfos edáfico; UF: urea-fosfato hidrosoluble

La compatibilidad de la urea también se ve limitada en su mezcla con la UF, debido al incremento importante de la solubilidad de la mezcla, y con el UFe debido a la presencia de agua de cristalización en el sulfato de calcio del UFe. Se debe así mismo resaltar que la mezcla de urea con KCl técnico (en especial el KCl granular rojo) también es de compatibilidad limitada debido a la presencia de impurezas en el KCl (sales hidratadas de hierro, magnesio y restos de aditivos de flotación del proceso de producción del KCl) que pueden reaccionar con la urea. También se debe mencionar que la compatibilidad de la urea con el DAP es limitada, en especial en condiciones de alta humedad ambiente.

La mayoría de estas reacciones de incompatibilidad ocurren lentamente (horas), por ello, la mezcla puede ser preparada si el tiempo de preparación es corto (minutos) y va a ser utilizada poco tiempo después de preparada. No es recomendable almacenar por períodos prolongados de tiempo estas mezclas potencialmente incompatibles.

Es importante señalar que los fertilizantes de Tripoliven (UF y UFe) son compatibles con la gran mayoría de los fertilizantes utilizados comúnmente en Venezuela para la preparación de mezclas físicas, exceptuando el caso de las mezclas con urea, para las cuales se deben tomar las precauciones mencionadas.

Higroscopicidad

La incompatibilidad de dos o más componentes de una mezcla física se expresará con mayor intensidad si la mezcla se humedece. Por ello es muy importante establecer, conocer o evaluar el comportamiento, frente a la humedad ambiente, de los materiales que se utilizarán en la preparación de la mezcla, así como el comportamiento frente a la humedad ambiente de la mezcla una vez preparada. El concepto más importante a manejar en relación a la absorción de humedad es el de higroscopicidad.

La higroscopicidad se define como la propiedad que tienen los fertilizantes de absorber humedad del ambiente bajo determinadas condiciones de humedad relativa y temperatura.

Todos los fertilizantes son higroscópicos (en mayor o menor grado) ya que contienen sales solubles en agua. Es a través de soluciones acuosas como los nutrientes presentes en los fertilizantes son tomados y asimilados por las plantas.

Por ello los fertilizantes interactúan con la humedad del ambiente, y esta interacción puede producir deterioro de la mezcla de fertilizantes, convirtiéndose en una seria limitante durante su preparación, manejo, almacenamiento y aplicación, bien sea por apelmazamiento y endurecimiento de la mezcla o por reblandecimiento y desintegración de los granos que la forman.

No existe como tal un valor cuantitativo de la higroscopicidad, sino que esta se evalúa a través de otras variables o propiedades. La propiedad más utilizada como medida cuantitativa de la higroscopicidad de los fertilizantes es la humedad relativa crítica (HRC).

Humedad Relativa Crítica (HRC)

La Humedad Relativa Crítica (HRC) de un fertilizante se define como la humedad relativa del ambiente por encima o a partir de la cual el fertilizante comienza a absorber humedad ambiente, espontáneamente y en forma abundante.

Químicamente hablando, la HRC de una sal, a una determinada temperatura, es la humedad del aire a la que se igualan la presión parcial del vapor de agua del aire y la presión de vapor de una solución acuosa saturada de la sal, a esa temperatura. Los valores de HRC de una sal están bien definidos, son reproducibles y pueden calcularse a partir de los valores publicados de la presión de vapor de soluciones acuosas saturadas de la sal.

A mayor valor de HRC de un fertilizante, éste podrá ser manejado en ambientes de mayor humedad relativa sin las consecuencias indeseables de la absorción abundante de humedad. Es importante tener esto presente, ya que si se desea que el fertilizante o la mezcla de éstos no absorban agua del ambiente, es recomendable que la humedad

relativa del aire, del espacio destinado a la preparación, manejo y almacenamiento de la mezcla, sea menor a la HRC de la mezcla.

Cuantificación de la HRC

La medición de la higroscopicidad a través de la HRC de un fertilizante se basa en la cuantificación de la absorción de humedad en una masa de fertilizante, bien sea en condiciones estáticas (el fertilizante está en reposo durante la medición) o en condiciones dinámicas (el fertilizante está en movimiento durante la medición).

La determinación de la HRC de un fertilizante se realiza exponiendo (normalmente por espacio de 12 a 72 horas) pequeñas cantidades del fertilizante a ambientes controlados con diferentes humedades relativas. Se registra el incremento de peso de la masa de fertilizante debido a la absorción de agua del ambiente. Cuando este incremento de peso comienza a ser significativo (absorción abundante) se toma el valor de la humedad relativa a la cual comenzó esta absorción significativa como el inicio de la HRC del fertilizante.

Como guía informativa y de mucha utilidad práctica, existen muchas tablas publicadas sobre la HRC de diferentes sales utilizadas como fertilizantes. La mayoría de estas tablas, como la que se presenta en la tabla 2, reflejan las HRC medidas a 30 °C.

Tabla 2. HRC de sales fertilizantes en estado puro a 30°C

	CAN	NAM	UF	Urea	NH ₄ Cl	SAM	DAP	KCl	KNO ₃	MAP	MCP	K ₂ SO ₄
Nitrato de calcio, CAN	47											
Nitrato de amonio, NAM	24	59										
Urea fosfato UF	Nd	Nd	73									
Urea	Nd	18	46	73								
Cloruro de amonio, NH ₄ Cl	Nd	51	Nd	58	77							
Sulfato de amonio, SAM	Nd	62	Nd	56	71	79						
Fosfato diamónico, DAP	Nd	59	65	62	Nd	72	83					
Cloruro de potasio, KCl	22	68	67	60	74	71	70	84				
Nitrato de potasio, KNO ₃	31	60	65	65	68	69	Nd	79	91			
Fosfato monoamónico, MAP	53	58	68	65	Nd	76	78	73	60	92		
Fosfato monocálcico, MCP	46	53	68	65	74	88	78	In	88	89	94	
Sulfato de potasio, K ₂ SO ₄	76	69	73	72	71	81	77	81	88	79	In	96

Nd: Valor no disponible; In = Mezcla inestable; Mezclas 50/50 en peso

Generalmente, la HRC de una mezcla de fertilizantes es menor que la HRC de los ingredientes individuales. Cabe destacar el caso de la mezcla de urea y Nitrato de Amonio, cuyas HRC individuales son 70% y 55%, respectivamente, y la HRC de la mezcla es de 18%, lo que explica el por qué se hace imposible su manipulación y almacenamiento en ambientes típicos con humedades relativas superiores a 50%. Vale la pena mencionar también la mezcla urea-KCl, que de acuerdo a la tabla 2 tendrá una HRC de apenas 60%, lo cual indica que esta mezcla NK debe manejarse con relativo cuidado.

En la mayoría de los fertilizantes la HRC varía inversamente con la temperatura. En la tabla 3 se presenta la HRC para diversas temperaturas en el caso de algunos fertilizantes típicos.

Tabla 3. HRC en función de la temperatura para algunos fertilizantes

Fertilizante	HRC			
	15°C	30°C	40°C	50°C
Urea	81%	73%	65%	60%
DAP	**	73%	70%	67%
MAP	**	78%	**	75%
SAM	**	57%	**	45%

Los fertilizantes comerciales no son sustancias puras; tienen en su composición cierto porcentaje de impurezas y aditivos, las cuales generan una disminución en la HRC del material, tal como se muestra en la tabla 4. La amplitud de este efecto dependerá de la fuente de las materias primas que se utilicen en su elaboración.

Tabla 4. HRC de compuestos puros y fertilizantes comerciales

	Urea	NAM	MAP	DAP	KCl	K ₂ SO ₄
Compuesto puro	73	59	92	83	84	96
Fertilizante comercial	70	55	70	70	70	75

Fertilizantes similares, pero preparados con materia prima de diferentes fuentes, también presentan variaciones en su HRC. La tabla 5 muestra las HRC de algunos fertilizantes y sus combinaciones:

Tabla 5. HRC de algunos fertilizantes comerciales y sus combinaciones.

	<div style="text-align: right;">% Humedad Relativa</div>														
Urea 46-0-0	70	18													
Nitrato de Amonio 34-0-0	55	45													
Nitrato de amonio CAN 25-0-0	55	55	55												
Sulfato de amonio 21-0-0	75	55	50	60											
Cloruro de amonio 26-0-0	75	70	50	55	50										
Superfosfato triple TSP 0-46-0	>80	65	70	55	55	50									
Fosfato diamónico DAP 18-46-0	70	75	65	70	55	-	46	55							
Fosfato monoamónico MAP 12-50-0	70	70	65	70	-	55	50	50	45						
Cloruro de potasio MOP 0-0-60	70	65	65	68	55	55	50	55	55	50	45				
Sulfato de potasio SOP 0-0-50	75	75	64	55	50	55	55	70	46	46					
Nitrato de sodio 16-0-0	72	73	55	55	55	65	60	50	50						
Fosfato nitico 20-20-0	55	-	55	55	70	50	50								
Nitrato NPK 20-10-10	55	55	-	70	45	55									
Nitrato NPK 17-17-17	55	-	55	-	46										
Sulfato NPK 13-13-13	70	-	46	46											
Fosfato de amonio urea 28-28-0	50	-	46												
Fosfato de amonio urea 35-17-0	55	-													

La HRC de un fertilizante afecta en gran medida: a) el humedecimiento de la superficie de fertilizantes almacenados a granel, b) la transferencia de humedad dentro de la masa del fertilizante almacenado sea a granel o ensacado, c) el encostramiento de equipos por el fertilizante húmedo, d) la compatibilidad de distintos fertilizantes, f) las decisiones logísticas de manejo, almacenamiento, ensacado de fertilizantes, g) el tipo de ensacado adecuado.

El cómo afecta la HRC la compatibilidad química se puede ilustrar con el pH de soluciones acuosas de fertilizantes. Según se desprende de la tabla 6, la compatibilidad del KCl fertilizante, el cual tiene pH básico (pH 9.0-9.5) puede verse afectada al mezclarse con el MAP, el cual tiene pH ácido (pH 4.5-5.0), si la mezcla se realiza en condiciones de absorción de humedad. Se puede producir una reacción de neutralización con potencial generación de incompatibilidad y deterioro de la mezcla.

Tabla 6: pH de soluciones acuosas de algunos fertilizantes

Fertilizante	pH (solución al 1%)	
	Grado analítico	Grado fertilizante
Urea	5.5-6.0	7.5-8.0
KCl	5.5-6.0	9.0-9.5
MAP	4.5-5.0	4.5-5.0
DAP	8.0-8.5	7.0-8.0

Se debe tener presente que aun cuando la HRC es un valor útil, solo representa una indicación de la humedad relativa a la cual el fertilizante puede comenzar a absorber espontáneamente humedad del ambiente, pero no indica a qué velocidad se realizará dicha absorción. Por ello en algunos casos, aun cuando la humedad ambiente sea superior a la HRC, la absorción puede ser tan lenta que permita preparar y resguardar (ensacar) una mezcla física antes de que se deteriore por la absorción de humedad.

MEZCLAS A GRANDEL EN VENEZUELA

En las mezclas físicas de fertilizantes preparadas típicamente en Venezuela (edáficas y/o hidrosolubles), los componentes más comunes utilizados se muestran en la tabla 7:

Tabla 7: Componentes comunes de mezclas físicas de fertilizantes en Venezuela.

Tipo de nutriente	Fuentes del nutriente	
	Mezcla granulada edáfica	Mezcla hidrosoluble
Nitrógeno	Urea (granular) Sulfato de amonio granular	Urea (perlada) Sulfato de amonio cristal
Fósforo	DAP granular, MAP granular, UFe granular	UF cristal, MAP polvo
Potasio	KCl (cristal rojo y cristal blanco)	K ₂ SO ₄ cristal KNO ₃ cristal
Azufre, Calcio, Magnesio	Sulpomag cristal/granos UFe granular	
Micro elementos		Diversos quelatos
NPK	Diversos granulados NPK, de fosfatos y nitratos	

Condiciones ambientales

En Venezuela las condiciones ambientales, en casi toda su extensión geográfica, corresponden a condiciones tropicales, es decir, humedades relativas superiores a 60%-70%, a lo largo del año.

Por otro lado, la gran mayoría de las mezclas físicas NPK que se preparan con las materias primas típicas disponibles (urea, KCl, DAP, MAP, SAM, etc) poseen una HRC que varía entre 55% y 75%, por lo tanto el riesgo de absorción de humedad está presente en todas las mezclas y en todos los sitios en Venezuela en donde éstas se preparan.

De la tabla de HRC (tabla 5) y la lista de fertilizantes utilizados (tabla 7), se pueden delimitar 3 zonas en relación a la higroscopicidad de los fertilizantes:

- Hr < 50%, zona con muy poca o nula absorción de humedad.
- Hr entre 50% a 70%, zona con riesgo de absorción de humedad.
- Hr > 70%, zona de absorción de humedad.

En la figura 1 se muestra la relación entre la humedad ambiental (día y noche, verano e invierno) en Venezuela y la higroscopicidad de la gran mayoría de las mezclas de fertilizantes que se preparan en el país:

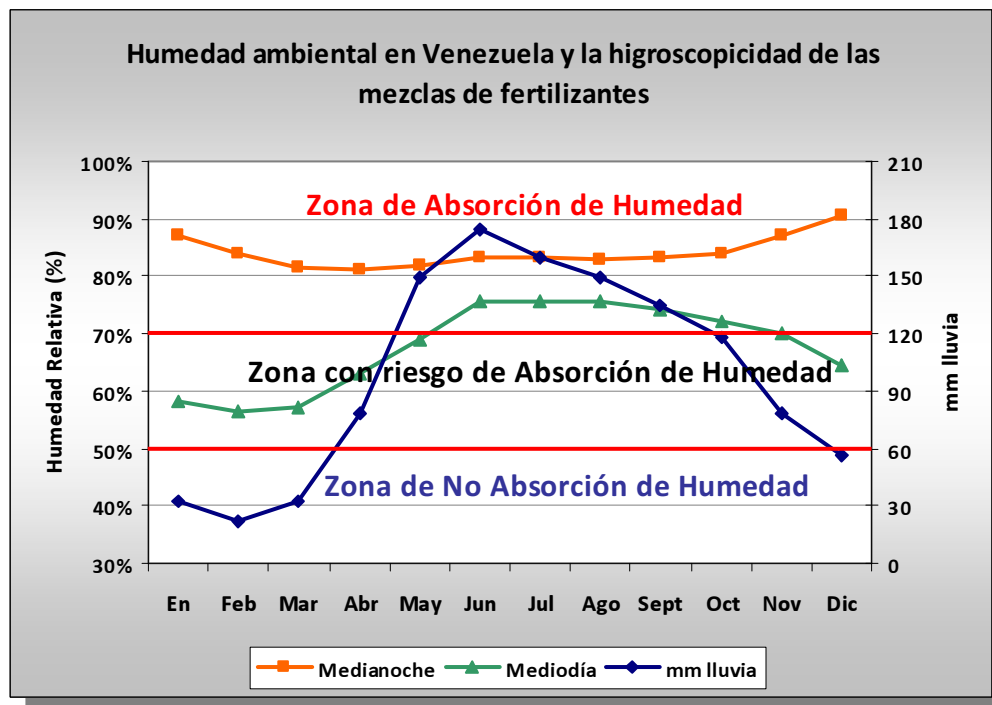


Figura 1. Humedad ambiental en Venezuela y la higroscopicidad de las mezclas fertilizantes

Como se observa, la preparación de mezclas físicas en Venezuela se realiza en un ambiente con riesgo de absorción de humedad para todas las mezclas típicas que se preparan. Además el almacenamiento, cuando se realiza a granel, también tiene el agravante de que la humedad relativa en horas nocturnas se incrementa notablemente en relación a las horas diurnas. Esto hace necesario que se consideren, dentro de la logística de preparación de mezclas físicas los aspectos siguientes, para mezclas granuladas edáficas: a) operación de mezclado de corta duración, b) ensacado inmediato de las mezclas preparadas, c) mantener bajos inventarios de materia prima almacenada a granel.

En el caso de las mezclas hidrosolubles, tanto las materias primas como los productos deben obligatoriamente mantenerse todo el tiempo ensacados. Solo deben exponerse al ambiente húmedo durante el tiempo de operación que se requiere para preparar la mezcla. Para que estos tiempos de operación sean los más cortos posibles, los volúmenes a mezclar no deben ser muy altos. En el caso de las mezclas hidrosolubles de Tripoliven, el volumen de mezcla se mantiene alrededor de 2-3 m³ (2-3 TM), y el tiempo total de operación (alimentación al mezclador + mezclado + ensacado de la mezcla) no excede los 120 minutos.

IMPACTO DE LA HUMEDAD EN LAS MEZCLAS A GRANEL

Apelmazamiento

El principal aspecto a considerar para que se mantenga la fluidez de una mezcla a granel es que no ocurran apelmazamientos que se opongan a este libre fluir de la mezcla.

El apelmazamiento ocurre cuando las partículas individuales de un fertilizante se unen o cohesionan entre ellas. Este fenómeno usualmente lo ocasionan reacciones químicas que implican disolución en el medio acuoso, seguidas por la recristalización de las sales solubles del fertilizante entre las interfaces (puntos de contacto) de los gránulos.

La severidad del apelmazamiento dependerá de la humedad del fertilizante, de qué tantos puntos de contacto existan entre los granos y qué tan fuerte sea la unión en estos puntos. Es por esto que el proceso de apelmazamiento se intensifica con la presencia de finos (partículas pequeñas) en la mezcla.

Humedad inicial del fertilizante

La humedad del fertilizante es considerada como el elemento clave en la promoción del apelmazamiento. Por ello, mientras más seco se conserva un fertilizante, menor será su tendencia al apelmazamiento.

Cada fertilizante presenta una humedad límite por encima de la cual su tendencia al apelmazamiento se incrementa notablemente representando un riesgo severo de dificultar su manejo.

En función del tipo de fertilizante, las humedades recomendadas como máximas al momento de iniciar la preparación de la mezcla para evitar la tendencia al apelmazamiento, tanto durante como después de la preparación, se muestran en la tabla 8:

Tabla 8: Humedades iniciales máximas de fertilizantes recomendadas para mezclas

Fertilizante	Humedad máxima inicial
Nitrato de amonio	0.5%
Urea	0.5%
Sulfato de amonio	0.5%
Nitrato de calcio	0.5%
Cloruro de potasio	0.5%
Urea Fosfato	0.5%
Sulfato de potasio, K_2SO_4	0.5%
Nitrato de potasio, KNO_3	0.5%
NPK complejos a base de urea	1.0%
NPK complejos a base de nitratos	1.0%
NPK complejos a base de fosfatos y altos en N (> 10%)	1.5%
NPK complejos a base de fosfatos y bajos en N (<10%)	2.0%
Fosfatos amonicos, DAP, MAP	2.0%
Urfos edáfico	2.0%

Distribución de tamaños, puntos de contacto, área superficial

Además de la humedad, otro factor importante que afecta la tendencia al apelmazamiento es el tamaño de partícula y, mas importante aun, la distribución de tamaño de partículas. El tamaño de una partícula define su área superficial externa y define la cantidad de puntos de contacto que puede tener con otras partículas. El número

de puntos de contacto entre partículas está influenciado también por la distribución de tamaños. Mientras mas homogénea es su distribución de tamaños, menos puntos de contacto habrá y menor será la tendencia al apelmazamiento.

Estas dos características afectarán la capacidad de la partícula de fertilizante de absorber agua del ambiente y de intercambiarla con otras partículas por mecanismos de capilaridad. Ello finalmente afectará el comportamiento de las partículas de fertilizante durante su preparación, manejo y almacenamiento.

Mientras menor es el tamaño de partícula, mayor será su área superficial, mayor será el número de puntos de contacto, mayor será la velocidad de absorción de agua del ambiente y mayor será la tendencia a apelmazarse con otras partículas húmedas.

En la tabla 9 se presenta la relación entre el tamaño de partícula, su área superficial y la cantidad de puntos de contacto entre partículas, para un kilogramo de partículas sólidas esféricas con una densidad de 1 g/ml:

Tabla 9: Relación entre tamaño de la partícula, su área superficial y puntos de contacto.

Diámetro mm	Área superficial m ² /kg	Puntos de contacto/kg
0,25	24,00	1.466.803.200
0,50	12,00	183.350.400
0,75	8,00	54.326.044
1,00	6,00	22.918.800
2,00	3,00	2.864.850
3,00	2,00	848.844
4,00	1,50	358.106

De la tabla 9 se desprende que una partícula esférica de 0,25 mm tendrá un área superficial 4 veces mayor a una partícula esférica de 1 mm y tendrá 64 veces mas puntos de contacto. Esto indica que absorberá humedad a una velocidad por lo menos 4 veces mayor y la transferirá a 64 veces mas partículas que lo que podrá hacer la partícula de 1 mm. Aun cuando ésto es solo una aproximación cualitativa, es de esperarse que la absorción de humedad y el apelmazamiento de partículas finas se incrementen notablemente. La práctica operacional, así lo confirma.

Solubilidad y porosidad

Mientras mayor es la solubilidad de las partículas de fertilizantes y menor sea su porosidad, mayor impacto tendrá la absorción superficial de humedad en su tendencia al

apelmazamiento. En la mayoría de los fertilizantes la solubilidad se incrementa al incrementarse la temperatura, o sea que al existir cambios de temperatura (entre el día y la noche) mayor será también la tendencia al apelmazamiento (por solubilización-recristalización). La urea es un ejemplo muy gráfico de alta solubilidad, baja porosidad e incremento de solubilidad con la temperatura tal como se muestra en la tabla 10:

Tabla 10: Solubilidad de la urea en función de la temperatura

Solubilidad de la urea (g/100 g H ₂ O) a diferentes temperaturas (°C)	
Solubilidad	Temperatura
108	20
167	40
251	60
400	80
733	100

Por ello la urea es uno de los fertilizantes más difíciles de mezclar adecuadamente con otros fertilizantes en ambientes húmedos. En todas las mezclas en donde se usa urea, se deben tener especiales precauciones con relación al manejo de la humedad ambiente, los tiempos de mezcla y el tipo y tiempo de almacenamiento.

Sin embargo una mayor humedad superficial (por baja porosidad) puede ser una ventaja durante el almacenamiento en pilas, ya que la humedad superficial de la pila puede formar una costra y actuar como una barrera protectora del material que se encuentra dentro de la pila. Por otro lado, en condiciones dinámicas (durante el procesamiento) una alta porosidad puede representar una ventaja ayudando a mantener la fluidez de la mezcla aun absorbiendo humedad.

Resistencia mecánica

Durante la preparación y manejo de las mezclas físicas de fertilizantes, el material en proceso se mueve rápidamente dentro de equipos mezcladores y correas transportadoras, los cuales protegen al fertilizante de absorber humedad rápidamente aun en condiciones de alta humedad ambiente.

Sin embargo las partículas finas, tanto las que conforman el fertilizante, como las que se pueden generar durante el proceso (por diversos factores, de roce, impacto, etc), por su

alta área superficial, si tienden a absorber muy rápidamente humedad del ambiente, pudiendo crear situaciones problemáticas de apelmazamiento y bloqueo de instalaciones.

De lo anterior se desprende que la resistencia mecánica de los granos de fertilizantes es un factor a tomar en cuenta en las mezclas físicas de fertilizantes edáficos. Estos deben resistir las operaciones de manejo y transporte propios de una operación de mezclado sin sufrir desgastes ni rupturas considerables. La debilidad mecánica de los materiales también promueve el apelmazamiento durante el almacenamiento a granel, debido a que al ser sometidos a la presión de la pila de almacenamiento se romperán y su ruptura generará pequeñas partículas, aumentando la superficie de contacto y la absorción de humedad.

Por esta razón, y específicamente en el caso de mezclas edáficas, es importante incluir dentro de las evaluaciones de materia prima para mezclas, el contar con fertilizantes libres de polvo, sin exceso de finos y que tengan la suficiente resistencia mecánica al manejo para que no se deterioren durante las operaciones de mezclado, transporte y almacenamiento.

En el diseño del esquema logístico del proceso se debe tener esto en cuenta, para no someter a los materiales a condiciones de alto esfuerzo mecánico que promueva la fractura de las partículas con la consiguiente generación de polvo. Un aspecto a considerar es el utilizar preferiblemente correas transportadoras, tambores mezcladores, minimizar los puntos de caída e impacto con un mínimo de equipos que tomen, muevan e intercambien el material en procesamiento.

Orden de mezclado de los Fertilizantes

Es importante, durante el mezclado, el incorporar al mezclador los fertilizantes en un orden que permita mantener las condiciones de la mezcla lo mas libremente fluida posible. Tomando en consideración lo señalado hasta ahora, el orden mas apropiado es el siguiente (en orden de importancia):

- ❖ Los fertilizantes mas higroscópicos, de último.
- ❖ Los fertilizantes con mas finos, de último.
- ❖ Los fertilizantes con menor homogeneidad de tamaños, de último.

El ensacado como protección contra la humedad

Los sacos para fertilizantes generalmente son de un material resistente (por ejemplo de polipropileno) pero permeable al vapor de agua del ambiente. Por ello es recomendable

utilizar dentro de éstos un recubrimiento o fina bolsa de polietileno para que actúe como barrera ante el vapor del ambiente.

Sin embargo, el polietileno no evita completamente que pase vapor de agua al interior del saco, y esta transferencia dependerá de la diferencia entre la HRC del producto y la humedad relativa del ambiente (Hr). La fuerza motriz para que la humedad del ambiente pase a través del saco de fertilizantes (permeabilidad) es la diferencia entre el HRC del fertilizante y la Hr del ambiente. Para fertilizantes con baja HRC y ambientes de alta Hr es recomendable evitar almacenamientos por tiempos prolongados y se debe utilizar un ensacado que brinde mayor protección (sacos de material con muy baja permeabilidad y/o de mayor grosor).

Ensacado vs. Deshumidificación

Una ruta de manejo de las mezclas que se usa en otras partes del mundo, pero que pudiera ser poco práctica en Venezuela (y por ello no se incluye específicamente en las recomendaciones anteriores) incluye la deshumidificación del aire del sitio en donde se realiza la mezcla.

En principio la deshumidificación puede consistir en:

- Reducir la humedad absoluta del aire, por enfriamiento y condensación de la humedad del aire.
- Reducir la humedad absoluta del aire a través del empleo de materiales desecantes.
- Reducir la humedad relativa del aire, incrementando su temperatura.

En el caso de Venezuela, lo mas práctico es proceder al ensacado de la mezcla tan pronto sea posible.

LAS BUENAS PRÁCTICAS EN MEZCLAS A GRANEL

El secreto para contrarrestar la alta higroscopicidad y la alta humedad relativa ambiente pasa por considerar los siguientes factores:

- Escoger adecuadamente la combinación de fertilizantes a mezclar.
- Mantenerlos en condiciones secas, o si se almacenan en pilas, que la humedad solo se concentre en la menor superficie posible. Esto quiere decir pilas mas altas

que extendidas, tanto como lo permita el ángulo de reposo de los materiales y el diseño o arreglo de paredes y muros de contención de los galpones.

- Mantener lo mas separado que se pueda, dentro de los galpones, las pilas de fertilizantes incompatibles, con baja compatibilidad, o con una diferencia apreciable de HRC (mas de 10% de diferencia).
- Mantener los tiempos de operación (carga+mezcla+descarga) tan bajos como sea posible.
- Al momento de la mezcla, se debe tener presente un orden adecuado de introducción de los materiales al mezclador. Como se mencionó, lo mas recomendable es mezclar de último los materiales mas higroscópicos, por ejemplo la urea en aquellas formulaciones que la utilizan.
- Ensacar lo mas rápido posible las mezclas realizadas, y cuando se tengan que almacenar a granel hacerlo en pilas altas, poco extendidas y por poco tiempo.
- Cuando se van a almacenar fertilizantes tanto ensacados como a granel dentro de una estructura o galpón, lo ideal es que éstos sean cerrados para evitar la circulación excesiva de aire húmedo.
- Mantener secas, y sin restos de fertilizantes, las instalaciones de mezclado, transporte y ensacado.
- No someter a los materiales a condiciones de alto esfuerzo mecánico que promuevan la fractura de las partículas con la consiguiente generación de polvo.
- Utilizar preferiblemente correas transportadoras, tambores mezcladores y diseñar el esquema de proceso para minimizar los puntos de caída e impacto y para que haya un mínimo de equipos que tomen, muevan e intercambien el material en procesamiento.

MEZCLAS FÍSICAS CON UFe Y UF DE TRIPOLIVEN

Manteniendo adecuadamente el control sobre las variables de operación, aun en condiciones ambientales adversas, tanto el UF como el UFe se han utilizado con éxito en mezclas físicas en Venezuela.

Se pueden mencionar como ejemplos, las mezclas hidrosolubles que se realizan en Tripoliven (Hr > 60%), utilizando UF, MAP polvo, KNO_3 y K_2SO_4 (todos con un diámetro < 1mm). En la preparación de estas mezclas hidrosolubles se tiene especial cuidado de mantener la materia prima seca (humedades inferiores al 0,5%). Los tiempos máximos de preparación se mantienen por debajo de los 120 minutos y el volumen de mezcla no supera las 3 TM de materiales. Estas mezclas se realizan rutinariamente y se comercializan en el mercado nacional desde hace más de tres años.

En cuanto a las mezclas granuladas edáficas (granos de 1 a 4 mm), se pueden mencionar las mezclas que se realizan en las empresas Ferturca (en Barquisimeto, Edo. Lara, Hr=55%) y Ferbasa (Villa de Cura, Edo. Aragua, Hr = 60%). En estas mezclas se utiliza desde 10% hasta 30% de UFe mezclado con los granulados: urea, DAP, MAP, KCl, Sulpomag, y diversos NPK. Se han realizado estas mezclas sin problemas por mas de un año, consumiéndose en este período mas de 1000 TM de UFe. Mas recientemente, la empresa Agroisleña, ha comenzado a utilizar con éxito el UFe en algunas de sus mezclas y en condiciones de alta humedad relativa (zona de Morón, Edo Carabobo, con Hr > 70%).

MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD

Absorción y penetración de humedad

La HRC no indica a qué velocidad absorberá la humedad el fertilizante, ni de qué efectos tendrá la humedad absorbida en su integridad física, o en la integridad física de mezclas físicas de fertilizantes granulados. Por ello es importante además de medir la HRC, el medir o evaluar la velocidad de absorción y la profundidad de penetración de la humedad en un fertilizante y el impacto que esta humedad cause al fertilizante.

Método dinámico: Fluidez y Compatibilidad Química “Fluidibilidad”

Los fertilizantes están expuestos a la humedad ambiente no solo cuando están almacenados en pilas, sino también cuando están sometidos a movimiento (mezclado, transporte, ensacado, etc). En estas circunstancias, el efecto de la absorción de humedad puede tener un mayor impacto en la fluidez y calidad de la mezcla (incluso puede catalizar o incrementar la velocidad de absorción de mayor humedad). En esta exposición dinámica, el efecto de la humedad sobre la fluidez del fertilizante es el aspecto crítico, de mayor impacto y preocupación.

Es importante poder realizar las evaluaciones de absorción de humedad en condiciones que simulen estos movimientos mecánicos, o sea evaluaciones en condiciones dinámicas.

La metodología utilizada en Tripoliven es un ensayo dinámico, similar al método de “habilidad de fluidez” (“flowability”) utilizado por otras compañías o institutos de investigación de fertilizantes. Este ensayo permite establecer la compatibilidad química de los componentes de una mezcla y su comportamiento frente a la humedad ambiental, en especial el impacto que esta humedad-compatibilidad tiene sobre la fluidez o manejo fácil del fertilizante, pero aplicando movimiento mecánico constante a la mezcla en evaluación. La denominación de este método es **Fluidibilidad (fluidez-compatibilidad dinámica)**.

Ensayo de Fluidibilidad

El ensayo de fluidibilidad provee una herramienta para evaluar la habilidad de un fertilizante o mezcla de fertilizantes de mantener su fluidez aun en condiciones dinámicas de alta humedad. En este ensayo la fluidez se determina midiendo el tiempo en que un material permanece fluido-manejable dentro de un tambor rotatorio en un ambiente de alta humedad.

Se puede definir la fluidibilidad como la habilidad de una mezcla física de fertilizantes de permanecer fluidos bajo ambientes húmedos en condiciones dinámicas (movimiento mecánico). La fluidibilidad es importante cuando se considera el movimiento de los fertilizantes en mezcladores, correas transportadoras, ensacadoras, etc.

En adición a la determinación del tiempo de fluidez, el fertilizante también puede analizarse al final del ensayo para determinar la humedad a la cual el producto comenzó a presentar síntomas de no-fluidez.

Procedimiento para medir la fluidibilidad

Una muestra de 1 a 5 kg del fertilizante se coloca dentro de un tambor (20-30 cm de diámetro y 50-60 cm de largo) en rotación (capaz de girar a 10-20 RPM), inclinado (unos 15° a 20° de inclinación), y abierto en un extremo al ambiente húmedo en donde se desea realizar la medición. El tambor rotatorio está recubierto internamente (con un material plástico o con fibra de vidrio) lo que le confiere una gran capacidad de arrastre de las partículas de fertilizantes, de tal manera que estas se muevan dentro del tambor con una adecuada acción giratoria (“rolling action”). Ver figura 2.



Figura 2. Tambor rotatorio utilizado para realizar pruebas de Fluidibilidad.

Se deja la mezcla dentro del tambor en rotación por espacio de 12 a 24 horas (incluyendo horas diurnas y nocturnas), y cada cierto tiempo (por ejemplo cada 2 a 4 horas) se toma una pequeña muestra de la mezcla para medirle su humedad y para realizarle observaciones visuales, al tacto, y detectar posible desprendimiento de olores y gases.

Guía visual de fluidibilidad

Las observaciones recogidas durante el ensayo de fluidibilidad se pueden organizar en función del aspecto de la mezcla, de acuerdo a la tabla 11:

Tabla 11: Observaciones para el ensayo de fluidibilidad

Aspecto de la mezcla	Escala
1. Seco y fluido	C. Totalmente Compatibles
2. Algo húmedo, pero aún fluido	L. Compatibilidad limitada
3. Algo húmedo, pegajoso y no fluido	I. Incompatibles
4. Totalmente húmedo y no fluido	TI. Totalmente Incompatibles

Las mezclas del tipo 1-2 pueden realizarse sin inconvenientes a escala comercial mientras que las mezclas del tipo 3-4 no es recomendable realizarlas.

Tiempos de fluidibilidad

A medida que avanza el ensayo de fluidibilidad, el fertilizante puede absorber humedad, tornándose mas adherente y mas difícil de mover por la acción del tambor. El tiempo máximo de fluidibilidad (“tiempo crítico”) es el tiempo que tarda el material en absorber tanta humedad del ambiente que deja de fluir libremente y puede comenzar a aglomerarse hasta convertirse en un material inmanejable.

Pueden anotarse los tiempos estimados que tomó el material para ir perdiendo su fluidez y distribuirse en tres tiempos: al perder 25% de fluidez, al perder 50% de fluidez y al perder el 75% de fluidez. En términos prácticos, el tiempo crítico es el tiempo que toma para que al menos el 50% del material deje de fluir libremente.

En la tabla 12 se presentan valores de fluidibilidad de algunos fertilizantes, medidos a 30°C y a 90% de humedad relativa:

Tabla 12. Tiempos de fluidibilidad para algunos fertilizantes

Fertilizante	Tiempo de fluidibilidad (minutos)		
	Para 25%	Para 50%	Para 75%
Urea perlada	5	10	15
Urea granular	5	11	17
Sulfato de amonio SAM	175	220	280
DAP	70	130	180
MAP	80	165	190
Urea-NPK 19-19-19	10	20	30
SAM-NPK 8-24-8	90	130	155
NPK nitrato 12-6-22	37	43	48
Urea-NPK 12-6-22	31	38	40

Algunas mezclas de compatibilidad limitada, y aun algunas incompatibles (grados 2 y 3 de Aspecto de la mezcla; tabla 11), podrían prepararse comercialmente si el tiempo de preparación no excede el tiempo de fluidibilidad del 25%.

En el Anexo 1 se muestra el formato para la recolección de datos en las pruebas de Fluidibilidad.

Método estático: Integridad y Compatibilidad Química

Los ensayos estáticos son una herramienta muy importante para evaluar como soportará las condiciones húmedas un fertilizante almacenado en pilas (“pile set”), y cómo la absorción de humedad afectará su integridad física.

Dado que la absorción de humedad afecta la compatibilidad de la mezcla, estos métodos estáticos son una visión cualitativa y cuantitativa que nos informan sobre la *integridad* y la *compatibilidad* de la mezcla. Expresado en un solo término: nos informan sobre su *Integribilidad*.

Absorción y penetración de humedad en pilas

Los fertilizantes se diferencian entre ellos por su capacidad de resistir el deterioro físico que produce la absorción de humedad cuando están almacenados en pilas.

Aun fertilizantes con similar HRC pueden diferenciarse considerablemente en su capacidad y velocidad de absorber y distribuir dentro de su masa la humedad absorbida del ambiente. A esta propiedad se le conoce como “*capacidad de retención de humedad*”

("moisture-holding capacity" o **MHC**). Es importante no solamente medir el HRC de un fertilizante, sino también su MHC.

Estrictamente hablando, el MHC representa la máxima cantidad de humedad que un grano puede absorber antes de que su humedad sea tal que comience a transferirla a los granos vecinos por efecto capilar.

Un alto MHC es una característica deseable que puede compensar el efecto de una alta tasa de absorción de humedad. El MHC está relacionado tanto con el tipo químico como con la porosidad del grano de fertilizante. Mientras mas poroso es un fertilizante, mayor será su MHC.

Fertilizantes cristalinos y no porosos tendrán una menor MHC (Urea y nitrato de amonio perlados). Por otro lado impurezas presentes en los fertilizantes y que disminuyen su cristalinidad, tendrán como efecto el aumentar el MHC de los granos de fertilizante (por ejemplo el DAP y el MAP provenientes de ácido fosfórico grado fertilizante o ácido verde). La velocidad a la cual los fertilizantes absorben humedad del ambiente y la penetración que esta humedad absorbida pueda tener dentro de la masa del fertilizante son factores tan importantes como la HRC.

Es importante resaltar que el MHC y el HRC no están directamente correlacionados entre ellos, como tampoco lo están la absorción con la penetración de humedad.

Algunos materiales, como la urea, absorben mucha humedad de ambientes húmedos, pero la penetración de la humedad en la masa de la urea es baja, ello produce una costra de urea muy húmeda que sirve de protección del resto de la urea que está por debajo de la costra húmeda ("pile crust protection").

Se han desarrollado algunos métodos sencillos (estáticos) para medir el MHC de los fertilizantes almacenados en pilas. Los más importantes de resaltar aquí son: a) Ensayo de absorción de humedad, b) Ensayo de penetración de humedad, c) Ensayo de integridad de los granos de fertilizantes.

Procedimiento para medir el MHC

En un cilindro graduado transparente (de vidrio o de plástico) de 2 a 5 litros de capacidad y de dimensiones conocidas (diámetro d , altura h , superficie transversal S) se coloca, el fertilizante o la mezcla de fertilizantes que se desea evaluar hasta ocupar un volumen dado del cilindro (V). Se registra el peso inicial (P_{in}) del cilindro con el fertilizante. Ver figura 3. Luego se coloca el cilindro en el ambiente (humedad, temperatura) en el cual se desea hacer la evaluación.

Cada cierto tiempo (horas o días) se registra el peso nuevamente del cilindro con el fertilizante (**Pre**).

Generalmente la absorción de humedad produce un cambio del aspecto visual del fertilizante, por lo que se puede medir hasta que profundidad del cilindro ha penetrado la humedad. Se registra este valor (**L**).

La absorción de humedad por unidad de superficie expuesta (**Ah**) en el lapso de tiempo considerado, se calcula de la forma siguiente:

$$\mathbf{Ah = (Pre - Pin)/S \quad (mg/cm^2)}$$

Con Ah (mg/cm²) y L (cm) se procede a calcular el **MHC** de la siguiente forma:

$$\mathbf{MHC = Ah / L \quad (mg/cm^3)}$$

El MHC también se puede expresar como fracción en peso de la masa total (%) de la forma siguiente:

$$\mathbf{MHC (\%) = MHC (mg/cm^3) / (Pin / V) * 100}$$

En el Anexo 2 se muestra el formato para la recolección de datos en las pruebas de MHC.



Figura 3. Cilindro graduado con mezcla de fertilizante, utilizado para medir el MHC.

Procedimiento para medir la Integribilidad de los granos húmedos

A los valores cuantitativos de Ah, y MHC, se les agrega una observación más cualitativa que representa la condición física que presentan los granos de fertilizante durante el ensayo de absorción-penetración de humedad. Esta observación se realiza tomando un grano del fertilizante y apretándolo (comprimiéndolo) con los dedos índice y pulgar y registrando su resistencia a la compresión como excelente, bueno, regular o pobre, en función de la resistencia a la desintegración mecánica que presente el grano.

Este tipo de evaluación de absorción-penetración-integribilidad es utilizado frecuentemente por empresas productoras e institutos de investigación de fertilizantes. Un ejemplo de esto son las tablas publicadas por la Autoridad del Valle de Tennessee (TVA) de los EE.UU. tal como la que se presenta a continuación, resultado de evaluaciones a 30°C y 80% de humedad relativa por 72 horas de exposición:

Fertilizante	Ah (mg/cm ²)	L (cm)	MHC (mg/cm ³)	MHC (%)	Integribilidad
Urea perlada	350	15.0	23	3.0	Regular
Urea granular	350	15.0	23	3.0	Buena
DAP granular	175	1.5	117	11.7	Excelente
MAP granular	90	1.0	90	9.0	Excelente
KCl granular	135	2.4	56	5.4	Bueno

A MANERA DE CONCLUSIÓN

Las mezclas físicas de fertilizantes en Venezuela deben hacerse cuidadosamente, teniendo en cuenta que hay dos factores claves que pueden convertirse en serios problemas, o limitantes importantes, durante la preparación de la mezcla y durante su almacenamiento y uso:

1. Los fertilizantes son sustancias higroscópicas, que tienden a absorber humedad del ambiente, en especial si la humedad relativa del ambiente supera el 60%.
2. La humedad relativa ambiente en Venezuela supera el 60% en la mayor parte del territorio nacional y durante la mayor parte del año.

Por ello las mezclas deben realizarse en pequeños volúmenes, con tiempos de operación (carga + mezcla + descarga + almacenamiento) no superiores a unos 120 minutos, y deben almacenarse en sacos, obligatoriamente en el caso de mezclas hidrosolubles, y preferiblemente en el caso de mezclas granuladas edáficas.

Dado que el comportamiento de los fertilizantes puede variar notablemente de lote a lote, es recomendable mantener un registro de la absorción de humedad de los mismos y de la humedad relativa del ambiente donde se almacenan y mezclan, de tal manera que permita la toma de decisiones a tiempo en cuanto a la logística de la operación. Con este fin se recomienda utilizar métodos sencillos de medición de absorción de humedad como los descritos en este documento.

Es importante tener en cuenta que la urea (perlada o granular) en condiciones de alta humedad, como es el caso en Venezuela, debe manejarse con precaución en las todas las mezclas físicas donde se incorpore.


Los fertilizantes de Tripoliven, tanto para uso edáfico (UFe granulado) como para uso en fertirrigación y foliar (UF hidrosoluble) se pueden utilizar (y ya se utilizan) con éxito en la preparación de mezclas físicas, teniendo siempre presente las recomendaciones anteriores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER (1987). *Fertilizer Blending, Training Program*. Dictado en Caracas, Venezuela.
2. UNIDO e IFDC (1998), *Fertilizer Manual*. Segunda edición. USA.
3. Clayton, W.E. (1927). *Humidity Factors Affecting Storage and Handling of Fertilizers*. IFDC, PAPER SERIES. Alabama, USA.
4. INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER (1990). *Urea-Based NPK Plant Design and Operating Alternatives*. Alabama, USA.
5. Gran Enciclopedia de Venezuela vol I. Editorial Globe. 1998
6. Manual for determining physical properties of fertilizer. International Fertilizer Development Center (IFDC). Muscle Shoals, Alabama, USA, 1986

ANEXOS

Anexo 1. Formato para prueba de Fluidibilidad



TRIPOLIVEN C.A
Departamento IP-ID

CONTROL DE PRUEBAS DE FLUIDIBILIDAD DE FERTILIZANTES

FECHA			
DATOS DE LA MUESTRA			
Componentes	Nombre	Peso, kg	Observaciones iniciales
Componente 1			
Componente 2			
Componente 3			
Componente 4			
Peso Total, kg			

DATOS DE LA PRUEBA											
Tiempo (hr:min)	Temp. Atm. (°C)	HR (%)	Aspecto de la mezcla				Pérdida de fluidez			Humedad @ 60°C	Observaciones
			1	2	3	4	25%	50%	75%		

CONCLUSIONES DE LA PRUEBA	
Observaciones para el ensayo de Fluidibilidad:	
Aspecto de la mezcla	Escala
1. Seco y fluido	C. Totalmente compatibles
2. Algo húmedo, pero aún fluido	L. Compatibilidad Limitada
3. Algo húmedo, pegajoso y no fluido	I. Incompatibles
4. Totalmente húmedo y no fluido	TI. Totalmente Incompatibles

Tiempo crítico de la mezcla: _____ (hr:min)

Escala para la mezcla : _____

Tiempo crítico de la mezcla: Es el tiempo en que la apariencia de la mezcla corresponde al número 3; Algo húmedo, pegajoso y no fluido.

Anexo 2. Formato para prueba de MHC



Departamento IP-ID

CONTROL DE PRUEBAS DE PENETRACIÓN DE HUMEDAD EN PILAS EN FERTILIZANTES (Moisture Holding Capacity, MHC)

FECHA

DATOS DE LA MUESTRA		
Componentes	Nombre	Peso, g
Componente 1		
Componente 2		
Componente 3		
Componente 4		
Peso total, g		

Diámetro del cilindro, cm	d	<input type="text"/>
Altura ocupada por el fertilizante, cm	h	<input type="text"/>
Superficie transversal del cilindro, cm ²	S	<input type="text"/>
Volumen que ocupa el fertilizante, cm ³	V	<input type="text"/>



Peso inicial de cilindro + fertilizante, g	Pin	<input type="text"/>
--	-----	----------------------

DATOS DE LA PRUEBA								
Fecha	Hora	Temp. Atm. (°C)	HR (%)	Pre g	Humedad @ 60°C	Volumen de la mezcla	L cm	Observaciones

CONCLUSIONES DE LA PRUEBA		
Absorción de humedad por unidad de superficie, g/cm ²	Ah	<input type="text"/>
Capacidad de retención de humedad, g/cm ³	MHC	<input type="text"/>
Capacidad de retención de humedad, %	% MHC	<input type="text"/>

FÓRMULAS A UTILIZAR			
Superficie transversal del cilindro	S	$\pi * r^2$	cm ²
Volumen que ocupa el fertilizante	V	$S * h$	cm ³
Absorción de humedad por unidad de superficie	Ah	$(Pre - Pin) / S$	g/cm ²
Capacidad de retención de humedad	MHC	Ah / L	g/cm ³
Capacidad de retención de humedad	% MHC	$MHC / (Pin / V) * 100$	%

Pre : Peso del cilindro + fertilizante luego de iniciada la prueba

L : Volumen húmedo de la mezcla. Se mide en centímetros, desde la parte superior de la columna de fertilizante hacia abajo, hasta donde se observe penetración de humedad