



www.tripoliven.com

Fosfatados Sustentables

Octubre 2010

Fosfatados Sustentables

Introducción

La sustentabilidad, como fuerza cultural y regulatoria global, se impondrá como el lineamiento que regirá la producción y utilización de fertilizantes durante los próximos años. La industria de fertilizantes y el sector agrícola deberán continuar trabajando en desarrollar procesos de producción, fertilizantes y técnicas de fertilización sustentables.

Nuestra empresa **Tripoliven C.A.** (www.tripoliven.com) está identificada totalmente con la sustentabilidad y la está transformando en hechos tangibles a través del desarrollo, producción y comercialización de “**Fosfatados Sustentables**” diseñados para poner en manos de la industria de fertilizantes y del sector agrícola, fertilizantes sustentables aportadores de nitrógeno (N), fósforo (P), calcio (Ca) y azufre (S).

A continuación queremos compartir con nuestros clientes y amigos algunas ideas y reflexiones que están en la base y soportan nuestro trabajo y nuestra dirección estratégica en el área de “**Fosfatados Sustentables**”.

1. La Industria de Fertilizantes y la Sustentabilidad

La sustentabilidad no es una opción, es un hecho, y es prácticamente una obligación en cualquier actividad humana. Una actividad sustentable significa:

- a) Viable económicamente
- b) Amigable ambientalmente
- c) Responsable socialmente

Dentro de este contexto, la industria de los fertilizantes ha estado tratando aspectos medioambientales durante los últimos 40 años (muchas veces como respuesta a regulaciones y en algunos casos por iniciativa propia). Aun cuando es mucho lo que se ha conseguido, la industria tiene todavía una enorme tarea que llevar a cabo.

La mayoría de las soluciones tecnológicas necesarias ya existen, solo que deben integrarse adecuadamente dentro de la cadena de valor. Para ello el esquema de evaluar el valor a través de la relación costo/beneficio, deberá cambiarse por la relación costo/sustentabilidad. Esto implica no solo un cambio en el esquema de cálculo sino que implica un cambio en el enfoque, un cambio en la actitud y un cambio en la cultura.

Este cambio cultural implica entender tanto al suelo como a la planta no como simples instrumentos de producción, sino como seres vivos, altamente complejos y a los cuales hay que aprender a gerenciarlos con visión estratégica. A la agricultura y la fertilización dominadas tradicionalmente por el enfoque químico-biológico se le debe incorporar el enfoque ecológico y sistémico.

Una adecuación a la sustentabilidad en la industria de los fertilizantes, significa resolver problemas todavía existentes asociados con:

- a) **La producción de fertilizantes:** la mayoría de los procesos de producción de fertilizantes son procesos abiertos, es decir generadores de subproductos que pueden representar una carga ambiental costosa y en algunos casos hasta poco aceptables. Un reto importante es el desarrollo de procesos cerrados con reducido impacto ambiental en cuanto a emisiones (sólidas, líquidas, gaseosas) y con reducido impacto en el efecto invernadero global. Es muy importante el manejo de los procesos en sus escalas adecuadas (*just in size*, o sea pensar global pero actuando local), así como escoger adecuadamente la materia prima, y el producir fertilizantes de mayor calidad y eficiencia (acercando cada vez mas el fertilizante posible al fertilizante deseable).

- b) **La eficiencia de la fertilización:** pasa por un adecuado manejo del agua, de la tierra, de los fertilizantes y de las técnicas de fertilización. El manejo de una fertilización apropiada es fundamental para el mantenimiento de los niveles óptimos de nutrientes y la productividad del suelo, que contribuyen a la eficacia de la agricultura moderna. Esto ha quedado demostrado por el aumento del rendimiento de las cosechas. La necesidad de fertilizantes no se cuestiona. Si el fin de la fertilización es lograr una agricultura mas eficiente para alimentar a una

población mundial en crecimiento (responsabilidad social), su uso y desarrollo deben continuar.

- c) **El asesoramiento al sector agrícola:** como parte de su responsabilidad social, es fundamental que la industria se involucre activamente en la transferencia al sector agrícola del conocimiento sobre el uso correcto de los fertilizantes y de las técnicas de fertilización. Los problemas asociados a la producción y uso de fertilizantes y el impacto en el medioambiente por su uso inadecuado, son problemas complejos en donde el conocimiento científico-técnico y su difusión, tanto hacia el sector agrícola como hacia la opinión pública, son tareas primordiales.

2. Los Procesos de Producción de Fertilizantes

A continuación se analizarán aspectos relacionados con los procesos de producción de fertilizantes, haciendo énfasis en la producción de fertilizantes nitrogenados y fertilizantes fosfatados (**Fertilizantes NP**)

2.1. Producción de Fertilizantes Nitrogenados

El primer paso en la obtención de fertilizantes nitrogenados es la producción de amoníaco a través de la fijación del nitrógeno del aire al hidrógeno procedente de la combustión de hidrocarburos.

En la producción de fertilizantes nitrogenados, la ruta tradicional es la siguiente:

- **Utilizar amoníaco para producir urea**, haciendo reaccionar amoníaco con el dióxido de carbono (CO_2) que se genera durante la combustión de hidrocarburos en la producción del amoníaco. Esta urea se utiliza como fuente de nitrógeno (ureico) en la preparación de fertilizantes
- **Utilizar amoníaco para producir ácido nítrico**, vía oxidación del amoníaco con aire. El ácido nítrico se utiliza como fuente de nitrógeno (nitrato) en la preparación de fertilizantes. En esta ruta se genera óxido nítrico (N_2O) durante la obtención del ácido nítrico, y no se utiliza el CO_2 generado en la producción del amoníaco

- **Utilizar amoníaco como fuente de nitrógeno** (amonio) en la preparación de fertilizantes. En esta ruta no se utiliza el CO_2 generado en la producción del amoníaco

En esta ruta tradicional, a excepción de la producción de urea, la producción de fertilizantes nitrogenados amónicos emite CO_2 , y la producción de fertilizantes nitrogenados nítricos emite N_2O , ambos gases son gases de efecto invernadero

El N_2O se consideraba un gas inerte no dañino, que se encontraba de forma natural en el aire. En la actualidad se reconoce como un gas de efecto invernadero y que también reacciona con la capa de ozono. El efecto invernadero del N_2O es unas 200 veces superior al CO_2 , por lo tanto existen razones para explorar formas y medios de eliminar la generación de N_2O

Adicional a la ruta de producción se deben tener presentes los aspectos asociados al manejo y uso de las fuentes nitrogenadas, por ejemplo

- **La urea es sólida**, manejable, almacenable sin mayores inconvenientes.
- **El amoníaco es un gas** a temperatura ambiente, debe ser manejado a bajas temperaturas y altas presiones para manejarlo y almacenarlo como líquido.
- **El ácido nítrico es un líquido ácido** muy corrosivo, que debe ser manejado y almacenado en recipientes especiales.
- **Los nitratos son materiales explosivos**, por ello los fertilizantes a base de nitrato se deben manejar y almacenar con precaución.

De lo anterior, se puede inferir que la ruta de producción y uso de la urea como fuente de nitrógeno en fertilizantes, luce muy atractiva en cuanto a la relación costo/sustentabilidad. Se puede mirar a la urea como portadora de un nitrógeno que ha sido empaquetado a distancia y listo a desempaquetarse en cualquier lugar, sin mayores trabas y con una sustentabilidad muy atractiva.

2. 2. Producción de Fertilizantes Fosfatados

La producción de fertilizantes fosfatados esta basada en la transformación del fosfato insoluble de la roca fosfática a formas solubles utilizando ácidos minerales como reactivos para lograr dicha solubilización (proceso de acidulación o de digestión de la roca fosfática).

El ácido mineral mas utilizado para este fin es el ácido sulfúrico. La reacción con ácido sulfúrico se realiza fundamentalmente de tres maneras:

- **Acidulación parcial:** solo se transforma una parte del fosfato insoluble de la roca a fosfato monocálcico soluble.
- **Acidulación total:** Se transforma todo el fosfato de la roca a fosfato monocálcico.
- **Digestión total:** se transforma todo el fosfato de la roca en ácido fosfórico.

En cualquiera de las vías utilizadas, se genera como co-producto sulfato de calcio (o yeso). En la acidulación parcial o total, este yeso forma parte del fertilizante final, mientras que en el caso de la digestión, el yeso es separado del ácido fosfórico y representa en realidad un sub-producto que debe ser almacenado en pilas o lagunas de contención. Dado que este yeso sub-producto contiene impurezas de la roca fosfática de partida (incluyendo roca fosfática no digerida), se le denomina fosfoyeso.

El fosfato monocálcico obtenido en la acidulación parcial o total tiene una solubilidad de unos 20 gramos por litro de agua, y se utiliza como fertilizante fosfatado. Este fertilizante además de aportar fósforo también aporta calcio y azufre (proveniente del yeso). Este fertilizante históricamente dominó el escenario de los fertilizantes fosfatados hasta la aparición de los fosfatos amónicos mas concentrados en fósforo y mas solubles (solubilidad mayor a 300 gramos por litro de agua), obtenidos a partir de ácido fosfórico (digestión total de roca) y amoniaco. Desde el punto de vista de la eficiencia agronómica del fósforo, una mayor solubilidad significa una mayor eficiencia. Por ello y por su mayor

concentración en fósforo los fosfatos amónicos dominan actualmente el escenario de los fertilizantes fosfatados.

El escenario actual dominado por los fosfatos amónicos procedentes de la digestión total de la roca fosfática, presenta los inconvenientes siguientes:

- **La generación de fosfoyeso**, como pasivo ambiental costoso
- **Fertilizantes fosfatados que no aportan ni azufre ni calcio a la fertilización.** Este aspecto ha comenzado a ser considerado un factor importante en las deficiencias de estos nutrientes en los suelos (en especial la deficiencia de azufre) debido a las dietas de fertilización convencionales que utilizan fosfatos amónicos
- **Fosfatos amónicos que significan consumo de amoniaco**, y tal como se mencionó arriba, generación de CO₂. Además los fosfatos amónicos que dominan este escenario están basados mayoritariamente en fosfato diamónico (DAP), el cual presenta una alta presión de vapor de amoniaco (tienden a emitir amoniaco) y un pH alcalino, lo cual limita su eficiencia en algunas situaciones o dietas de fertilización
- **La eficiencia del proceso de digestión requiere de roca fosfática de alto tenor** (concentraciones de fósforo de mínimo 30% de fósforo expresado como P₂O₅). Existe roca fosfática en el mercado internacional que se comercializa con altos tenores de P₂O₅ y con un costo relativamente razonable para la eficiencia alcanzable de los procesos actuales. Sin embargo en muchos sitios/países existen yacimientos de roca fosfática con un bajo tenor y que requieren de altas inversiones para llevar el tenor de estas rocas a tenores atractivos. Por ello se ve limitado el aprovechamiento eficiente de estos yacimientos. Además los procesos convencionales utilizados para aumentar el tenor de la roca (procesos de beneficio físico) son altos consumidores de agua y generadores de subproductos (las así llamadas colas de beneficio) con alto contenido de arena y arcilla

- **Distancia geográfica del N y el P.** Para aquellos casos en que se dispone del yacimiento de roca fosfática, pero distante geográficamente del sitio en donde se produce el amoníaco, el transporte del amoníaco puede convertirse en una limitante logística muy importante. También puede convertirse en una limitante logística importante el llevar el ácido fosfórico al sitio en donde se produce el amoníaco, ya que el ácido fosfórico es un líquido corrosivo que debe manejarse y almacenarse con la precaución adecuada

De lo anterior, se puede inferir que la ruta de producción de fertilizantes fosfatados debe ser tal que su fósforo sea de alta solubilidad, aprovechando eficientemente a los yacimientos de roca fosfática de bajo tenor y minimizando la generación de co-productos (utilización del fosfoyeso para eliminar pasivos ambientales) logrando hacer más atractiva la relación costo/sustentabilidad.

La producción de este tipo de fertilizantes fosfatados de alta solubilidad y alta eficiencia agronómica, que además no generen pasivos ambientales, deben integrarse adecuadamente dentro de la dieta de fertilización de máxima eficiencia

3. La Eficiencia de la Fertilización

La agricultura intensiva e incluso la extensiva se está polarizando hacia condiciones de cultivo cada vez más controladas con el fin de aumentar los rendimientos. Se han desarrollado nuevos productos y nuevas tecnologías para la aplicación de la dieta de fertilización que permitan sincronizar la absorción diaria de nutrientes por parte del cultivo con los aportes diarios de nutrientes por parte del fertilizante. Estos nuevos productos y técnicas permiten una fertilización más racional que evita excesivos desequilibrios y contaminaciones.

Se tienen en cuenta dentro del desarrollo de estos nuevos productos y técnicas de fertilización las siguientes consideraciones:

- a) **El adecuado manejo del agua:** el agua disponible para uso agrícola es cada vez más escasa, y en muchos casos es alcalina y de alta dureza (altos contenidos de sales disueltas). Es primordial incorporar técnicas de fertilización que logren un

manejo más eficiente y más racional del agua. Dentro de estas técnicas desarrolladas y disponibles podemos mencionar la fertirrigación. La fertirrigación combina el uso racional del agua y el uso de los fertilizantes con una alta eficiencia. Con los sistemas asociados a la fertirrigación la eficiencia del agua de riego alcanza 80% a 90% comparado con tan sólo 40% a 50% para los métodos de riego superficial tradicionales, además la eficiencia de la fertilización (absorción de nutrientes del fertilizante por parte de la planta) se duplica en comparación con la fertilización tradicional.

Para garantizar el éxito en el uso de la fertirrigación (en especial cuando se dispone de aguas alcalinas y duras), es indispensable contar con fertilizantes hidrosolubles-ácidos. El concepto hidrosoluble en un fertilizante (*HSF "Hydro Soluble Fertilizer"*), significa cumplir con al menos tres condiciones: a) que su solubilidad sea superior a 100 gramos en un litro de agua a 25°C, b) que su disolución en agua sea inmediata (minutos-horas), c) que su contenido de material insoluble no sea superior al 0.5%.

- b) **El adecuado manejo del suelo:** se requiere incorporar nuevos suelos a la agricultura, pero los disponibles para este fin presentan baja calidad físico-química que se expresa fundamentalmente como baja fertilidad, acidez (toxicidad de aluminio y hierro), salinidad (alto contenido de sales no nutrientes), sodicidad (alto contenido de sales de sodio) y compactación (baja permeabilidad hidráulica).

La disponibilidad de tierras para la agricultura esta disminuyendo. La mayoría de las reservas están en las regiones de las selvas tropicales y el estado natural de estas debería preservarse por razones ecológicas. Por ello el uso de la tierra debe ser cada vez mas intensivo y dentro de la fertilización se deben incluir técnicas y/o productos que además de incrementar los rendimientos de las cosechas, permitan mejorar o al menos mantener, la calidad físico-química del suelo. Para la manufactura de este tipo de fertilizantes-mejoradores de suelo se están incorporando materiales como el sulfato de calcio (yeso o fosfoyeso).

- c) **El adecuado manejo de la fertilización:** existen ineficiencias en la absorción de los fertilizantes nitrogenados por parte de las plantas, asociadas a la volatilización

(amoníaco, óxidos nitrosos) y la lixiviación (nitratos) de dichos fertilizantes. Estas ineficiencias tienen algunas consecuencias medioambientales no deseadas como contaminación del agua con nitratos, erosión del suelo y eutrofización.

Las filtraciones (lixiviación) de nitratos debido a actividades agrícolas son un tema fundamental para el medio ambiente y la salud. Una fuente importante de los óxidos nitrosos presentes en la atmósfera lo constituyen los procesos microbianos sobre el nitrógeno presente en el suelo o añadido como fertilizante.

Cuando se utiliza urea como fertilizante, un aspecto a tener en cuenta es su hidrólisis (transformación a amoníaco) por enzimas (ureasas) presentes en el suelo y su posterior nitrificación (transformación del amoníaco en nitrato) por parte de bacterias también presentes en el suelo. Estos dos procesos contribuyen a las pérdidas de nitrógeno del fertilizante, reduciendo su eficiencia.

Una manera de disminuir la hidrólisis, amonificación y posterior nitrificación de la urea es dotar al micro entorno del fertilizante ureico de un ambiente ácido. La urea ácida permite reducir la actividad enzimática de amonificación y la actividad microbiológica de nitrificación, de las enzimas y bacterias presentes en el suelo.

De igual forma existen ineficiencias en la absorción de los fertilizantes fosfatados asociadas a la fijación del fósforo en el suelo, fijación que posteriormente contribuye a la pérdida de fósforo, especialmente cuando los suelos sufren erosión. Una manera de disminuir la fijación del fósforo en el suelo es utilizar fertilizantes fosfatados de alta solubilidad y con pH ácido. Un fertilizante fosfatado más soluble incrementa la difusión del fósforo en la solución del suelo y su captación más eficiente por parte de las raíces de las plantas. Lo ideal es el uso de fuentes de fósforo de alta solubilidad y acidez como lo son el ácido fosfórico y el fosfato mono amónico. Ambos productos son muy eficientes en la generación del ion monofosfato, el cual es la fuente de fósforo de asimilación óptima por las plantas, y además el ácido fosfórico dota de acidez al micro entorno del fertilizante, lo cual reduce la tendencia de fijación del fósforo por parte del suelo.

Otra fuente de ineficiencia en la fertilización lo constituye la liberación rápida y excesiva de nutrientes de los fertilizantes, no coordinada con las necesidades de nutrientes por parte de las plantas. Por ello se han desarrollado técnicas como la fertirrigación y productos como los fertilizantes de liberación controlada que permiten lograr un mejor ajuste entre la liberación de los nutrientes por parte del fertilizante y el consumo de nutrientes por parte de las plantas. Los fertilizantes de liberación controlada y la fertirrigación juegan cada día un papel más importante dentro de las dietas de fertilización. Estos nuevos productos y técnicas pueden facilitar una fertilización racional que evite excesivos desequilibrios y contaminaciones.

En el caso de los macro nutrientes nitrógeno y fósforo (N y P), el uso de técnicas de liberación controlada de estos nutrientes permiten duplicar la eficiencia de absorción de los mismos por parte de las plantas. En el caso del nitrógeno, este incremento de eficiencia se ve facilitado por el uso de urea ácida (urea mezclada con una fuente ácida como lo puede ser el ácido fosfórico). Como se mencionó, la urea ácida permite reducir la actividad enzimática de amonificación y la actividad microbiológica de nitrificación.

De lo anterior se puede inferir que una máxima eficiencia de fertilización requiere de técnicas como la fertirrigación y de fertilizantes de alta eficiencia como los fertilizantes hidrosolubles (**HSF**) y los fertilizantes de liberación controlada (**CRF**), y preferiblemente en ambos tipos de fertilizantes es deseable que sean de pH ácido. En el lenguaje cada vez más aceptado a nivel internacional, este tipo de **fertilizantes deseables** para una adecuada sustentabilidad de la fertilización son conocidos como fertilizantes de eficiencia mejorada (**EEF** o “Enhanced Efficiency Fertilizers”).

4. Fosfatados Sustentables: El Fertilizante NP Deseable

De lo expuesto hasta ahora podemos sintetizar algunas necesidades que requieren soluciones para hacer más atractiva la relación costo/sustentabilidad y así poder lograr el fertilizante NP deseable, estas necesidades son las siguientes:

- Explorar, desarrollar rutas de producción de fertilizantes que disminuyan el impacto ambiental de los procesos: incrementar el uso de fertilizantes nitrogenados ureicos (reducir gases de efecto invernadero), utilizar el fosfoyeso generado en la producción de ácido fosfórico (eliminar pasivo ambiental)
- Desarrollar rutas de producción que permitan el aprovechamiento de fuentes locales de roca fosfática de bajo tenor
- Desarrollar rutas de producción que permitan el uso de urea como fuente de nitrógeno (nitrógeno empaquetado a distancia) en la producción de fosfatos de amonio, cuando la fuente de fósforo este geográficamente separada de la fuente de nitrógeno, de tal manera de minimizar el transporte de materia prima de delicado manejo y almacenamiento (ácido fosfórico y amoniaco)
- Desarrollar rutas de producción que permitan el uso de fosfatos amónicos de baja presión de vapor de amoniaco (fosfato mono amónico MAP en lugar de fosfato di amónico DAP)
- Desarrollar rutas de producción que permitan una alta eficiencia en la relación costo/sustentabilidad aun a escalas locales (escalas moderadas o ajustadas "**Just in Size**", que permitan suplir sustentablemente mercados locales cercanos a la planta de producción)
- Desarrollar fertilizantes NP hidrosolubles que permitan el uso eficiente del agua y de la fertilización vía fertirrigación, hidroponía y fertilización foliar
- Desarrollar fertilizantes NP que permitan la liberación edáfica controlada de los nutrientes NP y que permitan simultáneamente el mejoramiento continuo de la calidad físico-química del suelo
- Desarrollar fertilizantes NP edáficos de liberación controlada que aporten calcio y azufre
- Desarrollar fertilizantes NP en donde el nitrógeno ureico tenga un micro ambiente ácido que contribuyan a minimizar las perdidas de nitrógeno por volatilización y por lixiviación
- Desarrollar fertilizantes NP en donde el componente fosfatado tenga un micro ambiente ácido, una alta solubilidad en fósforo y que además sea muy eficiente en la generación del ion monofosfato ($H_2PO_4^-$), el cual es la

forma química mas eficiente de absorción del fósforo por parte de las plantas

5. Fosfatados Sustentables: El Fertilizante NP Posible

Para satisfacer las necesidades de fertilización planteadas, se propone la siguiente ruta para lograr construir al fertilizante NP posible lo mas cercano al fertilizante NP deseable:

- Beneficio químico que permite utilizar eficientemente roca fosfática local de bajo tenor, tal como se obtiene de la mina: con cualquier contenido de humedad (no se requiere secado), y con cualquier granulometría (no se requiere molienda fina)
- Fertilizante granulado para uso edáfico, con nitrógeno y fósforo (NP) de liberación controlada, obtenidos a partir de urea, ácido fosfórico y fosfato monoamónico, que simultáneamente contiene sulfato de calcio (fosfoyeso) de liberación lenta, que actúa como aportador de los nutrientes calcio y azufre (CaS) y que adicionalmente actúa como mejorador físico-químico de suelos. Este fertilizante de liberación controlada (Controlled Release Fertilizar o **CRF**) lo denominamos **NP-CaS**
- Fertilizante en cristales hidrosolubles (**HSF**) con nitrógeno y fósforo, obtenido como un aducto químico de urea y ácido fosfórico (Urea-Fosfato cristal o **UF**), diseñado para ser utilizado en fertirrigación, fertilización hidropónica o fertilización foliar
- Fosfato monoamónico (MAP) en polvo, obtenido a partir de soluciones acuosas de urea-fosfato vía hidrólisis ácida “in situ”. Este MAP en polvo puede ser utilizado en la preparación de cualquier tipo de granulado NPK, y en el esquema propuesto forma parte del fertilizante **NP-CaS** de liberación controlada
- Proceso ajustable a cualquier escala (“**Just in Size**”) que permita una relación atractiva costo/sustentabilidad, en función de las condiciones locales específicas del sitio donde se implante el proceso
- Proceso que pueda implantarse como una nueva instalación o como una modificación de instalaciones existentes.
- Proceso de producción que permita el uso de urea de baja calidad física que se genera durante la manufactura y manejo de la urea (denominada “urea barrida”, “urea sucia”, o “urea fuera de especificaciones”)

6. Tripoliven y los Fosfatados Sustentables

En **Tripoliven C.A.** (www.tripoliven.com) ya se ha desarrollado e implementado esta ruta de fosfatados sustentables y ya se han puesto a disposición del mercado:

- ❖ Fertilizantes NP hidrosolubles: Urea Fosfato cristal (URFOS) para uso en fertirrigación y fertilización foliar
- ❖ Fertilizantes NP-CaS de liberación controlada: Urea Fosfato granulada con sulfato de calcio (URFOSe) para uso edáfico

La experiencia técnico-comercial acumulada a lo largo de mas de cinco años de producción y comercialización de estos fertilizantes, está demostrando que el concepto de **“Fosfatados Sustentables”** es perfectamente realizable.