# POTENCIALIDADES DE USO AGRÍCOLA DEL FOSFOYESO EN VENEZUELA

Alejandro Silva

Gerencia de Abastecimiento de Fertilizantes,
UNFER, PEQUIVEN, S.A. *alejandro.silva@pequiven.com*

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es el revisar los posibles usos agrícolas del sulfato de calcio o fosfoyeso que se genera a partir de la producción de ácido fosfórico industrial, y a partir de las condiciones presentes en el país y de los resultados experimentales obtenidos por diferentes autores, presentar proyecciones de demanda agrícola potencial directa de este importante subproducto.

**Palabras Clave:** sulfato de calcio, enmienda, yeso, ácido fosfórico.

## INTRODUCCIÓN

El recurso suelo en Venezuela presenta una serie de limitaciones, como lo son aridez (4%), mal drenaje (18%), baja fertilidad y acidez (32%), altas pendientes (44%) y sólo un 2% del área total del territorio no tiene limitaciones. Bajo esta tendencia, es necesaria la búsqueda de alternativas para el uso eficiente de dicho recurso tan limitante y necesario en la producción agrícola, logrando de esta manera el mejoramiento de su calidad y conservación.

En el caso de suelos con problemas físicos (encostramiento, compactación, agrietamiento, erosión), químicos (acidez, salinidad, metales pesados) y biológicos (bajos contenidos de materia orgánica, sanidad), se ha demostrado que sus propiedades físico-químicas y biológicas mejoran con la adición de enmiendas y acondicionadores. Estos incluyen los fertilizantes orgánicos y minerales, polímeros, compostes, cales, y yesos entre muchos otros. (Ramírez-Guerrero, 2010)

En referencia al yeso, tradicionalmente se ha sugerido su aplicación, como una estrategia de mejoramiento altamente disponible para la mayoría de los problemas mencionados, de gran utilidad en la agricultura y con la posibilidad de extenderse a un gran rango de suelos y cultivos (Casanova, et al, 1995). En el país, la disponibilidad de esta enmienda es bastante valiosa, representando excedentes cada vez más altos, con un consumo muy bajo. Específicamente, lo correspondiente al yeso industrial o fosfoyeso (sulfato de calcio dihidratado), derivado de la industria de ácido fosfórico. De esta manera, el fosfoyeso (FY), se constituye en una enmienda de un gran potencial, rehabilitando diferentes suelos y aumentando el rendimiento de los cultivos, además de contribuir al uso eficiente del agua en la agricultura.

## EL FOSFOYESO

El **Yeso Natural** o Sulfato de Calcio, se presenta en la naturaleza como Sulfato de Calcio anhidro o anhidrita ($CaSO_4$) y Sulfato de Calcio dihidratado o yeso $CaSO_4.2H_2O$. Por su parte, el **Fosfoyeso** es un subproducto industrial de la producción de ácido fosfórico, vía húmeda, usando roca fosfórica y ácido sulfúrico como materia prima. Por cada TM de $P_2O_5$ se producen de 3 a 5 TM de fosfoyeso.

El fosfoyeso ha pasado a ser un problema, pues su excesiva producción mundial anual, no se relaciona con su consumo y reciclaje, que no sobrepasan el 9% de lo producido,

causando o tendiendo a un desfavorable impacto ambiental. Una de las formas de disminuir este excedente, sería utilizándolo en la agricultura. La producción mundial de ácido fosfórico es estimada en 11 millones de toneladas de P anualmente, resultando en una producción de aproximadamente 125 millones de TM de Fosfoyeso, de la cual sólo el 4% ha venido usándose en la agricultura y en la industria de cemento y carreteras, acumulándose alrededor de 120 millones ton de fosfoyeso anualmente.

## COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES

La roca fosfática (minerales del tipo apatita, fosfato de calcio con proporciones variables de carbonatos y fluoruros), es digerida con ácido sulfúrico y agua para producir ácido fosfórico:

$$Ca_{10}(PO_4)_6F_2 + 10H_2SO_4 + 20H_2O \text{ -------> } 10CaSO_4 2H_2O + 6H_3PO_4 + 2HF$$

Apatita — Ácido Sulfúrico — Fosfoyeso — Ácido Fosfórico — Ácido Fluorhídrico

La roca fosfática y el ácido son circulados en tanques de reacción en condiciones favorables de tiempo y temperatura para la reacción y la formación de los cristales de yeso, los cuales son filtrados, lavados y bombeados como una suspensión para lagunas donde el fosfoyeso se decanta.

Se ha señalado que la cantidad de fosfoyeso producida por unidad de ácido fosfórico varia de 4 a 6 toneladas de $P_2O_5$ producido, dependiendo de la composición de la roca que le dio origen.

El sulfato de calcio dihidratado o fosfoyeso ($CaSO_4 2H_2O$), tiene una composición teórica de 32,6% de CaO y 18,7% de Azufre. En adición contiene de 0,2 - 1% de fósforo y 0,25 - 1% de flúor, dependiendo de la eficiencia en el proceso de manufactura. Es una sal neutra y como tal, se disocia en solución como $Ca^{2+}$ y $SO_4^{-2}$. Su solubilidad en agua es de 2,04 g/L, cerca de 150 veces mayor que la de la cal agrícola y aumenta con la relación extractor/producto. En el cuadro 1 se presentan los análisis químicos típicos de los principales constituyentes del fosfoyeso de PEQUIVEN.

Cuadro 1. Parámetros considerados en el control de calidad del Fosfoyeso Morón**.**

| COMPONENTE | VALOR PROMEDIO |
|---|---|
| Aluminio (ppm) | 2000 |
| Calcio (% CaO) | 15 |
| Carbonatos (%) | 35 |
| Magnesio (ppm) | 40 |
| Sulfatos (%) | 30 |
| Cloro (mg/L) | 500 |
| **% $P_2O_5$ Soluble en agua** | **0,85** |
| % Humedad | 11,69 |

PEQUIVEN, 2006

## USOS AGRÍCOLAS DEL FOSFOYESO

El empleo del Fosfoyeso en agricultura está sustentado por su naturaleza química (calcio como iones $Ca^{+2}$ y azufre como iones sulfato $(SO_4)^{-2}$).

El calcio cumple una serie de funciones tanto en la planta como en el suelo. En la planta es esencial para el crecimiento de meristemas y para el crecimiento y funcionamiento apropiado de los ápices radicales, ya que es un componente de la lámina media con

funciones estructurales, por lo que impide daños a la membrana celular y evita escapes de sustancias intracelulares. En el suelo, el calcio debe ser el elemento dominante en la superficie de intercambio de las arcillas (70%) para lograr un aprovechamiento balanceado de los demás nutrimentos. Además, el calcio forma puentes cementantes entre las arcillas y ácidos húmicos, promoviendo mayor estabilidad de los agregados del suelo. Por otra parte el calcio es el único ión capaz de desplazar excesos de aluminio de la zona radical en suelos ácidos, así como los iones de sodio en suelos alcalinos.

El azufre en las planta interviene en la producción de proteínas, forma parte de tres principales aminoácidos (cisteina, cistina y metionina), además de ser un activador de enzimas catalizadoras de distintas reacciones bioquímicas. Forma parte de la clorofila, por lo que es elemento esencial para la producción de carbohidratos, aceites, vitaminas y otros complejos. En el suelo el azufre contribuye con el control de ciertos patógenos y aumenta la tasa de descomposición de residuos orgánicos y abonos verdes.

De lo anterior tenemos que los usos agrícolas del fosfoyeso pueden ser:

- Enmienda en suelos altos en sodio, al ser este elemento desplazado por el calcio, eliminando el efecto dispersante del sodio en los suelos, mejorando en consecuencia la estructura.
- Reducción de la toxicidad por aluminio en suelos ácidos, elevando los niveles de calcio, sobre todo en el subsuelo, dada su alta movilidad
- Mejorador de la estructura del suelo superficial evitando encostramiento lo cual aumenta la infiltración y reduce la erosión.

## EXPERIENCIAS EN VENEZUELA

En el país no se dispone de mayores experiencias prácticas en el uso del Fosfoyeso en agricultura, básicamente debido a la indisponibilidad del producto comercial. Sin embargo, se han realizado ensayos experimentales para evaluar los diferentes usos potencialidades del producto.

Es así como tanto en la UCV Facultad de Agronomía, como el grupo de Horticultura Tropical de la UCLA (Prof. Hugo Ramírez) han realizado diversas evaluaciones del uso del Fosfoyeso, tanto en condiciones de suelos salinos, como mejorador de propiedades físicas (manejo de costras, infiltración y escorrentías), como fuente de calcio y azufre para los cultivos, tanto en áreas bajo riego, como en semilleros, y aún en composteros, obteniéndose muy buenos resultados.

Iglesias y Olivares (1993), estudiando el efecto del fosfoyeso en las propiedades físicas y químicas de un suelo salino sódico y su efecto sobre el desarrollo inicial del cultivo de yuca, aplicaron dosis de fosfoyeso para saturar la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) en 0, 25, 50, 75 y 100 %. Los principales resultados se pueden resumir como:

- Aumento de la permeabilidad del suelo
- Conductividad Eléctrica del agua de drenaje más alta que la del agua de riego (mayor efectividad en la remoción de sales).
- Predominio de sales de sodio y mayor valor de RAS en el agua de drenaje.
- Reducción de la CE y del RAS del suelo
- Reducción en los daños de las hojas del cultivo de yuca, mayor desarrollo de raíces y menor concentración de sodio en las hojas.

De igual forma, se reportan buenos resultados de uso del fosfoyeso en suelos ácidos del país. Casanova 2005 reporta respuesta de los cultivos de maní y soya a la aplicación de fosfoyeso en suelos del Edo. Anzoátegui en dosis de 2.500 Kg/ha (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de la aplicación de Fosfoyeso en suelos ácidos del Edo. Anzoátegui

| | Rendimientos Maní Kg/ha | Rendimientos Soya Kg/ha |
|---|---|---|
| 0 aplicación de Fosfoyeso | 520 | 1.610 |
| 2,5 TM/ha Fosfoyeso | 1.120 | 2.570 |

CASANOVA, E., 2005

Yépez (2010), compilando resultados con diferentes cultivos en el país, presenta el siguiente cuadro resumen:

Cuadro 3. Respuesta a la aplicación del Fosfoyeso en diversos cultivos (Yépez,H. 2010)

| **Fosfoyeso TM/ha** | **Maní Monagas Kg/ha** | **Maíz Monagas Kg/ha** | **Maíz Guarico Kg/ha** | **Soya Anzoátegui Kg/ha** | **Caña de Azúcar Sucre Kg/ha** |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 682 | 1.980 | 3.800 | 832 | 54.000 |
| 0,25 | 1.112 | | | | |
| 0,50 | 1.512 | **3.650** | | 1.020 | |
| 0,75 | **1.760** | | | | |
| 1,00 | 1.191 | | | 1.920 | 70.000 |
| 1,50 | | | **5.000** | **2.028** | |
| 2,00 | | | | | **80.000** |

Yépez, H. 2010

El fosfoyeso aplicado en suelos ácidos se disuelve de acuerdo a la siguiente reacción:

$$CaSO_4.2H_2O \longrightarrow Ca^{+2} + SO_4^{-2} + CaSO_4 \text{ (soluc.)}$$

De acuerdo a la reacción el yeso se disocia en $Ca^{+2}$ y $SO_4^{-2}$ como iones en la solución del suelo y queda parte del yeso sin disociarse que puede moverse hacia capas del suelo mas profundas. De esta manera el $Ca^{+2}$ puede reemplazar cationes en la fase de intercambio y liberar a la solución del suelo $Al^{+3}$ $Mg^{+2}$, $K^+$ los cuales pasan a formar pares iónicos con el sulfato con el incremento de cationes como Mg y K en capas más profundas y la eliminación del $Al_2(SO_4)_3$. Esto conlleva a una mejor formación radical, mayor crecimiento y en consecuencia mayores rendimientos de los cultivos.

## ESTIMACIÓN DE DEMANDA ACTUAL Y POTENCIAL

Según estimaciones realizadas en PEQUIVEN (Cuadro 4) sobre la base de cultivos sobre los que actualmente existe una demanda para uso de yeso en el país, tanto como producto simple como en mezclas físicas de fertilizantes, y tomando en cuenta las condiciones edafoclimáticas de las respectivas áreas cultivadas, se tienen proyecciones de posible consumo que se acercan a las 40.000 TM/año Fosfoyeso Granulado en el corto plazo.

Por otro lado, tomando en cuenta los diferentes sistemas de producción agrícola a nivel nacional, Yépez (2010), hace estimaciones por superficie ocupada por cada uno de los tipos de sistemas, y dosis de aplicación (Cuadro 5), llegando a estimar requerimientos potenciales de 3,3 millones de TM de Fosfoyeso, según la siguiente relación:

Cuadro 5. Estimaciones de requerimientos potenciales de Fosfoyeso por diferentes sistemas de producción agrícola. (Yépez,H. 2010)

| Sistema | Superficie ocupada | Requerimiento |
|---|---|---|
| Fruticultura y horticultura de piso bajo. | 185.110 ha | 185.110 TM |
| Cultivos anuales mecanizados | 1.343.235 ha | 1.343.235 TM |
| Ganadería con agricultura complementaria | 4.365.405 ha | 1.091.351 TM |
| Ganadería semi intensiva | 2.658.876 ha | 664.719 TM |
| Plantaciones forestales productoras | 304.422 ha | 76.105 TM |

De manera similar, Comerma (2010) en análisis prospectivos sobre las potencialidades y limitaciones del Fosfoyeso en la agricultura venezolana, reseña las situaciones más probables de respuesta como son:

- Suelos ácidos, altos en saturación con Aluminio y/o deficientes en Ca.
- Suelos sódicos o salino sódicos.
- Suelos con alta probabilidad de respuesta al azufre.
- Suelos con encostramiento actual o potencial.

Tomando como base el mapa de limitaciones para uso agrícola de la tierra en Venezuela, hace una breve descripción de cada una de las situaciones anteriores, señalando posibilidades de uso del Fosfoyeso en 1,7 MM de ha, estimando requerimientos totales de 2,4 millones de TM para suplir las situaciones anteriores.

## CONCLUSIONES

Como conclusiones de la información presentada destaca que el Fosfoyeso, como co-producto de la fabricación del ácido fosfórico, constituye un importante recurso no sólo como enmienda de suelos sino como fertilizante portador de calcio y azufre que requiere ser acondicionado en su presentación física (secado y granulado) para hacer viable su manejo y aplicación. En tal sentido, se propone continuar realizando trabajos de investigación aplicada para lograr el proceso industrial de acondicionamiento físico, así como proseguir en la evaluación y promoción del empleo del producto en las diferentes situaciones de suelo – cultivo en el país..

Por otra parte, las estimaciones iniciales de demanda actual del producto comercial se estiman en unas 41 MTM anuales, alcanzando una demanda potencial entre 2,4 y 3,3 millones de TM. Lograr materializar esta demanda agrícola, conjuntamente con otros usos que se pueda hacer de este material, contribuirían de manera significativa en disminuir el impacto ambiental que origina su acumulación.

## BIBLIOGRAFÍA

Casanova, E. 2005. Capítulo VI. Yeso. Venezuela: Necesidades agrícolas de yeso. CYTED, Buenos Aires, Argentina. AGRIS-FAO of the United Nations.

Casanova, E., Goitia, R., Pereira, P. Comerma, J. y Aguilar, C. 1995. Necesidades y Perspectivas Agronómicas de Fertilizantes y Enmiendas en Venezuela. Venesuelos 1 (1): 17-23 Venezuela.

Comerma, J. 2010. Áreas Potenciales para el Uso del Fosfoyeso en los Suelos de Venezuela. Simposio Fosfoyeso PEQUIVEN, Venezuela.

Iglesias, R. y L. Olivares. 1993. Recuperación de un suelo salino-sódico empleando yeso y dos fuentes de fosfoyeso y su incidencia en el desarrollo inicial de yuca. Tesis de Grado, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Departamento de Edafología, 114 p.

PEQUIVEN, 2006. Resultados de análisis de muestras compuestas de Fosfoyeso. Gerencia Técnica. Complejo Petroquímico Morón. Informe Técnico.

PEQUIVEN, 2010. Ejercicio de estimación de demanda de fertilizantes 2011. Unidad de Negocios de Fertilizantes, Gerencia de Abastecimiento de Fertilizantes. Mimeo. 13 p.

Ramírez-Guerrero, H. 2010. Usos del Fosfoyeso en Horticultura Tropical. Departamento de Fitotecnia. Decanato de Agronomia. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. UCLA. Estado Lara.

Yepez, H. 2010. Empleo del Yeso como Fertilizante no Tradicional. Simposio Fosfoyeso PEQUIVEN, Venezuela.

**Cuadro 4. Demanda potencial directa de sulfato de calcio granular**

| USO EN MEZCLAS FISICAS | TOTAL SULFATO DE CALCIO | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **RUBRO** | **2012** | **2013** | **2014** | **2015** | **2016** | **2017** | **2018** | **2019** |
| | | | | | | | | |
| CAMBUR | - | 2.493 | 2.567 | 2.645 | 2.724 | 2.806 | 2.890 | 2.976 |
| P. ACEITERA | - | 1.441 | 1.484 | 1.528 | 1.574 | 1.621 | 1.670 | 1.720 |
| PLATANO | - | 2.898 | 2.985 | 3.075 | 3.167 | 3.262 | 3.360 | 3.461 |
| SOYA | - | 6.584 | 6.781 | 6.985 | 7.194 | 7.410 | 7.632 | 7.861 |
| **TOTALES MEZCLA** | | **13.415** | **13.818** | **14.232** | **14.659** | **15.099** | **15.552** | **16.019** |

| USO COMO SIMPLE AGRICOLA | TOTAL SULFATO DE CALCIO | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SOYA | 20.605 | 20.914 | 21.227 | 21.546 | 21.869 | 22.197 | 22.530 | 22.868 |
| PLATANO | 2.574 | 2.613 | 2.652 | 2.692 | 2.732 | 2.773 | 2.815 | 2.857 |
| **TOTALES SIMPLE** | **23.179** | **23.526** | **23.879** | **24.237** | **24.601** | **24.970** | **25.345** | **25.725** |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **TOTAL REQUERIMIENTOS** | **23.179** | **36.942** | **37.697** | **38.470** | **39.260** | **40.069** | **40.897** | **41.744** |

Pequiven, 2010