

AURORA TROPICAL: ENMIENDAS, ACONDICIONADORES Y BIOESTIMULANTES HORTICOLAS. Caso *EL FOSFOYESO*

Ramírez Guerrero, Hugo. PhD. Cátedra Libre “Agricultura Ecológica” y Departamento de Fitotecnia. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Cabudare estado Lara, VENEZUELA. Marzo 2014.

I. Introducción

El manejo necesariamente intensivo de cualquier sistema de producción hortícola los hace típicamente dependientes de una gran diversidad de enmiendas, acondicionadores, bioestimulantes, fertilizantes, otros agroquímicos, riego y una labranza relativamente intensa. En la realidad tropical la mayoría de estos insumos y tecnologías de origen foráneo desarrollados en otras latitudes han sido usados y aplicados de manera convencional con una muy baja eficiencia principalmente por no adaptarse a las condiciones locales. Toda esta situación ha causado y sigue teniendo un efecto detrimental en el aire, agua y la calidad del suelo, así como en la salud de los cultivos, fauna, flora y nosotros mismos. De esta forma, el desarrollo de sistemas agrícolas que degraden en menor magnitud el ambiente y los recursos naturales bases de la agricultura (agua y suelo) ha venido cobrando un mayor interés.

El uso irracional de los recursos suelo y agua con las practicas de mecanización, fertilización, riego y agroquímicos (plaguicidas) bajo el actual manejo convencional e intensivo de la producción hortícola (hortalizas principalmente) ha originado y acelerado los procesos de degradación (erosión, encostramiento, compactación, sequía, salinidad, acidificación, extinción y mitigación de macro y microorganismos, polución, residualidad en hortalizas) de nuestros ambientes tropicales, caso Venezuela. Sin embargo, actualmente los agricultores, horticultores y demás personas involucradas en la producción agrícola reconocen las nuevas tendencias de producción alternativas y sustentables como es el caso del manejo integrado de todos los recursos involucrados y primordialmente lo relacionado con uno de sus recursos mas sensitivos a la degradación en ecosistemas tropicales, como lo es “**El Suelo**” en conjunto con los demás sustratos agrícolas y hortícolas incluyendo el recurso Agua.

Actualmente existen diversos insumos en el manejo integrado del recurso suelo que promueven su conservación y el fortalecimiento de su calidad. Se ha demostrado ampliamente el mejoramiento físico, químico y biológico de los suelos con la adición de enmiendas, acondicionadores y bioestimulantes. Estos incluyen los fertilizantes orgánicos y minerales, polímeros, compost, vermicompost, cales y yesos entre muchos otros. En referencia al yeso, Venezuela posee una valiosa disponibilidad de este insumo ya sea como yeso de mina o industrial. En el presente artículo, se hace un llamado de atención general a conocer el inmenso potencial del yeso industrial conocido como Fosfoyeso (FY) y se comparte el fruto de la investigación con FY como una enmienda y acondicionador de los suelos y sustratos en la producción agrícola y hortícola tropical.

II. Limitantes del recurso Suelo en ambientes tropicales

El recurso suelo en Venezuela tal como en cualquier ambiente tropical 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. Debido a estos problemas, es razonable que los suelos en nuestro país sean altamente sensitivos a su rápida degradación bajo el manejo continuo e intensivo que son sometidos en la producción de hortalizas específicamente. En esta tendencia, es importante la búsqueda de alternativas para el uso eficiente de dicho recurso tan limitante y necesario en la producción hortícola, logrando de esta manera su conservación y el mejoramiento de su calidad.

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, contaminados), se ha demostrado que sus propiedades físico-químicas y biológicas mejoran con la adición de enmiendas, acondicionadores y bioestimulantes. Estos incluyen los fertilizantes orgánicos y minerales, polímeros, compost, vermicompost, cales, y yesos entre muchos otros. En referencia al yeso, actualmente 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 una gran diversidad de suelos, cultivos y regiones.

III. El Fosfoyeso.

El yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{XH}_2\text{O}$), es un mineral común y abundante, que básicamente se consigue de dos formas: yeso de mina y como un producto químico de la industria. Los productos son obtenidos durante la manufactura del ácido fosfórico, fluorhídrico y cítrico y como un resultado de los procesos sistemáticos de control de contaminación, tales como en la neutralización del gas fluido. De todos ellos, el producto secundario de la producción ácido-húmeda del ácido fosfórico a partir de roca fosfática, el **Fosfoyeso**, se ha convertido en el de mayor importancia a nivel mundial en cuanto a cantidad y distribución. 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 impacto ambiental muy desfavorable. Una de las formas de disminuir este excedente, sería utilizándolo en la agricultura. El FY ha sido usado como fertilizante desde los griegos y los romanos, siendo en Suiza en 1768 donde por primera vez se utilizó como un acondicionador de suelos. Actualmente, gracias a recientes e innumerables investigaciones, se ha sugerido que su uso en la agricultura puede extenderse a un gran rango de suelos y cultivos.

En el país, la disponibilidad de FY representa excedentes cada vez más altos con respecto a su muy bajo consumo, específicamente lo correspondiente con el yeso industrial (sulfato de calcio dihidratado) derivado de las industrias locales de ácido fosfórico (PEQUIVEN y TRIPOLIVEN). Recientes e innumerables investigaciones confirman que el fosfoyeso (FY) se ha convertido en una enmienda y acondicionador con un gran potencial en la rehabilitación de diferentes suelos-sustratos y en el aumento del rendimiento de los cultivos, además de contribuir

con el uso más eficiente del recurso agua. En Venezuela, aun son muy incipientes las investigaciones con el fosfoyeso en la rehabilitación de suelos salinos, sódicos, ácidos, y contaminados (metales pesados y otros), como una fuente de nutrientes (calcio y azufre) y como acondicionadores y enmiendas fortalecedoras del proceso de compostaje.

A. Producción y Utilización.

Los tres procesos básicos convencionales usados en la manufactura ácido-húmeda de ácido fosfórico son el dihidratado, hemihidratado y el hemidihidratado. Por cada tonelada de fósforo producido, en el proceso hemihidratado, se producen alrededor de 9,8 toneladas de fosfoyeso seco, mientras que en los procesos dihidratado y hemidihidratado la producción es aproximadamente de 11,2 ton. En Venezuela el proceso para obtener el ácido fosfórico es el dihidratado con la eficiencia señalada anteriormente (Cuadro 1). Este proceso dihidratado es el más ampliamente utilizado en el mundo por su bajo costo de inversión y la flexibilidad de usar varias calidades de roca fosfórica. Teniendo una significativa desventaja, que es la de producir un fosfoyeso con alto grado de impurezas en referencia a los otros procesos.

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 ton de fosfoyeso, de la cual solo 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. La mayoría de este exceso es apilado en montículos y alguno es almacenado en depósitos abandonados o en ciertas partes, es bombeado a las corrientes de agua. Dentro de los principales países productores de FY, figuran los EEUU, mayormente el estado de Florida (32 millones ton/año), luego Rusia, Canadá, Japón, India y Australia entre otros. Referente a su utilización, ha sido básicamente, como acondicionador de suelos o fertilizante y algunos países como Japón, que producen un fosfoyeso de alta calidad, este es disponible para la industria de la construcción, haciendo una completa utilización adicional a su uso en la agricultura. Sin embargo, es importante hacer notar que el uso de FY en la agricultura ha sido fuertemente cuestionado e incluso prohibido, debido a sus contenidos importantes de especies radiactivas y metales tóxicos (Radio²²⁶, Uranio, Cromo, Plomo, Arsénico).

En Venezuela existen dos plantas de ácido fosfórico, PEQUIVEN y TRIPOLIVEN. Estas plantas producen anualmente 465.000 ton de fosfoyeso, con un stock para el 2013 de aproximadamente 12.255.000 ton en lagunas abandonadas y solo con un uso muy pequeño e incipiente en la agricultura (Cuadro 1). En base a su utilización en Venezuela, existen algunos análisis e investigaciones sobre el gran potencial del fosfoyeso en la agricultura, construcción (cemento y concreto), industrias de papel, plásticos y construcción de carreteras.

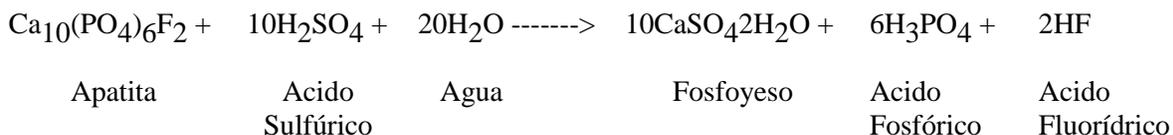
Cuadro 1. Producción de ácido fosfórico y fosfoyeso (FY) en Venezuela.

Empresa	PEQUIVEN	TRIPOLIVEN
Producción diaria de P ₂ O ₅	245 Mg P ₂ O ₅	80 Mg P ₂ O ₅
Producción diaria de FY	1.244 Mg FY	350 Mg FY
Relación Producción Fosforo/FY	1 Mg P/11,2 Mg FY	1 Mg P/ 8,8 Mg FY
Producción anual de FY	360.000 Mg FY	105.000 Mg FY
Volumen en laguna año 1994	2.880.000 Mg FY	1.260.000 Mg FY
Volumen en laguna año 2000	5.040.000 Mg FY	1.890.000 Mg FY
Volumen en laguna año 2013	9.000.000 Mg FY	3.255.000 Mg FY

Mg: Mega gramo = tonelada métrica. Fuente propia 2013 aportada por personal de Pequiven y Tripoliven.

B. 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:



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. En lo que respecta a las empresas locales, TRIPOLIVEN digiere y decanta con agua de mar, mientras que PEQUIVEN lo hace con agua dulce.

Se ha señalado que la cantidad de fosfoyeso producida por unidad de ácido fosfórico varía de 4 a 6 toneladas de P₂O₅ producido, dependiendo de la composición de la roca que le dio origen. A nivel nacional, en el cuadro 1 se muestra la relación de producción fósforo-fosfoyeso, teniendo diferentes orígenes cada una de las rocas utilizadas (Marruecos, TRIPOLIVEN y de las minas de Riecito Edo. Falcón y Lobatera Edo. Táchira - PEQUIVEN). El sulfato de calcio dihidratado o fosfoyeso (CaSO₄·2H₂O), 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 Ca²⁺ y SO₄²⁻. Su solubilidad en agua es de 2,04 g/L, cerca de 150 veces mayor que la cal agrícola y aumenta con la relación extractor/producto. En el cuadro 2 se presentan los análisis químicos de los principales constituyentes del fosfoyeso de varios países, incluyendo Venezuela.

IV. Usos del fosfoyeso en la agricultura y horticultura tropical.

El uso regular del yeso agrícola, fosfoyeso o simplemente yeso es esencial para la sustentabilidad de la mayoría de los suelos bajo riego y seco. El yeso ha venido usándose como una enmienda de suelos y fertilizante desde hace alrededor de

200 años. Benjamín Franklin, en base al éxito del yeso en uno de sus campos, decía "Estas tierras deben ser enyesadas". Hoy en día, en la necesidad de lograr mejores rendimientos y por tal productividad, el uso del yeso ha sido reevaluado a la luz de recientes hallazgos de su efecto positivo en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Esta utilidad o beneficio, tiene una implicación significativa para dos importantes regiones agrícolas y hortícolas en pleno desarrollo que tienen limitaciones substanciales relacionadas con el recurso suelo: las regiones semiáridas cálidas y los trópicos Ecuatoriales de América del sur y central, Oceanía, Asia y Africa.

Existen numerosos estudios que evidencian todos los beneficios del FY en la producción de diversos cultivos, producciones agrícolas-hortícolas y suelos/sustratos. Entre los principales usos del fosfoyeso en la agricultura y horticultura encontramos:

1. El FY como mejorador de suelos ácidos (superficiales y subterráneos).
2. Fosfoyeso como fuente de nutrientes (Calcio y Azufre).
3. Uso de fosfoyeso en suelos dispersivos (a. Recuperación de suelos sódicos, b. Manejo de la costra y c. Infiltración y escorrentía).
4. Conservación de suelos.
5. Acondicionador (secuestro de CO₂ y otros gases con efecto invernadero) y suplidor de calcio y azufre durante el proceso de compostaje.
6. Rehabilitación de los suelos por contaminación de metales pesados.

Cuadro 2. Análisis químico del fosfoyeso producido en diferentes países

Componentes	Australia	Canadá	Japón	Irak	USA.	Componentes	Venezuela	
							PEQUIVEN	TRIPOLIVEN
%						%		
CaO	32,9	34,0	30,4	32,9	31,1		28,3	31,3
SO ₃	45,1	45,8	43,5	44,9	42,0		41,1	44,5
SiO ₂	5,0	-	4,05	1,05	0,57	P ₂ O ₅ sol.agua	0,06	0,45
Al ₂ O ₃	0,34	-	0,11	1,05	0,57	F sol.agua	0,06	0,45
Fe ₂ O ₃	0,06	-	0,04	0,40	0,14	SiO ₂ y acid.insol.	7,80	-
MgO	0,04	-	0,01	0,46	0,00	Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	0,32	0,14
Na ₂ O	0,35	-	0,08	-	0,61	Mat. Org.	0,24	0,68
K ₂ O	0,05	-	0,16	-	0,01	Na ₂ O, K ₂ O, MgO	0,18	0,33
P ₂ O ₅ Total	0,88	0,84	0,29	0,18	3,70		0,78	0,68
F Total	1,30	1,70	0,24	0,60	0,80		-	-
H ₂ O Total	20,90	19,66	19,90	18,80	18,80		18,20	20,00

Fuente: Venezuela; INTEVEP (1993). Otros países; varios autores citados por Alcordo y Rechcigl (1993).

V. Experiencias locales

En base a los elevados volúmenes de FY generado en Venezuela, a su importancia y diversos usos del FY en la horticultura tropical, nosotros como equipo de investigación aplicada del Decanato de Agronomía de la UCLA en alianza con productores agrícolas e instituciones públicas y privadas hemos realizado una serie de experimentos, evaluando el potencial del FY en la mayoría de sus usos. Desde inicios de la década de los años 90 se pudo confirmar el mejoramiento de la calidad de suelos dispersivos y agua de riego con el uso de FY como acondicionador a través del manejo eficiente de la costra, infiltración y escorrentía tanto a nivel de semillero como en los campos finales de producción de alfalfa, cebolla y melón. También se realizaron algunos experimentos con los cultivos tomate y café que mostraron los beneficios del FY como una enmienda mejoradora de suelos ácidos (superficiales y subterráneos).

Luego desde la primera década de este siglo se inició la investigación con el uso de FY como enmienda y acondicionador de suelos y compost promoviendo el secuestro de CO₂ y otros gases con efecto invernadero, además de ser un enriquecedor primario de calcio y azufre e indirecto de otros nutrientes importantes. Más recientemente se ha estudiado el uso integrado de FY con otras enmiendas y acondicionadores (fertilizantes minerales, compost), bioestimulantes, otros insumos, cultivos y tecnologías (invernaderos, fertirrigación). Todos estos estudios han reportado efectos positivos en la producción sustentable de varios cultivos hortícolas (pimentón, papa) y agrícolas (maíz, soya).

Los resultados o productos de todas estas investigaciones aplicadas se encuentran disponibles en forma digital, en la red (www.horticulturatropical.com) y en la biblioteca de Agronomía de la UCLA. De manera complementaria toda esta información ha sido compartida con productores agrícolas, técnicos de instituciones públicas y privadas, entes gubernamentales y público en general a través de días de campo, talleres, cursos y otros eventos tanto a nivel regional, nacional e internacional. Sin embargo, la investigación, desarrollo y uso agrícola de esta enmienda y acondicionador sigue siendo muy escaso en Venezuela y de forma general bajo condiciones tropicales. Mientras que irónicamente desde ya hace varios años, las lagunas de almacenamiento de FY en las industrias de ácido fosfórico se encuentran saturadas y aun sin ningún uso determinado.

Productos generados

1. González, Rene. 1994. Evaluación del Fosfoyeso en la germinación de la Alfalfa en el Valle de Quibor. Trabajo de Grado TSU Agropecuaria. UCLA - Torres. Carora.
2. Ferrer, Raquel. 1994. Efecto del Fosfoyeso a diferentes épocas de aplicación en un suelo cultivado de cebolla. Trabajo de Grado TSU Agropecuaria. UCLA - Torres. Carora.
3. Suarez, Nohely. 1994. Efecto del Fosfoyeso en semilleros de cebolla. Nohely Suárez. Trabajo de Grado TSU Agropecuaria. UCLA - Torres. Carora.
4. Ramírez, H.; Suárez, N. y N. Rodríguez O. 1994. Efecto del Fosfoyeso (CaSO₄·2H₂O) a diferentes épocas de aplicación en un suelo cultivado de cebolla. Suelos Ecuatoriales. 24: 80 - 83.

5. Ramírez, H. 1996. Efectos del Fosfoyeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sobre un suelo y el cultivo de la cebolla en la Depresión de Quíbor. Tesis MSc. Horticultura. UCLA. Venezuela.
6. Alonzo, Gustavo. 1996. Efecto del Fosfoyeso y Cal Dolomítica sobre un suelo ácido y el cultivo de Café en Río Claro - Edo. Lara. Trabajo de Grado TSU Agropecuaria. UCLA – Torres. Carora.
7. Ramirez, H. y Rodríguez, O. 1996. Efectos del Fosfoyeso sobre el cultivo de la cebolla. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 40:290-293.
8. Ramírez, H.; Pérez, M.; Ferrer, R. and Suárez, N. 1997. Effect of Phosphogypsum on the crusting of seedbed of onion. Acta Horticulturae 433: 533-536.
9. Ramirez Hugo, Mary Torcates, Jose Perez, Josefina Rodriguez and Maria Perez. 1997. Phosphogypsum effects on cantaloupe postharvest quality. Hortscience 32(3):439.
10. Ramirez Hugo, Ivan Morillo, Josefina Rodriguez y Aracelys Pereira. 1998. Efectos del fosfoyeso sobre un suelo y el cultivo de melon. Suelos Ecuatoriales. 28, 37 – 41. Colombia.
11. Alonzo Gustavo, Hugo Ramirez y Desiderio Francisco. 1998. Efectos del fosfoyeso y cal dolomítica sobre un suelo ácido y el cultivo de café. Suelos Ecuatoriales. 28, 42 – 47. Colombia.
12. Ramirez, H.; Rodriguez, O.; and Shainberg, I. 1999. Effect of gypsum on furrow erosion and intake rate. Soil Science 164 (5): 351-357.
13. Moyeja, Juan Carlos. 2005. Uso de fosfoyeso, vinaza y heno en el proceso de compostaje de tres estiércoles. Tesis Ingeniero Agrónomo. UCLA – Agronomía.
14. Molina Aguilera, Giosbelsy del Carmen. 2006. Uso de fosfoyeso y vinaza en el proceso de compostaje de residuos de la industria cárnica. Tesis Ingeniero Agrónomo. UCLA – Agronomía.
15. Ramírez-Guerrero, H., Moyeja-Guerrero, J., González-Casamayor, P., Renaud-Rodríguez, D., Paz-León, R., Lugo-González, J., & Anzalone-Graci, A. 2008. "Aurora Tropical": a model of Ecological Horticulture, Case studies of 11 Onion and Shallot cultivars. Proceedings of the Second Scientific Conference of ISOFAR. Vol. 1: 639–643.
16. Rodríguez Ortega, Carlos. 2009. Uso de enmiendas y fertilizaciones orgánicas en el crecimiento, desarrollo y producción ecológica de cebolla. Tesis Ingeniero Agrónomo. UCLA – Agronomía.
17. PEQUIVEN. 2010. Resumen del simposio sobre fosfoyeso. Realizado en la sede de CAPET, Pequiven. Morón estado Carabobo. 5p.
18. Moyeja Juan C. 2010. Uso de biofertilizantes en el crecimiento de la papa y la fertilidad de un suelo en la zona alta del estado Lara. Tesis M.Sc. Horticultura (Mención Olericultura). UCLA – Posgrados de Agronomía.
19. Ramirez-Guerrero, H.O.; Molina-Aguilera, G.; and Moyeja-Guerrero, J.C. 2012. Using phosphogypsum and vinasse for enrichment of ruminant content composting in the tropics. Acta Horticulturae. 933:293-296.
20. Ramírez-Guerrero, Hugo. 2012. Fertilización orgánica en el crecimiento, producción, fertilidad del suelo y la transición ecológica de papa. Trabajo de Ascenso a Profesor categoría Titular.

21. Ramírez-Guerrero, H. y Meza-Figueroa, C. 2013. Fortalecimiento de la producción de papa y su transición ecológica con el uso de fertilización orgánica. Revista Facultad Agronomía LUZ. Volumen 30: Suplemento Especial N° 1 (versión electrónica).
22. Ramírez-Guerrero Hugo, Francisco Amyr J., Graterol José F., Pérez Luis A., Linares Juan C., Escalona Argelia, Moyeja Juan C. y Meza Carlos. 2014. Manejo sustentable de los recursos suelo y agua en la producción agrícola y hortícola en Duaca estado Lara. Informe Final (Parte I) Proyecto UCLA–Acción Campesina-PepsiCo Alimentos, Venezuela. 22p.
23. Ramírez Guerrero, Hugo. 2014. Enmiendas, acondicionadores y bioestimulantes hortícolas, caso El Fosfoyeso. Revista Producción & Negocio. Año 11. Volumen 60: Artículo en prensa.
24. Graterol José. 2014. Crecimiento, nutrición y producción de maíz y calidad del suelo bajo enmiendas edáficas y fertirrigación convencional mineral. Tesis Ingeniero Agrónomo. UCLA – Agronomía. Pendiente Defensa.
25. Francisco Y. Amyr J. 2014. Crecimiento, nutrición y producción de maíz y calidad del suelo bajo enmiendas edáficas y fertirrigación orgánica-mineral. Tesis Ingeniero Agrónomo. UCLA – Agronomía. Pendiente Defensa.
26. Pérez C. Luis A. 2014. Crecimiento, nutrición y producción de maíz y calidad del suelo bajo enmiendas edáficas y fertirrigación orgánica. Tesis Ingeniero Agrónomo. UCLA – Agronomía. Pendiente Defensa.
27. Morelos Andrea. 2014. Crecimiento, nutrición y producción de soya bajo enmiendas edáficas y fertirrigación convencional mineral. Tesis Ingeniero Agrónomo. UCLA – Agronomía. Pendiente Defensa.

Imágenes pertinentes con el artículo: ENMIENDAS, ACONDICIONADORES Y BIOESTIMULANTES HORTICOLAS. Caso EL FOSFOYESO.



Muestreo de Fosfoyeso en laguna de Tripoliven. Morón estado Carabobo.



Floculación de suelo en aguas de riego y mejoramiento de Infiltración con FY.



Aplicación de Fosfoyeso en semilleros de cebolla. Quibor estado Lara.



Aplicación de Fosfoyeso en la producción de melón. San Francisco, Torres estado Lara.



El uso integrado de Fosfoyeso con diferentes Compost y Fertilizantes minerales.



Enriquecimiento de Compost con Fosfoyeso. El Tunal, Quibor estado Lara.