

# Interacción microorganismos-fuentes fosfóricas edáficas en la acumulación de fósforo foliar en crisantemo (*Dendranthema grandiflorum*) y fríjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.)

Fáber de Jesús Chica Toro\*

## Resumen

*Esta investigación partió de hechos fundamentales: existen fuentes fosfóricas de rápida y lenta solubilización, la planta requiere de fósforo para su normal desarrollo, los suelos fijan el fósforo insolubilizándolo, algunos microorganismos solubilizan el fósforo, existe una simbiosis planta-microorganismos que incide sobre la absorción de fósforo en la planta, y los fertilizantes fosfóricos de rápida disposición son de alto costo. Así, este trabajo evaluó si mediante la adición de microorganismos específicos para la simbiosis requerida es posible establecer un protocolo de fertilización fosfórica, utilizando una fuente de lenta liberación —roca fosfórica— que iguale o mejore la fertilización con una fuente de rápida solubilización como el fosfato diamónico (DAP). Para ello se realizaron cinco tratamientos por especie: roca fosfórica sin microorganismos, roca fosfórica más microorganismos, DAP más microorganismos y DAP sin microorganismos, más un testigo. La interacción de los factores evaluados se midió a través de la acumulación de fósforo foliar en crisantemo y fríjol. Los resultados demostraron que para el crisantemo se puede utilizar cualquiera de los productos fosfóricos evaluados, y que es más económico utilizar como fuente de fósforo la roca fosfórica. Para el fríjol ninguno de los tratamientos propuestos superó al testigo. Para evaluar los datos se realizó un análisis de varianza y una prueba de medias (Duncan 95%).*

**Palabras clave:** fósforo foliar, hongos micorrizoarbusculares (HMA), *Paecilomyces lilacinus*, roca fosfórica, DAP, crisantemo, fríjol.

\* I. A. M. Sc. Docente Facultad Ciencia Agropecuarias, Universidad Católica de Oriente. fchica@uco.edu.co - Tel: 569-90-90 ext. 409.

## Abstract

*This research started from several fundamental facts: phosphorus resources split into slow and fast solubility sources; plants need phosphorus to ensure a normal development; soil fixes phosphorus rendering it insoluble; some micro-organisms make phosphorus soluble; there is a plant-microorganism symbiosis that plays a role on phosphorus absorption by plants; and readily available phosphorus-based fertilizers are costly. Considering that, this work evaluated if through the addition of specific microorganisms helping to the required symbiosis, it is possible to implement a phosphorus fertilization protocol, by using a slow release resource —phosphoric stone— that may equal or improve fertilization using rapidly solubilizing fertilizers, like diammonium phosphate (DAP). To find that out, five protocols were followed, one per each resource: microorganism-free phosphoric stone, phosphoric stone plus micro-organisms, DAP plus micro-organisms and microorganism-free DAP, plus a control sample. Interaction among tested factors was measured by foliar phosphorus accumulation on chrysanthemum and kidney beans. Findings show that any of the tested phosphoric products may be used on chrysanthemum, but phosphoric stone proved to be cheaper. As per kidney beans, none of the treatments proposed surpassed the control sample. A variance analysis and a mean test (Duncan 95%) were followed to assess data.*

**Key words:** *foliar phosphorus, arbuscular micorrhizal fungi (HMA), Paecilomyces lilacinus, phosphoric stone, DAP, chrysanthemum, kidney beans.*

## Introducción

### *Fósforo en la planta*

El P es componente estructural de los ácidos nucleicos cuyas unidades, en el caso del ADN llevan información genética, y en el del ARN la trasladan. En ambos casos, el fosfato forma un puente entre los ribonucleósidos dando lugar a la macromolécula. Además participa en los enlaces diéster requeridos en grandes cantidades para formar los fosfolípidos, componentes de las membranas. La mayoría de los fosfatos ésteres son intermediarios en rutas metabólicas de síntesis y degradación, cuya formación y función están directamente relacionadas con el metabolismo energético de las células. Los fosfatos como el ATP presentan varias rutas de biosíntesis en las cuales liberan energía para procesos como la absorción de iones a través de membranas. La energía liberada por esta molécula durante la glicólisis, respiración o fotosíntesis se utiliza para la formación de enlaces pirofosfatos que al hidrolizarse producen 12 kcal por mol de adenosín trifosfato (ATP). Adicionalmente el ATP es el principal fosfato requerido para la síntesis de almidón, sacarosa

y celulosa. Está almacenado en semillas y, en las primeras etapas del crecimiento de las plántulas, interviene en la fosforilación y la síntesis de proteínas, la expansión celular y la formación de lípidos en la membrana y los ácidos nucleicos (Clavijo, 1994; Azcon-Bieto y Talon, 1993; Salisbury y Ross, 1992).

### *Fósforo edáfico: énfasis en el Oriente Antioqueño*

Hanke (1990) afirma que el P se origina a partir de las rocas ígneas, por su meteorización y posterior sedimentación. También se puede presentar en rocas sedimentarias y metamórficas. Además argumenta que con un 0,08% de abundancia, ocupa el lugar número 11 entre los elementos presentes en la litosfera, y el número 10, con un 0,3%, entre los elementos que componen las rocas ígneas. Ello origina que en el suelo el P se encuentre en cantidades promedio de 0,04%, aclarando que este porcentaje recoge tanto el P disponible como el no asimilable por las plantas. Según el mismo autor, existen dos yacimientos de fosfatos primarios importantes ubicados en Rusia y en Canadá; los demás son de origen sedimentario marino, y se conocen como

fosforitas. Lo expuesto por el autor aclara en gran parte el origen deficitario de este elemento en los suelos dedicados a la agricultura y los altos costos de su manufacturación. Especialmente en suelos del Oriente antioqueño, Jaramillo (1995) caracterizó sus suelos desde el punto de vista químico y de fertilidad, y concluyó que, en términos generales, desde el punto de vista modal, estos suelos se caracterizan por presentar pH ácidos, fertilidad baja a media, siendo sus principales limitantes los bajos contenidos de bases y de fósforo, así como desbalances entre bases. Sin embargo, la característica ácida de la mayoría de nuestros suelos puede resultar ventajosa en la utilización de productos de baja solubilidad, como la roca fosfórica. Así, Robinson *et al.* (1992) y Hammond *et al.* (1986) argumentan que la tasa de disolución de la roca fosfórica en el suelo depende de la concentración de protones (H<sup>+</sup>) alrededor de sus gránulos. Es decir que su disolución puede verse favorecida cuando el pH del suelo, el calcio intercambiable y la concentración de P son bajos. Por esta razón, muchos suelos ácidos del trópico presentan condiciones favorables para la aplicación de la roca fosfórica.

#### **Fósforo y microorganismos: solubilizadores y transportadores**

El ciclo microbiano del fósforo implica su transformación entre los depósitos orgánicos e inorgánicos, así como entre las formas solubles e insolubles. Según Troeh y Thompson citados por Coyne (2000), los microorganismos desempeñan un papel primordial en la solubilización, la movilización y la mineralización de los elementos. Debido a que los requerimientos de la mayoría de los cultivos oscilan alrededor de los 30 kg de P ha<sup>-1</sup> y que la cantidad de este elemento disuelto en forma natural varía entre 0,1 y 1 kg ha<sup>-1</sup>, la presencia de los microorganismos es fundamental en las reacciones de disponibilidad del P para las plantas cultivadas. El mismo autor

argumenta que las bacterias que solubilizan activamente el P representan un 10% de la población microbiana del suelo. Se trata fundamentalmente de organismos de la rizosfera, como bacillus, micrococcus, mycobacterium, pseudomonas y algunos hongos, los cuales tienen tres mecanismos básicos para solubilizar el P y hacerlo más disponible, a saber: la quelación, la reducción y la acidificación. Todos estos procesos desestabilizan los minerales en los que se encuentra el P. Esta afirmación coincide con lo expuesto por Brady y Weil, (2000), quienes argumentan que en el ciclo del fósforo existen microorganismos, principalmente hongos y bacterias, capaces de solubilizar compuestos insolubles en P con Fe (estrenuita), con Al (variscita) o con Ca (fosfato tricálcico o fosfato ortocálcico): acidifican el medio liberando a él protones o ácidos orgánicos, como cítrico, oxálico o succínico. Peña y otros (2007) encontraron que las especies de hongos *Penicillium*, *Aspergillus*, *Scytalidium* y *Paecilomyces* presentan una alta actividad solubilizadora del fósforo. Las estructuras de raíces de plantas cultivadas en invernadero difieren de las encontradas en medios silvestres en que éstas presentan infecciones en raíces jóvenes que forman micorrizas, en un 97% de las evaluaciones con este fenómeno.

Una micorriza (raíz micótica) es una asociación simbiótica y mutualista entre un hongo patógeno o no y células vivas de la raíz, sobre todo en células corticales y epidérmicas. Los hongos reciben nutrientes orgánicos de la planta a la vez que mejoran la absorción de agua y minerales; en general, el mayor beneficio consiste en que las micorrizas aumentan la zona de exploración de la raíz, mediante la producción de hifas de los hongos que infectan la planta. Existen dos grandes grupos de micorrizas: ectomicorrizas y endomicorrizas. En las primeras, las hifas micóticas forman un manto dentro y fuera de la raíz, entre los meatos de la epidermis y la corteza, sin penetrar la célula. Las endomicorrizas parecen penetrar el citosol mediante una invaginación.

Esta característica hace que se denominen micorrizas vesiculares arbusculares. Están presentes en su mayor parte en los tejidos corticales (Salisbury y Ross, 1992).

De forma natural o silvestre, casi el 97% de las plantas presentan asociación micótica. Sin embargo, existen mayores y menores afinidades a dicha infección (Bolan, 1991). En investigaciones realizadas por Escobar (s. p.), se observa la escasez de trabajos con micorrizas en zonas agroecológicas de bosque montano y montano bajo, y el autor señala que se requieren más trabajos tendientes a esclarecer, entre, otras las relaciones simbióticas de este tipo y para esta zona.

#### **Fósforo: fuentes comerciales y costos**

Para suplir las altas demandas de este nutriente se utilizan fertilizantes de costos cada vez más altos. La aplicación directa de roca fosfórica al suelo representa una alternativa que ha tomado auge por su menor costo frente a otras fuentes (Adediran *et al.*, 1998; Fernández y Ramírez, 2001). La baja solubilidad de la roca fosfórica ha colocado este producto en situación desventajosa frente a los productos de rápida disolución. In-

vestigaciones realizadas por Pérez y otros (1995), demostraron que esta circunstancia tiene efectos negativos sobre especies de ciclo corto. Sin embargo otros autores (Kadi *et al.*, 1991; Sequera y Ramírez, 2003) aplicaron rocas fosfóricas modificadas en cultivos de maíz y frijol y obtuvieron óptimos resultados. Trabajos similares realizados por Vera y otros (1988), utilizando el maíz como cultivo indicador, evidenciaron que la roca fosfórica modificada (acidulada) produjo una efectividad agronómica, en términos de producción, igual a la obtenida con una fuente denominada de rápida disponibilidad (SPT).

Uno de los aspectos críticos que afronta el sector agropecuario es el incremento en los fertilizantes fosfóricos manufacturados de rápida disponibilidad, como el súper fosfato triple (SPT), el fosfato diamónico (DAP) y el fosfato monoamónico (MAP), entre otros. Según cifras reportadas por la Asociación Nacional de Industriales —ANDI— (Agronet, 2004), estos productos han incrementado su valor hasta en un 150% en los últimos años. En la tabla 1 se presentan datos de variación en los precios del fosfato diamónico (DAP) para algunas ciudades del país.

**Tabla 1.** Variación de precios por kg de DAP (2004-2008), en varias ciudades del país

Ciudad	Mes-año	Variación precios por kg*	
			Incremento %
Medellín	Dic-2007	1.626	64
	Jun-2008	2.670	
Barranquilla	Nov-2006	889	150
	May-2008	2.230	
Cartagena	Abr-2007	1.060	81
	Jun-2008	1.920	
Chiquinquirá	Ene-2006	990	82
	Feb-2008	1807	
Tunja	Nov-2004	980	46
	Jun-2008	1.440	
Manizales	Ene-2004	832	119
	Abr-2008	1.828	
Aguazul-Casanare	Jun-2007	1.260	92
	Jun-2008	2.420	
Popayán	May-2007	1.293	98
	Jun-2008	2.567	

\* Valor en miles de pesos.

Fuente: adaptado de Agronet (2004).

La crisis económica que hoy afronta el sector agropecuario radica, entre otros aspectos, en el alto costo de los agroinsumos, específicamente los fertilizantes. Entre éstos se encuentran las fuentes de fósforo de media y rápida disolución. Sin embargo, los productos manufacturados industrialmente, como los fertilizantes fosfóricos de rápida liberación —SPT, DAP y MAP,— han alcanzado incrementos hasta de 150% en los últimos dos años, según datos reportados por Agronet (2004). De acuerdo con el diario *La Patria* (2008), el incremento en el valor de los agroquímicos para la agricultura se debe a una circunstancia de oferta y demanda mundial. Agronet (2004) ilustra que dicho incremento en precios está condicionado por las alzas en el precio del petróleo y el agotamiento de las fuentes mundiales de fósforo y potasio, principalmente. Existen algunas investigaciones tendientes a dilucidar la simbiosis microorganismos-planta y su efecto en la absorción de nutrientes y por ende en su producción, además de otras que comparan fuentes de P, pero pocos trabajos han evaluado la relación suelo-microorganismos-planta frente a diferentes fuentes de adición fosfórica en diferentes suelos. En un sistema agropecuario tendiente cada vez más a implementar técnicas amigables con el medio ambiente, es prioritario investigar para dilucidar prácticas biológicas más económicas que las químicas utilizadas actualmente, pero que además reporten resultados respaldados en evaluaciones estadísticas. Esta investigación partió de varios hechos fundamentales: existen fuentes fosfóricas de rápida y lenta solubilización (Vera y otros en 1988); la planta requiere del fósforo para su normal desarrollo (Salisbury y Ross, 1992); los suelos, especialmente los andisoles del Oriente antioqueño, fijan el fósforo insolubilizándolo (Jaramillo, 1995); algunos microorganismos solubilizan el fósforo (Troeh y Thompson, 1993, citados por Coyne, 2000); existe una

simbiosis planta-microorganismos que incide en la absorción de fósforo en la planta (Peña y otros, 2007) y los fertilizantes fosfóricos de rápida disposición son de alto costo (Agronet, 2009). Así, este trabajo evaluó si mediante la adición de microorganismos específicos que realicen la simbiosis requerida es posible establecer un protocolo de fertilización fosfórica, utilizando una fuente de lenta liberación —roca fosfórica— que iguale o mejore la fertilización con una fuente de rápida solubilización como el fosfato diamónico (DAP). Para ello se realizaron cinco tratamientos por especie: roca fosfórica sin microorganismos, roca fosfórica más microorganismos, DAP más microorganismos y DAP sin microorganismos, más un testigo absoluto: la interacción se midió a través de la acumulación de fósforo foliar en crisantemo y fríjol. Los datos se evaluaron mediante un análisis de varianza y una prueba de medias (Duncan 95%), bajo el programa Statgraphics 5.0.

### Metodología

Para la investigación se utilizaron las especies fríjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.), obtenido mediante siembra directa de semilla, y esquejes de crisantemo (*Dendranthema grandiflorum*), variedad White Reagan. El trabajo se desarrolló con pruebas bajo invernadero en el municipio de La Ceja del Tambo, oriente del departamento de Antioquia, a 41 km de la ciudad de Medellín. Localizado a 6° 1' 54" latitud norte y 75° 25' 47" latitud oeste, con una altura promedio de 2.200 msnm. El municipio presenta una temperatura ambiente promedio anual de 18° C, precipitaciones anuales de alrededor de 2.300 mm; y una extensión de 131 km<sup>2</sup>, de los cuales 99 se sitúan en el piso térmico frío y en la zona de vida bosque húmedo premontano (bh-PM) (Holdrige, 2000). Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la acumulación de fósforo en la planta se utilizó un diseño completamente al azar, con

cuatro tratamientos (tabla 2), más un testigo. Cada tratamiento fue repetido cuatro veces, para un total de 40 unidades experimentales (20 por especie). Para garantizar la independencia de los tratamientos y evitar pérdidas de unidades experimentales, cada unidad experimental constó de

cuatro plantas, sembradas cada una en una bolsa con cinco kilogramos de sustrato compuesto por tres kilogramos de suelo del horizonte A, proveniente de un suelo tipo de la región (andisol), y dos kilogramos de arena (figura 1).

**Tabla 2.** Estructura de los tratamientos

Tratamiento	Nomenclatura	Productos utilizados
1	T1	Fosfato diamónico (DAP) + KNO <sub>3</sub>
2	T2	DAP + micorrizas + <i>Paecilomyces</i> + KNO <sub>3</sub>
3	T3	Roca fosfórica (R F) + KNO <sub>3</sub> + urea
4	T4	R.F. + micorrizas + <i>Paecilomyces</i> + KNO <sub>3</sub>
5	T5	KNO <sub>3</sub> + urea (testigo)



**Figura 1.** Unidad experimental compuesta por cuatro plantas

Las dosis de fósforo por planta de los dos productos fosfóricos evaluados fueron equivalentes. Así mismo, los microorganismos, el nitrógeno y el potasio se igualaron para los tratamientos comparados (tabla 3). Las cantidades se calcularon teniendo en cuenta densidades de siembra de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>, para el frijol de zona fría

(Ríos y Quirós, 2002) y de 640.000 plantas ha<sup>-1</sup> (3.200 plantas por cama de 36 m<sup>2</sup> y 200 camas ha<sup>-1</sup>), para el crisantemo. En la tabla 4 se reportan las cantidades de productos estimados por hectárea a partir de las dosis evaluadas por planta para cada especie.

**Tabla 3.** Dosis de productos por planta

g planta <sup>-1</sup>					
DAP	Urea	Roca fosfórica	Nitrato de potasio	<i>Paecilomyces lilacinus</i> (1 x 10 <sup>8</sup> esporas/gramo)	<i>Glomus sp.</i> ; <i>Entrophospora sp.</i> ; <i>Scutellospora sp</i> y <i>Acaullospora sp.</i> (230 esporas /gramo)
1,24	0,48	2,6	0,92	0,015	0,62

**Tabla 4.** Kilogramos de productos por hectárea para cada especie

Kg ha <sup>-1</sup>						
Especie	DAP	Urea	Roca fosfórica	Nitrato de potasio	<i>Paecilomyces lilacinus</i> (1 x 10 <sup>8</sup> esporas/ gramo)	<i>Glomus sp.</i> ; <i>Entrophospora sp.</i> ; <i>Scutellospora sp</i> y <i>Acaullospora sp.</i> (230 esporas/ gramo)
Crisantemo	794	307	1.664	589	10	397
Frijol	62	24	130	46	0,8	31

Las plantas fueron cosechadas 65 días después de la siembra. Para formar una muestra se cosecharon las 4 plantas de cada unidad experimental; luego se las envió al laboratorio para el análisis foliar (método molibdato-vanadato de amonio).

## Resultados y discusión

Para dar cumplimiento al objetivo relacionado con la comparación de los tratamientos de adición de productos fosforados y su interacción con microorganismos solubilizadores y transportadores, para observar la acumulación del elemento en la planta, se sometieron los datos obtenidos (tabla 5) a un análisis de varianza y una prueba de medias (Duncan 95%).

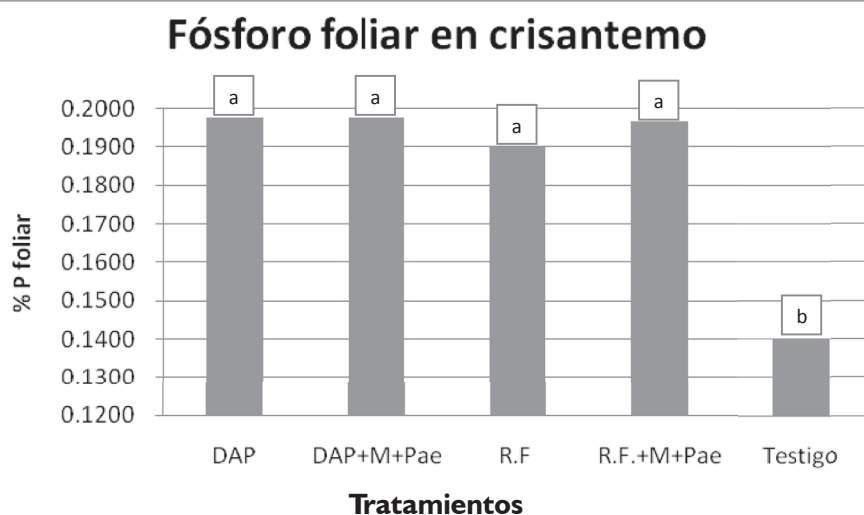
**Tabla 5.** Resultado del análisis foliar

Muestra (Repetición)	% P Foliar	
	Crisantemo	Frijol
T1(1)	0,21	0,21
T1(2)	0,21	0,11
T1(3)	0,2	0,19
T1(4)	0,17	0,21
Promedio	<b>0,198</b>	<b>0,18</b>
T2(1)	0,19	0,25
T2(2)	0,19	0,14
T2(3)	0,2	0,21
T2(4)	0,21	0,15
Promedio	<b>0,198</b>	<b>0,188</b>
T3(1)	0,19	0,3
T3(2)	0,2	0,19
T3(3)	0,19	0,28
T3(4)	0,21	0,15
Promedio	<b>0,1975</b>	<b>0,23</b>
T4(1)	0,19	0,29
T4(2)	0,2	0,15
T4(3)	0,19	0,17
T4(4)	0,2	0,2
Promedio	<b>0,196</b>	<b>0,202</b>
T5(1)	0,15	0,16
T5(2)	0,15	0,13
T5(3)	0,13	0,17
T5(4)	0,13	0,18
Promedio	<b>0,14</b>	<b>0,16</b>

Para el crisantemo el análisis de varianza evidenció diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos que utilizaron productos fosforados, frente al testigo absoluto ( $P=0,0004$ ). Sin embargo, no se presentó diferencia significativa entre sí para los tratamientos que utilizaron productos

fosforados ( $P=0,275$ ). Ello significa que el crisantemo responde a la fertilización fosfórica y que la planta acumuló fósforo independientemente del producto utilizado. La prueba múltiple de rangos (Duncan 95%) arrojó dos grupos de tratamientos presentados en la figura 2.





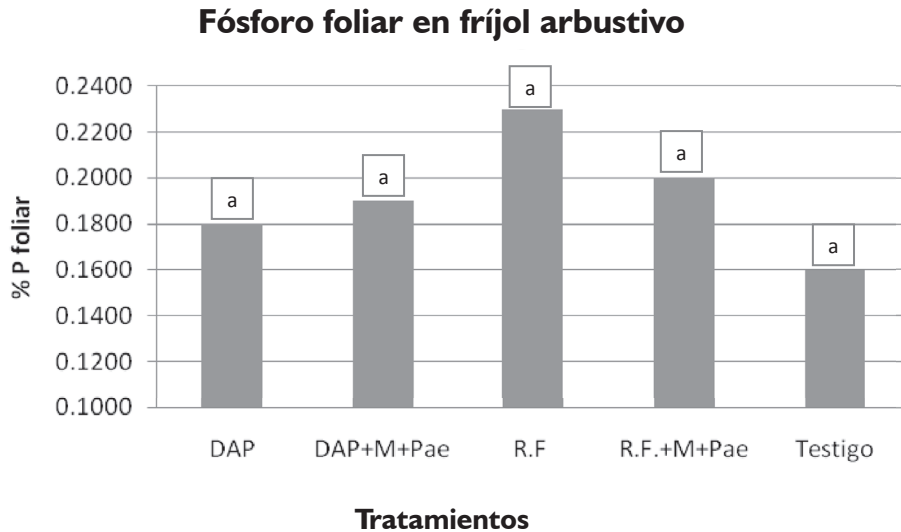
**Figura 2.** Acumulación de fósforo foliar en crisantemo (*Dendranthema grandiflorum*) bajo diferentes protocolos de fertilización fosfórica. Tratamientos con diferente letra difieren significativamente ( $P < 0,05$ ).

Dentro del análisis para los tratamientos que utilizaron productos de lenta solubilidad (RF) en el crisantemo, así no se haya presentado diferencia estadísticamente significativa, el protocolo que utilizó sólo la roca fosfórica arrojó menor acumulación de fósforo foliar (0,1966%), frente al protocolo de R.F. más microorganismos (0,1975%). Ello indica que los microorganismos adicionados contribuyen a la solubilización del fósforo en el suelo y repercuten en una posterior acumulación en la planta, dado que el fósforo de la roca es de baja solubilidad; pero cuando se le adicionan microorganismos se alcanzan resultados similares a los que se obtienen utilizando productos de mayor solubilidad, como el DAP (0,1975%). Este resultado coincide con los planteamientos realizados por varios autores (Bolan, 1991; Salisbury y Ross, 1992; Troeh y Thompson citados por Coyne, 2000; Brady y Weil, 2000; Peña y otros, 2007), quienes defienden la función solubilizadora y transportadora de los microorganismos en el suelo.

Como no se presentó diferencia significativa entre los tratamientos, pero sí entre los tratamientos y el testigo absoluto (crisantemo), es posible argumentar, bajo estos resultados, que el uso de la roca fosfórica como fuente de fósforo resulta más económico que el fosfato diamónico. A la fecha (23 de agosto de 2010) 50 kg de roca fosfórica tienen un costo de \$15.900 (\$8,59 US), y 50 kg de fosfato diamónico valen \$69.000 (\$37,29 US a una tasa de cambio de \$1.850 —Banrep, 2010—). Esta alternativa permitiría obtener una disminución en los costos hasta de 76%, por concepto de la fertilización fosfórica.

Para el frijol (*Phaseolus vulgaris*), el análisis de varianza no mostró diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos ( $P=0,4609$ ). Ello significa que la planta acumuló fósforo independientemente del tratamiento utilizado. La prueba de rangos múltiples (Duncan 95%) arrojó un grupo de tratamientos (figura 3).

**Figura 3.** Acumulación de fósforo foliar en frijol arbustivo (*Phaseolus vulgaris*) bajo diferentes protocolos de fertilización fosfórica.



Tratamientos con igual letra no difieren significativamente ( $P < 0,05$ ).

## Conclusiones

No obstante el crisantemo respondió positivamente a la simbiosis con los productos evaluados, no es contundente el hecho de que la adición de los microorganismos evaluados mejore la acumulación de fósforo en la planta, en tanto para el frijol no se encontró respuesta similar. La utilización de fertilizantes fosfóricos de media a rápida disolución, como el DAP, no mejoran su disponibilidad con la adición de los microorganismos estudiados bajo las condiciones experimentales desarrolladas en este trabajo. El protocolo propuesto con roca fosfórica y microorganismos resulta una opción económica para los planes de fertilización fosfórica en la variedad de crisantemo utilizada; resulta más eficiente cuando se adicionan microorganismos solubilizadores y transportadores de fósforo. Este resultado, sin embargo, no se replicó en el protocolo propuesto con roca fosfórica y mi-

croorganismos en la variedad de frijol utilizada. Lo anterior permite concluir que no todas las plantas responden mejorando la absorción de fósforo a través de la simbiosis con los microorganismos evaluados.

## Reconocimientos

Esta investigación se desarrolló con la participación de la Dirección de Investigación de la Universidad Católica de Oriente y la empresa Natural Control. Durante el trabajo de campo se contó con la colaboración de Lina Marcela Morales Herrera, Mónica Alejandra Vásquez Ceballos, Marcela Sánchez Bedoya y Miguel Rafael Bula Elejalde, integrantes del semillero de investigación Fitosoil, estudiantes del pregrado de Agronomía ofrecido por la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Católica de Oriente.

## Referencias bibliográficas

- Adediran, J. A.; Oguntoyinbo, F. I.; Omode R. y Sobul, R. A. (1998). Evaluation of phosphorus availability from three phosphorus sources in Nigerian soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 29(17-18), 2659-2673.
- Agronet (2004). Disponible en: [http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/excepciones/cargaNet/netcarga85.aspx?cod=85&fechaF\\_year=2008&reporte=Precios%20minoristas%20mensuales%20de%20los%20insumos%20por%20producto&unidad=2&file=200641910102\\_ReportInsumosProd.rpt&fechaF\\_month=6&codigo=85&excepcion=1&fechaI\\_day=1&fechaI\\_month=1&producto=10036&fechaI\\_year=2004&fechaF\\_day=1](http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/excepciones/cargaNet/netcarga85.aspx?cod=85&fechaF_year=2008&reporte=Precios%20minoristas%20mensuales%20de%20los%20insumos%20por%20producto&unidad=2&file=200641910102_ReportInsumosProd.rpt&fechaF_month=6&codigo=85&excepcion=1&fechaI_day=1&fechaI_month=1&producto=10036&fechaI_year=2004&fechaF_day=1), [Fecha de consulta: 9 de septiembre, 2008].
- Azcon-Bieto y Talon M. (1993). *Fisiología y bioquímica vegetal*. Madrid: Interamericana, McGraw-Hill.
- Banco de la República (2010). Indicadores económicos. Disponible en: <http://www.banrep.gov.co> [Fecha de consulta: 29 de junio de 2010].
- Bolan, N. S. (1991). A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, 134, 189-293.
- Brady, N.C. y Weil R.R. (2000). *Elements of the nature and properties of soils*. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Clavijo Porras, Jairo (1994). Principios básicos sobre la nutrición vegetal y fertilidad de suelos. En: Francisco Silva Mojica (ed.). *Fertilidad de suelos, diagnóstico y control*. Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 13-28.
- Coyne, Mark (2000). *Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio*. Madrid: Editorial Paraninfo.
- Fernández, S. y Ramírez R. (2001). Efecto del sistema radical de siete líneas de maíz en los cambios de pH de la rizosfera y su influencia en la disponibilidad del fósforo. *Bioagro*, 13(1), 3-9.
- Hammond, L. L.; Chien S. H. y Mokwunye A. U. (1986). Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. *Adv. Agron*, 40, 89-140.
- Hanke, Franz (1990). Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. En: Francisco Silva Mojica (ed.). *Memorias seminario-taller*. 2.ª ed. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 186-196.
- Holdrige, Leslie R. (2000). *Ecología basada en zonas de vida*. 5.ª reimpression. San José de Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-IICA.
- Jaramillo Jaramillo, Daniel F. (1995). *Andisoles del Oriente antioqueño, caracterización química y fertilidad*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Kadi, N.; Sánchez, M.; Hurtado J. y González R. (1991). Evaluación agronómica de la roca fosfórica parcialmente acidulada en suelos ácidos. *Rev. Fac. Agron.*, 17, 449-459, Maracay.
- La Patria*, Disponible en: [http://www.lapatria.com/Noticias/ver\\_noticia.aspx?CODNOT=33266&CODSEC=18](http://www.lapatria.com/Noticias/ver_noticia.aspx?CODNOT=33266&CODSEC=18) [Fecha de consulta el 9 de septiembre de 2008].
- Peña-Venegasi, Clara P.; Cardona, Gladys I.; Argüelles, Jorge H. y Arcos, Adriana L. (2007). Micorrizas arbusculares del sur de la Amazonia colombiana y su relación con algunos factores físico-químicos y biológicos del suelo. *Acta Amaz.*, 37 (3), Manaos.
- Pérez, M. J.; Trung B. y Fardeave J. C. (1995). Solubilidad y eficiencia agronómica de algunas rocas fosfóricas venezolanas (naturales y modificadas) mediante el uso de técnicas isotópicas. *Agronomía Tropical*, 45(4), 483-505.
- Ríos Betancour, M. J. y Quirós Dávila, J. E. (2002). *El frijol (Phaseolus vulgaris L.): cultivo, beneficio y variedades*. Medellín, Colombia: Federación Nacional de Cultivadores de Cereales-Fenalce.

Robinson, J. S., Syers J. K. and Bolan N. S. (1992). Importance of proton supply and calcium-sink size in the dissolution of phosphate rock materials of different reactivity in soil. *J. Soil Sci.*, 43, 447-459.

Salisbury, F. B. y Ross, C. W. (1992). *Fisiología vegetal*. México D.F.: Grupo Editorial Iberoamericana.

Sequera, O. y Ramírez. R. (2003). Fósforo, calcio y azufre disponibles de la roca fosfórica acidulada con ácido sulfúrico y tiosulfato de amonio. *Interciencia*, 28(29.10), 604-610.

Vera, J.; Casanova E. y Sánchez C. (1988). Evaluación de la efectividad agronómica de la roca fosfórica modificada (Lobatera y Riecito). *Rev. Fac. Agron. Maracay*, 17, 127-130.