



## APLICACIÓN DE CINCO EQUILIBRIOS DE FÓSFORO SOBRE PLANTAS DE MAIZ EN CINCO SUELOS DEL BRASIL

Diana Urrea Ramírez<sup>1</sup>✉; Nathália Faria Da Silva<sup>2</sup>; Gabriel Dias Ferreira<sup>3</sup>; Eliane Cristina Sampaio de Freitas<sup>4</sup>  
Welldy Gonçalves Teixeira.<sup>5</sup> & Víctor Hugo Álvarez V.<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Funza,  
Cundinamarca,  
Colombia ✉  
dpurrear@gmail  
com;

<sup>2-6</sup>Universidade  
Federal de Viçosa

**Palabras Claves**  
Fosfato natural,  
fijación, fosfato  
reactivo, Bayóvar

### RESUMEN

*El fósforo es un nutriente esencial para el desarrollo de las plantas, entre tanto, en los suelos tropicales se presenta baja disponibilidad debido a los procesos de fijación y adsorción, necesitando suplemento externo para sustentar la producción. Debido a esto, los fertilizantes como Bayovar, de liberación lenta, pueden presentar una ventaja para contrarrestar la fijación de este nutriente en el suelo. Con el objetivo de encontrar la dosis de equilibrio para la combinación de dos fuentes de fósforo, se evaluó el efecto de 5 equilibrios porcentuales (1= 100 % Superfosfato Triple (ST) + 0 % de Bayóvar (BY); 2= 75 % de ST + 25 % de BY; 3= 50 % ST + 50 % BY; 4= 25 % ST + 75 % BY e 5= 100 % BY + 0 % ST), aplicado a plantas de maíz sembradas en vasos que contenían 1 dm<sup>3</sup> de suelo proveniente de 5 sitios diferentes, por tanto con características heterogéneas (Suelo 1- Funarbe, Suelo 2- Sete Lagoas, Suelo 3 – Cachoeira Dourada, Suelo 4- Três Marias y Suelo 5- Capinópolis). Los datos mostraron que la textura del suelo influyó el crecimiento de las plantas en todas las dosis evaluadas, entretanto, el uso de bayóvar no fue eficaz en este experimento, debido probablemente al tiempo de conducción del mismo, pues esta fuente tiende a favorecer a la planta en el largo plazo, así, el súper fosfato triple en mayor dosis fue el tratamiento que presentó el mejor comportamiento en todos los suelos evaluados.*

## APPLICATION OF FIVE BALANCES OF PHOSPHORUS OVER CORN PLANTS IN FIVE SOILS FROM BRASIL

### KEY WORDS:

Natural  
phosphate,  
fixation, reactive  
phosphorus,  
Bayóvar.

**SUELOS  
ECUATORIALES**  
48 (1 y 2): 1-8

ISSN 0562-5351

### ABSTRACT

*The phosphorus is one essential nutrient for the plant's development, meanwhile, in the tropical soils we present a low availability indeed to the process of fixation and adsorption, needing an external supplement to sustain the production. Because of this, the fertilizers like Bayovar, of slowly release, could present an advantage to counteract the nutrient fixation in the soil. With the objective to found the equilibrium dose for the combination of two sources of phosphorus, we evaluate the effect of 5 percentage balance (1= 100 % Triple superphosphate (ST) + 0 % de Bayóvar (BY); 2= 75 % de ST + 25 % de BY; 3= 50 % ST + 50 % BY; 4= 25 % ST + 75 % BY e 5= 100 % BY + 0 % ST), applying to corn plants sown in cups that contained 1 dm<sup>3</sup> of soil from 5 different places, therefore with heterogeneous characteristics (Soil 1- Funarbe, soil 2- Sete Lagoas, soil 3 – Cachoeira Dourada, Soil 4- Três Marias and Soil 5- Capinópolis). The dates showed that soil texture influenced the plants growth in all evaluated doses, meanwhile, the use of Bayóvar, was not effective in the experiment, indeed probably to the time of conduction, well, this source tends to favor the plant in the long place, thus, the triple superphosphate in the high dose was the treatment with the best behavior in all evaluated soils.*

Rec.: 11.04.2018  
Acep.: 07.06.2018

## INTRODUCCIÓN

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, entre tanto, en los suelos tropicales se presenta baja disponibilidad debido a los procesos de fijación y adsorción, necesitando suplemento externo para sustentar la producción (Novais & Smyth, 1999). Debido a esto, los fertilizantes como Bayovar, de liberación lenta, pueden presentar una ventaja para contrarrestar la fijación de este nutriente en el suelo.

Diversos factores influyen la adsorción del P al suelo, como el contenido de arcilla, tiempo de contacto, contenido de materia orgánica, otros nutrientes que compiten por los sitios de adsorción y el pH del suelo, la capacidad de adsorción de P en suelos arcillosos es mayor que en los suelos arenosos, y con mayor tiempo de incubación, el P se vuelve menos disponible (Gava *et al.*, 1997). La aplicación localizada de fuentes solubles de P proporciona el mayor crecimiento de la planta, debido al menor contacto con el suelo, y consecuentemente menor adsorción y mayor disponibilidad para las plantas (Lani *et al.*, 1995). Con la aplicación de fertilizantes de liberación más lenta se presenta la ventaja de menor fijación de P antes que la planta desarrolle el sistema radicular (Araújo *et al.*, 2003).

El fósforo disponible en el suelo es evaluado por el uso de extractores químicos (Fixen y Grove, 1990), siendo el Mehlich-1, Bray y Olsen los más utilizados en el mundo (Corrales, 2013). En Brasil, los extractores más utilizados son el Mehlich-1 ( $\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ ) y la resina de intercambio iónico, siendo el primero sensible al

factor capacidad de fósforo FCP (Gjorup *et al.*, 1993; Silva & Raij, 1996; Novais & Smyth, 1999; Oliveira *et al.*, 2000), que está referido al poder tampón del suelo.

Brasil *et al.* (2012), evaluaron la eficiencia de cinco fuentes (fosfatos reactivos (Arad, Itafós, Bayovar, termofosfato de aluminio y superfosfato triple), en función de las dosis de P y saturación de bases en el cultivo de maíz, obteniendo que el Índice de Eficiencia Agronómica (IEA), porcentual entre la producción de materia seca de la aérea, propiciada por los fosfatos reactivos y por el superfosfato triple, obtuvieron mejor resultado con el Bayovar en comparación con las fuentes probadas, para los dos niveles de saturación de bases (15 y 60 %). Kilemann & Lima (2001), probaron fosfatos naturales en dos suelos, de textura media y textura arcillosa, con soya como planta indicadora, obteniendo el mejor IEA con el hiperfosfato de gafsa.

De esta manera el uso de fosfatos todavía suscita dudas en cuanto al mejor manejo, hay consenso en la literatura de que los fosfatos naturales poseen menor eficiencia agronómica inicial en relación a los fosfatos de mayor solubilidad (Horowitz & Meuer, 2003). En este sentido es importante el conocimiento de los fosfatos naturales como fuente de fósforo.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de 5 combinaciones de fosfato natural y superfosfato simple sobre el crecimiento de maíz en 5 suelos del Brasil con diferencias texturales, para ajustar ecuaciones que permitan obtener la combinación óptima de estas dos fuentes en cada tipo de suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

1. **Suelos:** muestras de 5 suelos según se muestra en la tabla 1. Se utilizaron muestras colectadas en la región de Viçosa (suelo1), Sete Lagoas (suelo 2), Cachoeira Dourada (suelo 3), Três Marias (suelo 4) y Capinópolis (suelo 5). el grupo 1 (suelos 1, 2 y 3) de textura muy arcillosa y el grupo 2 (suelos 4 y 5) de textura Franco arenosa y franco arcillo arenosa, respectivamente.
2. **Tratamientos:** Los tratamientos fueron dispuestos en arreglo factorial 5x2x5, así: 5 muestras de suelo

en la profundidad 0-20 cm; 2 fuentes de fósforo (Superfosfato triple y Bayóvar), 5 equilibrios de fuentes de P (**1**= 100 % Superfosfato Triple (ST) + 0 % de Bayóvar (BY); **2**= 75 % de ST + 25 % de BY; **3**= 50 % ST + 50 % BY; **4**= 25 % ST + 75 % BY y **5**= 100 % BY + 0 % ST), para un total de 50 tratamientos (tabla 1)

3. **Unidades experimentales:** Las unidades experimentales fueron constituidas de vasos plásticos con 1 dm<sup>3</sup> de suelo, donde fueron

cultivadas 3 plantas por vaso. La especie utilizada para la realización del ensayo fue maíz (*Zea mays*).

4. *Diseño experimental*: El diseño experimental utilizado fue bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones.
5. *Conducción del ensayo*: se realizó en la casa de mallas del departamento de suelos de la

Universidade Federal de Viçosa. La caracterización química de las muestras fue realizada previamente por los laboratorios de rutina de la UFV, utilizándose una muestra de 0.2 dm<sup>3</sup>, de cada suelo en estudio, tamizados en malla de 4mm. Los resultados se encuentran en la tabla 2.

**Tabla 1.** Descripción de los tratamientos utilizados para el ensayo

Equilibrios		Dosis aplicadas			
ST	BY	Baja		Alta	
		ST	BY	ST	BY
%		mg/dm <sup>3</sup>			
<b>Suelos del Grupo 1: 1, 2 y 3*</b>					
0	100	0	160	0	400
25	75	40	120	100	300
50	50	80	80	200	200
75	25	120	40	300	100
100	0	160	0	400	0
<b>Suelos del Grupo 2: 4 y 5**</b>					
0	100	0	120	0	300
25	75	30	90	75	225
50	}	60	60	150	150
	50				
75	25	90	30	225	75
100	0	120	0	300	0

\*Suelos del grupo 1 colectados en: Funarbe (Suelo 1), Sete Lagoas (Suelo 2), Cachoeira Dourada (Suelo 3).

\*\* Suelos del grupo 2 colectados en: Três Marias (Suelo 4) e Capinópolis (Suelo 5)

**Tabla 2.** Resultados de los análisis químicos de los suelos utilizados

Solos	pH	P	K	Na	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	H+ Al	SB	t	T	V	m	ISNa	MO	P-rem	S
	H <sub>2</sub> O	mg/ dm <sup>3</sup>			cmolc/dm <sup>3</sup>			cmolc/dm <sup>3</sup>			%			dag/kg	mg/L	mg/dm <sup>3</sup>	
1	4,37	0,8	9	1,1	0,02	0,05	1,4	8,4	0,09	1,49	8,49	1,1	94	0,32	3,93	10,3	34,8
2	5,05	4,1	31	1,1	2,34	0,17	0,9	9,6	2,59	3,49	12,19	21,2	25,8	0,14	6,21	16,2	19,2
3	5,64	2	9	2,1	1,34	0,59	0,1	4,9	1,96	2,06	6,89	28,6	4,9	0,44	2,66	11,3	21,3
4	4,36	0,3	21	3,1	0,16	0,11	0,4	3	0,33	0,73	3,33	9,9	54,8	1,85	1,14	30,6	13
5	5,62	11,6	97	3,1	1,34	0,77	0,2	5,9	2,37	2,57	8,27	28,7	7,8	0,52	3,3	31,8	9,9

pH en agua, Relación 1:2,5

P-Na-K- Extractor Mehlich 1

Ca-Mg-Al- Extravtor KCl- 1,0 mol/L

H+Al- Extractor Acetato de Calcio 0,5 mol/L- pH 7,0

S-Extractor- Fosfato monocálcio en ácido acético

SB= Suma de Bases Intercambiables

CTC- Capacidade de Intercambio Catiónico a pH 7,0

V= índice de saturación de bases

M= índice de saturación de Aluminio

ISNa- Índice de Saturación de Aluminio

Mat.Org. (MO)- C.Org x 1,724- Walkey-Black

P-rem: Fósforo Remanescente

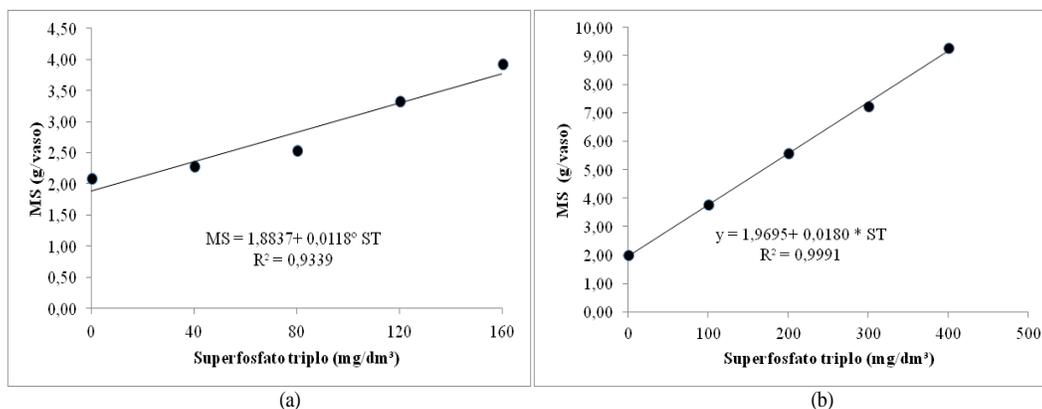
**Tabla 3.** Resultados de los análisis físicos de los suelos utilizados

Suelo	Arena grues	Arena Fina	Limc	Arcilla	Clase	Equivalente de Humeda
	%				Textural	kg/kg
1	14	8	7	71	Muy arcillosa	0,317
2	8	3	11	78	Muy arcillosa	0,322
3	9	4	19	68	Muy arcillosa	0,269
4	23	59	2	16	Franco- Arenosa	0,082
5	35	31	7	27	Franco- Arcillo- Arenosa	0,128

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se encuentran expresados en producción de materia seca, de los diferentes tratamientos aplicados, cabe resaltar que las figuras y comparativos son presentados en función del incremento de ST, en los equilibrios aplicados a los diferentes suelos.

Así, tanto mayor sea la dosis de ST, menor va a ser la proporción de Bayóvar utilizada para completar la dosis propuesta.

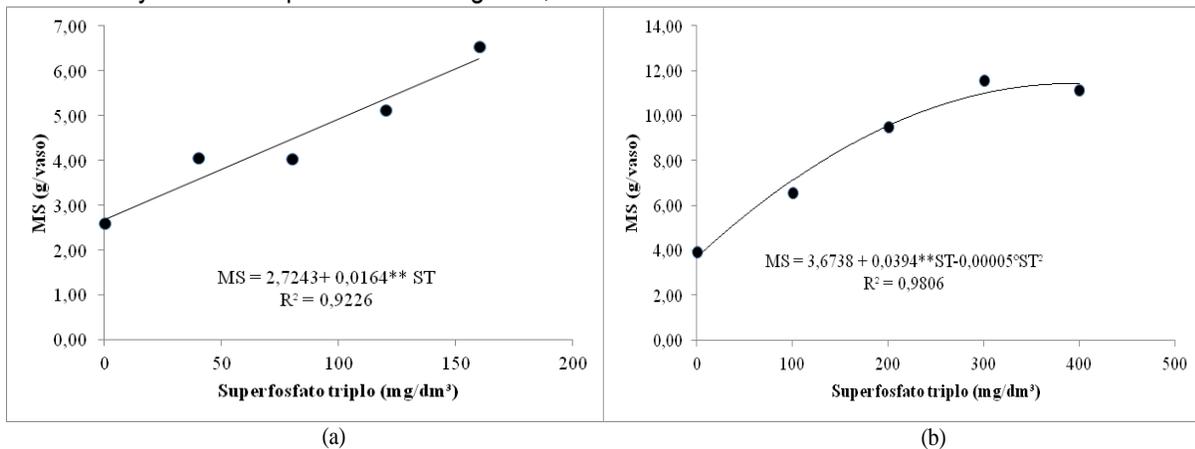


**Figura 1.** Materia seca en g/vaso de plantas de maíz, obtenida con diferentes equilibrios entre ST (fosfato súper triple) y Bayóvar en las dosis baja (a) y alta (b) para el suelo 1.

Para el suelo 1, en ambas dosis, el crecimiento, respondió de forma lineal al aumento de la proporción de ST (figura 1), la masa de materia seca obtenida con el 100 % de la fuente de P en forma de Bayovar, fue la misma en ambas dosis, indicando que la planta no respondió al incremento de la cantidad de P aplicada en esta forma. De otro lado, el crecimiento fue dos veces mayor en la dosis alta con 100 % de ST, lo que indica la alta respuesta de la planta a una fuente soluble de P, lo cual, es coherente dado el tiempo de conducción del ensayo. Sin embargo, la falta de respuesta a la aplicación del doble de la cantidad de Bayovar (dosis alta), no era esperado.

Korndöfer (1978), afirma que los fosfatos naturales en general, presentan menor eficiencia que los fosfatos solubles en el corto plazo, no obstante, en el largo plazo su efecto residual es mayor. La dosis de máxima eficiencia física (MEF), coincidió con la mayor dosis aplicada 160 mg/dm<sup>3</sup>, con

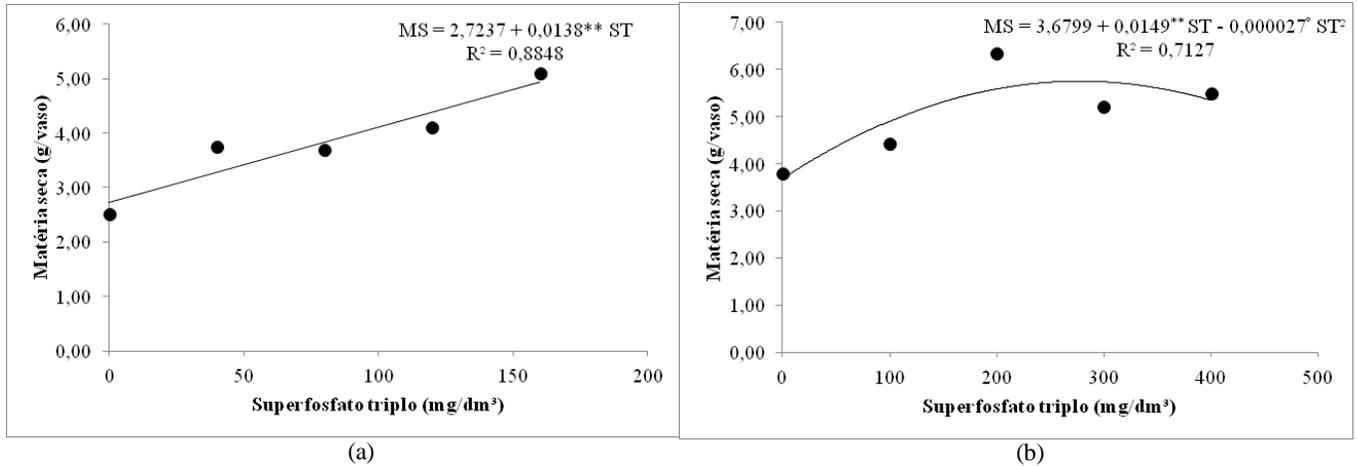
materia seca acumulada de 3,77 y 9,17 g/vaso, en las dosis baja y alta, respectivamente. Las dosis de máxima eficiencia económica (MEE), calculada como 90 % de la MEF, resultaron en 3,39 y 8,25 g/vaso, en las dosis baja y alta respectivamente. En relación al crecimiento en los suelos 2 y 3, se percibe que lo mismo ocurrió de forma lineal en la dosis baja y alta, y de forma cuadrática en la primera, indicando una estabilización del crecimiento. A partir de este punto, la planta deja de responder a la adición de nutriente o inclusive de manera negativa, debido a una posible toxicidad o interferencia en la absorción. Considerando como dosis de MEF 394 mg/dm<sup>3</sup>, en el suelo 2, y 275,9 mg/dm<sup>3</sup>, en el suelo 3, con materia seca de 11,44 g/vaso y 5,74 g/vaso, respectivamente. En el suelo 2, tal suceso se explica en la ineficiencia del fosfato natural como fuente de P en el crecimiento inicial de las plantas, cuando está combinado con una dosis soluble.



**Figura 2.** Materia seca (g/vaso) de plantas de maíz, obtenida con diferentes equilibrios entre superfosfato triple y bayóvar en las dosis baja (a) y alta (b), para el suelo 2.

En ambos suelos, un ligero incremento en el crecimiento puede ser percibido con el aumento de la cantidad de Bayóvar. El efecto del incremento en la proporción de ST, fue más pronunciado en el suelo 2, siendo obtenidas producciones de hasta tres veces mayor, en la dosis alta.

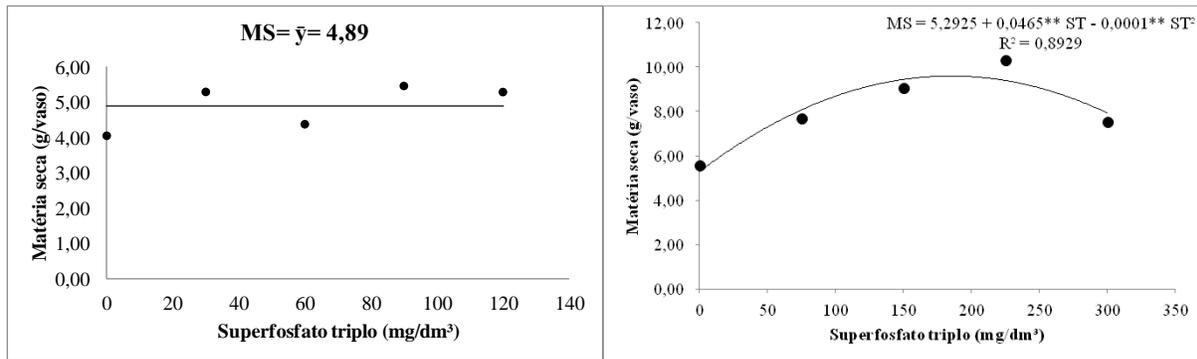
En las dosis bajas, el crecimiento respondió de forma lineal, siendo el punto de MEF coincidente con la dosis probada, el mayor crecimiento se presentó con la mayor proporción de ST.



**Figura 3.** Materia seca (g/vaso) de plantas de maíz, obtenida con diferentes equilibrios entre superfosfato triple y bayóvaren en las dosis baja (a) y alta (b), para el suelo 3.

Para el suelo 4, no fue posible obtener un modelo que explique el comportamiento del crecimiento en función del aumento en la proporción de ST, en la

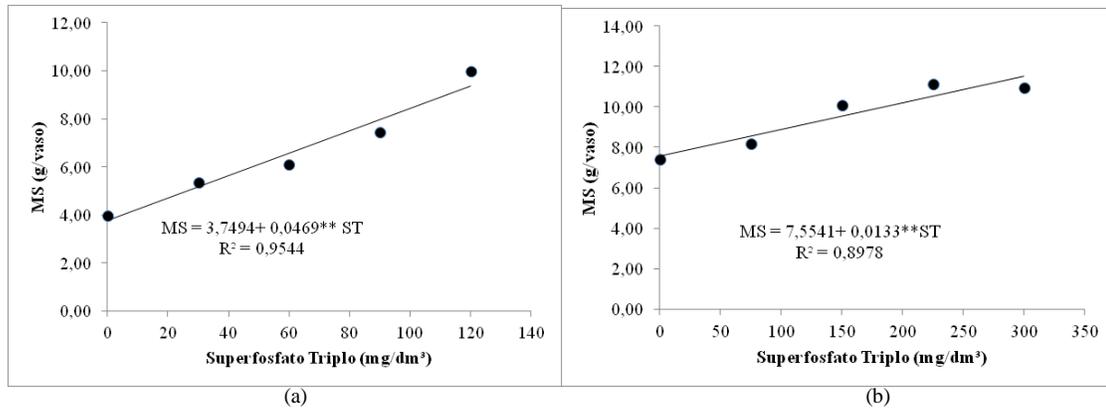
dosis baja. En la dosis alta, entretanto, el crecimiento respondió de forma cuadrática al incremento en la proporción de ST (figura 4).



**Figura 4.** Materia seca (g/vaso) de plantas de maíz, obtenida con diferentes equilibrios entre superfosfato triple y bayóvar en las dosis baja (a) y alta (b), para el suelo 4.

El punto de MEF, fue obtenido con 232,5 mg/dm<sup>3</sup> de ST, obteniendo 10,7 g/vaso de materia seca. Ese resultado, es semejante al obtenido en el suelo anterior, lo que indica que el punto de MEF ocurre entre los equilibrios 50/50 y 75/25 de ST y BY. Tal

resultado sugiere que la combinación entre una fuente soluble y una de lenta liberación sería más favorable para la planta y menos para el almacenamiento del suelo.



**Figura 5.** Materia seca (g/vaso) de plantas de maíz, obtenida con diferentes equilibrios entre superfosfato triple y bayóvar en las dosis baja (a) y alta (b), para el suelo 4.

Para el suelo 5, el comportamiento fue semejante al suelo 1, respondiendo de forma lineal el incremento de las proporciones de ST. Así, los valores de MEF fueron encontrados en el punto de mayor proporción de ST (100/0). Diferente del suelo 1, en la comparación entre las dosis en la proporción de 0/100 (BY/ST), se obtuvo el doble del crecimiento en la mayor dosis. Las masas de materia seca, máximas obtenidas fueron de 11,54 g/vaso y 9,38 g/vaso, en las dosis alta y baja, respectivamente. La mayor inclinación de la curva en la dosis baja en relación a la alta, indica la menor retención de P de ese suelo, lo cual, es diferente de lo encontrado en el suelo 1, el cual es más arcilloso.

Korndorfer *et al.*, (1999) trabajando en suelos de textura media, obtuvieron que los fosfatos reactivos de Bayóvar encontraron que la capacidad de ofrecer fósforo comparado con fosfato súper triple es de 60 % hasta 97 %, dependiendo del tipo de fosfato, esto para el cultivo de maíz, lo cual, no concuerda con los resultados encontrados en este estudio.

También, Souza *et al.* (2014), probaron la eficiencia de los fosfatos derivados de roca con una elevada cantidad de calcio intercambiable, encontrando que sólo hubo algún retorno económico con la utilización de Bayóvar en el largo plazo, mientras en el corto

plazo la mejor opción es utilizar fuentes de alta solubilidad. Otra posible explicación acerca de los resultados poco efectivos cuando se utilizaron las mayores dosis de fósforo como Bayóvar, puede ser encontrada en los pHs de los suelos utilizados, que se clasifican como fuertemente ácidos, por lo cual, fue necesario realizar una enmienda en el establecimiento de la prueba, Días *et al* (2015), encontraron que con el proceso de enclavamiento la eficiencia de los fosfatos de Bayóvar, disminuyó en 10 %, mientras que en otros fosfatos naturales como Gafsa, este valor fue más drástico pasando de 91 a 24 %.

## CONCLUSIÓN

La textura del suelo influyó el crecimiento en las dosis alta y baja de P aplicado, siendo que el crecimiento fue superior en los suelos menos arcillosos. El uso de una fuente menos soluble, que tiende a favorecer la planta, en este no fue eficaz, probablemente por el tiempo reducido del experimento. Con relación a los equilibrios, los contrastes mostraron también de forma clara la mayor eficacia cuando se utilizan mayores proporciones de fuentes solubles.

## REFERENCIAS

BRASIL, E.C., RODRIGUES, J.D., ASSUNÇÃO, E.A., NEVES, L.H. & DO AMARAL, A.J. (2012). Eficiência de fosfatos reativos em função de doses

de P e índices de saturação por bases do solo e sua influência na produção de matéria seca de milho. Fertbio,

- CORRALES, R.A. (2013). Avaliação e Calibração de extratores de fósforo em três diferentes ordens de solo da Costa Rica. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: solos e Nutrição de plantas. Piracicaba.
- DÍAS, L.P., GATIBONI, L.C., BRUNETTO, G. SIMONETE, M.A. & BICARATTO, B. (2015). Eficiência relativa de fosfatos naturais na adubação de plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii maiden* e *Eucalyptus benthamii maiden* etcambagem em solo sem e com calagem. Rev. Ciência florestal V. 25 No. 1.
- FIXEN, P.E. & GROVE, J.H. (1990). Testing soils for phosphorus. In: WESTERMAN, R.L., ed. Soil testing and plant analysis. Madison, Soil Science Society of America. p.141- 180.
- GJORUP, G.B.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L.(1993). Avaliação do método do papel aniônico como extrator de fósforo disponível do solo. R. Bras. Ci. Solo, 17:417-422.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. (2003). Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. Ciencia Rural, Santa Maria, v.33, n.1, p.41-47, jan./fev.
- KORNDORFER, G.H., LARA-CABEZAS, W. A. Y HOROWITZ, N. (1999). Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. R. Sci. Agric. Vol. 56 No 2. Piracicaba.
- KORNDÖRFER, G.H. (1978). Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para plantas de trigo. Porto Alegre, 1978. 66p. Tese (Mestrado)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- LANI, J. L.; CÁRDENAS, A.C.; NEVES, J.C.L; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (1995). Efeitos de doses e localização de fósforo sobre o crescimento de mudas de eucalipto. Revista Ceres, v.42, n.243, p.497-506.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. (1999). Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. 399p.
- OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NEVES, J.C.L. (2000). Comparisons of phosphorus availability between anion exchange resin and Mehlich-1 extractions among Oxisols with different capacity factors. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 31:615-630.
- SILVA, F.C. & RAIJ, B.V. (1996). Avaliação da disponibilidade de fósforo, por diversos extratores, em amostras de solos cultivados com cana-de-açúcar. R. Bras. Ci. Solo, 20:83- 90.
- SOUZA, R.M., SOBRAL, L.F., VIÉGAS, P.R., OLIVEIRA, A., CARVALHO, M.C. (2014). Eficiência agronômica de fosfatos de rocha em solo com elevado teor de cálcio trocável. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.38 no.6 Viçosa Nov./Dec. 2014.