

## **¿Cuanto fósforo hay que aplicar para alcanzar el umbral crítico de fósforo disponible en el suelo? I. Cálculo a partir de propiedades básicas del suelo**

**Gerardo Rubio<sup>1</sup>, Flavio H. Gutiérrez Boem<sup>1</sup>, María J. Cabello**  
Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, U.B.A.  
Av. San Martín 4453, C1417DSE Buenos Aires. <sup>1</sup> CONICET.  
[rubio@agro.uba.ar](mailto:rubio@agro.uba.ar)

En la Región Pampeana existen consistentes estimaciones de los umbrales críticos a partir de los cuales los cultivos satisfacen sus requerimientos de fósforo (P) (Ej. Ron y Loewy, 1990; Echeverría et al., 2002; García, 2003), pero es escasa la información disponible para predecir la dosis necesaria en cada suelo particular para alcanzar esos umbrales críticos. En tal sentido, nuestro objetivo fue desarrollar una metodología de aplicación regional para determinar la cantidad de P a aplicar al suelo para elevar el P disponible desde un valor inicial hasta un determinado valor objetivo o umbral crítico.

Los umbrales críticos de P se estiman en base a las relaciones entre rendimiento y disponibilidad del elemento en el suelo. En la Región Pampeana, los umbrales de suficiencia oscilan para trigo entre 14 y 19 ppm, para soja entre 8 y 13 ppm y para maíz entre 13 y 20 ppm. (Echeverría et al., 2002; García, 2003). Por tratarse de un nutriente relativamente inmóvil, estos umbrales críticos dependen del cultivo y no presentan gran variación cuando se comparan diferentes ambientes.

En la Región Pampeana, existe información específica acerca de la cantidad de P a agregar para lograr un determinado aumento del P disponible en un reducido número de zonas (Berardo y Grattone, 2000; Gutiérrez Boem et al., 2002; Quintero et al., 2003; Suñer et al., 2004). Coincidiendo con lo observado en otros países, en suelos de Entre Ríos el incremento del P disponible por unidad de P agregado estuvo relacionado a la capacidad máxima de adsorción de P, y a la cantidad de arcilla, hierro y aluminio (Quintero et al., 2003). Gutiérrez Boem et al. (2002) observaron que las variaciones en el aumento de P disponible luego de la fertilización en suelos de la Región, presentaban una elevada correlación con el nivel inicial de P disponible y que la correlación con el pH, el contenido de arcilla o el carbono orgánico de los suelos no era significativa.

### **Metodología**

En este reporte, presentamos información correspondiente a 42 situaciones representativas del Norte de la Región Pampeana, de 19 localidades (Fig. 1). En cada una de las situaciones se evaluaron las siguientes propiedades básicas de los suelos: P disponible, carbono total, composición textural y pH. Cuando fue posible, en cada suelo se eligieron situaciones con diferentes niveles de P disponible para incorporar esta variable en el modelo predictivo. Cuando no se halló esta variabilidad, solo se escogió un suelo por situación.

Para evaluar el incremento en el P disponible del suelo ante dosis crecientes de fertilizante fosforado, se llevó a cabo un experimento en el predio de la Facultad de Agronomía (UBA). Se evaluaron 5 dosis: 0, 8, 16, 32 y 64 mg P kg<sup>-1</sup> de suelo. Considerando una profundidad de muestreo de 20 cm y una densidad aparente de 1.2 ton m<sup>-3</sup> estas dosis son equivalentes a 0, 19.2, 38.4, 76.8 y 153.6 kg ha<sup>-1</sup>. La fuente de P fue una solución de fosfato diácido de potasio. Los suelos se fertilizaron homogéneamente y se distribuyeron en contenedores plásticos que se mantuvieron entre el 50 y el 90% de capacidad de campo durante el transcurso del experimento. Los contenedores se dispusieron al aire libre (a la sombra), para que estén sometidos a las variaciones naturales de temperatura. El experimento comenzó en noviembre, de modo de simular las condiciones de temperatura durante el

crecimiento de los cultivos de verano. Se evaluó la evolución del P disponible a los 45 días desde el momento de fertilización. Luego de la incubación se determinó por duplicado el P disponible (Bray 1) en cada muestra. Se calculó para cada suelo el aumento en el P disponible para cada dosis de P agregado como la diferencia entre el P disponible de una muestra con el P disponible promedio de las dos muestras a las que no se le agregó P.

## Resultados

El rango de los contenidos de P disponible de las muestras analizadas fue de 2.4 – 30.3 mg kg<sup>-1</sup>, de arcilla 8.7-30%, de carbono total 11.5-26.9 g kg<sup>-1</sup> y de pH 5.3-6.9. Se observaron incrementos positivos en el contenido de P disponible luego de la fertilización en todos los suelos y en los cuatro niveles de P agregado.

Como resultado de los experimentos en condiciones controladas se obtuvo un conjunto de datos con la relación entre la evolución del P disponible en el suelo luego de la fertilización y las mencionadas propiedades básicas del suelo. Se utilizaron estas relaciones para calcular el incremento en el P del suelo ante el agregado de una unidad de fertilizante al suelo (coeficiente *b*, ver Fig. 2). El coeficiente se ajustó para cada situación mediante el modelo lineal simple  $y = bx$ , donde *y* es el incremento en P disponible (diferencia entre el P disponible a los 45 días en cada dosis de fertilizante agregado y el P disponible del tratamiento sin agregado de P), *b* es la pendiente y *x* es la dosis agregada de P (Fig. 2). Este modelo lineal presentó un rango de  $r^2$  de 0.998- 0.974 para las 42 situaciones por lo que no se consideró necesario el empleo de modelos más complejos. El rango obtenido de valores *b* fue 0.33-0.73, es decir que por cada ppm de P agregado la disponibilidad de P del suelo aumentó entre 0.33 y 0.73 ppm. Valores bajos de *b* indican una mayor retención del P por la matriz del suelo y una consecuente menor recuperación del fertilizante agregado. El menor valor *b* correspondió a un Argiudol de Carmen de Areco de baja disponibilidad inicial de P (4.3 mg kg<sup>-1</sup>), y el mayor a un Hapludol de Alberti bien provisto de P (30.3 mg kg<sup>-1</sup>).

El valor *b* tuvo una relación directa con el contenido inicial de P ( $r^2 = 0.23$ ), lo cual indica que la dosis necesaria para obtener el mismo incremento en el P disponible fue mayor en suelos empobrecidos en P. Este resultado estaría indicando el hecho que los suelos bien provistos de P poseían su capacidad fijadora de P cubierta en una mayor proporción que los suelos poco provistos. Similar relación fue observada en un reporte anterior (Gutiérrez Boem et al., 2002) con suelos de la Pampa Ondulada y la Pampa Arenosa. Al subdividir la población total en 3 categorías de acuerdo al porcentaje de arcilla (8-15%; 16-23 % y 24-30%) se observó que el contenido inicial de P del suelo fue un estimador más robusto del coeficiente *b* en los suelos de texturas más gruesas que en suelos de texturas más finas (Fig. 3). En suelos cuyos contenidos de arcilla oscilaban entre 8 y 15% se ajustó una ecuación lineal-plateau que explicó el 83% de la variabilidad del coeficiente *b* (Fig. 3). En suelos cuyos contenidos de arcilla oscilaron entre 16 y 23% se ajustó una ecuación que explicó el 38% de esta variabilidad. En los suelos con más de 24% de arcilla la relación entre el coeficiente *b* y el P inicial del suelo fue no significativa.

La relación entre el valor *b* y el contenido de arcilla fue significativa (Fig. 4). Esta relación no fue observada por Gutiérrez Boem et al. (2002), lo cual puede deberse al mayor rango de texturas utilizado en el presente relevamiento. Es ampliamente conocido que la capacidad reguladora de P se incrementa con el contenido de partículas finas del suelo, determinando una mayor retención del P agregado. La relación entre el valor *b* y el contenido de carbono del suelo presentó un elevado  $r^2$  en el rango de texturas gruesas (Fig. 5). El pH presentó una asociación con el coeficiente *b* no significativa.

Mediante el análisis Stepwise se obtuvo un modelo bivariado de predicción del valor *b* que respondió a la siguiente ecuación:

$$b = 0.639 + 0.005 P_i - 0.005 a \quad (r^2=0.38 \quad P= 0.004) \quad [1]$$

donde  $P_i$  es P disponible inicial ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) y  $a$  es contenido de arcilla de los primeros 20 cm del suelo (%). La inclusión de la variable carbono total no incrementó significativamente el grado de predicción del modelo.

### **Aplicación práctica de los resultados obtenidos**

Los resultados obtenidos pueden ser usados para determinar la cantidad de P a agregar al suelo para obtener un determinado incremento en el P disponible. Como ya fue definido mas arriba, el coeficiente  $b$  representa el incremento en el P disponible del suelo (medido en mg de P Bray por kg de suelo – ppm) al agregar una cantidad de fertilizante equivalente a un mg de P del fertilizante por kg de suelo. Para convertir esta cantidad de fertilizante en dosis de P por hectárea, es necesario definir dos variables: la profundidad del suelo en el cual se realiza la determinación del contenido inicial de P disponible del suelo y la densidad aparente del mismo. La profundidad de muestreo debe coincidir con la profundidad en la cual se trabajó en el método de determinación del umbral crítico a utilizarse. En la mayoría de los métodos de recomendación de fertilización fosforada realizados en el Norte de la Región Pampeana esa profundidad es 0-20 cm. La densidad aparente es una propiedad variable del suelo. Un valor representativo para suelos de la Región es  $1.2 \text{ ton m}^{-3}$ , aunque es recomendable ajustarlo para cada caso particular en caso de ser posible. Definidas estas dos variables, es posible convertir el coeficiente  $b$  en un parámetro de directa utilización para determinar la dosis de fertilizante a agregar. Utilizando una profundidad de 0-20 cm y una densidad aparente  $1.2 \text{ ton m}^{-3}$ , un simple cálculo matemático indica que una dosis de 1 mg de P por kg de suelo (standard en la determinación del coeficiente  $b$ ) es equivalente a  $2.4 \text{ kg ha}^{-1}$ . Al dividir el valor  $b$  por 2.4 obtenemos el incremento en ppm de P disponible al agregar un kg de P por ha. Si, en cambio, dividimos 2.4 por el coeficiente  $b$  obtenemos el parámetro  $D_e$ , que es la dosis necesaria de P ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para incrementar en una unidad (1 ppm) el P disponible. El coeficiente  $b$  promedio de todas las situaciones fue de 0.58, lo que significa que la dosis de fertilizante fosforado necesaria para incrementar una unidad de P-Bray del suelo 45 días después de aplicado el fertilizante al suelo es  $4.13 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $2.4/0.58$ ), equivalente a  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de fosfato diamónico o superfosfato triple. A continuación se brinda un ejemplo del cálculo de la dosis teniendo como objetivo elevar el P del suelo a 15 ppm. Este es uno de los valores típicos de umbral crítico para cultivos de trigo en la Región Pampeana.

### **Ejemplo:**

*Datos del lote:*

*P inicial: 9 ppm P Bray (a la siembra)*

*Contenido de arcilla: 25%*

*Umbral crítico (valor objetivo): 15 ppm*

*Cálculo:*

*Coefficiente  $b$ : 0.559 (estimado mediante datos del lote y con la ecuación 1)*

*Dosis necesaria para incrementar 1 ppm P Bray ( $D_e$ ):  $4.29 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $2.4/\text{coef. } b$ )*

*Incremento necesario: 6 ppm ( $15 \text{ ppm} - 9 \text{ ppm}$ )*

*Dosis recomendada:  $25.7 \text{ kg P ha}^{-1}$  ( $4.29 * 6$ )*

Esta dosis es equivalente a  $128 \text{ kg ha}^{-1}$  de fosfato diamónico o superfosfato triple. Los valores de  $D_e$  oscilaron entre 3.3 y  $6.15 \text{ kg P ha}^{-1}$ . La aplicación práctica de los coeficientes  $b$  obtenidos en el presente trabajo parte del supuesto que el fertilizante comercial posee un comportamiento semejante al fertilizante utilizado en nuestro estudio y que el cultivo tiene una respuesta similar al fertilizante aplicado a campo que al fertilizante aplicado homogéneamente en el seno del suelo, tal como se hizo en el presente trabajo. También aquí,

la distribución homogénea del fertilizante fue un requisito para obtener valores b con baja variabilidad.

El coeficiente b se puede obtener a partir de las figuras y ecuaciones presentadas en el presente reporte. En el rango de texturas gruesas (menos de 15% de arcilla) se sugiere usar los datos de la Fig. 3, utilizando el valor de P disponible como variable predictiva.

Considerando la representatividad de los sitios escogidos, se sugiere que los modelos definidos en el presente trabajo pueden ser utilizados en los suelos agrícolas de la zona Norte de la Región Pampeana. En posteriores etapas del presente plan de trabajo, se tratará de incrementar la predicción del modelo mediante la incorporación de parámetros edáficos no incluidos en la versión actual.

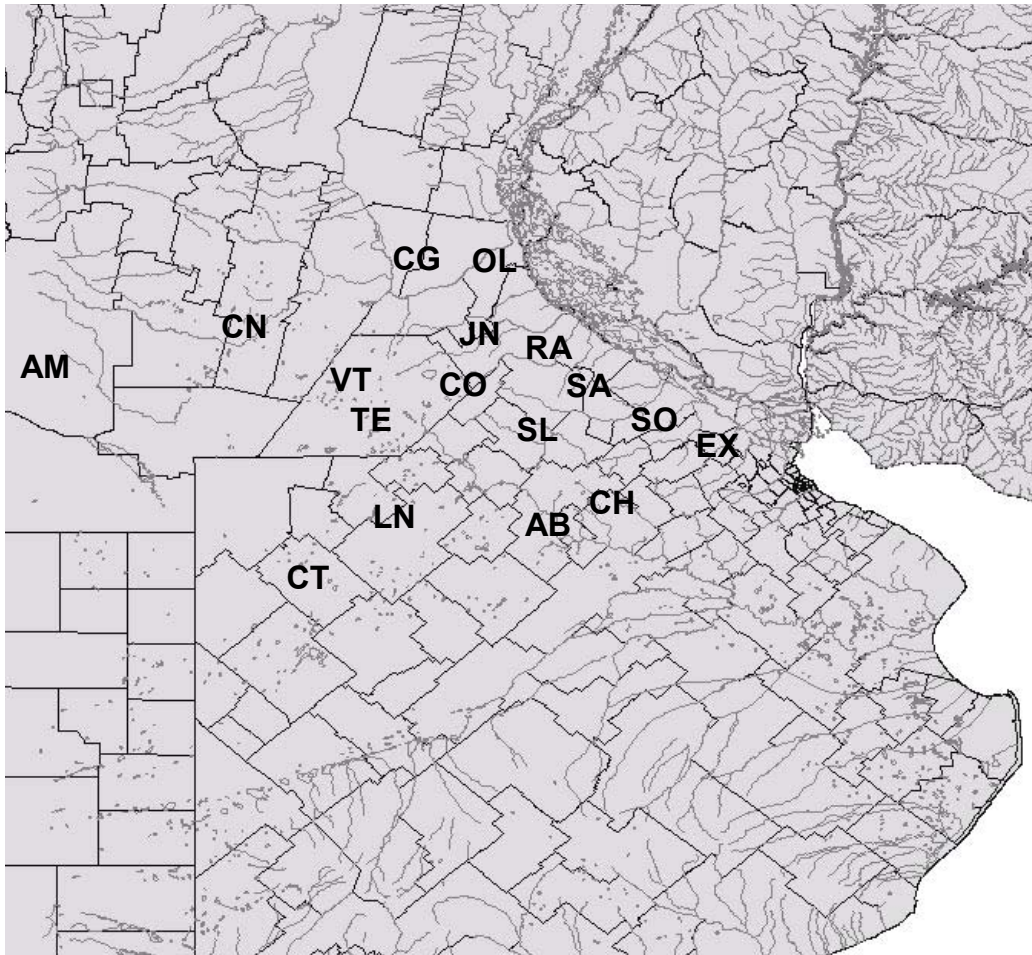
## **Agradecimientos**

Este proyecto es financiado por INPOFOS Cono Sur, UBA (UBACYT G622) y Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 11170). Se agradece la colaboración técnica de Gabriela Civeira, Hernan Belinque y Juan Gaona. También se agradece a O. Novello, F. Salvagiotti, F. García, G. Ferraris, P. Marasas, M. Silva Rossi, J. Gené, C. Alvarez, P. Prystupa, B. Romano, y J. Gaona por la provisión de muestras.

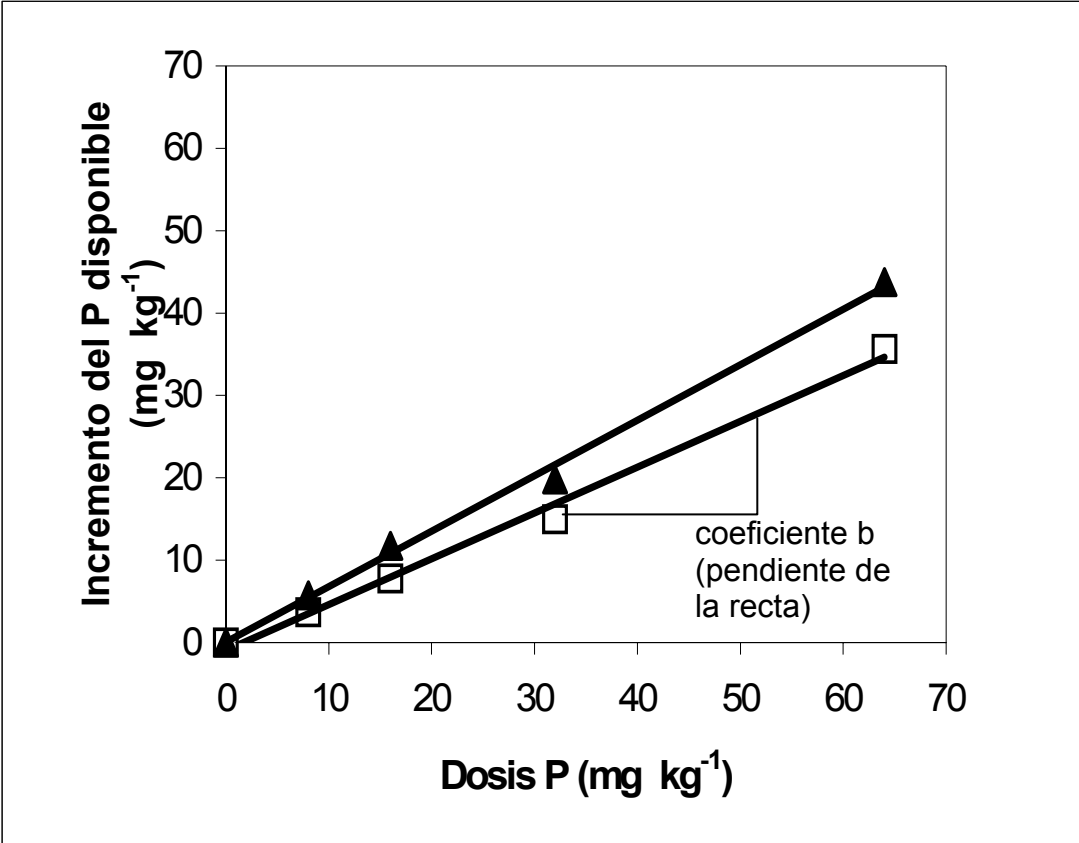
## **Referencias**

- Berardo A, F Grattone. 2000. Fertilización fosfatada requerida para alcanzar niveles objetivos de P Bray en un Argiudol. Actas CD XVII Cong Arg Ciencia del Suelo, Mar del Plata. AACS.
- Echeverría H, G Ferraris, G. Gerster, FH Gutiérrez Boem, F Salvagiotti. 2002. Fertilización en soja y trigo - soja: respuesta a la fertilización en la región pampeana. Resultados de la red de ensayos del Proyecto Fertilizar (INTA) Campaña 2000/2001 y 2001/2002. INTA EEA Pergamino, 44 p.
- García F. 2003. El manejo del fósforo en la producción de trigo y maíz. El fósforo en la agricultura argentina, Simposio "El fósforo en la Agricultura Argentina". INPOFOS, Rosario. 55-61.
- Gutiérrez Boem FH, JD Scheiner, J Moyano, RS. Lavado 2002. Cambios en la disponibilidad de fósforo del suelo por el agregado de fertilizante. Actas XVIII Cong. Arg. Ciencia Suelo. P. Madryn. AACS.
- Quintero CE, GN Boschetti, RA Benavidez. 1999 Phosphorus retention in some soils of the argentinean mesopotamia. Com. Soil Sci. Plant Anal, 30: 1449-1461.
- Quintero, C., Boschetti, G, Benavidez RA. 2003. Effect of soil buffer capacity on soil test phosphorus interpretation and fertilizer requirement. Comm Soil Sci Pl Anal, 34:1435-1450.
- Ron MM, T Loewy. 1990. Fertilización fosfórica del trigo en el Sudoeste bonaerense. I. Modelos de respuesta. Ciencia del Suelo 8: 187-194.
- Suñer, L., Galantini JA, Rosel RA. 2004. Fertilización con fósforo en suelos de la Región Pampeana cultivados con trigo. Actas CD XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná. AACS.

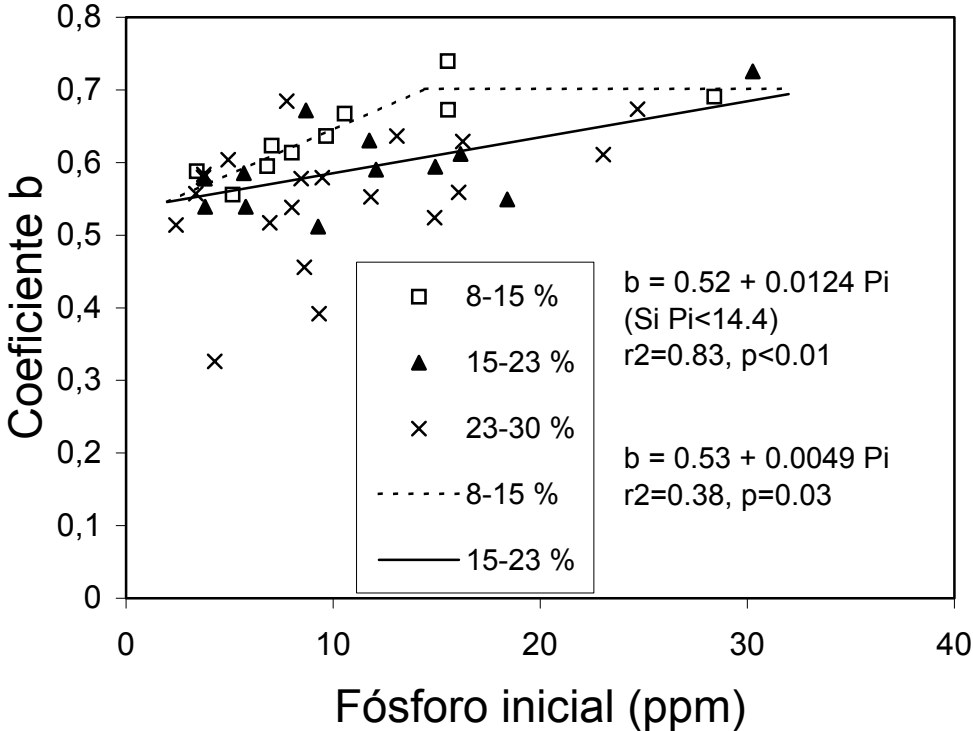
**Figura 1:** Ubicación de los sitios de muestreo. Provincia de Córdoba: AM Adelia María, CN Canals. Provincia de Santa Fe: CG Cañada de Gómez, OL Oliveros, TE Teodelina, VT Venado Tuerto, JN Juncal. Provincia de Buenos Aires: AB Alberti, CH Chivilcoy, CO Colón, CT Carlos Tejedor, EX Exaltación de la Cruz, LI Lincoln, RA Rancagua, SA S. A. Areco, SL Salto, SO Solís, VM 25 de Mayo.



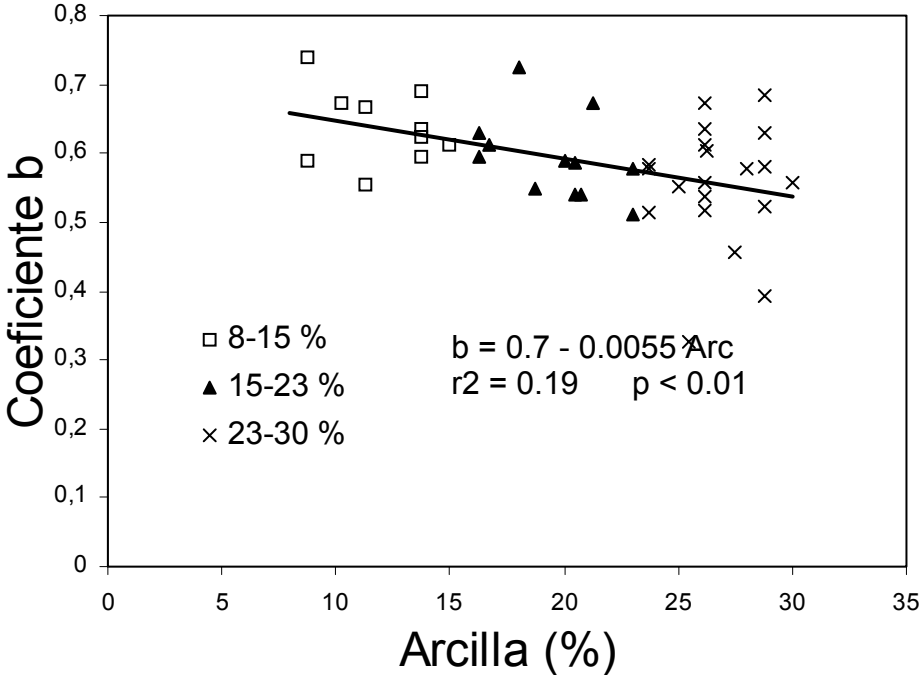
**Figura 2:** Relación entre el incremento en fósforo disponible (diferencia entre el P disponible a los 45 días en cada dosis de fertilizante agregado y el P disponible del tratamiento sin agregado de P) y la dosis agregada de P. El coeficiente b es la pendiente de la recta y se calculó para cada una de las 42 situaciones analizadas.



**Figura 3:** Relación entre el incremento en el P disponible en el suelo por unidad de P agregado (coeficiente b) y el contenido de P disponible inicial del suelo. Diferentes símbolos indican el rango de porcentaje de arcilla.



**Figura 4:** Relación entre el incremento en el P disponible en el suelo por unidad de P agregado (b) y el contenido de arcilla del suelo. Diferentes símbolos indican el rango de porcentaje de arcilla.





**Figura 5:** Relación entre el incremento en el P disponible en el suelo por unidad de P agregado (b) y el contenido de carbono del suelo. Diferentes símbolos indican el rango de porcentaje de arcilla

