

CORRELACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL ANÁLISIS DE FÓSFORO EN SUELOS DE YUCATÁN, MÉXICO, PARA EL CULTIVO DE CHILE HABANERO

CORRELATION AND CALIBRATION OF PHOSPHORUS ANALYSIS IN SOILS FROM YUCATÁN, MÉXICO, FOR GROWING HABANERO PEPPERS

Lizette Borges-Gómez¹, Manuel Soria-Fregoso², Víctor Casanova-Villarreal³, Eduardo Villanueva-Cohuo¹ y Gaspar Pereyda-Pérez¹

¹Instituto Tecnológico de Conkal. km 16.3 antigua Carretera Mérida-Motul, Conkal, Yucatán. ²Instituto Tecnológico de Tizimin. km 3.5 Carretera Tizimin-Col. Yucatán, final del aeropuerto Cupul. Yucatán. ³Instituto Tecnológico de la Zona Maya. km 22.5 Carretera Escárcega, Domicilio conocido, Juan Sarabia, Quintana Roo.

RESUMEN

El análisis de suelo para predecir el nivel de disponibilidad de fósforo (P) es singular para cada cultivo y condición donde se desarrolla; por tanto, debe basarse en la relación entre el P extraído por la planta y el análisis de suelo realizado con una técnica apropiada. El objetivo del presente estudio fue comparar los métodos químicos de análisis de Olsen y Bray P₁ para evaluar la disponibilidad de P aprovechable y determinar el nivel crítico para el cultivo el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Se desarrollaron plantas de chile habanero en invernadero usando muestras de 16 suelos del Estado de Yucatán con dos niveles de P (0 y 200 kg ha⁻¹), y se evaluaron los índices de rendimiento (incremento del rendimiento y rendimiento relativo), número de frutos, altura de la planta, diámetro del tallo y materia seca. Los métodos para determinar los niveles críticos fueron el procedimiento gráfico y el método estadístico. La magnitud de la respuesta al P estuvo en función de la disponibilidad inicial de este elemento en el suelo. El método que mejor correlacionó la disponibilidad de P con el rendimiento fue el Olsen ($r=0.801$) y el nivel crítico fue 11.9 mg kg⁻¹ utilizando el método gráfico. Se concluye que en suelos con concentraciones menores al nivel crítico de P, la probabilidad de una respuesta económica a la adición de fertilizantes es alta.

Palabras claves: *Capsicum chinense* Jacq., disponibilidad de fósforo.

INTRODUCCIÓN

El análisis del suelo para determinar el contenido de P aprovechable se puede hacer con diferentes métodos analíticos y, según los resultados obtenidos con el método Olsen (Olsen *et al.*, 1954), el suelo se clasifica como pobre si la concentración de P es menor a 5.5 mg kg⁻¹, mediano entre 5.5 y 11 mg kg⁻¹ y rico para mayor de 11 mg kg⁻¹ (CSTPA, 1980). Pero, cuando el análisis se hace con otros métodos como el de Bray P₁ (Bray y Kurtz, 1945) o el de doble

ABSTRACT

Soil analysis for predicting the level of phosphorus (P) availability is unique for each crop and condition in which it is developed; therefore, it should be based on the relationship between the P extracted by the plant and the soil analysis made with an appropriate technique. The objective of the present study was to compare the chemical analysis methods of Olsen and Bray P₁ to evaluate the availability of usable P and to determine the critical level for the habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) crop. Habanero pepper plants were developed in the greenhouse using samples of 16 soils of the State of Yucatán with two levels of P (0 and 200 kg ha⁻¹), and an evaluation was made of yield indices (yield increase and relative yield), number of fruits, plant height, stem diameter and dry matter. The methods for determining the critical levels were the graphic procedure and the statistical method. The magnitude of the response to P was a function of the initial availability of this element in the soil. The method that best correlated the availability of P with yield was the Olsen method ($r=0.801$) and the critical level was 11.9 mg kg⁻¹ using the graphic method. It is concluded that in soils with concentrations below the critical level of P, the likelihood of an economic response to the addition of fertilizers is high.

Key words: *Capsicum chinense* Jacq., phosphorus availability.

INTRODUCTION

Soil analysis for determining the available P content can be made with different analytical methods, and according to the results obtained with the Olsen method (Olsen *et al.*, 1954), soil is classified as poor if the P concentration is lower than 5.5 mg kg⁻¹, moderate between 5.5 and 11 mg kg⁻¹ and rich for concentrations higher than 11 mg kg⁻¹ (CSTPA, 1980). However, when the analysis is made with other methods such as the Bray P₁ method (Bray and Kurtz, 1945) or the double acid method (Mehlich, 1953), the values for classification differ very much from those obtained by the Olsen method.

Recibido: Marzo, 2007. Aprobado: Octubre, 2007.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 42: 21-27. 2008.

ácido (Mehlich, 1953) los valores para clasificación difieren mucho de los obtenidos por el método de Olsen.

Las concentraciones de P extractable en los suelos de Yucatán varían de 0.1 a 45 mg kg⁻¹ (Duch, 1988; Weisbach *et al.*, 2002; Bautista *et al.*, 2003), lo cual se puede atribuir a los diferentes métodos químicos de análisis y a la heterogeneidad del suelo, ya que se han descrito 20 zonas fisiográficas con gran variedad de suelos. El uso de valores de referencia para clasificar un suelo como rico, mediano o pobre es un error frecuente ya que no considera a la especie de cultivo, cuya eficiencia para absorber el P del suelo depende de la concentración del elemento en el suelo y de la capacidad de absorción radical; ésto causa una mala interpretación de los resultados de análisis químico de laboratorio (Etchevers, 1999).

La interpretación de los análisis químicos para los suelos de Yucatán se hace usando métodos no correlacionados con los índices de producción y se desconocen los límites críticos para el cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Por tanto, los objetivos del presente trabajo fueron: 1) comparar los métodos de análisis de P Olsen y Bray P₁, en muestras de 16 suelos de Yucatán; 2) evaluar su correlación con el rendimiento de chile habanero; 3) determinar los niveles críticos de P usando el método gráfico y el estadístico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras de suelo de 16 sitios del Estado de Yucatán, México (Figura 1) que se ubicaron usando el mapa de unidades fisiográficas propuesto por Duch (1991). Cada sitio de muestreo fue georeferenciado mediante un GPS MAGALLANES-300. Para el análisis de laboratorio se tomaron muestras a una profundidad de 0 a 20 cm recolectando 80 submuestras en cada sitio en una superficie aproximada de 0.5 ha. Las submuestras se mezclaron para formar una sola muestra compuesta por sitio y el análisis de caracterización física y química se hizo con tres repeticiones de caracterización física y química. El pH se midió con el método potenciométrico en una relación 1:2 (suelo:agua), la textura con el método de densímetro de Bouyoucus (Gee and Bauder, 1986), el contenido de materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black (Nelson and Sommers, 1986); la capacidad de intercambio catiónico (CIC), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) intercambiables por el método de NH₄OAc en una relación 1:20 (Thomas, 1986). Los métodos de análisis químicos de P fueron: Bray P₁ (Bray y Kurtz, 1945) y Olsen (Olsen *et al.*, 1954). Los resultados se correlacionaron con variables evaluadas en el cultivo usando un modelo lineal ($p \leq 0.05$). El nivel crítico se determinó con el método gráfico (Cate y Nelson, 1965) y el método estadístico (Cate y Nelson, 1971).

Las plantas de chile habanero se establecieron en un invernadero y las muestras de suelos se colocaron en bolsas de plástico de 15 L y en cada bolsa se trasplantaron plantas de 30 d de edad, manteniéndose

The concentrations of extractable P in the soils of Yucatán vary from 0.1 to 45 mg kg⁻¹ (Duch, 1988; Weisbach *et al.*, 2002; Bautista *et al.*, 2003), which can be attributed to the different chemical analysis methods and to soil heterogeneity, given that 20 physiographic zones have been described with great variety of soils. The use of reference values to classify a soil as rich, moderate or poor is a frequently made error, because it does not consider the crop species, whose efficiency to absorb P from the soil depends on the concentration of this element in the soil and of the radical absorption capacity; this causes an erroneous interpretation of the results of chemical analysis of the laboratory (Etchevers, 1999).

The interpretation of the chemical analyses for the soils of Yucatán is made using methods that are not correlated with the production indices, and the critical limits for the habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) crop are unknown. Therefore, the objectives of the present study were: 1) to compare the Olsen and Bray P₁ analysis methods of P, in samples of 16 soils of Yucatán; 2) to evaluate their correlation with yield of habanero pepper; 3) to determine the critical levels of P using the graphic and the statistical method.

MATERIALS AND METHODS

Soil samples were taken from 16 sites of the State of Yucatán, México (Figure 1) which were located by using the map of physiographic units proposed by Duch (1991). Each sampling site was geo-referenced by means of a GPS MAGALLANES-300. For the laboratory analyses, samples were taken at a depth of 0 to 20 cm collecting 80 subsamples in each site in a surface of approximately 0.5 ha. The subsamples were mixed to form a single compound sample per site and the analysis of physical and chemical characterization was made with three replicates pH was measured with the potentiometric method in a ratio of 1:2 (soil:water), texture with the Bouyoucus densimeter method (Gee and Bauder, 1986), the organic matter content (OM) by the method of Walkley and Black (Nelson and Sommers, 1986); the capacity of cationic exchange (CIC), exchangeable potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) by the method of NH₄OAc in a ratio of 1:20 (Thomas, 1986). The methods of chemical analysis of P were: Bray P₁ (Bray and Kurtz, 1945) and Olsen (Olsen *et al.*, 1954). The results were correlated with variables evaluated in the crop using a linear model ($p \leq 0.05$). The critical level was determined with the graphic method (Cate and Nelson, 1965) and the statistical method (Cate and Nelson, 1971).

The habanero pepper plants were established in a greenhouse and the soil samples were placed in plastic bags of 15 L. In each bag, plants 30 d of age were transplanted, maintaining the available moisture at 80%. In the two treatments of P, 250 and 300 kg ha⁻¹ N and K₂O were applied to the irrigation water in four stages: 1) transplanting (63-33-33 kg ha⁻¹); 2) development (94-33-67 kg ha⁻¹); 3) fruition (63-100-67 kg ha⁻¹); 4) production (31-33-133 kg ha⁻¹).

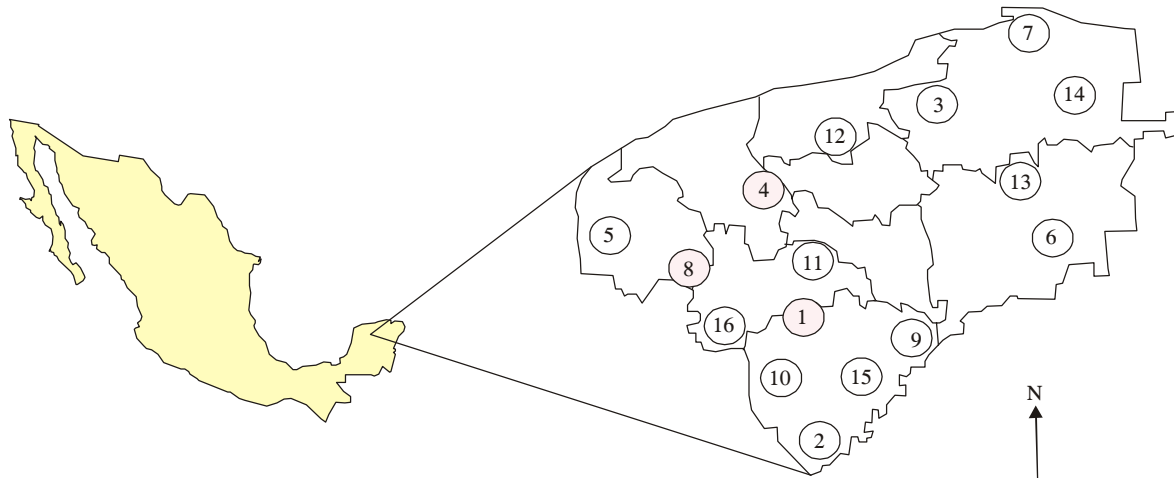


Figura 1. Localización de los suelos de Yucatán, México.
Figure 1. Localization of the soils of Yucatán, México.

la humedad aprovechable al 80%. En los dos tratamientos de P se aplicaron 250 y 300 kg ha⁻¹ N y K₂O en el agua de riego en cuatro etapas: 1) trasplante (63-33-33 kg ha⁻¹); 2) desarrollo (94-33-67 kg ha⁻¹); 3) fructificación (63-100-67 kg ha⁻¹); 4) producción (31-33-133 kg ha⁻¹). El primer corte de fruto fue a los 100 d del trasplante y después se hizo uno cada semana para un total de seis cortes. Las variables evaluadas en la planta fueron: rendimiento de fruto, número de frutos, altura de la planta al mes de trasplante, diámetro de tallo y materia seca. Los índices de rendimiento se calcularon con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Rendimiento relativo} = [(Y_0/Y_{max}) (100)]$$

$$\Delta_{rend} = (Y_{max} - Y_0)$$

donde, Y_0 es el rendimiento de fruto del testigo, Y_{max} es el rendimiento de los tratamientos con 200 kg P ha⁻¹ y Δ_{rend} es el incremento en el rendimiento.

El diseño experimental fue completamente al azar, con dos niveles de P (0 y 200 kg ha⁻¹ P₂O₅) y tres repeticiones. Los resultados se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza (SAS, 2000) y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los suelos

Los suelos presentaron una alta heterogeneidad (Cuadros 1 y 2) debido a su diferente desarrollo, a pesar de tener un mismo material parental (Duch, 1988). Se observaron diferentes tiempos de desarrollo: en el sur, suelos del tipo Luvisol vértico; en el norte, suelos superficiales del tipo Leptosoles y Rendzinas. Al aumentar la distancia desde el litoral marino los suelos están más desarrollados, lo que puede explicarse por la historia geológica en el Estado de Yucatán. Con excepción

The first cutting of fruit was at 100 d of transplanting and then one was made every week for a total of six cuttings. The variables evaluated in the plant were as follows: fruit yield, number of fruits, plant height at one month after transplanting, stem diameter and dry matter. The yield indices were calculated using the following equations:

$$\text{Relative yield} = [(Y_0/Y_{max}) (100)]$$

$$\Delta_{rend} = (Y_{max} - Y_0)$$

where, Y_0 is the yield of the control fruit, Y_{max} is the yield of the treatments with 200 kg P ha⁻¹ and Δ_{rend} is the yield increase.

The experimental design was completely randomized, with two levels of P (0 and 200 kg ha⁻¹ P₂O₅) and three replicates. The results were statistically analyzed through the analysis of variance (SAS, 2000) and the means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Soil characterization

The soils presented a high heterogeneity (Tables 1 and 2) due to their different development, despite having the same parental material (Duch, 1988). Different development times were observed: in the south, vertico Luvisol soils; in the north, superficial Leptosol and Rendzine soils. As the distance from the seacoast increases, the soils are more developed, which can be explained by the geological history in the State of Yucatán. With the exception of soil 10 (pH = 5.23), the contents of Ca are high, thus their pH varies from neutral to alkaline. Consequently, the availability of P for crops is limited due to the low solubility of the mineral in this interval of pH (Johnson *et al.*, 2003). In these soils, the variability of the content of K may

Cuadro 1. Algunas características físicas de los suelos estudiados en 16 sitios de Yucatán, México.
Table 1. Some physical characteristics of the soils studied in 16 sites of Yucatán, México.

Suelo	Clasificación FAO	pH	%			Densidad aparente g cm ⁻³
			Arena	Limo	Arcilla	
1	Cambisol crómico	7.32	54	28	18	0.86
2	Rendzina	7.44	50	13	37	0.88
3	Cambisol calcárico	7.19	71	15	14	0.71
4	Rendzina	7.0	68	21	11	0.81
5	Leptosol	7.24	58	33	9	0.86
6	Rendzina	7.24	58	28	14	0.76
7	Rendzina	7.53	70	13	17	0.73
8	Luvisol vértico	6.23	41	34	25	0.84
9	Luvisol vértico	6.59	36	22	43	0.82
10	Vertisol pélico	5.23	47	29	24	0.87
11	Rendzina	7.19	63	22	15	0.74
12	Leptosol	7.25	70	17	13	0.76
13	Rendzina	7.10	48	18	34	0.81
14	Rendzina	6.74	60	21	19	0.83
15	Luvisol vértico	6.29	26	25	49	0.87
16	Cambisol calcárico	7.01	46	27	27	0.90

Cuadro 2. Algunas características químicas de los suelos estudiados en 16 sitios de Yucatán, México.
Table 2. Some chemical characteristics of the soils studied in 16 sites of Yucatán, México.

Suelo	Nitrógeno inorgánico	Materia orgánica	Capacidad de intercambio catiónico	K	Ca	Mg
	mg kg ⁻¹	%		cmol ₍₊₎ kg ⁻¹		
1	36.4	5.1	37	0.99	17	2.6
2	97.0	5.6	40	2.41	44	1.4
3	59.1	10.5	53	0.99	28	2.7
4	43.9	12.8	56	0.77	37	1.5
5	51.5	16.1	59	2.35	52	3.8
6	68.2	7.9	44	0.91	23	2.0
7	51.5	9.7	45	1.64	48	1.9
8	112.1	3.8	32	1.87	10	2.1
9	45.4	3.6	30	2.49	9	1.4
10	50	3.4	26	1.17	0.1	1.1
11	48.5	5.9	41	1.19	15	2.6
12	36.4	10.1	44	0.88	27	1.4
13	28.8	6.7	39	2.38	19	1.5
14	66.7	6.6	34	1.02	12	3.0
15	39.4	2.3	29	3.02	9	2.2
16	31.8	4.2	29	1.22	8	0.8

del suelo 10 (pH=5.23) los contenidos de Ca son altos, por lo que su pH va de neutro a alcalino. Por tanto, la disponibilidad de P para los cultivos está limitada debido a la baja solubilidad del mineral en este intervalo de pH (Johnson *et al.*, 2003). En estos suelos la variabilidad del contenido de K puede deberse a la naturaleza y proporción de los coloides presentes (Borges *et al.*, 2005), mientras que valores altos de N y de CIC se pueden atribuir a la elevada proporción de MO en la mayoría de estos suelos. Oorts *et al.* (2003) reportan que la MO contribuyó entre 75 y 80% en la CIC en suelo férrico, lo cual explicaría la relación ($R^2=0.9$) en estos suelos entre la MO y la CIC.

be due to the nature and proportion of the colloids present (Borges *et al.*, 2005), while high values of N and of CIC can be attributed to the high proportion of OM in most of these soils. Oorts *et al.* (2003) report that the OM contributed between 75 and 80% in the CIC in ferric soil, which would explain the ratio ($R^2=0.9$) in these soils between the OM and the CIC.

Correlation and calibration of soil phosphorus and crop response

The concentrations of P analyzed by the two methods varied from 1.4 to 33.8 mg kg⁻¹ of soil (Table 3);

Correlación y calibración del fósforo del suelo y respuesta del cultivo

Las concentraciones de P analizadas por los dos métodos variaron de 1.4 a 33.8 mg kg⁻¹ de suelo (Cuadro 3); tales diferencias entre ambos métodos en un mismo suelo pueden deberse al tipo de extractante usado (Mallarino, 2003). Según la definición de Olsen (Olsen *et al.*, 1954), 10 de los 16 suelos estudiados son considerados de medianos a ricos por su contenido de P; sin embargo, esto no significa que el P esté disponible para la planta.

Con excepción del suelo 10, el rendimiento de fruto superó a los obtenidos normalmente en campo (entre 810 y 900 g planta⁻¹) (Soria *et al.* (2002). La respuesta de rendimiento en función de las aplicaciones de P aumentó significativamente en 12 de los 16 suelos evaluados, indicando que la mayoría de los suelos presentaban un contenido bajo de P disponible. Cada localidad respondió diferente a la aplicación de fósforo: los suelos 16, 6, 13 y 12 tuvieron los mayores aumentos en el rendimiento de chile habanero probablemente debido a su bajo contenido de este nutrimento; en contraste, los suelos 3 y 8 mostraron una menor respuesta debido a sus altos contenidos de P. Los coeficientes de correlación entre los índices de rendimiento, las variables de respuesta y el fósforo extraído del suelo (Cuadro 4) mostraron que el método Olsen fue el que presentó los valores más altos y se asoció con el mayor

such differences between the two methods in the same soil may be due to the type of extractant used (Mallarino, 2003). According to the definition of Olsen (Olsen *et al.*, 1954), 10 of the 16 soils studied are considered moderate to rich for their P content; however, this does not mean that the P is available to the plant.

With the exception of soil 10, fruit yield surpassed those normally obtained in the field (between 810 and 900 g plant⁻¹) (Soria *et al.*, 2002). The response of yield as a function of the applications of P increased significantly in 12 of the 16 soils evaluated, indicating that the majority of the soils presented a low content of available P. Each locality responded differently to the application of phosphorus: soils 16, 6, 13 and 12 had the highest increases in yield of habanero pepper, probably because of their low content of this nutrient; in contrast, soils 3 and 8 showed a lower response due to their high P contents. The correlation coefficients among the yield indices, response variables and phosphorus extracted from the soil (Table 4) showed that the Olsen method presented the highest values and was associated with the highest number of response variables of the crop. This indicates that the fractions of P extracted with this method are better related with the response of habanero pepper; whereas the low correlation coefficients for the Bray P₁ method, indicate that there is no association among them. Venegas *et al.* (1999) reported similar results for andisoles in a study of correlation and calibration of extractable P in

Cuadro 3. Contenido de fósforo extractable en 16 suelos de Yucatán utilizando dos métodos analíticos (Olsen y Bray P₁) y respuesta del rendimiento de fruto de chile habanero a la aplicación de fósforo (kg ha⁻¹).

Table 3. Content of extractable phosphorus in 16 soils of Yucatán using two analytical methods (Olsen and Bray P₁) and responses of the fruit yield of habanero pepper to the application of phosphorus (kg ha⁻¹).

Suelo	Olsen	Bray P ₁	0(P ₂ O ₅)	200 (P ₂ O ₅)	Incremento en el rendimiento (g planta ⁻¹) [†]
	mg kg ⁻¹		Rendimiento de fruto (g planta ⁻¹)		
1	10.7	20.5	429	1174 [‡]	744 abc
2	2.3	9.3	262	1077 [‡]	816 ab
3	13.9	13.1	1445	1493	44 bc
4	5.6	8.5	499	969 [‡]	470 abc
5	14.7	7.05	996	1407 [‡]	411 abc
6	3.0	10.2	160	1172 [‡]	1013 a
7	6.5	8.4	811	1103	292 abc
8	18.5	33.8	1532	1569	37 c
9	8.7	16.0	1277	1664 [‡]	387 abc
10	7.6	15.8	142	621 [‡]	480 abc
11	6.8	10.0	471	916 [‡]	544 abc
12	3.3	7.3	374	1226 [‡]	852 a
13	1.4	7.8	325	1200 [‡]	875 a
14	4.3	10.7	822	1512 [‡]	690 abc
15	12.5	19.2	1170	1703 [‡]	533 abc
16	4.6	11.9	844	1883 [‡]	1038 a

[†] Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes de acuerdo p≤0.05).

[‡] Diferencia significativa (p≤0.05).

Cuadro 4. Coeficientes de correlación simple entre el P del suelo analizado por los métodos Olsen y Bray P₁, y las variables de respuesta del chile habanero a la aplicación de fósforo.

Table 4. Coefficients of simple correlation between the P of the soil analyzed by the Olsen and Bray P₁ methods, and the response variables of habanero pepper to the application of phosphorus.

Variable de respuesta	Bray P ₁	Olsen
Altura	0.753 †	0.739 †
Diámetro de tallo	0.743 †	0.677 †
Materia seca	0.273	0.677 †
Número de frutos	0.497	0.734 †
Índice de rendimiento		
Rendimiento del testigo	0.511	0.756 †
Rendimiento relativo	0.472	0.802 †

† Diferencia significativa (p≤0.05).

número de variables de respuesta del cultivo. Esto indica que las fracciones de P extraídas con este método se relacionan mejor con la respuesta del chile habanero; en tanto que los bajos coeficientes de correlación para el método de Bray P₁, indican que no hay asociación entre ellos. Venegas *et al* (1999) reportaron resultados similares para andisoles en un estudio de correlación y calibración de P extractable en el cultivo de trigo: R²=0.85 y significativo con la técnica de Olsen.

Niveles críticos de fósforo para el cultivo de chile habanero

Los valores críticos de P obtenidos para el chile habanero por el método gráfico (Cate y Nelson, 1965) y el estadístico (Cate y Nelson 1971) estaban entre 10.65 y 12 mg kg⁻¹ según el método químico de análisis utilizado. Sin embargo, el análisis químico Bray P₁ tuvo un r de 0.472, mientras que en Olsen r fue 0.802 estableciendo un nivel crítico de P para chile habanero de 11.9 mg kg⁻¹ (Figura 2). No obstante, mientras que el valor obtenido es crítico para chile habanero, de acuerdo con los valores usados en tablas comparativas, estos suelos serían clasificados como ricos en P.

CONCLUSIONES

El método más apropiado para detectar la concentración disponible de fósforo en los suelos de Yucatán fue la técnica de Olsen. El nivel crítico de P para el cultivo de chile habanero fue 11.9 mg kg⁻¹ de acuerdo con el método gráfico.

the wheat crop: R²=0.85 and significant with the Olsen technique.

Critical levels of phosphorus for the habanero pepper crop

The critical values of P obtained for habanero pepper by the graphic method (Cate and Nelson, 1965) and the statistical method (Cate and Nelson, 1971) were between 10.65 and 12 mg kg⁻¹ according to the chemical analysis method used. However, the Bray P₁ analysis method had a r of 0.472, whereas in Olsen, r was 0.802, establishing a critical level of P for habanero pepper of 11.9 mg kg⁻¹ (Figure 2). However, although the critical value obtained in critical for habanero pepper, according to the values used in comparative tables, these soils would be classified as rich in P.

CONCLUSIONS

The most appropriate method for detecting the content of available phosphorus in the soils of Yucatán was the Olsen technique. The critical level of P for the cultivation of habanero pepper was 11.9 mg kg⁻¹ according to the graphic method.

End of the English version—

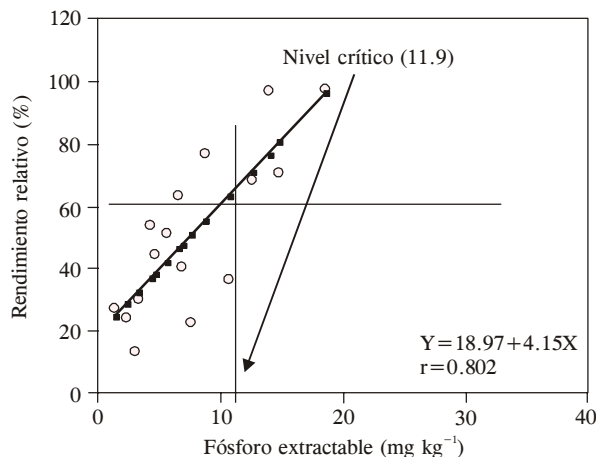
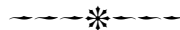


Figura 2. Nivel crítico de fósforo extractable determinado por el método gráfico usando el análisis químico de Olsen.
Figure 2. Critical level of extractable phosphorus determined by the graphic method using the Olsen chemical analysis.

LITERATURA CITADA

- Bautista-Zúñiga, F., J. Jiménez-Osornio, y J. Navarro-Alberto. 2003. Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en Leptosoles cársticos. *Terra* 21: 1-11.
- Borges-Gómez, L., A. Escamilla-Bencomo, M. Soria-Fregoso, y V. Casanova-Villarreal. 2005. Potasio en suelos de Yucatán. *Terra Latinoamericana* 23: 437-445
- Bray, R., and L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Cate, R., B., and L. A. Nelson. 1965. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. *North Carolina Agric. Exp. Sta., International Soil Testing Series. Tech. Bull. No.1.*
- Cate, R., and L. A. Nelson. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 658-659.
- CSTPA. Council on Soil Testing and Plant Analysis. 1980. *Handbook on Reference Methods for Soil Testing.* Athens, Georgia. USA. 459 p.
- Duch, G. J. 1988. La conformación territorial del estado de Yucatán. Universidad Autónoma de Chapingo. Centro Regional de la Península de Yucatán. Texcoco, México. 427 p.
- Duch, G. J. 1991. Configuración fisiográfica del estado de Yucatán. Universidad Autónoma de Chapingo. Centro Regional de la Península de Yucatán. México. 229 p.
- Etchevers, J. D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutricional de los cultivos. *Terra* 17(3):209-219.
- Gee, G. W., and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. *In:* Klute, A. (ed). *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Agronomy 9. 2nd ed. Madison, Wisconsin, USA. pp: 383-409.
- Johnson, P. G., R. T. Koenig, and K. L. Kopp. 2003. Nitrogen, phosphorus, and potassium responses and requirements in calcareous sand greens. *Agron. J.* 95: 697-702.
- Mallarino, A. P. 2003. Field calibration for corn of the Mehlich-3 soil phosphorus test with colorimetric and inductively coupled plasma emission spectroscopy determination methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1928-1934.
- Mehlich, A. 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na, NH₄, Raleigh. North Carolina. Department of Agriculture. Agronomic Division. Soil Testing. Division Publication. No. 1-53.
- Nelson, D. W., and L. E. Sommers 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In:* Klute A. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* Agronomy 9. 2nd ed. Madison, Wisconsin, USA. pp: 539-547.
- Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe, and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. Department of Agriculture. Circular 939. U.S. Washington, D. C.
- Oorts, K., B. Vanlauwe, and R. Merckx. 2003. Cation exchange capacities of soil organic matter fractions in a Ferric Lixisol with different organic matter inputs. *Agric. Ecosystems and Environ.* 100: 161-171.
- Soria F., R. Trejo, S. Tun S. y R. Terán 2002. Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). SEP. DGETA. ITA-2. Conkal, Yucatán. México 75 p.
- Thomas, G. W. 1986. Cationic exchange capacity. *In:* Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Agronomy 9. 2nd ed. Madison, Wisconsin, USA. pp: 159-164.
- Venegas, G., L. Cajuste, A. Trinidad, y F. Gavi. 1999. Correlación y calibración de soluciones extractantes del fósforo aprovechable en adisoles de la Sierra Tarasca. *Terra* 17(4): 287-291
- Weisbach, C., H. Tiessen., and J. Jimenez-Osornio 2002. Soil fertility during shifting cultivation in the tropical karst soil of Yucatan. *Agronomie* 22: 253-263.