

MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL FOSFORO EXTRACTABLE EN SUELOS DEL NORTE Y OESTE DE LA PRADERA PAMPEANA - SU EVALUACIÓN BIOLÓGICA

M. F. Vázquez; E. Noellemeyer; A. Struffolino;
L. G. López Camelo; L. A. Barberis;

Dpto. de Suelos - Facultad de Agronomía - UBA. Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires

RESUMEN

Se llevó a cabo un ensayo de invernáculo utilizando tomate (*Lycopersicum esculentum*) como planta índice, con el objetivo de comprobar la bondad para la cuantificación del P disponible de varias técnicas analíticas, en suelos del N y O de la provincia de Buenos Aires.

Los tratamientos aplicados fueron Completo (solución de Martini, 1969, modificada), P (35-70 kg/ha), Completo sin P y Testigo. Las variables respuesta medidas fueron peso relativo de la 1era. y 2da. dosis de P, P absorbido por maceta relativo, área foliar relativa de la 1era. y 2da. dosis de P y concentración de P en los testigos. Las técnicas analíticas usadas fueron Bray-Kurtz N° 1, Bray-Kurtz N° 2, Resina, Olsen, OHNA y orgánico lábil. Se estudió la influencia de distintos acondicionamientos de la muestra (heladera, freezer, seco en estufa y al aire), sobre los resultados de la técnica de Bray-Kurtz N° 1. Los mismos mostraron ser afectados por el tipo de acondicionamiento, a pesar de lo cual estaban altamente correlacionados. Varias de las técnicas analíticas usadas mostraron asociaciones entre sí.

El método de Bray-Kurtz N° 1 fue el más eficiente en la predicción de la respuesta al agregado de P. Se aconseja efectuar ecuaciones diagnósticas para cada subregión por separado, contemplando la respuesta a otros elementos.

Palabras clave: P extractable, ensayo de invernáculo, métodos, ecuaciones diagnósticas, acondicionamiento de muestras.

METHODS OF DETERMINATION OF EXTRACTABLE P IN SOILS OF THE PRADERA PAMPEANA REGION - BIOLOGICAL EVALUATION

ABSTRACT

A greenhouse experiment using tomato (*Lycopersicum esculentum*) was carried out in order to study the usefulness of various techniques for the determination of available Phosphorus in soils from the North and East of the Buenos Aires province.

The following treatments were used: Complete (modified Martini's solution), P (35/70 kg/ha), Complete without P and Control.

Response to P-addition was measured in terms of relative dry weight of 1st. and 2nd. rate of P, P absorbed per pot, relative leaf area of 1st. and 2nd. rate of P, and concentration of P in Control.

The following analytical techniques were employed: Bray-Kurtz 1, Bray-Kurtz 2, Resin-extractable P, Bicarbonate (Olsen), Sodium Hydroxide and labile organic P.

The variation caused by differences in sample preparation (storage in fridge or freezer, oven-drying, or air-drying) was studied for the Bray - Kurtz 1 extraction method. The results demonstrated variation due to different types of sample preparation, but were found closely associated.

Among various of the analytical techniques studied high correlation coefficients were encountered.

The Bray-Kurtz 1 technique was found to predict most efficiently the response to P-additions.

The diagnostic equations should be elaborated separating ecological subregions, considering deficiencies of other nutrients.

Key words: extractable P, methods, greenhouse experiment, yield-response prediction, sample preparation.

INTRODUCCION

En los últimos años, tanto desde la comunidad científica, como de diferentes grupos de profesionales y productores del agro, han surgido reiteradas presentaciones que alertan acerca de la gravedad de las deficiencias de fósforo de los suelos de la Pradera Pampeana y su repercusión actual y futura sobre la productividad de esos suelos. (Conti *et al.*, 1976; Darwich, 1980; Mizuno *et al.*, 1980; Barberis, 1985).

Debido a ello, cobra especial importancia el perfeccionamiento de las técnicas de medición del fósforo disponible del suelo y su capacidad para predecir las posibles respuestas de los cultivos a la fertilización fosforada.

El objetivo del presente trabajo fue en primer lugar, comprobar la bondad para la cuantificación del fósforo disponible de varias técnicas analíticas, recomendadas en suelos de características similares a los tratados en este estudio, las cuales emplean diferentes soluciones extractivas de fosfatos inorgánicos y de fosfatos orgánicos lábiles.

Entre las técnicas seleccionadas se consideró la inclusión de una medida tendiente a caracterizar la capacidad fosfórica orgánica de estos suelos, debido por un lado, al contenido de fósforo orgánico de los mismos, el cual oscila alrededor del 50% del contenido total de este elemento (Vázquez M. E., 1986); y por otro lado, a antecedentes como los presentados por Bowman *et al.*, 1978; Hedley *et al.*, 1982 y Chauchan *et al.*, 1981, quienes demuestran que una porción del fósforo orgánico, denominado lábil, es sensible a cambios en el manejo de los suelos, agregado de fertilizantes y materia orgánica.

Las eficiencias relativas de todas las técnicas usadas se valoraron biológicamente a través de ensayos de invernáculo utilizando una planta índice.

En segundo lugar se probó la influencia de diferentes formas de acondicionamiento de las muestras, sobre los resultados de la determinación de Bray-Kurtz N° 1, en virtud de la difusión que la misma ha alcanzado en el área, a fin de fijar pautas a tener en cuenta en el procesamiento de dichas muestras, desde su extracción en el campo hasta su análisis químico.

MATERIALES Y METODOS

a) Suelos:

Se usaron suelos pertenecientes a dos zonas de la

Pradera Pampeana.

— Pampa arenosa: Haplustoles típicos, énticos y thaptoárgicos, pertenecientes a los dominios edáficos 15 a 19 (Moscatelli *et al.*, 1980).

— Pampa ondulada: Argiudoles vérticos y típicos, Argialboles argiácuicos pertenecientes a los dominios edáficos 7, 8 y 10 en lo que respecta a la Prov. de Bs. As. (Moscatelli *et al.*, 1980). Las series descriptivas de estos suelos figuran en la Tabla 1.

Para el ensayo biológico y para todas las determinaciones analíticas se emplearon muestras compuestas de la capa arable (0 a 20 cm de profundidad).

Una caracterización general de los suelos puede verse en la Tabla 1.

b) Determinaciones analíticas

1. Vegetal:

La concentración de fósforo fue determinada en la muestra compuesta de tres repeticiones por digestión húmeda mediante una mezcla de ácido nítrico/ácido perclórico (100/40) a 200°C y colorimetría del vanado-molibdico.

2. Suelo:

Las determinaciones analíticas detalladas a continuación fueron realizadas sobre muestras extraídas antes de la siembra:

- extracción con FNH_4 0,03 N - HCl 0,025 N (Bray-Kurtz N°1) (Bray *et al.*, 1945)
- extracción con FNH_4 0,03 N - HCl 0,1 N (Bray-Kurtz N°2) (Jackson, 1964)
- extracción con resina de intercambio aniónico (Sibbesen, 1977)
- extracción con NaHCO_3 0,5 N (Olsen *et al.*, 1954)
- extracción con NaOH 0,1 N (Chauhan *et al.*, 1981)
- fósforo orgánico lábil (Bowman *et al.*, 1978)

Se practicaron diferentes tipos de acondicionamiento de las muestras, previo a la determinación de Bray-Kurtz N° 1.

Estos fueron para el ensayo del año 1983 los siguientes:

- secado al aire
- secado en estufa a 40°C

heladera a 4°C durante 10-15 días
freezer a -18°C durante el mismo lapso.

En el año siguiente se suprimió el secado en estufa.

En la Tabla 2 se expresan los resultados obtenidos con los diferentes métodos de fósforo extractable y con diferentes sistemas de acondicionamiento.

c) Ensayo de invernáculo

El ensayo biológico se realizó mediante un diseño en bloques completamente al azar con tres repeticio-

nes. Se utilizó como planta índice tomate (*Lycopersicon esculentum*). Las unidades experimentales fueron macetas de 1 kg de suelo seco, con cinco plantas equidistantes entre sí. Se mantuvo la humedad de suelo en 80% de la humedad equivalente mediante riegos diarios con agua destilada.

Se aplicaron distintos tratamientos: el tratamiento completo obedeció a la solución nutritiva de Martini (1969), con algunas modificaciones, persiguiendo la finalidad de no alterar el pH y el producto de solubilidad de los precipitados fosforados.

TABLA 1: Caracterización general de los suelos en estudio.

a) Pampa ondulada					
Establecimiento	Serie	Partido	pH	M.O. (%)	CIC (meq/100)
1983					
El Bañadito	Rojas	Salto	6.2	3.9	21.5
El Pilar	Arroyo Dulce	Salto	6.5	3.6	30.0
San Eusebio	Ramallo	Ramallo	6.2	3.7	23.7
La Lucila	Urquiza	Pergamino	6.1	3.7	19.5
Sta. Elena (R)	Rojas	Rojas	6.1	3.5	—
Sta. Elena (Ch)	Chacabuco	Chacabuco	6.3	4.3	20.1
Kilgruman	Monte Buey	Marcos Juárez	6.4	—	22.2
La Dolores	Venado Tuerto	General López	6.5	—	25.0
1984					
La Alegría	Hughes	Hughes	6.3	4.5	19.3
San José	Pergamino	Pergamino	6.8	3.2	15.1
Sta. Elena	Chacabuco	Chacabuco	6.3	5.0	19.9
El Pilar	Arroyo Dulce	Salto	6.4	4.4	19.3
La Patricia	Arrecifes	Arrecifes	6.3	4.1	17.5
b) Pampa arenosa					
Establecimiento	Localidad (1)	Partido	pH	M.O. (%)	CIC (meq/100)
1983					
San Claudio	Hortensia	Carlos Casares	6.4	4.4	26.0
La Suerte	Arenaza	Lincoln	6.1	1.0	18.2
San Jorge	Luro	Daireaues	6.1	2.8	26.6
La Cautiva	Los Toldos	Gral. Viamonte	6.3	3.5	15.4
La Margarita I	Albariños	Pehuajo	6.3	3.0	20.8
Sauce-Có	Pirovano	Bolívar	6.4	4.3	19.1
La Unión	Las Toscas	Lincoln	6.3	2.7	16.1
La Margarita II	Albariños	Pehuajó	6.5	3.7	22.1
1984					
La Fe	Garre	Trenque Lauquen	6.4	2.2	11.5
San Juan	30 de Agosto	Trenque Lauquen	6.6	2.6	17.6
La Margarita	Albariños	Pehuajó	6.5	4.1	17.6
La Suerte	Arenaza	Lincoln	6.6	3.2	16.2
6 de Enero	E. Lavalle	Daireaues	7.0	2.6	11.1
La Unión	Las Toscas	Lincoln	6.5	4.2	16.0
San Claudio	Hortensia	Carlos Casares	6.7	5.7	18.5
(1) Estas localidades carecen de relevamiento cartográfico a nivel de Serie.					

TABLA 2: Datos de P Extractable medido por distintos métodos analíticos. Efecto del acondicionamiento de la muestra.

a) Pampa ondulada								
Establecimiento	freezer	Bray-Kurtz N° 1 (ppm)		estufa	Resina (ppm)	Olsen (ppm)	P Org. lábil (ppm)	
1983		heladera	seco al aire					
El Bañado	14.1	14.5	17.0	16.7	12.5	10.4	16.5	
El Pilar	14.1	13.5	18.7	17.9	14.4	9.5	12.6	
San Eusebio	8.6	8.1	9.3	9.6	7.5	6.0	8.8	
La Lucila	28.9	31.4	55.3	33.7	42.5	27.8	25.2	
Sta. Elena (R)	10.3	8.4	10.0	12.4	5.6	6.1	18.3	
Sta. Elena (Ch)	39.4	32.6	47.7	41.1	33.7	9.8	12.3	
Kilgerman	14.7	12.6	15.3	14.5	8.5	6.6	12.0	
La Dolores	45.5	34.5	39.7	52.9	25.2	21.1	2.4	
Establecimiento	Bray-Kurtz N° 1 (ppm)			Resina (ppm)	Olsen (ppm)	Bray-Kurtz N° 2 (ppm)	OHNa	P Org. lábil (ppm)
1984	freezer	heladera	seco al aire					
La Alegría	10.6	11.0	11.9	9.6	11.6	21.9	—	13.3
San José	13.0	10.9	12.6	11.9	10.1	38.3	53.4	9.9
Sta. Elena	8.2	7.5	8.7	9.1	7.6	16.7	21.5	14.2
El Pilar	18.6	17.6	16.3	15.3	15.7	35.0	29.3	6.6
La Patricia	8.8	—	8.2	10.1	11.1	16.7	17.2	11.1
b) Pampa arenosa								
Establecimiento	freezer	Bray-Kurtz N° 1 (ppm)		estufa	Resina (ppm)	Olsen (ppm)	P Org. lábil (ppm)	
1983		heladera	seco al aire					
San Claudio	12.7	9.5	12.5	12.7	7.5	8.4	11.8	
La Suerte	12.0	15.3	14.8	14.6	6.3	4.7	15.3	
San Jorge	35.7	32.2	31.9	36.0	14.9	11.4	20.4	
La Cautiva	14.4	11.6	10.4	10.4	5.0	5.0	18.7	
La Margarita I	17.5	15.0	16.5	15.9	8.8	7.0	23.0	
Sauce-Có	18.7	16.7	20.5	17.7	9.8	5.9	13.7	
La Unión	15.6	15.4	17.5	17.4	9.2	5.3	10.9	
La Margarita II	13.2	14.8	15.2	15.2	10.0	4.9	15.2	
Establecimiento	Bray-Kurtz N° 1 (ppm)			Resina (ppm)	Olsen (ppm)	Bray-Kurtz N° 2 (ppm)	OHNa	P Org. lábil (ppm)
1984	freezer	heladera	seco al aire					
La Fe	12.7	17.7	18.5	7.2	6.2	28.6	39.9	15.2
San Juan	17.2	17.2	18.5	7.5	22.2	31.7	49.4	12.6
La Margarita	15.0	14.9	17.3	8.9	19.4	29.1	40.6	10.7
La Suerte	10.4	10.5	9.6	8.0	15.6	21.0	27.9	10.7
6 de Enero	15.9	12.7	14.2	7.0	16.6	27.7	43.4	7.0
La Unión	9.8	6.6	12.2	4.3	—	27.3	30.2	—
San Claudio	12.1	11.9	13.2	10.3	—	—	29.0	—

En el año 1984 se incluyó el tratamiento P_2 , 70 kg/ha de P, debido a que en el ensayo de 1983, muchos de los suelos estudiados presentaban claros síntomas de respuesta a la primera dosis de P (35 kg/ha), en estadios tempranos del desarrollo del cultivo, pero estos desaparecían en etapas posteriores.

Al cabo de 45 días se cosecharon las plantas en estado vegetativo, y se evaluó el peso seco y el área foliar mediante el uso de un planímetro.

Se presenta al pie un esquema de los tratamientos*

En la Tabla 3 se presentan los valores promedio de las variables respuesta del ensayo biológico de invernáculo. Con la finalidad de poder hacer pruebas estadísticas con la información de ambos ensayos simultáneamente, estas variables se han expresado en forma relativa al testigo correspondiente, de la siguiente manera:

$AF_1R - AF_2R$: (Área foliar del tratamiento P_1 ó P_2 - tratamiento T / tratamiento T) $\times$ 100

PAR: (P absorbido en parte aérea vegetal del tratamiento P_1 - tratamiento T / tratamiento T) $\times$ 100

$PS_1R - PS_2R$: (Peso seco en parte aérea del tratamiento P_1 ó P_2 - tratamiento T / tratamiento T) $\times$ 100

Se indica además, el contenido de P en parte aérea vegetal del testigo, expresado en porcentaje del peso seco.

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de varianza de los datos de peso seco de parte aérea hecho para cada lote, reveló que 10 ensayos en cada una de las zonas, de un total de 13 en Pampa ondulada y 15 en Pampa arenosa, mostraron respuesta al agregado de fósforo. Es interesante notar que en muchos casos se observó sinergismo entre el elemento fósforo y algún otro contenido en la solución completa; presumiblemente nitrógeno, según lo indicarían los resultados de Barberis *et al* (1976, b) para la zona estudiada; ya que, el tratamiento Completo fue superior a los tratamientos Completo - P y P respectivamente, desde el punto de vista estadístico.

A continuación se discutirán algunos aspectos vinculados a las medidas edáficas analíticas estudiadas con fines de diagnóstico en estos suelos.

Relación entre los distintos métodos de determinación del fósforo extractable

La matriz de correlaciones entre los distintos métodos se presenta en la Tabla 4. Se usó como referencia el tratamiento "secado al aire" para la determinación de Bray-Kurtz N° 1. Se encontraron coeficientes de correlación significativos entre los métodos de Bray-Kurtz N° 1 - Bray-Kurtz N° 2, Bray-Kurtz N° 1 - Olsen, Bray-Kurtz N° 1 - Resina, Olsen - Resina.

Se quiere hacer notar, que estas asociaciones fueron estudiadas para ambas zonas en conjunto. Sin embargo, cuando la información se discriminó regionalmen-

* Elemento aportado (kg/ha)								
Denominación del tratamiento (Sigla)	P	N	K	S	Mn	Zn	Cu	BO_3^{3-}
Testigo (T)	0	0	0	0	0	0	0	0
Completo (C)	35 (1983) 70 (1984)	50	50	50,5	6	2	3,5	1,2
Completo-P (C-P)	0	50	50	50,5	6	2	3,5	1,2
P_1 (P_1)	35	0	0	0	0	0	0	0
P_2 (P_2) (1984)	70	0	0	0	0	0	0	0

te, los resultados fueron muy similares, indicando esto que la naturaleza de los suelos analizados, no modificó la capacidad extractiva de las soluciones usadas por las diferentes técnicas analíticas.

En relación al grado de asociación entre los valores

de Bray-Kurtz N° 1 y Olsen se confirmó lo hallado por Barberis *et al.*, 1976 (a) extendiéndose la factibilidad de conversión a los pares Bray-Kurtz N° 1 – Bray-Kurtz N° 2, Bray Kurtz N° 1 – Resina, Olsen – Resina. Para diferentes suelos argentinos López Camelo *et*

TABLA 3: Resultados del ensayo de invernáculo (1)

a) Pampa ondulada						
1983	AF ₁ R	PAR	PS ₁ R	P test (% en peso)		
El Bañadito	15.9	131	24	0.21		
El Pilar	5.2	84	11	0.18		
San Eusebio	10.5	177	100	0.13		
La Lucila	9.2	40	11	0.26		
Sta. Elena (R)	0	24	9	0.31		
Sta. Elena (Ch)	5.4	174	26	0.12		
Kilgruman	12.5	105	40	0.27		
La Dolores	0	26	0	0.40		
1984	AF ₁ R	AF ₂ R	PAR	PS ₁ R	PS ₂ R	P test (% en peso)
La Alegría	39.3	37.6	53.0	20	35	0.36
San José	79.0	93.0	97	76	100	0.19
Sta. Elena	11.7	15.1	143	44	44	0.33
El Pilar	7.5	18.9	76	30	40	0.46
La Patricia	30.0	42.7	261	109	118	0.25
b) Pampa arenosa						
1983	AF ₁ R	PAR	PS ₁ R	P test (% en peso)		
San Claudio	3.5	255	28	0.15		
La Suerte	5.3	106	46	0.15		
San Jorge	29.0	49	12	0.21		
La Cautiva	0	90	25	0.21		
La Margarita I	23.5	118	31	0.21		
Sauce-Có	8.0	157	26	0.16		
La Unión	6.0	95	4	0.24		
La Margarita II	0.7	61	27	0.26		
1984	AF ₁ R	AF ₂ R	PAR	PS ₁ R	PS ₂ R	P test (% en peso)
La Fe	1.6	8.4	37	11	15	0.22
San Juan	0	1.9	34	19	33	0.23
La Margarita	34.6	42.8	219	77	92	0.20
La Suerte	63.7	73.7	407	250	283	0.23
6 de Enero	32.4	43.5	256	122	189	0.20
La Unión	75.8	104.0	382	180	220	0.21
San Claudio	4.8	16.2	—	50	67	—
AF ₁ R – AF ₂ R: (Area foliar del tratamiento P ₁ ó P ₂ – tratamiento T / tratamiento T) x 100.						
PAR : (P absorbido en parte aérea vegetal del tratamiento P ₁ – tratamiento T / tratamiento T) x 100.						
PS ₁ R – PS ₂ R : (Peso seco en parte aérea del tratamiento P ₁ ó P ₂ – tratamiento T / tratamiento T) x 100.						
P test : Porcentaje de P en la parte aérea vegetal para el tratamiento testigo.						
(1) Todos los resultados son la media aritmética de 3 repeticiones.						

A pesar de que el tratamiento "heladera" produjo valores estadísticamente inferiores a los restantes tipos de acondicionamiento, la alta correlación por un lado y la similitud encontrada en el valor diagnóstico de la técnica de Bray-Kurtz N° 1 por otro (Tabla 6), permiten concluir que el sistema de secado al aire resultaría más conveniente pues permite generar archivos de muestras y es de mayor repetibilidad analítica.

Relación entre valores de P extractable y variables biológicas

Con la finalidad de indicar cuáles metodologías analíticas podrían ser útiles en ecuaciones diagnóstico para las zonas en estudio, se analizaron las asociaciones entre las determinaciones edáficas (Tabla 2) y las variables biológicas medidas en invernáculo (Tabla 3). Estas relaciones se muestran en la tabla 6.

Fueron probadas asociaciones de tipo lineal, exponencial, potencial y logarítmica, acotándose en la tabla la de mayor coeficiente de correlación.

Según lo indicaron los análisis de varianza y comparaciones múltiples de las variables biológicas, para cada lote en estudio, las medidas de PS_1R y PS_2R (peso seco relativo de la 1era. y 2da. dosis de P) fueron las más modificadas por la fertilización fosforada. Otras, en cambio, no mostraron evidencias de alteraciones por el agregado de este elemento. Tal es el caso de AF_1R y AF_2R (área foliar relativa de la 1era. y 2da. dosis de P).

En virtud de estos resultados fue que se seleccionó PS_1R , por otro lado común a todos los ensayos, para analizar la bondad de las técnicas edáficas analíticas.

El resto de las medidas fueron tenidas en cuenta, como información adicional.

Debe destacarse que en aquellos casos con respuesta a P exclusivamente, se registró un umbral crítico de concentración de P en la parte aérea, cuyo valor fue de 0,21 - 0,23%, a partir del cual no se observaba respuesta al agregado de P.

La técnica de Bray-Kurtz N° 1 mostró ser la más eficiente en la predicción de la respuesta al agregado de P, cuando ambas zonas se consideraron en conjunto (Tabla 6 (b)). Cuando la información se analizó zonalmente (Tabla 6 (a)), también la técnica de Bray-

Kurtz N° 2 fue significativa estadísticamente para Pampa arenosa.

En lo que respecta a la determinación de P orgánico lábil, el establecimiento La Dolores, perteneciente a Pampa ondulada, presentó un valor analítico muy poco correlacionado con la respuesta al agregado de P, además de la peculiaridad de ser el único con $PS_1R = 0$ en ambas zonas. Cuando se calcularon los coeficientes de correlación entre PS_1R y P. org. lábil omitiendo dicho establecimiento, el coeficiente pasó de -0,24 (ln) (Tabla 6 (a)) a -0,53 (1) ($P < 0,10$), comparable al coeficiente análogo en Pampa arenosa, -0,50 (ln) ($P < 0,10$) de la misma Tabla.

Esto indicaría la necesidad de profundizar la factibilidad de uso de la medida analítica mencionada en ecuaciones bivariadas, donde la respuesta del cultivo al agregado de P sea explicada por variables que intenten evaluar el P disponible inorgánico (Bray-Kurtz) así como el orgánico (P org. lábil).

Por otro lado, el análisis de los datos demostró para todas las metodologías analíticas usadas, que los estimadores de los parámetros de regresión, ordenadas y pendientes, fueron particulares para cada zona.

Esto demostraría, que cualquier sistema de diagnóstico que involucre medidas de este tipo, debe circunscribirse a áreas más homogéneas edáficamente. Sin duda, otras variables edáficas no contempladas en este ensayo, por ejemplo de índole física o variables climáticas, son otros argumentos válidos en este sentido.

Otro aspecto analizado, fue el efecto condicionante de la respuesta a otros elementos.

Como se desprende de la Tabla 6 (b), los coeficientes de correlación entre PS_1R y las distintas técnicas, no mejoran al contemplar los casos por separado, $C-P > T$ y $C-P = T$ desde el punto de vista estadístico, es decir, con o sin respuesta al agregado de algún otro elemento contenido en la solución completa respectivamente. Sin embargo, cuando se compararon las pendientes de las ecuaciones lineales en cada caso, pudo verificarse que las mismas son aproximadamente 10 veces mayores en los casos $C-P = T$ que en $C-P > T$.

Esto último es una pauta de que cualquier sistema diagnóstico de la respuesta al agregado de fertilizantes fosforados, debería incluir en el modelo variables relacionadas a la respuesta a otros elementos, por ejemplo N, o en su defecto elaborar modelos distintos para cada subpoblación.

TABLA 6: Coeficientes de correlación entre las distintas técnicas de P Extractable y las variables respuesta de invernáculo.

a) PAMPA ONDULADA								
	B-K Nº 1 (freezer)	B-K Nº 1 (heladera)	B-K Nº 1 (seco)	Olsen	Resina	B-K Nº 2	OHNa	P org. lábil
PS ₁ R ₍₁₎	-0.72 xx ex	-0.60 x ex	-0.52 ln	-0.52 ex	-0.38 pot	-0.21 ln	-0.20 ln	-0.24 ln
PS ₂ R	-0.84 ln	-0.90 pot	-0.70 pot	-0.51 ex	-0.50 ex	-0.78 pot	0.19 l	0.36 pot
PAR	-0.40 pot	-0.31 pot	-0.36 pot	-0.47 ex	-0.25 ex	-0.62 ln	-0.74 ln	0.15 l
AF ₁ R	-0.38 ex	-0.26 ex	-0.26 l	-0.14 ex	-0.18 l	0.46 l	0.83 l	-0.39 pot
AF ₂ R	0.10 ln	-0.14 l	0.10 ln	-0.18 l	0.07 ln	0.53 l	-0.67 ln	0.14 l
% P	0.10 ln	0.11 ln	-0.11 ex	0.40 log	-0.11 ex	-0.12 ex	-0.51 ex	-0.38 ln
PAMPA ARENOSA								
	B-K Nº 1 (freezer)	Nº 1 (heladera)	B-K Nº 1 (seco)	Olsen	Resina	B-K Nº 2	OHNa	P org. lábil
PS ₁ R ₍₁₎	-0.58 x ln	-0.62 x pot	-0.60 x pot	0.50 ln	-0.40 pot	-0.95 x l	-0.65 ex	-0.50 ln
PS ₂ R	-0.97 xx l	-0.86 x l	-0.85 x l	0.36 pot	-0.26 ln	-0.86 x pot	-0.80 ln	-0.78 ex
PAR	-0.62 x ln	-0.75 xx ln	-0.63 x ln	0.39 ln	-0.38 ln	-0.85 l	-0.95 x l	-0.58 x ln
AF ₁ R	-0.19 ln	-0.39 ln	-0.30 ln	0.84 xx ln	0.29 pot	-0.54 ex	-0.26 l	-0.35 pot
AF ₂ R	-0.74 ex	-0.90 xx ln	-0.83 x ln	0.25 ln	-0.65 ln	-0.68 ex	-0.66 ex	-0.61 ex
% P	0.06 ex	0.11 pot	-0.01 ln	0.19 ex	0.16 l	-0.31 pot	-0.18 pot	0.05 ex
(1) Remitirse a la nomenclatura de la Tabla Nº 3 l : ecuación de tipo lineal ex: ecuación de tipo exponencial ln : ecuación de tipo logarítmica pot:ecuación de tipo potencial x : significativo al 5% xx: significativo al 1%								

b) PAMPA ONDULADA + PAMPA ARENOSA								
C-P = T + C-P > T (2)								
	B-K Nº 1 (freezer)	B-K Nº 1 (heladera)	B-K Nº 1 (seco)	Olsen	Resina	B-K Nº 2	OHNa	P org lábil
PS ₁ R	- 0.67 xx ex	- 0.59 xx ex	- 0.52 xx pot	- 0.22 ex	- 0.43 pot	- 0.23 l	- 0.23 ex	- 0.31 l
PS ₂ R	- 0.50 ex	- 0.53 ex	- 0.43 ex	0.29 ln	- 0.50 ln	- 0.35 ex	- 0.24 ex	- 0.37 l
PAR	- 0.43 x pot	- 0.46 x pot	- 0.41 x pot	- 0.17 ex	- 0.32 ln	- 0.39 ex	- 0.48 ex	- 0.30 l
AF ₁ R	- 0.23 ex	- 0.36 ln	- 0.25 ln	0.37 ln	- 0.16 ln	0.30 ln	0.46 l	0.17 pot
AF ₂ R	- 0.55 ex	- 0.62 x ex	- 0.50 ex	- 0.21 ex	- 0.32 ln	0.11 l	- 0.55 ex	- 0.41 ex
% P	0.10 l	0.11 l	- 0.04 pot	0.31 ln	0.20 ln	- 0.20 pot	- 0.53 ex	- 0.36 ln
C-P > T (2)								
	B-K Nº 1 (freezer)	B-K Nº 1 (heladera)	B-K Nº 1 (seco)	Olsen	Resina	B-K Nº 2	OHNa	P org lábil
PS ₁ R	- 0.66 x ex	- 0.61 x ln	- 0.57 x ln	- 0.46 ex	- 0.38 pot	- 0.57 pot	- 0.95 pot	- 0.10 ln
C-P = T (2)								
	B-K Nº 1 (freezer)	B-K Nº 1 (heladera)	B-K Nº 1 (seco)	Olsen	Resina	B-K Nº 2	OHNa	P org lábil
PS ₁ R	- 0.47 ln	- 0.45 ln	- 0.46 ln	0.43 ln	0.22 ex	- 0.82 x ex	- 0.61 ln	- 0.59 x ln
(2) C-P = T Diferencia estadísticamente no significativa entre el tratamiento C-P y T. (No respuesta a otros elementos de la solución completa). C-P > T Diferencia estadísticamente significativa entre el tratamiento C-P y T. (Respuesta a otros elementos de la solución completa).								

CONCLUSIONES

- 1- Se reafirmó la factibilidad de conversión entre valores de Bray-Kurtz N° 1 - Olsen, extendiéndose ésta a los pares de Bray-Kurtz N° 1 - Bray-Kurtz N° 2, Bray-Kurtz N° 1 - Resina, Olsen - Resina, Bray-Kurtz N° 1 y 2 - OHNa, para suelos de características similares a los tratados en este estudio.
- 2- La conservación de la muestra en heladera a 4°C durante 10-15 días produjo valores inferiores en la concentración de P extractable por el método de Bray-Kurtz N° 1, pero altamente correlacionados con los acondicionamientos seco al aire, seco en estufa a 40°C y freezer a -18°C. Por otro lado el acondicionamiento no modificó el valor diagnóstico de la técnica analítica. Por ambas razones se aconseja el secado al aire, ya que éste permite generar archivos de muestras y es de mayor repetibilidad analítica.
- 3- La técnica de Bray-Kurtz N° 1 fue la más eficiente en la predicción de la respuesta al agregado de P

cuando las zonas fueron consideradas en conjunto. También se comportó satisfactoriamente la técnica de Bray-Kurtz N° 2 en Pampa arenosa, razones por las cuales se recomienda el uso de las mismas en ensayos de campo con fines de diagnóstico en estas zonas.

- 4- Se verificaron diferencias importantes en los valores de ordenadas y pendientes de las ecuaciones de regresión tanto para las dos zonas en estudio como para los casos con y sin respuesta al agregado de otros elementos. Por esto se aconseja efectuar el diagnóstico de la respuesta al agregado de P, mediante ecuaciones particulares para áreas ecológicamente homogéneas y dentro de éstas, contemplar la respuesta a otros elementos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la valiosa colaboración de la señorita Verónica Savón en la tarea de análisis estadístico.

REFERENCIAS

- Barberis, L. A.; M. Conti de Martínez y L. Giuffré 1976 (a). Comparación de métodos químicos de medida de fósforo disponible y su relación con las formas de P del suelo. IDIA, Sup. 33:69 - 74.
- Barberis, L. A.; M. Conti de Martínez; L. Berasategui y S. Ratto. 1976 (b). Valoración biológica de diferentes formas de medida del fósforo en suelos del noroeste de la pradera pampeana. IDIA, Sup. 33: 255-262.
- Barberis, L. A. 1985. Seminario sobre fertilización de trigo en la llanura pampeana. Revista CREA N° 113, junio: 44-47.
- Bowman, R. A.; C. V. Cole. 1978. Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO_3 extraction. Soil Sci. 125, 49-54.
- Bray, R. H., L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39 - 45.
- Chauhan, B. S.; J. W. B. Stewart, and E. A. Paul, 1981. Effect of labile inorganic phosphate status and organic additions of carbon on the microbial uptake of phosphorus in soils. Can. J. Soil Sci. 61: 373 - 385.
- Conti, M. E.; L. A. Barberis y E. Chamorro. 1976. Estado del fósforo en suelos de Entre Ríos, Buenos Aires y Santa Fe. IDIA, Sup. 33: 62-68.
- Darwich, N. A. 1980. Disponibilidad de fósforo en suelos de la región pampeana. Actas de la IX R. A. C. S., Paraná, 2: 707-710.
- Hedley, M. J.; J. W. B. Stewart y B. S. Chauhan. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations, Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 970-975.
- Jackson, M. L. 1964. Análisis químico del suelo. Ed. Omega-Barcelona. Cap. 7.
- López Camelo, L. G. de; D. B. de Tiraboschi; Z. M. de Sesé y L. A. Barberis. 1982. El uso de resinas de intercambio aniónico en la determinación del fósforo disponible en algunos suelos argentinos. Rev. Fac. de Agronomía 3: 165-172.
- Martini, J. 1969. Algunas notas sobre la investigación en invernaderos. Curso de fertilidad de suelos. Instituto Internacional de Ciencias Agrícolas. Turrialba. 20 p.
- Mizuno, I.; M. E. Conti; I. S. Lafuente del Frade y P. Fertig. 1980. Caracterización del fósforo en algunos suelos argentinos. III Congreso Latinoamericano de Ciencias del Suelo, Costa Rica.

- Moscatelli, G.; J. C. Salazar; R. Godagnone; R. H. Grinberg; J. Sánchez; R. Ferrao; M. Cuenca. 1980. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, escala 1:500.000. Actas 9a. RACS, Paraná (Entre Ríos), 3: 1079-1089.
- Olsen, S. R.; C. V. Cole; F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Dept. Agric. Circ. 939.
- Sibbesen, E. 1977. A simple ion-exchange procedure for extracting plant-available elements from soil. Plant Soil 146: 665-669.
- Vázquez, M. E. 1986. Evolución estacional del P extractable del suelo en tres agrosistemas de la Pcia. de Buenos Aires. Ciencia del Suelo, 4: 7-14.