

1066

1 DIC. 1975

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA
TESIS

FACULTAD DE AGRONOMIA



DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA

EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE CINCO METODOS PARA
ESTIMAR FOSFORO ASIMILABLE EN SUELOS DEL URUGUAY

CASANOVA-OMAR

GENTA-HECTOR

MALLARINO-ANTONIO

T
1066

1066

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA
TESIS

FACULTAD DE AGRONOMIA



DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA

EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE CINCO METODOS PARA
ESTIMAR FOSFORO ASIMILABLE EN SUELOS DEL URUGUAY

CASANOVA-OMAR

GENTA-HECTOR

MALLARINO-ANTONIO

Omar Casanova
Hector Genta
Antonio Mallarino

Este trabajo se llevó a cabo en
la Cátedra de Fertilidad y Fer-
tilizante de la Fac. de Agrono-
mía, siendo responsable del mis-
mo, el Ing. Agr. José P. Zamalvi-
de.

SETIEMBRE 1975

1 DIC. 1975

Resumen

Se evaluó la capacidad predictiva de cinco métodos de análisis de fósforo "asimilable" (Bray 1, Olsen, Nth, Carolina, Resinas Cationes y Egner).

Los suelos utilizados incluían una amplia variabilidad de suelos del Uruguay en los cuales era dominante la fracción P-Fe e importante la fracción P-Ca en los suelos de pH alto.-

La fracción que presentó mayor asimilabilidad fue el P-Al, luego el P-Fe, siendo muy baja la del P-Ca.

Las correlaciones entre métodos y fracciones indicarían que todos los métodos extrajeron cantidades significativas de P-Al, el Bray, Olsen y Nth. Carolina extrajeron también algo de P-Fe, y el de Resinas extrajo además P-Ca y algo de P-Fe.

Considerando todos los suelos el método que evaluó mejor la disponibilidad de fósforo fue el de Resinas catiónicas, $r=0.90$ con fósforo total absorbido, seguido por Nth. Carolina, $r=0.89$, Olsen $r=0.76$, Bray $r=0.70$ y Egner $r=0.73$.

Cuando se excluyeron los suelos arenosos muy lixiviados las correlaciones fueron: Olsen 0.98, Bray 0.98, Nth. Carolina 0.96, Resinas 0.90 y Egner 0.82.

Para los suelos arenosos ningún método mostró buena capacidad de evaluar el poder de suministro de fósforo.

El Método de Resinas catiónicas mostró un distinto comportamiento en suelos de diferente textura en cuanto al significado de un valor dado de análisis.

71 DEC. 1975

INDICE

1.- Introducción	1
2.- Revisión bibliográfica	3
2.1- Introducción	3
2.1-1 El fósforo en el suelo.....	3
2.1-2 Evaluación del poder de suministro de fósforo por el suelo	6
2.2 Fraccionamiento de fósforo inorgánico.....	7
2.2-1 Relación entre fracciones de fósforo inorgánico y extracción por diferentes técnicas	7
2.2-2 Significado de las fracciones de fósforo inorgánico en tér- minos de disponibilidad.....	14
2.2-3 Resumen	16
2.3- Evaluación de la capacidad predictiva de los métodos	17
2.3-1 Metodología	17
2.3-2 Resultados obtenidos por diferentes autores	18
2.3-3 Resumen	21
2.4- Características de los métodos utilizados en el trabajo ...	23
3.- Materiales y métodos	25
3.1- Los suelos	25
3.2- Determinaciones de fósforo localizadas en los suelos.....	25
3.3- Ensayo de Invernáculo	28
4.- Resultados obtenidos	30
4.1- Introducción	30
4.2- Relación entre fracciones y fósforo extraído por los métodos	30
4.3- Relación entre el fósforo extraído por los diferentes métodos	34
4.4- Significado de las fracciones de fósforo en términos de dis- ponibilidad.....	36
4.5- Comparación de la capacidad predictiva de diferentes méto- dos	36
4.5-1 1º Corte	36
2º Corte	45

5.- Conclusiones	48
6.- Agradecimientos	52
7.- Bibliografía citada	55

1.- INTRODUCCION

La determinación de la dosis correcta de fertilizante a aplicar en una cierta situación de suelo y cultivo, exige tener una estimación de la cantidad de nutriente capaz de ser suministrado por el suelo en estudio.

Para el caso del fósforo el uso de análisis de suelo, ha demostrado ser uno de los mejores métodos para estimar la capacidad de suministro por el suelo.

Se han propuesto innumerables técnicas de análisis de fósforo "asimilable" que varían en la solución extractiva empleada, relación suelo/solución, tiempo de extracción, etc. Ninguna de estas técnicas nos brinda un resultado absoluto sino que nos da un número, cuyo mejor mérito es estar relacionado con la cantidad de nutriente que el cultivo tendrá a su disposición.

Dado que los términos "asimilable", "disponible" o "poder de suministro" hacen referencia a lo que es capaz de absorber la planta, el padrón a usar como medida de disponibilidad de nutriente, para seleccionar los métodos de análisis deberá ser alguna característica cuantificada en la planta, dependiente de lo que fue capaz de absorber del nutriente presente en el suelo (índice patrón o índice de asimilabilidad).

En el Uruguay a pesar de que se han usado los análisis de suelo para fósforo durante muchos años, hasta hace poco no se había realizado ningún trabajo para evaluar la capacidad de diferentes métodos de análisis químicos para estimar el fósforo disponible. La primera referencia en este sentido en el país fue realizada por Elsa M. de Zamuz y José L. Castro, (24) para un rango restringido de tipo de suelos.

El objetivo del presente trabajo es el de evaluar la capacidad predictiva de diferentes métodos de análisis de fósforo en un amplio rango de suelos del Uruguay, correlacionándolos con índices de disponibilidad obtenidos en invernáculo.

Así mismo se estudió la relación existente entre el fósforo extraído por los diferentes métodos y las fracciones de fósforo (P-Ca, P-Fe, y P-Al) de acuerdo a Chang y Jackson.(7)

2.- REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 INTRODUCCION

2.1.1 El fósforo en el suelo.

El fósforo no se encuentra en el suelo en forma elemental, sino que forma compuestos de muy variada naturaleza. Estos compuestos derivan del ácido fosfórico, en el cual el fósforo se encuentra en forma de ortofosfato.

En las formas orgánicas, que se acumulan en los suelos a través de residuos vegetales, animales y de microorganismos, presentan estructura de *esteres* y consisten principalmente en fitina, y sus derivados, fosfatos de adenosina y similares, ácidos nucleicos y fosfolípidos.

En los fosfatos inorgánicos uno o más de los hidrógenos están sustituidos por cationes metálicos.

En ambas categorías las cantidades relativas presentes en los suelos son muy variables. La cantidad de fósforo orgánico varía según el contenido de materia orgánica del suelo, por lo tanto es más abundante en los horizontes superficiales de éstos.

Los análisis de horizontes superiores de los suelos han dado valores que fluctúan entre el 0.3% (Patel y Metha citado por Black) al 95% del total, (Kaila citado por Black (5)).

Los fosfatos inorgánicos del suelo pueden clasificarse por su naturaleza química, física o mineralógica, o mediante una combinación de éstas debido a las dificultades que presenta la identificación del fósforo por cada una de estas formas.

Los métodos utilizados hasta el presente para identificar las formas del fósforo inorgánico en el suelo son cuatro:

a) identificación mineralógica, mediante análisis petrográfico en las fracciones arena y limo y por rayos X o ATD en la fracción arcilla. Este método a pesar de su utilidad no puede esperarse que caracterice la totalidad del fósforo inorgánico

del suelo, debido a que la mayoría de éste se encuentra en la fracción arcilla y de ésta forma no puede separarse por métodos físicos.

La alternativa del uso de rayos X o ATD no soluciona totalmente el problema pues la mayor proporción de material no fosfatado enmascara los resultados (Black), (5).

b) utilización de curvas de solubilidad del fósforo del suelo a diferentes pH, comparándolas con las correspondientes a compuestos de fósforo conocidos.

Los fosfatos de calcio son más solubles en ácidos, mientras que los fosfatos de hierro y aluminio son solubles en soluciones alcalinas.

De esta forma se ha encontrado que las curvas de solubilidad del fósforo en suelos ácidos se asemejan a las de los fosfatos de hierro y aluminio, mientras que en suelos alcalinos son similares a las correspondientes a fosfato de calcio.

c) El tercer método consiste en comparar los productos de las actividades iónicas calculadas para soluciones en equilibrio con el suelo, con el KPS de soluciones de minerales fosfatados conocidos. Este método presenta algunas complicaciones tales como la dependencia del pH en el equilibrio entre los diversos iones fosfatados (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), correcciones a los coeficientes de actividad y problemas para llegar a un equilibrio estable. Estos problemas lo hacen un método muy engorroso.

d) el cuarto método consiste en extraer al suelo en forma consecutiva con diferentes soluciones extractivas, cada una de las cuales solubiliza una forma mineral conocida del fósforo existente (Chang y Jackson), (7). Estos autores extraen al suelo sucesivamente con cloruro de amonio 1 N, fluoruro de amonio 0.5 N, hidróxido de sodio 0.1 N, ácido sulfúrico 0.5 N, una solución de ditionito, citrato, y carbonato de sodio y nuevamente fluoruro de amonio 0.5 normal. Se entiende que estos extractantes extraen fosfatos solubles, fósforo ligado al aluminio, fósforo ligado al hierro, fósforo ligado al calcio, fósforo ocluido

de hierro y fósforo ocluido de aluminio respectivamente. Diversos autores han comprobado que los fosfatos de hierro y aluminio tienden a acumularse en las fracciones finas y los de calcio en las más gruesas. Esto concuerda con el hecho de que las fuentes primarias de fósforo en los suelos la constituyen fundamentalmente los fosfatos de calcio (apatitas), mientras que los fosfatos de hierro y aluminio serían de origen secundario. De la misma forma se han observado relaciones bastante claras entre las cantidades relativas de las fracciones y el pH o el grado de meteorización de los suelos.

Schastschabel y Heinemann citados por Black (5) encontraron en suelos sobre loess en Alemania que las fracciones se relacionaban con el pH. En suelos de pH alto dominaban fosfatos de calcio en suelos de pH bajo dominaban fosfatos de hierro, mientras que las fracciones fosfato de aluminio y fosfato ocluido no mostraban variaciones importantes.

Fassbender (10) en suelos sobre cenizas volcánicas en América Central encontraron que el fósforo ligado al hierro (en adelante P-Fe), disminuían con el pH (coef. de correlación -0.7) y que el fósforo ligado al calcio (en adelante P-Ca) aumentaban (r de 0.709).

Con el fósforo ligado al aluminio (en adelante P-Al) no se encontraron tendencias significativas.

El proceso de meteorización favorece la acidificación de los suelos y con ello la formación de B-Fe y P-Al a partir del P-Ca.

Chang y Jackson (1958), (7) trabajando con un muy amplio rango de suelos observaron diferencias significativas en la cantidad relativa de las fracciones según el grado de meteorización.

Encontraron que en suelos poco meteorizados dominaba P-Ca mientras que en los muy meteorizados predominaban P- ocluidos. En suelos de meteorización intermedia predominaba P-Fe. En cuanto al P-Al mostraba poca variación en esos casos.

1-2

ALUACION DEL PODER DE SUMINISTRO DE FOSFORO POR EL SUELO

En análisis rutinario de suelos para evaluación de fertilidad el método corriente de medida consiste en tratar una muestra de suelo con algún extractante y medir la cantidad de fósforo extraído.

El objetivo es dividir al fósforo del suelo en dos fracciones o más en base a su reactividad, está basado en el hecho comprobado de que no todo el fósforo puede hacerse disponible para la planta.

Teóricamente se ha separado el fósforo del suelo en factor intensidad y factor capacidad. El primero representa el fósforo que se encuentra en la solución y el segundo sería éste más la parte más reactiva del fósforo de la fase sólida del suelo.

Mattingly, citado por Black(5), llegó a la conclusión de que el factor intensidad es importante como fuente de fósforo a muy corto plazo, pero a mediano o largo plazo el factor capacidad era mejor índice de la disponibilidad para las plantas (método de dilución isotópica).

Esto se debería al distinto equilibrio que se establecería entre el fósforo en la fase sólida y en la fase líquida en suelos diferentes.

Por lo tanto los métodos de evaluación de fósforo asimilable deberían estimar al factor capacidad o alguna medida proporcional.

Las soluciones extractivas que se han sugerido para extraer el fósforo disponible o algo proporcional a él, tienen muy distinto comportamiento según los suelos.

Desde este punto de vista parece acertado y necesario la caracterización del fósforo del suelo, y de las relaciones entre los métodos propuestos y el fósforo inorgánico como paso previo a la selección de métodos de análisis de suelos.

* El fósforo orgánico en general es una medida no adecuada del

ósforo disponible, por lo que en general no se evalúa (5,1,21), esto se debería a que desde el momento en que las plantas no absorben el fósforo orgánico directamente su acumulación en el suelo sería un hecho no deseable considerando que su origen es la fracción soluble del fósforo inorgánico de la fase sólida.

Esto comprueba el hecho observado de que la suma del fósforo orgánico más el fósforo inorgánico es casi la misma en suelos no fertilizados, y que la mineralización de fósforo a partir de la materia orgánica del suelo ocasiona una disminución del fósforo orgánico total y un aumento del fósforo inorgánico extractable a través de los años, (Black), (5).

Esto significa que indirectamente se lo está evaluando, pues al medir el fósforo inorgánico más reactivo se está midiendo tanto el fósforo inorgánico propiamente dicho como aquel que proviene de la mineralización del fósforo inorgánico a través de los años.

2.2 FRACCIONAMIENTO DEL FOSFORO INORGANICO DEL SUELO.

2.2-1 Relaciones entre fracciones del fósforo inorgánico y extracción por diferentes técnicas.

Cuando se pone en contacto una solución extractiva con el suelo se dan reacciones que dependerán de algunas características del suelo que afectarán la cantidad de fósforo extraído.

Estas interacciones entre suelos y soluciones extractivas pueden llevar a diferentes comportamientos de los métodos en suelos distintos.

Las características referidas pueden ser : cantidad y formas en que se encuentra el fósforo inorgánico, poder buffer del suelo, capacidad de agotar la solución extractiva, pH, etc.

Teniendo en cuenta que uno de los factores fundamentales es la forma en que se encuentra el fósforo inorgánico del suelo, se han realizado numerosos trabajos para investigar las relaciones existentes entre la extracción por las soluciones extractivas y las formas del fósforo inorgánico, determinadas en general por

el método de Chang y Jackson.

Además para comparar la extracción de fósforo entre los distintos métodos, se han calculado correlaciones entre ellos. El hecho de que dos o más métodos estén altamente correlacionados entre sí indicaría una similitud en cuanto a las formas y proporción de fósforo que se extrae.

Susuki, Lawton y Doll, 1963 (21), trabajando con 10 suelos variables en pH, materia orgánica y textura, encontraron que los valores de correlaciones simples entre cinco métodos y las fracciones P-Ca y P-Fe no eran significativas en ningún caso. Los métodos empleados fueron: Bray 1, Olsen, Resinas aniónicas, Truog (H_2SO_4 0.002 N), y una medida de fósforo lábil.

La fracción P-Al se correlacionó en forma positiva y significativa con todos los métodos excepto el de Truog.

Los estudios de correlación múltiple, métodos contra fracciones dieron resultados acordes con lo anterior, excepto que la fracción P-Ca se hizo significativa con el método Truog.

Con estos mismos suelos y 7 más, calcularon correlaciones de los métodos entre si y encontraron que éstas fueron altas y significativas con la mayoría de los métodos excepto entre los métodos Bray 1 y Truog, y entre Truog y fósforo lábil en los cuales no fueron significativas.

Los autores concluyen que el método de Truog extraería fósforo de fracciones diferentes: Bray 1 y Olsen extraerían fundamentalmente P-Al, mientras que Truog extraería además P-Ca.

Una baja correlación entre fósforo lábil y resinas aniónicas sugieren que puede deberse a diferentes equilibrios fase líquida-fase sólida.

Chang y Juo, 1963 (8), utilizaron 26 suelos de zona tropical (latosoles, suelos aluviales) que variaban en pH, textura y dominancia de alguna de las fracciones de fósforo inorgánico. Estudiaron en primer lugar, las correlaciones entre siete métodos: Truog, North Carolina, Peech (acetato de sodio-ac. acético), Olsen, Bray N° 1, Bray 2 y Bray 4 (HCl 0.1 N - FNH_4 0.5 N), con

las fracciones dividiendo los suelos en tres grupos según dominara P-Fe, P-Ca o P-Fe y P-Ca.

La fracción P-Al era similar en todos.

En base a este esquema encontraron interacciones importantes entre métodos y suelos.

En suelos dominando P-Fe los métodos fueron similares en cuanto a la selectividad de extracción, dando altas correlaciones para todas las fracciones con todos los métodos.

En suelos con P-Fe y P-Ca dominantes aparecen tres grupos de métodos semejantes entre sí: Por un lado Olsen, Peech y Bray 4 se correlacionaron bien con P-Fe, poco con P-Al y mal con P-Ca. Los métodos North Carolina y Truog formarían otro grupo, bien correlacionados con P-Ca, algo menos con P-Fe y Muy poco con P-Al.

Un tercer grupo serían los métodos Bray 1 y Bray 2 que se correlacionaron significativamente con P-Al y muy mal con P-Ca y P-Fe.

En suelos dominando P-Ca los métodos pueden agruparse en dos grupos Olsen y Bray 1, bien correlacionados con P-Al y muy poco con P-Fe y North Carolina y Truog, bien correlacionados con P-Ca, algo menos con P-Al y muy mal con P-Fe.

El método de Peech no se correlacionó significativamente con ninguna fracción.

En segundo lugar calcularon correlaciones de los métodos entre sí para los grupos de suelos y para todos los suelos.

En suelos dominando P-Ca, Olsen y Bray 1 están bien correlacionados y también lo están aunque en un menor grado Bray 2, Bray 4, North Carolina y Truog entre sí.

En suelos dominando P-Fe todas las correlaciones fueron altas y significativas.

En suelos predominando P-Fe y P-Ca los métodos mejor correlacionados son Olsen, Peech y Bray 4. También lo están Truog-North Carolina y Bray 1-Bray 2.

Para todos los suelos los métodos mejor correlacionados son Olsen y Bray 1, y Bray 4 con Olsen.

Pratt y Garber, 1964, (19), trabajaron con 29 suelos variables en pH (3.6 - 7.0), textura y contenido en materia orgánica. Correlacionaron el fósforo extraído por tres métodos con las fracciones de fósforo inorgánico según Chang y Jackson modificación (F-NH_4 a pH 8.2). Los métodos utilizados fueron Bingham (fósforo extraído en agua), Bray 1 y Olsen.

Encontraron que tanto Bray como Olsen se correlacionaban bien con el P-Al, hecho que coincide con lo observado por otros autores ya citados, pero además encontraron que las mejores correlaciones eran con fósforo extraído con cloruro de amonio (en adelante $\text{P-NH}_4\text{Cl}$).

El método de Bingham se correlaciona mejor con el $\text{P-NH}_4\text{Cl}$ cosa de esperar ya que se trata prácticamente del mismo fósforo.

Las correlaciones múltiples métodos versus fracciones mostraron que la única variable significativa fue $\text{P-NH}_4\text{Cl}$ para el método de Bingham.

Con el método Bray 1 se obtuvieron altas correlaciones con $\text{P-NH}_4\text{Cl}$ y con P-Al, pero mejores con el primero.

El método Olsen se correlaciona bien con $\text{P-NH}_4\text{Cl}$, P-Al y además con P-Fe.

Al- Abbas y Barber, 1964, (2), encontraron que un método propuesto por ellos -extracción con $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ y Na OH- extraía más fósforo ligado al hierro que los métodos Bray y Olsen, siendo similares las cantidades extraídas de P-Al.

Payne y Hanna, 1965, (17), trabajando con suelos podzólicos que diferían en la fracción de fósforo dominante, calcularon correlaciones entre cinco métodos y las fracciones de fósforo inorgánico en grupos de suelos separados de acuerdo a las fracciones dominantes.

Los métodos utilizados fueron Bray 1, electrodiálisis, extracción con ácido 2-quetoglucónico 0.083 M, lactato de amonio y ácido acético, y North Carolina .

Para todos los suelos, todos los métodos ~~ex~~cepto electrodialisis se correlacionaron positivamente y significativamente con P-Al.

Lo mismo ocurrió con la fracción P-Ca, pero con coeficientes menores.

Con la fracción P-Fe los métodos Bray 1 y N. Carolina se correlacionaron positivamente, mientras que electrodialisis, quetoglucónico y lactato de amonio lo hicieron negativamente. A diferencia de lo encontrado por los autores previamente citados al calcularse los coeficientes de correlación en los grupos de suelos individuales, no encontraron grandes diferencias entre los métodos empleados.

También estudiaron cómo afectaba a las correlaciones el uso de índices compuestos por suma de fracciones, por ejemplo P-Al + P-Fe + P-Ca, observando que los coeficientes en todos los casos bajaban, comparándolos con los obtenidos con P-Al. Este descenso era más importante en suelos en que dominaba P-Al. Westin y Buntley, 1966, (23), introdujeron en sus estudios variaciones en textura, horizontes, tipos de suelos y material madre.

Los suelos eran chernozem y chestnut, en los cuales dominaba la fracción P-Ca, pero la proporción de P-Al y P-Fe era mayor en los chernozem que en los chestnut.

Considerando todas las muestras de los chernozem por un lado y las de los chestnut por otro, obtuvieron mejores correlaciones con el Bray 1 en los chernozem, y con el Olsen en los chestnut.

Además en ambos tipos de suelos, con ambos métodos la fracción más correlacionada fue P-Al, mientras que la menos correlacionada fue la fracción P-Ca, no significativa en ambos métodos a pesar de ser la más abundante.

Balerdi, Muller y Fassbender, 1968, (3), en un trabajo con 104 suelos enmarcado en una serie de trabajos tendientes a estudiar el fósforo en suelos formados sobre cenizas volcánicas en

América Central, compararon cinco métodos de análisis con las fracciones de fósforo inorgánico según Chang y Jackson.

Los métodos utilizados fueron; Bray 1, N. Carolina, Olsen, Egner y el de Saunder (NaOH 0.1 N).

En los suelos en los cuales predominaba P-Ca los métodos Egner y N. Carolina presentaron las más altas correlaciones con las fracciones P-NH₄Cl y P-Ca.

Con las fracciones P-Fe y P-Al los métodos mejor correlacionados fueron Bray 1, Olsen y Saunder.

En los suelos dominando P-Al y P-Fe los métodos que dan coeficientes de correlación más altos con la fracción P-NH₄Cl son Egner, Olsen y N. Carolina con valores similares.

Con la fracción P-Ca ninguno de los métodos se correlacionó significativamente, mientras que el método Saunder fue el mejor con las fracciones P-Fe y P-Al.

Cuando se tomaron en cuenta todos los suelos los métodos Egner y N. Carolina fueron los mejores con la fracción P-NH₄Cl. Olsen fue el mejor con la fracción P-Ca. Con las fracciones P-Fe y P-Al el método de Saunder fue el único significativo.

Además calcularon correlaciones de los métodos entre sí, y sus resultados concuerdan con los autores previamente citados pues obtuvieron buenas correlaciones entre los extractantes ácidos y entre Bray 1 y Olsen.

El método de Saunder que utiliza una solución extractiva muy alcalina se correlacionó en forma muy baja con todos los métodos.

Tripathi, Tandon y Tyner , 1970, (23), estudiaron la relación existente entre dos métodos químicos (Bray y Olsen) y fósforo isotópicamente intercambiable con las fracciones de Chang y Jackson y el fósforo total del suelo en suelos aluviales, salinos salinos de pH alto en una zona cerealera en la India.

La fracción P-Ca era dominante en esos suelos mientras que las fracciones P-ocluído, P-Al y P-Fe contribuían en un 20; 4.7 y 4% respectivamente.

En los análisis de correlación simple la fracción P-Ca no se correlaciona significativamente con Olsen ni con el fósforo isotópicamente intercambiable, pero si con el método Bray 1.

Los autores sugieren que esto se debería a que el P-Ca se encontraría ocluido en una matriz de Ca CO_3 que el Bray 1 sería capaz de disolver.

FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

Las fracciones P-Al y P-Fe se correlacionaron significativamente con los tres métodos pero los coeficientes son mejores con P-Al. De los análisis de regresión surgen algunas diferencias entre los métodos. Para el fósforo isot. interc. el P-Fe siendo sólo el 4.7% del total es el que más contribuye a la variación observada (59%). El P-Al siendo el 4% sólo contribuye con el 9.6% de la variación, a pesar de ser el que presentaba mayores correlaciones.

El P-Ca a pesar de ser el 41% del total contribuye sólo con el 4.4% mientras que el P-ocluido no fue significativo.

Para el método Olsen el más importante fue el P-Al, le siguió el P-Fe y el P-Ca + P-ocluido con el 44.2%, 16.5% y menos del 1% respectivamente de la variación observada.

Para el Bray 1 el más significativo fue el P-Al que explicaba el 66.9% de la variación, las fracciones P-Fe y P-Ca explicaban el 1.4 y el 1.5% respectivamente.

Concordando con lo observado por otros autores los métodos Olsen y Bray 1 parecen extraer fundamentalmente P-Al, aunque el primero extrae más P-Fe que el segundo.

Zubriski, 1971(25), obtuvo resultados concordantes. La fracción P-Al era la que explicaba un mayor porcentaje de la variación observada con los métodos Olsen y Bray 1 en suelos diferenciados pero no muy lixiviados (pH 6.0 - 8.5) en los cuales dominaba la fracción P-Ca.

Algunos autores observaron que la variación en otras propiedades del suelo tales como textura, pH y material madre afectaban la relación entre métodos y fracciones.

Pratt y Garber, 1964(1), en el trabajo ya citado estudiaron el comportamiento de los métodos Bray 1 y Olsen frente a las fracciones en suelos de diferente textura. Encontraron correlaciones

y tendencias de la regresión distintas en suelos arcillosos o arenosos.

Las correlaciones entre el fósforo extraído por el Bray 1 y las fracciones $P-NH_4Cl + P-Al$ fueron menores en suelos arcillosos (0.89) que en los arenosos (0.59).

Además los coeficientes de la regresión fueron distintos: una determinada cantidad de $P-NH_4Cl + P-Al$ significó menos en términos de fósforo disponible según Bray 1 en los arcillosos.

Con el método de Olsen el porcentaje de arcilla tuvo el mismo efecto que en el Bray 1, pero no fue tan marcado (coeficiente de correlación 0.94 en arcillosos y 0.89 en arenosos).

Los autores concluyen que ese efecto se debería a un efecto de agotamiento de la solución extractiva y a reprecipitaciones: el primero tendría mayor importancia en el Bray 1, y el segundo en Olsen.

2.2-2 Significado de las fracciones del fósforo inorgánico en términos de disponibilidad.

Varios autores estudiaron el significado de las fracciones de fósforo inorgánico según Chang y Jackson en términos de disponibilidad para la planta, evaluado a través de índices de asimilabilidad.

Al-Abbas y Barber, 1964, (1), utilizando 24 suelos ligeramente ácidos, franco limosos, muy meteorizados, con dominancia de la fracción P-ocluido, correlacionaron las fracciones del fósforo inorgánico y fósforo en el extracto de saturación con el fósforo total absorbido por *Penisetum*.

Todas las fracciones fueron significativas excepto el P-Ca. El P-ocluido fue significativo sólo en algunos ensayos. Las correlaciones más altas correspondieron a la fracción P-Fe.

En análisis de regresión múltiple el P-Fe explicaba el mayor porcentaje de la variación observada, le siguió el Fósforo en el extracto de saturación y luego el $P-NH_4Cl$.

Payne y Hanna, 1965, (17), trabajando con suelos rojo-amarillo podzólicos y gris-pardo podzólicos, separaron grupos de suelos

según la fracción de fósforo inorgánico dominante y calcularon correlaciones entre fracciones y fósforo total absorbido por *Penisetum*.

Para esto construyeron índices simples con fracciones o con la suma de fracciones: P-Al, P-Al+P-Fe, P-Al+P-Fe+P-Ca.

Cuando consideraban a todos los suelos la única fracción que se correlacionaba en forma significativa y positiva con el fósforo absorbido por el *Penisetum* fue el P-Al, mientras que el resto de los índices resultaron no significativos.

Al considerarse los grupos de suelos individuales las correlaciones fueron significativas y positivas con todos los índices.

En suelos dominando P-Al la mejor correlación fue con P-Al.

En los suelos en los cuales predominaba P-Al y P-Fe no hubo diferencias significativas entre los índices.

En suelos dominando P-Fe la mejor correlación con fósforo absorbido correspondió al índice P-Al + P-Fe.

Debe tenerse en cuenta que se trataba de suelos fertilizados, y que al aumentar el fósforo del suelo aumentaba fundamentalmente la fracción P-Al. Los autores concluyen que la mayor proporción del fósforo agregado iría a la fracción P-Al.

Fassbender, Muller y Balerdi, 1968 (10), en 110 suelos de América Central ya citados, separaron dos grupos: uno con P-Ca dominante y otro con P-Al y P-Fe predominando.

Estudiaron la relación entre el rendimiento en materia seca y en fósforo absorbido por plantas de tomate con las fracciones de fósforo inorgánico del suelo.

Para todos los suelos las mejores correlaciones fueron con P-NH₄Cl, le siguieron P-Ca, P-Al y P-Fe respectivamente.

En suelos predominando P-Ca observaron los mismos resultados pero la fracción P-Fe se hizo no significativa.

En suelos dominando P-Fe y P-Al la única fracción significativa fue P-NH₄Cl.

Zubriski, 1971, (27), en un trabajo ya citado en suelos ligeramente ácidos a alcalinos con P-Ca dominante, correlacionaron las formas del fósforo del suelo (fracciones según Chang y Jackson, fósforo total, y fósforo orgánico), con varios índices de asimilabilidad.

La fracción P-Ca no dio correlaciones significativas . Las fracciones P-Al y P-Fe dieron coeficientes de correlación significativos con casi todos los índices.

Las más altas correlaciones correspondieron a P-Al en todos los casos. El fósforo total inorgánico y el fósforo orgánico dieron correlaciones significativas con algunos de los índices.

Estudios de regresión múltiple mostraron que las fracciones de fósforo inorgánico que aparecen como más importantes son P-Al y P-Fe en menor grado.

2.2-3 Resumen.

De lo expuesto anteriormente, resultado de trabajos de varios autores en suelos de muy variada naturaleza, pueden extraerse algunas conclusiones.

En primer lugar lo más destacado es que la fracción P-Al es la que contribuye al fósforo extraído tanto por las diversas soluciones extractivas como por los índices que involucren crecimiento de plantas (2,8,17,21,22,23,25)

La otra fracción que en muchos casos se asemejaría al P-Al en importancia es la fracción P-NH₄Cl , (1,3,10,19).

Las fracciones P-Fe y P-Ca en general aportan muy poco fósforo y en muchos casos son no significativos. Aún en suelos en los cuales predominan suelen ser menos importantes que P-Al o P-NH₄Cl (3, 8, 10, 19, 21, 22, 23).

Hay algunas excepciones al respecto, en éstas al ser dominantes, el P-Fe aparece como tan o más importante que P-Al o P-NH₄Cl, (1 , 2, 17).

El P-Ca en ningún caso fue la fracción que más aportaba; solamente en tres trabajos en suelos en los cuales dominaba ocupó el segundo lugar en significación luego del P-NH₄Cl, (10), luego del P-Al y P-NH₄Cl (3), y junto con las fracciones P-Al y P-Fe (22).

2.3 EVALUACION DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DE LOS METODOS.

2.3-1 Metodología.

Teniendo en cuenta que el término nutriente disponible está referido a aquella fracción del nutriente del suelo que puede llegar a ser absorbido por la planta, el valor de referencia que debe tomarse como patrón para evaluar la capacidad predictiva de un método determinado, debe ser una medida que involucre la absorción por una planta.

Estos índices patrones o índices de asimilabilidad, son alguna medida realizada en la planta que sea función de la cantidad de nutriente disponible cuando ésta crece sobre el suelo problema, en general con los otros factores de crecimiento no limitantes. Los índices de asimilabilidad se determinan en general mediante ensayos maceteros de invernáculo. Los más frecuentemente utilizados pueden agruparse en tres grupos: a) aquellos que involucran medida de materia seca, b) medida de rendimiento en nutriente y c) uso de radioisótopos (Rabuffetti), (20).

Dentro de los que miden materia seca se han utilizado muchas variaciones: medida de rendimiento en MS, valor b de la ecuación de Mitscherlich, rendimiento relativo, porcentaje de incremento en MS, incremento en MS.

En el segundo grupo los más usados han sido: nutriente total absorbido, incremento en nutriente, porcentaje de incremento en nutriente, método de Neubauer (muchas plantas creciendo durante un pequeño período de tiempo en un pequeño volumen de suelo), valor "a" de Dean.

En el último grupo tendríamos fundamentalmente el valor "A" de Fried y Dean.

En la bibliografía citada Payne y Hanna (17), y Al-Abbas (2) utilizan fósforo total absorbido como índice. Parcy (19) utiliza MSecca.

La mayoría de los autores han usado más de un índice, así por ej. Barberis et al. (4) y Fassbender et al. (10) utilizan fósforo

total absorbido (en adelante PT absorbido) y MS.

Balerdi et al. (5) y Lathwell (12) y Zamuz y Castro (24) utilizaron PT absorbido, M S, y rendimiento relativo.

Susuki (21) en el trabajo citado usó PT absorbido y Valor "A".

Zubbriski (24) utilizó una gran cantidad de índices: Valor "A", "a", MS, porcentaje de M S, incremento en MS, PT absorbido, rendimiento relativo, porcentaje de incremento en fósforo, incremento en fósforo y fósforo recuperado.

El Método de estudio para evaluar los métodos consistió en general en calcular correlaciones simples o múltiples, y estudios de regresión que relacionan el fósforo extraído por los diversos métodos con uno o más índices.

2.3-2 Resultados obtenidos por diferentes autores.

Lathwell, Sanchez, Lisk y Peech, 1958, (12), compararon el método de Peech (acetato de sodio y ácido acético), Olsen, Resinas de intercambio aniónico por percolación y resinas aniónicas equilibradas directamente con el suelo con tres índices de disponibilidad (M S, PT absorbido y rendimiento relativo) con cinco cultivos, en 21 suelos muy variables de Nueva York.

Encontraron que todos los métodos daban correlaciones positivas y significativas con todos los índices acumulando los datos de los cinco cultivos.

El mejor de los índices fue PT absorbido y el peor rendimiento relativo.

En cuanto a los métodos el que dió coeficientes más altos fue resinas de intercambio por percolación (0.92), le siguió resinas equilibradas con el suelo (0.87), Olsen (0.705) y Peech (0.645). Además con 30 suelos compararon resinas de intercambio por percolación con el índice Valor "A" y con los métodos de Peech y Bray 1.

Observaron que las correlaciones fueron más altas con el Valor "A", y menores con los métodos. A su vez entre los métodos la mejor correlación fue con el Bray 1.

Susuki, Lawton y Doll, 1963, (21), en el trabajo citado con varios tipos de suelos compararon los cinco métodos (Bray 1,

Olsen, Truog, Resinas aniónicas y fósforo lábil) con los índices de asimilabilidad PT absorbido y Valor "A".

Las mejores correlaciones con PT las dieron Resinas y Truog. Los métodos Bray 1 y P lábil no dieron correlaciones significativas, mientras que Olsen dió correlaciones significativas pero bajas.

Con el Valor "A" todas las correlaciones fueron significativas y las mejores correspondieron a Olsen y Resinas aniónicas. Las más bajas correspondieron a los métodos de Truog y fósforo lábil.

Al-Abbas, 1963, (2), con 24 suelos ligeramente ácidos correlacionaron cinco métodos ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, Purdue, Bray 1, Olsen y Fósforo extraído con agua) con PT absorbido por *Penisetum*.

El método del oxalato fue superior en los tres ensayos realizados.

Luego le siguen Bray 1, y Olsen y Purdue y ext con agua respectivamente.

Con otros 137 suelos diferentes a los del primer ensayo, muy variables en sus características, correlacionaron estos métodos más el Bray 2 con el índice de Neubauer.

Los suelos se separaron según el pH en tres grupos: ácidos, (pH menor a 6), intermedios y alcalinos (pH mayor a 7).

En suelos ácidos el mejor método fue el Bray 2 y el Purdue (0.76 y 0.70). En los intermedios el mejor fue el Bray 2 nuevamente con diferencias muy grandes respecto a los demás. (0.77)

En los suelos alcalinos el método del oxalato fue el que dió más altos coeficientes de correlación (0.94) siguiéndole el Bray 2 (0.64) Bray 1 (0.60) - y Olsen (0.57).

Considerando todos los suelos el método del oxalato fue mejor (0.74) siguiéndole los métodos Bray 2, Bray 1 y Olsen a un nivel aceptable, (0.64, 0.60 y 0.57).

Payne y Hanna, 1965, (17), en el trabajo ya citado en suelos rojo-amarillos podzólicos y gris-pardo podzólicos, estudiaron el comportamiento de cinco métodos correlacionándolos con PT

absorbido por Penisetum.

Los métodos empleados fueron Bray 1, electrodiálisis, extracción con ácido 2 -quetoglucónico, lactato de amonio y ácido acético y el método de N. Carolina.

En general obtuvieron buenas correlaciones con todos los métodos, pero el peor fue el Bray 1.

Al considerar suelos según domine P-Al, P-Fe y P-Al o P-Fe, las correlaciones mejoraron y todos los métodos se comportan bien con diferencias no significativas.

Balerdi, Muller y Fassbender, 1968, (3), trabajando con 86 suelos de América Central calcularon correlaciones simples entre cinco métodos (Bray 1, N. Carolina, Olsen, Saunder y Egner) y el PT absorbido, MS y rendimiento relativo de tomate creciendo en invernáculo.

El índice que dió mejores resultados fue PT absorbido, luego rendimiento relativo y por último MS.

Egner fue el mejor método (0.947), le siguieron Olsen, Bray 1 y N. Carolina (0.87, 0.856, y 0.84), siendo Saunder el peor (0.34).

En suelos dominando P-Ca el resultado es el mismo.

En suelos predominando P-Al y P-Fe los métodos de Egner, N. Carolina y Olsen son los mejores (0.988, 0.985, 0.960).

El Bray 1 les sigue, pero también con alto coeficiente (0.938).

El peor fue el método de Saunder con correlación no significativa.

Percy, Bernardeth y Santana, 1972, (18), en suelos de zona tropical (alfisoles, ultisoles, entisoles y exisoles) de pH ácidos a ligeramente ácidos, compararon los métodos de Truog, N. Carolina, Egner, Olsen y Olsen modificado (con FNH_4) calculando correlaciones simples con la materia seca producida por plantas de cacao.

Los métodos que dieron las mejores correlaciones fueron Truog (0.83) y Egner (0.82), siguiéndole Olsen mod., Olsen y N. Carolina (0.79, 0.776 y 0.79 respectivamente).

Zubriski, 1971, (25), en el trabajo ya citado obtuvieron altas correlaciones positivas entre los métodos Bray 1 y Olsen

y los índices, exepcto con respuesta en fósforo y recuperación de fósforo con los cuales los coeficientes fueron no significativos.

Las correlaciones entre métodos y respuesta en M S fueron significativas y negativas.

Las diferencias entre Bray 1 y Olsen prácticamente no fueron significativas.

En el Uruguay, en un estudio llevado a cabo en un rango restringido de suelos (Praderas Pardas de diferenciación media del Dpto de Colonia) se compararon seis métodos de análisis correlacionándolos con M S, PT absorbido y rendimiento relativo de rye grass creciendo en invernáculo, (Zamuz y Castro), (24). Los métodos empleados fueron Bray 1 modificado (agitación 5 min.)

Olsen, Morgan (acetato de sodio más ácido acético) Resinas de intercambio aniónico, resinas de intercambio catiónico y N. Carolina.

Todos los métodos dieron altas correlaciones tanto con los índices como entre sí, por lo tanto no demostraron diferencias en su capacidad de estimación de fósforo disponible.

2.3-3 Resumen

Como conclusión respecto a los índices de disponibilidad puede decirse que el PT absorbido fue el índice que dio coeficientes de correlación más altos, siendo bastante variable el comportamiento del resto.

En relación a los métodos de análisis su capacidad de estimación está estrechamente relacionada a las características de los suelos.

En términos generales algunos métodos tales como Bray 1 , Olsen Res. Aniónicas y fósforo isotópicamente intercambiable dan buenos resultados en tipos de suelos bastante variables, (Black), (5) Otras técnicas por ejemplo Egner, N. Carolina, Bray 2 y Truog tienen buen comportamiento en algunos tipos de suelos.

Esto parece cumplirse para los trabajos revisados en el trabajo.

Esto confirma la necesidad de proceder a una evaluación de la capacidad predictiva de los métodos para una zona dada antes de seleccionar el método a utilizar.

2.4- CARACTERISTICAS DE LOS METODOS UTILIZADOS EN EL TRABAJO

BRAY Nº 1 (HCl 0.025 N + FNH_4 0.03 N)

El mecanismo de extracción de este método es el siguiente:
El Fluor compleja al hierro y al aluminio liberando de esta forma la fracción más reactiva de los fosfatos de hierro y aluminio. El pH ácido en el cual trabaja el método solubiliza la fracción más reactiva de los fosfatos de calcio.
Este método ha demostrado tener buen comportamiento en suelos ligeramente ácidos (except. los extremadamente lixiviados).

Olsen (NaHCO_3 0.5 M a pH 8.5)

Este método disminuye la actividad del calcio por efecto del ión CO_3^{--} , liberando parte del fósforo unido al calcio.
El pH alcalino solubiliza parte de los fosfatos de hierro y aluminio. Muestra mejor comportamiento que el Bray 1 en suelos en los cuales el P-Ca tiene mayor importancia desde el punto de vista de la disponibilidad.

Resinas catiónicas

Respecto a este método recientemente desarrollado por Zamuz y Castro (24) no existe mucha información. El mecanismo de extracción estaría dado por la fijación de cationes hierro, aluminio y calcio, entre otros, por parte de la resina, lo que favorece una solubilización de parte del fósforo del suelo.

North Carolina (Mehlich) (HCl 0.05 N + H_2SO_4 0.025 N)

Esta técnica fue desarrollada fundamentalmente para suelos muy lixiviados, en los cuales otras soluciones extractivas no mostraban un buen comportamiento.

En suelos de pH alto no presenta buena capacidad predictiva.

Egner (Lactato de Calcio - ácido acético).

Esta solución extractiva suma los efectos solubilizantes sobre el fósforo de un radical de ácido orgánico con el hierro, y el aluminio y del medio ácido sobre los fosfatos de calcio.

3.- MATERIALES Y METODOS

3.1 LOS SUELOS: las muestras para ser utilizadas en el ensayo macetero y en los análisis químicos, se tomaron en suelos representativos de cinco zonas del país, tratándose de que las diferentes muestras de cada zona abarcaran una amplia variabilidad, en cuanto a nivel de fósforo "asimilable".

Las cinco zonas de las cuales se tomaron las muestras podrían caracterizarse como siguen:

ZONA	UBICACION		SUELOS PREDOMINANTES
A	Colonia	(La Estanzuela)	P. P. Media
B	San José	(inmediaciones de Kiyú)	Planosoles y P. P. Máximas
C	Paysandú y Río Negro	(Sur - Oeste)	P. Negras y Regosoles
D	Río Negro	Tres bocas (Ruta 24- Nueva Melhen)	P. Negras Arenosas
E	Tacuarembó	(Ruta 5	P. Arenosa gris amarillenta

De las muestras recolectadas en las zonas citadas, luego de un análisis preliminar (Bray N°1) se seleccionaron 26 suelos, que incluían una amplia variabilidad en nivel inicial de fósforo, dentro de cada zona.

Cada muestra fue secada al aire, molida y tamizada a dos milímetros.

De las muestras molidas se tomaron sub-muestras para los análisis químicos y para el ensayo macetero.

La clasificación y principales características químicas y físicas de los suelos usados aparece en el cuadro N° 1.

3.2 DETERMINACION DE FOSFORO REALIZADA EN LOS SUELOS:

Las 26 muestras fueron analizadas de acuerdo a las siguientes técnicas

1) Bray N°1: Extracción con NH_4F 0.03N + HCl 0.025 N, relación

solución/suelo = 7, tiempo de extracción de 1 minuto y determinación con Sulfomolibdico. (Bray y Kurtz) (6).

2) Olsen: extracción con Bicarbonato de Sodio, 0.5 N pH 8.5, relación solución-suelo = 20, 30 minutos, determinación con cloromolibdico. (Olsen) (15).

3) North Carolina: extracción con H_2SO_4 0.025 N, HCl 0.05N, relación, solución/suelo = 4, 5 minutos, determinación con sulfomolibdico (Olsen en Black) (14).

4) Resinas de intercambio catiónico, según Zamuz y Castro (24)

5) Egner: extracción con lactato de calcio, 0.02 N HCl 0.01 N pH 3.5, relación solución/suelo = 50, 2 horas, (Egner) (9), determinación con sulfomolibdico. (Jackson) (11).

Además se realizó el fraccionamiento de fósforo inorgánico según Chang y Jackson, (7) determinándose las fracciones: P-Ca, P-Fe y P-Al.

Cuadro N° 1: Clasificación y algunas características físicas y químicas de los suelos.

Suelo N°	Clasificación	% de Arcilla	% de Limo	% de Arena	Diferen- ciación	pH	% de M.O	% de Fe ₂ O ₃
Z 1	P. Parda	29.2	49.6	21.2	Media	5.2	3.7	1.96
O 2	P. Parda	29.4	53.8	16.8	Media	5.2	4.4	1.96
N 3	P. Parda	32.8	49.8	17.4	Media	5.7	3.5	1.96
A 4	P. Parda	38.0	47.1	14.9	Media	5.6	4.1	1.68
A 5	P. Parda	31.9	50.1	18.0	Media	5.6	3.6	2.24
Z 6	P. Parda	22.9	45.8	31.3	Máxima	5.6	2.4	1.54
O 7	P. Parda	25.1	55.4	19.5	Máxima	5.7	3.0	1.82
N 8	P. Parda	29.0	53.6	17.4	Máxima	6.3	3.1	1.68
A 9	P. Parda	23.7	44.8	31.5	Máxima	5.6	2.5	1.82
B 10	Planosol	27.9	50.1	22.0	Máxima	5.5	2.8	1.68
11	Planosol	24.5	49.9	25.6	Máxima	5.3	3.1	1.40
Z 12	Régosol	40.1	20.5	39.4	No dif.	7.2	7.5	1.40
O 13	P. Negra	34.7	36.5	28.8	Mínima	6.1	6.1	1.12
N 14	P. Negra	40.2	28.3	31.5	Mínima	5.9	5.7	1.68
A 15	P. Negra	30.1	41.0	28.9	Media	5.9	4.2	1.12
16	P. Negra	38.2	27.7	34.1	Media	7.6	4.4	1.12
C 17	P. Negra	31.2	20.3	48.5	Mínima	6.1	3.8	1.68
18	P. Negra	30.5	40.4	29.1	Media	7.2	4.2	1.12
Z 19	P. N. Arenosa	20.5	27.9	51.6	Media	5.8	2.9	0.70
O 20	P. N. Arenosa	17.5	16.4	66.1	Media	7.2	2.7	0.56
N 21	P. N. Arenosa	22.9	31.3	45.8	Media	6.1	3.0	0.84
Z 22	P.Ar.gris Amar.	11.9	3.7	84.4	Máxima	5.5	2.0	0.84
O 23	P.Ar.gris Amar.	11.3	16.0	72.7	Máxima	5.6	1.7	0.70
N 24	P.Ar.gris Amar.	11.2	11.0	77.8	Máxima	5.7	1.2	0.84
A 25	P.Ar.gris Amar.	9.9	11.6	78.5	Máxima	5.5	1.3	0.70
E 26	P.Ar.gris Amar.	8.5	6.3	85.2	Máxima	5.4	0.9	0.70

NOTA: Textura método Internacional de la pipeta

arcilla menor: 2 micras

limo: de 2 a 50 micras

arena: de 50 micras a 2 mm

M.O Método de Walkley-Black

pH- Potenciométrico

Relación $\frac{1}{25}$ Suelo/Agua.-

3.3 ENSAYO DE INVERNACULO.

A los efectos de obtener índices biológicos de disponibilidad de fósforo para la planta, se llevó a cabo un ensayo macetero de invernáculo, utilizando sorgo forrajero híbrido como especie indicadora.

En macetas con un ^{qu}kilo de suelo se incluyeron dos tratamientos para todos los suelos: tratamiento 1, fertilización básica que incluye el equivalente a 400 unidades de N ($\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2 + \text{NO}_3\text{NH}_4$) por hectárea, 200 unidades de $\text{K}_2\text{O}(\text{KCl})$ y una solución que contenía Mg, Fe, Bo, Mn, Zn, Cu, Mo y S.

tratamiento 2: fertilización básica y aplicación de fósforo en forma de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$, equivalente a 600 unidades de $\text{P}_2\text{O}_5/\text{há.}$

Los fertilizantes fosfatados y potásicos fueron mezclados uniformemente con el suelo y el resto de la fertilización básica fue aplicada en solución previo a la siembra y luego del primer corte.

Se utilizaron tres repeticiones, distribuyéndose los tratamientos en bloques, rotándose las macetas dentro de bloques durante el período de crecimiento.

Se sembraron el 30/9/74, siete semillas pre-germinadas por maceta, manteniéndose la humedad del suelo en valores aproximados a un 90% de la capacidad de campo, mediante pesadas. Al aumentar el peso de las plantas en forma significativa se corrigieron los valores de pesada. En los primeros días de crecimiento se re-sembraron las plantas falladas.

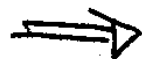
Se realizaron dos cortes en las siguientes fechas 4/11/74 y 7/12/74 siendo el período de crecimiento de 41 días para el primer corte y de 32 días para el segundo corte.

Como consecuencia del desarrollo extremadamente variable que presentaban las plantas en los diferentes suelos en las macetas en las macetas sin fósforo, no hubo rebrote en algunos de los suelos por lo que en estos casos no se obtuvieron datos para el segundo corte.

En el material obtenido en los dos cortes se realizaron las siguientes medidas: materia seca, determinada en base a muestra secada a 105°C

Porcentaje de fósforo, por ataque del material mediante H_2SO_4 y H_2O_2 y posterior determinación por colorimetría usando sulfomolibdico y SnCl_2 .

Fósforo total a partir, de los dos datos anteriores.



Con estos datos obtenidos se estudiaron las correlaciones simples (Panse y Sukhatme) (15) existentes entre:

- Fracciones de fósforo inorgánico versus métodos de análisis de fósforo disponible.
- Métodos de análisis de fósforo disponible entre sí.
- Fracciones de fósforo inorgánico versus índices de disponibilidad .
- Análisis químico de disponibilidad versus índice de disponibilidad.

Es de hacer notar que las conclusiones extraídas a partir de los datos de coeficientes de correlación presentan limitaciones inherentes al método como ser: falta de correlación por falta de variación en una variable, correlaciones entre dos variables debidas a correlaciones con una tercera, etc.

4.- RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 INTRODUCCION

En los cuadros N°2 y 3, aparecen los resultados de análisis químicos de disponibilidad, y fracciones de fósforo inorgánico de acuerdo a Chang y Jackson.

En el cuadro N°4, aparecen los índices biológicos de disponibilidad obtenidos para el primer y segundo corte.

En cuanto a los métodos de análisis se observa en términos generales que: resinas catiónicas extrae fósforo en mayor cantidad, siguiéndole Bray N°1 luego North Carolina y Egner, variando según el tipo de suelo y finalmente Olsen.

En las fracciones de fósforo inorgánico según Chang y Jackson se nota una predominancia de la fracción P-Fe, excepto en los suelos de pH alto en los cuales aparece también como importante la fracción P-Ca.

4.2 RELACION ENTRE LAS FRACCIONES Y EL FOSFORO EXTRAIDO POR LOS METODOS:

En el cuadro N°5, se observan los coeficientes de correlación simple, entre el fósforo extraído por las diferentes técnicas y las fracciones de fósforo inorgánico determinadas por el método de Chang y Jackson.

De los resultados obtenidos podemos concluir: el método Bray N°1 extrae principalmente P-Al, en menor medida P-Fe, no siendo significativa la extracción de P-Ca.

El método Olsen no difiere significativamente del Bray N°1 en cuanto a las correlaciones con las fracciones de fósforo inorgánico, pues a pesar de que su correlación con P-Ca es mayor a la del Bray sigue siendo muy baja y no significativa.

El método de resinas catiónicas tiene menor correlación que los anteriores con la fracción P-Fe, y aumenta notoriamente la correlación con P-Ca, siendo el único método en el cual esta es significativa.

En el método North Carolina al igual que en Bray y Olsen las correlaciones son significativas con P-Al y P-Fe y similares en valores a estos métodos. Respecto al P-Ca la correlación es algo superior a los métodos citados pero sin llegar a ser significativa.

Cuadro Nº 2- Datos analíticos de disponibilidad de fósforo por los 5 métodos (en ppm)

Suelo	Bray	Olson	Res.	N.C.	Egner
1	10.7	4.4	12.1	7.0	6.4
2	11.7	5.9	13.9	7.9	8.7
3	18.7	9.7	20.1	12.0	12.4
4	19.7	10.1	20.8	11.0	15.4
5	29.4	16.2	30.1	16.5	16.9
6	12.6	6.1	10.0	9.3	8.5
7	9.9	5.3	8.7	6.0	5.6
8	16.5	9.9	20.8	14.4	10.5
9	32.9	19.3	27.0	22.9	16.5
10	24.6	14.6	20.4	14.4	12.6
11	61.8	37.3	72.5	55.2	33.7
12	9.2	8.5	27.5	5.3	13.0
13	12.1	7.1	22.2	7.0	11.0
14	12.2	6.9	22.2	5.8	11.6
15	9.1	5.4	14.2	5.9	10.6
16	26.0	13.9	44.4	17.9	25.6
17	33.7	17.6	44.1	25.2	22.9
18	36.3	23.8	57.6	32.6	42.4
19	5.3	1.2	6.9	3.3	8.9
20	12.8	5.2	21.2	14.9	16.5
21	24.9	15.0	27.9	17.1	18.5
22	20.3	6.7	10.4	9.2	7.9
23	27.2	15.1	16.0	15.0	14.9
24	29.0	18.5	9.7	12.9	12.8
25	40.2	23.6	16.9	20.6	20.8
26	51.3	27.7	22.2	26.7	30.6

Cuadro N°3- Datos de fracciones según Chang y Jackson en ppm
y en % de las 3 fracciones.

Suslo	P-Ca	%	P-Al	%	P-Fe	%
1	13.6	21.7	5.5	8.7	43.7	69.6
2	11.8	18.5	6.3	9.8	45.7	71.7
3	12.9	22.3	6.4	11.0	38.7	66.8
4	13.9	22.7	6.7	11.0	40.8	66.8
5	14.8	15.9	10.3	11.1	68.0	73.0
6	17.1	28.5	4.1	6.8	38.7	64.6
7	15.4	23.5	4.5	6.9	45.7	69.7
8	16.2	24.7	5.5	8.4	44.0	67.0
9	15.5	17.8	7.5	8.7	64.2	73.6
10	14.4	21.1	5.5	8.1	48.1	70.7
11	25.2	20.8	15.0	12.4	80.9	66.8
12	32.1	58.8	8.1	14.8	14.4	26.3
13	20.2	35.7	8.5	15.1	27.9	49.2
14	12.3	25.8	9.6	20.2	25.8	54.0
15	29.3	51.3	4.4	7.7	23.5	41.0
16	28.0	43.9	9.7	15.3	26.1	40.7
17	20.8	40.0	8.7	15.3	25.5	44.8
18	14.7	25.9	12.6	22.3	29.3	51.8
19	8.21	33.9	2.80	11.6	13.2	54.5
20	16.1	57.5	4.3	15.3	7.6	27.2
21	10.6	19.9	7.4	14.0	35.2	66.2
22	5.6	23.1	5.6	23.3	12.9	53.6
23	7.9	28.2	6.0	21.6	14.1	50.2
24	13.2	20.1	7.7	11.7	44.9	68.3
25	11.7	26.2	9.9	22.1	23.2	51.7
26	14.2	23.3	11.1	18.2	35.8	58.5

Cuadro N° 4 Indices de disponibilidad de fósforo, para primer y segundo corte.-

Suelo N°	PRIMER CORTE				SEGUNDO CORTE			
	M.S (grs)	%P	P.T (mgrs)	R.R	M.S (grs)	%P	P.T (mgrs)	H.R
1	0.863	0.169	1.45	14.75	3.10	0.175	5.43	33.17
2	1.056	0.135	1.38	16.04	2.63	0.136	3.74	24.76
3	1.854	0.166	3.09	28.92	4.11	0.148	6.55	38.15
4	2.050	0.166	3.40	32.50	3.14	0.128	4.07	36.29
5	3.928	0.143	5.53	52.65	7.44	0.114	8.48	75.01
6	0.969	0.152	1.47	14.30				
7	1.182	0.164	1.93	17.91				
8	1.431	0.144	2.00	22.93				
9	3.740	0.170	6.23	54.60	7.60	0.081	6.11	88.22
10	3.465	0.125	4.34	49.20	5.86	0.107	6.29	53.49
11	5.718	0.218	12.46	51.20	6.03	0.124	11.24	89.63
12	1.962	0.140	2.72	21.14	1.90	0.100	1.90	12.50
13	1.033	0.139	1.45	13.20	2.23	0.110	2.46	19.62
14	1.436	0.128	1.83	16.80	2.91	0.128	3.65	28.52
15	0.930	0.133	1.24	10.89	1.52	0.121	1.80	14.48
16	3.619	0.125	4.55	42.00	4.51	0.143	6.20	42.96
17	5.104	0.124	6.33	70.70	7.16	0.136	6.99	77.43
18	4.404	0.157	6.94	78.80	8.10	0.110	8.97	94.07
19	0.528	0.118	0.625	7.80				
20	1.521	0.214	3.18	22.80				
21	3.349	0.165	5.50	50.97				
22	0.471	0.092	0.43	10.40				
23	2.363	0.138	3.24	42.00				
24	0.585	0.116	0.68	11.20				
25	2.166	0.152	3.29	40.00				
26	1.622	0.150	2.42	27.60				

En el método Egner la única correlación significativa se da con el P-Al, siguiendo en valor la de P-Ca (mayor que en los métodos N-C. Olsen y Bray) y la más baja P-Fe.

Cuadro N° 5 Coeficientes de correlación entre los métodos de análisis y las fracciones para todos los suelos del ensayo (26 muestras).

	P-Ca	P-Al	P-Fe
Bray	0.04	0.80 ^{xxxxx}	0.44 ^{xx}
Olsen	0.12	0.83 ^{xxxxx}	0.47 ^{xxx}
Resinas.	0.46 ^{xxx}	0.81 ^{xxxxx}	0.34 ^x
North C.	0.18	0.77 ^{xxxxx}	0.48 ^{xxx}
Egner	0.23	0.82 ^{xxxxx}	0.15

En adelante X-significativo al 10%, XX-al 5%, XXX-al 1%, XXXXX-al 1%

4.3 RELACION ENTRE FOSFORO EXTRAIDO POR LOS DIFERENTES METODOS:

En el cuadro N°6 se muestran las correlaciones entre los datos de fósforo "asimilable" obtenido por las diferentes técnicas, para los 26 suelos.

Cuadro N°6 Coeficiente de correlación entre los métodos (26 suelos)

	Bray	Olsen	Resinas	N.Carolina
Egner	0.80 ^{xxxxx}	0.82 ^{xxxxx}	0.84 ^{xxxxx}	0.82 ^{xxxxx}
North C.	0.91 ^{xxxxx}	0.92 ^{xxxxx}	0.84 ^{xxxxx}	
Resinas	0.66 ^{xxxxx}	0.70 ^{xxxxx}		
Olsen	0.98 ^{xxxxx}			

En términos generales se observan altas correlaciones entre métodos (todas significativas al 1%), los que indicaría extracciones proporcionalmente comparables entre las diferentes técnicas, en los suelos estudiados. El caso más extremo sería el de Bray con Olsen.

El otro extremo, que indicaría un comportamiento diferente en la extracción, sería el caso de las resinas que presentan correlaciones comparativamente bajas con el Bray y con el Ols en. Teniendo en cuenta que los resultados más discordantes respecto al resto, aparecían en los suelos arenosos de Tacuarembó se estudió separadamente las correlaciones entre métodos para este tipo de suelos y para el resto, apareciendo estos datos en los cuadros N°7 y N°8.

Cuadro N°7: Coeficientes de correlación entre los métodos, sin incluir los suelos arenosos de Tacuarembó (21 suelos)

	Bray	Olsen	Resinas	N.Carolina
Egner	0,81 ^{xxxxx}	0,83 ^{xxxxx}	0,93 ^{xxxxx}	0,81 ^{xxxxx}
North C.	0,97 ^{xxxxx}	0,96 ^{xxxxx}	0,91 ^{xxxxx}	
Resinas	0,89 ^{xxxxx}	0,91 ^{xxxxx}		
Olsen	0,99 ^{xxxxx}			

Cuadro N°8: Coeficientes de correlación entre los métodos para los suelos arenosos de Tacuarembó, (5suelos)

	Bray	Olsen	Resinas	N.Carolina
Egner	0,99 ^{xxxxx}	0,92 ^{xx}	0,93 ^{xx}	0,996 ^{xxxxx}
North C.	0,99 ^{xxxxx}	0,93 ^{xx}	0,94 ^{xxx}	
Resinas	0,87 ^x	0,76		
Olsen	0,96 ^{xxxx}			

Al considerar separadamente los suelos arenosos mejoran notablemente los datos de correlación, para casi todos los casos, lo cual indicaría que las diferencias de extracción entre métodos es máxima en este tipo de suelos, particularmente para el método de Resina con Bray y Olsen.

En el caso particular de los suelos arenosos (cuadro N°8) los métodos que difieren más son el Olsen con Resinas.

4.4 SIGNIFICADO DE LAS FRACCIONES DE FOSFORO EN TERMINOS DE DISPONIBILIDAD

En el cuadro N°9 se observan los coeficientes de correlación entre las fracciones de Chang y Jackson y el índice fósforo total absorbido por las plantas en el primer corte.

Cuadro N°9: Coeficientes de correlación entre fracciones y fósforo total absorbido en el primer corte (26 suelos)

	P-Ca	P-Al	P-Fe
Fósforo total absorbido	0.30	0.70 ^{xxxxx}	0.55 ^{xxxx}

En los datos podemos observar el hecho de que parecería ser el P-Al la fracción de mayor asimilabilidad, luego el P-Fe y por último el P-Ca. Los coeficientes de correlación no necesariamente deben tomarse como criterio cuantitativo de "asimilabilidad" pues el nivel de las diferentes fracciones está también asociado entre sí.

4.5 COMPARACION DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DE DIFERENTES METODOS:

4.5-1 Primer corte

En el cuadro N°10 se observan los coeficientes de correlación entre el fósforo determinado por los diferentes métodos y los tres índices de "asimilabilidad", para los 26 suelos con los datos del primer corte. La relación entre fósforo extraído por los diferentes métodos con los datos de fósforo total absorbido (en adelante PT) aparecen en las gráficas I, II, III, IV, V.

En relación a los índices utilizados se observa que P.T. y Rendimiento Relativo (en adelante R.R.) son los que dan mayores coeficientes de correlación en este cuadro, que incluye una amplia variabilidad de suelos.

En cuanto a los métodos de análisis, el que evalúa mejor el poder de suministro de fósforo en una amplia variabilidad de suelos es el método de las resinas cariónicas, siendo sus resultados muy similares al North Carolina.

Los métodos Olsen, Bray y Egner dan altas correlaciones, aunque inferiores a las anteriormente citadas.

Cuadro N°10 Coeficientes de correlación entre método e índices de disponibilidad. (Primer corte, 26 suelos)

	Materia seca	P.T.	R.R.
Bray	0.68 ^{xxxxxx}	0.73 ^{xxxxxx}	0.74 ^{xxxxxx}
Olsen	0.71 ^{xxxxxx}	0.76 ^{xxxxxx}	0.76 ^{xxxxxx}
Resinas	0.87 ^{xxxxxx}	0.90 ^{xxxxxx}	0.85 ^{xxxxxx}
North C.	0.79 ^{xxxxxx}	0.89 ^{xxxxxx}	0.84 ^{xxxxxx}
Egner	0.73 ^{xxxxxx}	0.73 ^{xxxxxx}	0.79 ^{xxxxxx}

Las desviaciones observadas respecto a una correlación igual a 1 entre la disponibilidad, y el valor de análisis en un amplio rango de suelos (excluyendo el error experimental y suponiendo que el índice es una medida exacta de la disponibilidad), puede deberse a dos causas:

- A) que el método no evalúe bien el poder de suministro
- B) que un mismo valor de análisis no tenga el mismo significado en términos de disponibilidad para los diferentes tipos de suelo.

P.T

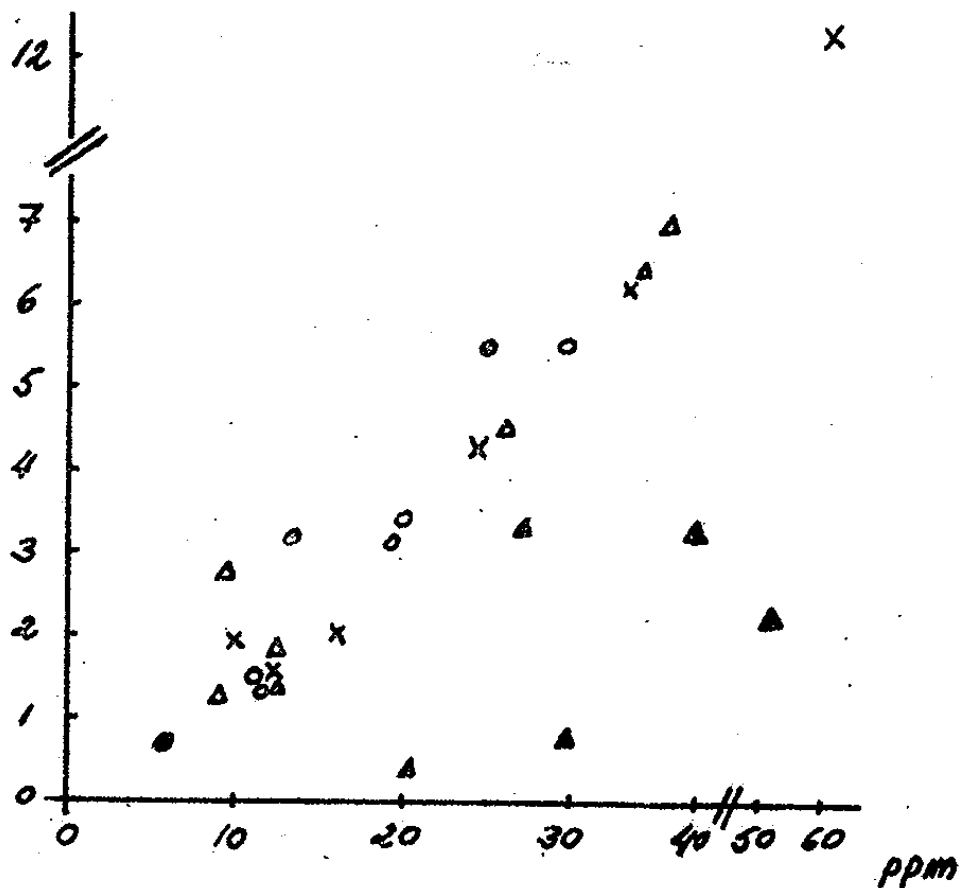


Fig. 1.- Relación entre el fósforo extraído por el método Bray N° 1 y el índice fósforo total absorbido. (1er. corte).

P.T

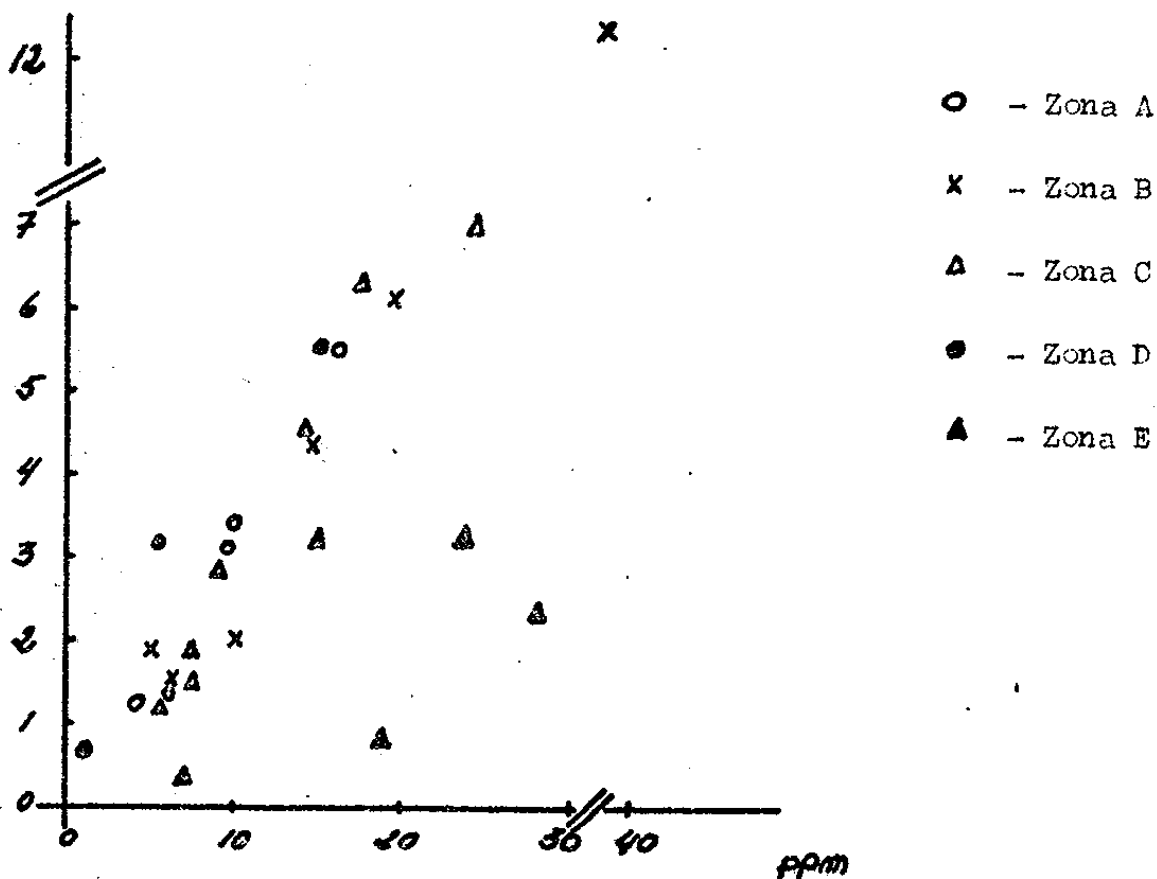


Fig. 2.- Relación entre el fósforo extraído por el método Olsen y el índice fósforo total absorbido. (1er. corte)

P.T

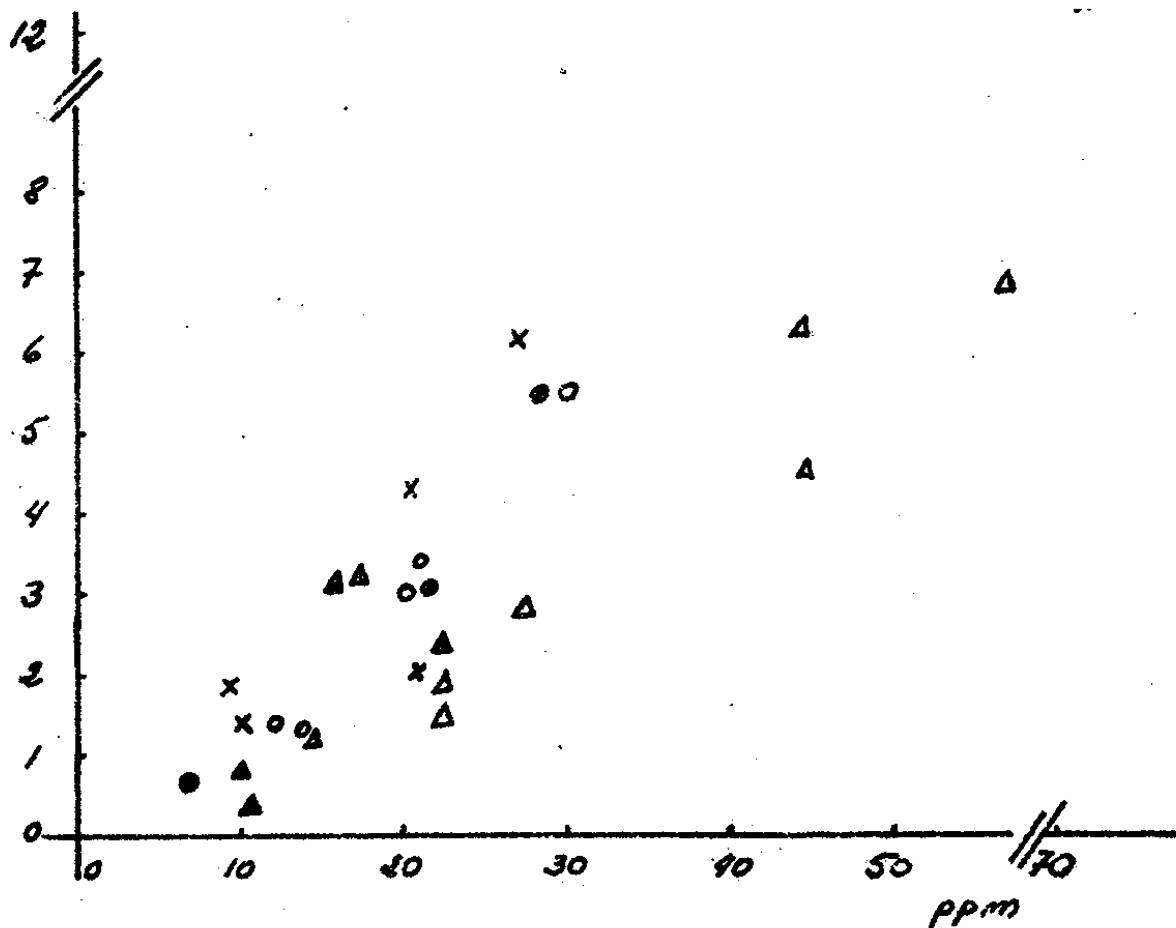


Fig. 3.- Relación entre el fósforo extraído por el método Resines catiónicos y el índice fósforo total absorbido. (1er. corte)

P.T

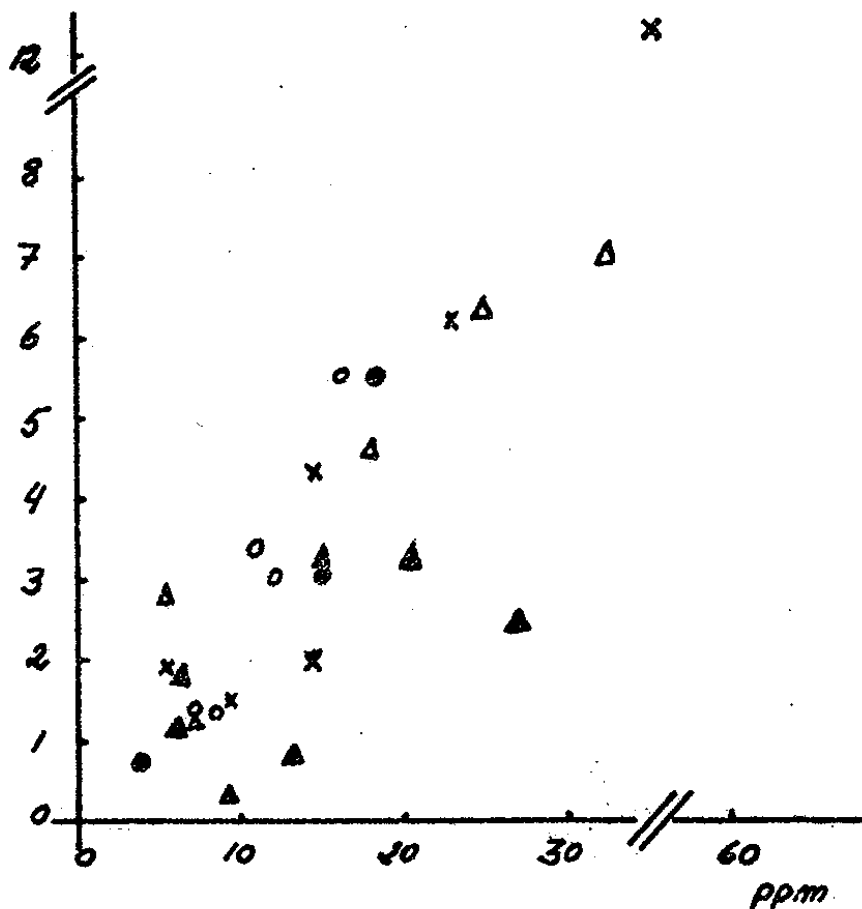


Fig. 4.- Relación entre el fósforo extraído por el método North Carolina y el índice fósforo total absorbido. (1er. corte)

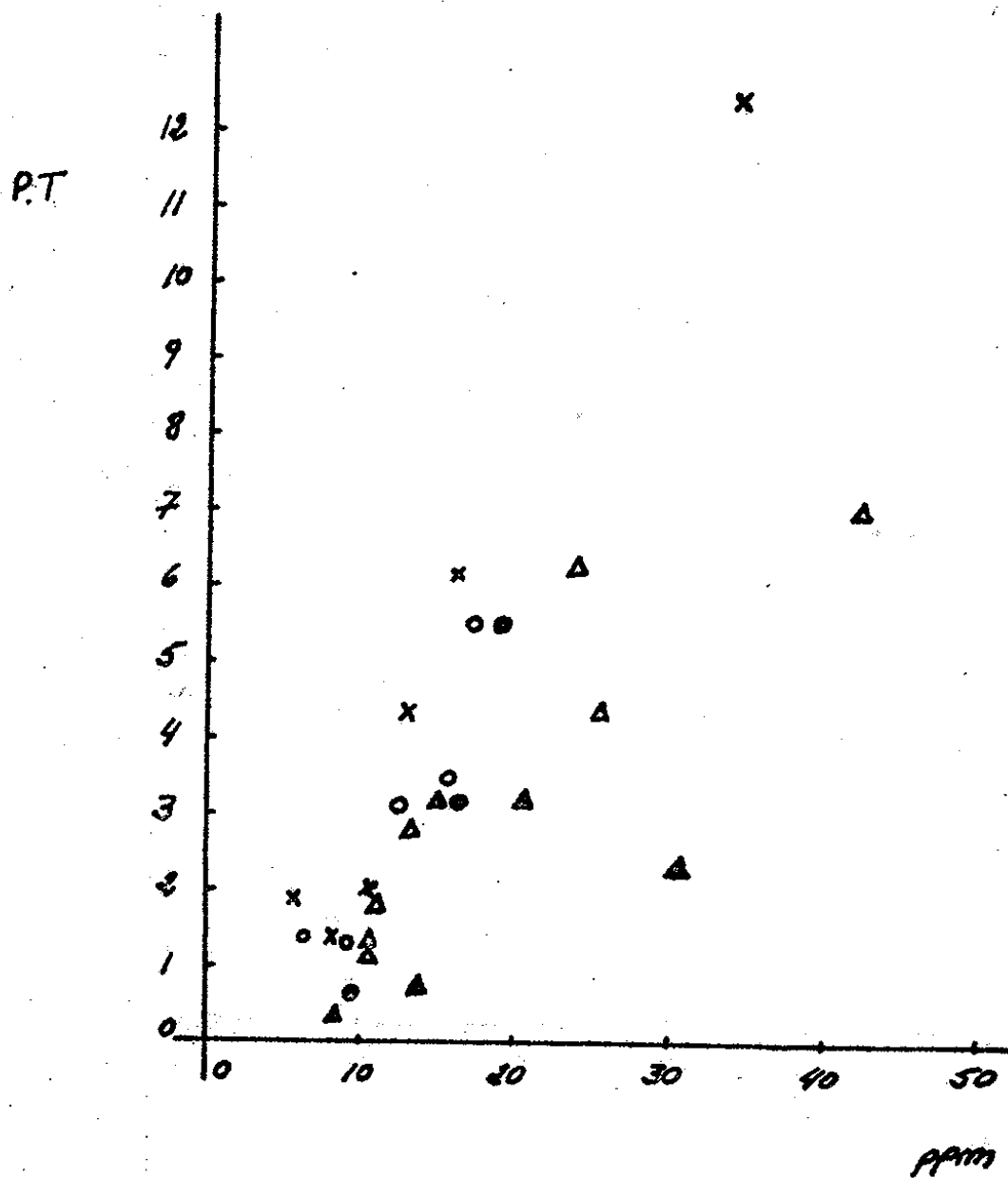


Fig. 5.- Relación entre el fósforo extraído por el método Egner y el índice fósforo total absorbido. (1er. corte)

Observando las gráficas I, II, III, IV, y V se deduce que para algunos métodos los suelos arenosos de Tacuarembó se desvían de la tendencia general de la regresión, aparentemente por las dos causas indicadas anteriormente. Por esta razón se calcularon las correlaciones entre los índices de disponibilidad y los métodos de análisis, sin incluir los suelos arenosos de Tacuarembó (zona E); estos datos aparecen en el cuadro N°11.

Cuadro N°11 Coeficientes de correlación entre métodos e índices sin los suelos arenosos de Tacuarembó. (primer corte, 21 suelos).

	Materia seca	P.T.	R.R.
Bray	0.93 ^{xxxxxx}	0.98 ^{xxxxxx}	0.93 ^{xxxxxx}
Olsen	0.92 ^{xxxxxx}	0.98 ^{xxxxxx}	0.93 ^{xxxxxx}
Resinas	0.88 ^{xxxxxx}	0.90 ^{xxxxxx}	0.87 ^{xxxxxx}
N.Carolina	0.86 ^{xxxxxx}	0.96 ^{xxxxxx}	0.89 ^{xxxxxx}
Egner	0.82 ^{xxxxxx}	0.82 ^{xxxxxx}	0.86 ^{xxxxxx}

En el cuadro observamos que en este grupo de suelos con menor variabilidad el índice que se comporta mejor, es el P.T. absorbido. En cuanto a los métodos, la exclusión de los suelos arenosos mejora notoriamente las correlaciones de los métodos Bray, Olsen, N.Carolina y Egner no sucediendo esto para el caso de Resinas.

Es de hacer notar los altos valores obtenidos con los métodos Bray, Olsen, y N.Carolina teniendo en cuenta sobretodo que las desviaciones respecto a una correlación igual 1, incluyen además de la incapacidad de los métodos para evaluar la disponibilidad, todos los errores en estimación de los índices y en la obtención de los valores de análisis.

Para evaluar la capacidad de estimación de fósforo disponible en suelos arenosos (zona E) se estudiaron los coeficientes de correlación entre los datos obtenidos por los diferentes métodos y el índice P.T. absorbido; figurando los resultados en el cuadro N°1

Cuadro N°12 Coeficiente de correlación entre métodos e índice P.T. en suelos arenosos de Tacuarembó.

	Olsen	Resinas	N. Carolina	Egner
P.T.	0.52	0.56	0.74	0.63
				0.58

Nota: El valor de coeficiente para una significación de 10% es 0.80

Para estos suelos los coeficientes de correlación obtenidos no son tan altos como para el resto, lo cual podría indicar que los métodos no estiman bien el poder de suministro en este tipo de suelo. El método que dió la mejor estimación fue el de Resinas catiónicas.

Corresponde para los datos obtenidos en estos suelos hacer dos puntualizaciones:

- A) el número de datos disponibles es bajo.
- B) la especie indicadora no tuvo un buen crecimiento en este tipo de suelo, probablemente debido a la existencia de un factor limitante no controlado.

En el caso del método de Resinas, gráfica N°III puede observarse que existe una tendencia a aparecer dos regresiones diferentes, una para los suelos de textura pesada (zona C) y otra para el resto de los suelos. De acuerdo a lo anterior se calcularon los coeficientes de correlación para estos dos grupos de suelos contra el índice P.T., apareciendo los resultados en el cuadro adjunto:

Cuadro N°13 Coeficientes de correlación entre el método de Resinas y P.T. absorbido para todos los suelos (26 suelos), para los pesados (zona C, 7suelos) y para el resto de los suelos (zonas A,B,DyE, 19suelos) primer corte.

Zonas	A B C D E	A B D E	C
Resinas-P.T.	0.90 ^{XXXXX}	0.96 ^{XXXXX}	0.96 ^{XXXXX}

Los datos muestran que si separamos ambos grupos de suelo los valores de los coeficientes de correlación son mayores.

Esto indica que este método mejoraría su capacidad predictiva en caso de calibrarse separadamente para los dos grupos de suelos anteriormente definidos.

La diferencia en la extracción en el método de resinas para los suelos del litoral pesados podría deberse a dos causas:

- A) mayores capacidades de intercambio de estos suelos
- B) diferencias en las formas de fósforo presentes en el suelo.

Los suelos del litoral deben presentar mayor capacidad de intercambio catiónico, de acuerdo a su alto contenido en arcilla y materia orgánica.

Esta mayor capacidad de intercambio podría afectar la capacidad de estimación del método de las resinas, debido a que el mecanismo de extracción es indirecto a través de la retención de cationes por parte de la resina. En cuanto a las formas del fósforo, presentan una mayor proporción de P-Ca en relación a los demás tipos de suelo.

Para estudiar la influencia de estos dos factores sobre la extracción del método de Resinas, se estudiaron las correlaciones entre: porcentaje de arcilla (estimador de la capacidad de intercambio catiónica) y porcentaje de P-Ca versus $\frac{P.T.}{\text{dato de resinas}}$ excluyendo los suelos arenosos. Los resultados obtenidos fueron:

r.relación $\frac{P.T.}{Res}$ vs. % arcilla = -0.42

r.relación $\frac{P.T.}{Res}$ vs. %P-Ca = -0.26

El índice P.T. absorbido sobre valor de análisis representaría una medida de la significación de un dato de análisis en términos de disponibilidad.

Los datos obtenidos indican que existe una tendencia en el sentido de que a medida que los suelos son más arcillosos, un mismo dato de análisis por el método de resinas tiene menos significación desde el punto de vista de la disponibilidad para la planta (significativo al 10%).

En relación al contenido de P-Ca esta tendencia es menos clara (no significativa), y lo sería en el sentido de que a mayor contenido de P-Ca en los suelos un mismo valor de análisis tiene menor significado desde el punto de vista de la disponibilidad para la planta.

Teniendo en cuenta que gran parte de la variación total encontrada al calcular las correlaciones estaba dada por un solo suelo (Nº11), se volvieron a calcular algunos de los coeficientes de correlación anteriormente citados, sin incluirse este suelo, para maximizar las diferencias observadas entre métodos; figurando los datos en el cuadro siguiente:

Cuadro Nº14 Correlaciones entre P.T. absorbido y datos de análisis por los diferentes métodos sin incluir el suelo Nº11 (Primer corte)

	Todos los suelos (25suelos)	Sin arenosos (20 suelos)	Sin litoral (18suelos)
Bray	0.56 ^{XXXXX}	0.96 ^{XXXXX}	
Olsen	0.61 ^{XXXX}	0.95 ^{XXXXX}	
Resinas	0.82 ^{XXXXXX}	0.82 ^{XXXXXX}	0.89 ^{XXXXXX}
N. Carolina	0.77 ^{XXXXXX}	0.92 ^{XXXXXX}	
Egner	0.69 ^{XXXXXX}	0.75 ^{XXXXXX}	

Al no incluirse el suelo Nº11, bajan los valores de correlación sin cambiar la capacidad relativa de los diferentes métodos en su poder de estimación.

4.5-2 Segundo corte

Luego de realizado el primer corte las plantas de aquellos suelos con poco crecimiento no rebrotaron, por lo cual no aparecen los datos en el segundo corte. Los suelos de los cuales no se poseen datos son los de las zonas D y E, y los suelos N° 6,7 y 8 de la zona B.

En el cuadro N°15 aparecen los valores de correlación de los diferentes índices con los datos de disponibilidad para todos los suelos que se incluyeron en el segundo corte.

Cuadro N°15 Coeficientes de correlación entre datos de análisis e índice de disponibilidad. (Segundo corte, 15 suelos)

	Materia seca	P.T,	R.R.
Bray	0.92 ^{xxxxx}	0.90 ^{xxxxx}	0.88 ^{xxxxx}
Olsen	0.89 ^{xxxxx}	0.86 ^{xxxxx}	0.86 ^{xxxxx}
Resinas	0.75 ^{xxxx}	0.76 ^{xxxxx}	0.72 ^{xxxx}
N.Carolina	0.86 ^{xxxxx}	0.87 ^{xxxxx}	0.84 ^{xxxxx}
Egner	0.73 ^{xxxx}	0.72 ^{xxxx}	0.74 ^{xxxx}

Respecto a los diferentes índices, observamos que en este corte no aparecen diferencias importantes entre ellos.

Con el mismo criterio usado en el primer corte se realizó el cálculo de las correlaciones anteriormente citadas sin incluir el suelo N°11. Al no incluir este suelo, en general los índices materia seca y R.R. dan mejores correlaciones que el índice P.T. absorbido (Cuadro N°16).

Cuadro N°16 Coeficientes de correlación entre datos de análisis e índices de disponibilidad. Sin suelos arenosos, y números 6,7,8 y 11.(segundo corte 14 suelos).

	Materia seca	P.T.	R.R.
Bray	0.96 ^{xxxxx}	0.86 ^{xxxxx}	0.96 ^{xxxxx}
Olsen	0.94 ^{xxxxx}	0.79 ^{xxxxx}	0.93 ^{xxxxx}
Resinas	0.67 ^{xxxx}	0.61 ^{xx}	0.61 ^{xx}
North C.	0.92 ^{xxxxx}	0.83 ^{xxxxx}	0.95 ^{xxxxx}
Egner	0.66 ^{xxxx}	0.63 ^{xxx}	0.69 ^{xxxx}

Esta diferencia de comportamiento de los índices respecto al primer corte, reflejada en una pérdida del valor predictivo del índice P.T. puede deberse a que las ventajas derivadas de considerar diferencias en porcentaje de fósforo de las plantas, no compensan los mayores errores que implican el muestreo y análisis, para determinar porcentaje de fósforo en el segundo corte.

En relación a la capacidad predictiva de los diferentes métodos, en términos generales los resultados de correlación obtenidos son más bajos. Estos descensos en los valores de correlación pueden ser explicados en parte por un aumento en el error experimental. Los problemas derivados del rebrote no solo se vieron reflejados en la necesidad de eliminar algunos suelos, como se citó anteriormente, sino también en una variación del número de plantas en algunos de los suelos que se conservaron para el segundo corte.

Los métodos Bray, Olsen y N.Carol. mantienen, en este segundo corte, los mayores valores de correlación para este grupo de suelos, que no incluye los arenosos, destacándose algo más el método Bray 1. El método Egner presenta una capacidad predictiva inferior a los demás métodos.

Respecto al método de Resinas los coeficientes de correlación hallados son inferiores al de los métodos antes citados, para el conjunto de todos los suelos incluidos en el segundo corte.

Teniendo en cuenta las mismas consideraciones que para el primer corte se calcularon los coeficientes de correlación del método de Resinas contra el índice P.T. para los suelos del litoral pesados (zona C con y sin el suelo 11) y para el resto de los suelos; los datos figuran en el cuadro siguiente:

Cuadro N°17 Coeficientes de correlación entre P.T. y el método Resinas: para todos los suelos (zona A B C), para los suelos litoral pesados (zona C) y para el resto (B), con y sin el suelo 11, Segundo corte.

Zonas	P.T. con suelo 11	P.T. sin suelo 11
A B C	0.76 ^{XXXXXX} (15 suelos)	0.61 ^{XX} (14 suelos)
A B	0.88 ^{XXXXX} (8 suelos)	0.70 ^X (7 suelos)
C	0.95 ^{XXXXXX} (7 suelos)	

Los resultados obtenidos muestran que al separar ambos tipos de suelos se mejora la capacidad predictiva del método de Resinas de la misma forma que se observaba en el primer corte.

5- CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados expuestos surge como primera conclusión que todos los métodos de análisis químicos usados, pueden ser una medida de la disponibilidad de fósforo para la planta.

Los diferentes métodos muestran diferencias en su capacidad predictiva, acentuándose estas cuando consideramos diferentes tipos de suelo.

Las diferencias más notorias en el comportamiento de los métodos se aprecian entre los suelos arenosos muy lixiviados por un lado, y los suelos pesados o menos lixiviados por el otro.

Tomando lo anterior como base, los métodos que evalúan mejor en la generalidad de los suelos analizados son Resinas y North Carolina.

En los suelos poco o medianamente lixiviados (zona A B C y D), los métodos que mejor evalúan la disponibilidad de fósforo, son Bray, Olsen, y North Carolina.

En los suelos arenosos muy lixiviados ninguno de los métodos mostró un buen comportamiento en la evaluación de la disponibilidad de fósforo en el suelo. Sin embargo de los datos obtenidos surge como tendencia, un mejor comportamiento del método de las resinas catiónicas.

CONCLUSIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE CADA METODO:

Bray N°1

Este método extrajo cantidades significativas de las fracciones P-Fe y P-Al, no siendo significativa la extracción de P-Ca.

En los suelos estudiados, la fracción P-Ca no tenía un alto significado en la disponibilidad, pero plantea la duda de que el método la extraiga cuando ésta tenga significación en la disponibilidad para la planta (este resultado concuerda con lo observado en trabajos realizados en la Estanzuela. J.L. Castro Comunicación personal)

Este método muestra una alta correlación en la generalidad de los suelos, con excepción de los suelos arenosos en los cuales su capacidad predictiva parece ser muy baja.

Las correlaciones entre Bray y Olsen son extremadamente altas, lo cual indicaría extracciones similares; siendo alta con Egner y North Carolina y relativamente baja con Resinas.

El mayor componente de las diferencias del Bray con los demás métodos está explicada sobretudo por la inclusión de los suelos arenosos lixiviados (zona D).

Olsen La diferencia principal que presenta este método respecto al Bray es una extracción mayor de P-Ca, aunque poco importante. Esto de acuerdo a la bibliografía podría ser importante en la fracción P-Ca de alta reactividad. Este método está altamente correlacionado con los demás métodos siendo su correlación más baja con Resinas.

Resinas Este método da las mayores correlaciones en el conjunto de todos los suelos estudiados, con los índices de disponibilidad. Extrae cantidades más significativas de P-Ca que los otros métodos y algo menores de P-Fe. Teniendo en cuenta que la fracción P-Ca no tenía una alta significación en la disponibilidad para la planta, es probable que la extracción de este método en esa fracción sea algo excesiva. El mayor componente de su falta de correlación, está dado no por una mala evaluación, en algunos suelos, como en el caso de otros métodos, sino en una diferente significación del resultado obtenido para los suelos de la zona C con respecto al resto. Una calibración por separado en los diferentes tipos de suelo mejoraría notoriamente la capacidad predictiva del método.

North Carolina Considerando todos los suelos se comporta casi tan bien como Resinas. No se comporta tan bien como el Bray y el Olsen en los suelos pesados, pero muestra una tendencia a evaluar mejor el fósforo disponible en suelos arenosos que los demás métodos exceptuando a Resinas. En cuanto a la extracción de las diferentes fracciones lo hace en una cantidad intermedia respecto a los demás métodos.

en P-Ca, es el que extrae menos P-Al y más P-Fe.

En cuanto a las correlaciones con los otros métodos, son más altas con Bray y Olsen que con Resina y Egner.

Egner En cuanto a la extracción de las fracciones, este método determina cantidades intermedias de P-Ca, significativas de P-Al y muy bajas de P-Fe siendo la fracción de la cual extrae menos. Sus correlaciones son altas con el resto de los métodos y bastante uniformes. La correlación con Resinas tiende a subir al eliminar los suelos arenosos, y considerando sólo los arenosos sube con todos los métodos. Su capacidad de estimar fósforo disponible es inferior a los otros cuatro métodos estudiados.

De todo lo expuesto anteriormente surge que cuatro de los métodos estudiados, Bray, Olsen, Resinas, y North Carolina presentan buena capacidad de estimación del fósforo disponible para las plantas, en los suelos incluidos en este estudio, excepto en los suelos arenosos muy lixiviados.

La selección dentro de estos cuatro métodos debe basarse en otro tipo de consideraciones como pueden ser la capacidad de número de análisis por unidad de tiempo, del trabajo que presenten cada uno de ellos, costo, etc.

De acuerdo a nuestra experiencia en este sentido, debemos destacar al método Bray N°1.

En el caso de Resinas convendría ajustar separadamente la calibración para los diferentes tipos de suelos.

Futuros estudios sobre el tema deberán complementar algunos aspectos no aclarados en este trabajo como ser:

- Comportamiento de los métodos en algunos tipos de suelos no incluidos en este trabajo y con características diferentes a los suelos estudiados. Por ejem: suelos sobre Basalto y Planosoles de la zona este del país.

- Ampliar el estudio para el caso de los suelos arenosos,

pues el presente trabajo no plantea conclusiones definitivas.

- Estudiar más profundamente la capacidad de los métodos en los casos en que la fracción P-Ca tenga importante significado en la disponibilidad, pues del presente trabajo surgen evidencias de que los métodos extraen en forma distinta dicha fracción.
-

AGRADECIMIENTOS

A la dirección de Suelos y Fertilizantes por la colaboración prestada en la selección, recolección, y clasificación de muestras; y especialmente al Ing. Agr. Daniel Panario.

Al Programa de Suelos del Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger por la colaboración prestada en la selección de algunos de los suelos y en la determinación de fósforo por el método de Resinas catiónicas.

A la Estación Experimental del Norte del Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" por el muestreo de los suelos arenosos de Tacuarembó.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- 1- Abbas A.H and Barber S. 1964 "A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus I. Correlation of soil phosphorus fractions with plant available phosphorus". Soil Science S. Am. Proceedings- 28:218-220.
- 2- Al-Abbas y Barber 1964 " A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus II- Development of the soil test Soil Science. S.Am. Proceedings 28:221-223.
- 3- Balerdi F, Muller L y Fassbender HW. 1968 "Estudio del fósforo en suelos de América Central III. Comparación de cinco métodos químicos de análisis de fósforo disponible" Turrialba, Vol 18: 348-360.
- 4- Barberis L.A, Berasategui L A, Wilken F y Weil M R 1970 " Determinación de la fertilidad de un suelo laterítico mediante la utilización de una planta índice". Revista de la Fac. de Agr. y Vet. de B. Aires 18 (2-3) 91-101.
- 5- Black C.A 1967 "Soil-plant relationships" Second Edition Wiley y Sons, N. York, London, Sidney.
- 6- Bray R H and Kurtz L. T 1945 " Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils". Soil Science 59:39-45.
- 7- Chang S C and Jackson M L 1957 "Fractionation of soil phosphorus" Soil Science 84:133-143
- 8- Chang S C, Juo S.R 1963 "Available phosphorus in relation to forms of phosphates in soils" Soil Science 95: 91-96.
- 9- Egner H. 1941 "The Egner lactate method for phosphate determination". The American fertilizer. 94: N°5-
- 10- Fassbender HW, Muller L y Balerdi F. 1968 " Estudio del fósforo en suelos de América Central II. Formas y relación con las plantas" Turrialba 18:333-347.

- 11- Jackson M L 1964 "Análisis químico de Suelos" Ed. Omega Barcelona. España.
- 12- Lathwell D.J. Sanchez N, Lisk D J and Peech M 1958 "Availability of soil phosphorus determination by several methods". Agronomy Journal 50:366-369.
- 13- Marchesi E y Duran A. 1969 "Suelos del Uruguay". Nuestra Tierra Nº18- Montevideo.
- 14- Olsen S R and Dean L A "Phosphorus", en Black C A 1965 "Methods of soil análisis, Part 2. Chemical and Microbiological properties" Agronomy Nº9 Winsconsin USA 1035-1048.
- 15- Olsen S R, Cole C U, Watanabe F S and Dean L A. 1954 "Estimation of available phosphorus in soils by extraction with Sodium Bicarbonate" U S Deft. Agr. Circ. 939.
- 16- Panse U G y Sukathme PV. 1963 "Métodos estadísticos para investigadores agrícolas" Fondo de Cultura Económica- México.
- 17- Payne H and Hanna W J 1965 "Phosphorus availability, correlations among soil phosphorus fractions, extractable phosphorus and plant content of phosphorus ". Journal Agr. Food Chemistry 13:322-326 .
- 18- Percy, F. Bernardeth M y Santana M 1972 "Comparación de extractantes químicos de fósforo en suelos del sur de Bahía" Turrialba 22:Nº1.
- 19- Bratt P F and Garber M J. 1964 "Correlations of phosphorus availability by chemical tests with inorganic phosphorus fractions" Soil Science. S. Am. Proceedings 28:23-26.
- 20- Rabuffetti A. 1975 "Curso de Suelos II, Tomo 3" Fac. de Agr. de Montevideo Publicación de Circ.interna.
- 21- Susuki A, Lawton K and Doll E C. 1963 "Phosphorus uptake and soil test as related to forms of phosphorus in some Michigan soils". Soil Science S. Am. Proceedings 27:401-403.
- 22- TriPathi B R, Tandom H L S and Tyner E H 1970 "Native inorganic phosphorus forms and their relation to some chemical indexes of phosphate availability for soils of Agra District. India."

Soil Science. S. Am. Proceedings 28:23-26.

- 23- Westin F C and Buntley G J. 1966 "Soil phosphorus in South Dakota II. Comparations of two availability test with inorganic phosphorus fractions among soil series" Soil Science S. Am. Proceeding 30:nº2.
- 24- Zamuz E M de y Castro J. L. 1974 "Evaluación de métodos de análisis de suelo para determinar fósforo asimilable" CIA "Alberto Boerger". Uruguay Bol. Técnico Nº15.
- 25- Zubriski J C 1971 " Relationships between forms of soil phosphorus, some indexes of phosphorus availability and ^{growth} of sudangrass in greenhouse trials". Agronomy Journal 63:Nº3.

James H. Brewster

Leech & Leach *Arthur P. Mallouin*