

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS



**Calibración de un Método de Laboratorio para Análisis
de Fósforo en Suelos Agrícolas**

TRABAJO RECEPTACIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

QUIMICO

PRESENTA

MAXIMINO M. HERRERA BRAVO

A mis Padres:

con cariño y gratitud

A mi esposa

A mis hermanos

A la memoria de:

Eduardo Birkitt C.

Angelita Fuentes de Birkitt

Con mi más profundo agradecimiento al Instituto de Investigación de las Zonas Desérticas, por haberme dado todas las facilidades para la elaboración de este trabajo, efectuado en el Departamento de Edafología, muy especialmente a:

Prof. Biol. Fernando Medellín L.

M.C. Quím. Raúl Grande López

Quím. Urbana Ramírez Ochoa.

CONTENIDO

- Io.- RESUMEN
- IIo.- INTRODUCCION
Antecedentes y objetivos del estudio
- IIIo.- REVISION BIBLIOGRAFICA
- IVo.- GENERALIDADES ACERCA DE LOS MINERALES DEL SUELO QUE CONTIENEN FOSFORO
- Vo.- CONCENTRACION Y FORMAS EN QUE SE APLICA EL FOSFORO AL SUELO
- VIo.- MATERIALES Y METODOS:
 - a).- Selección de muestras de suelos
 - b).- Procedimiento de preparación de muestras para análisis
 - c).- Métodos Analíticos para fósforo
 - a').- Método Peech-English
 - b').- " Bray-1
 - c').- " Bray-2
 - d').- " Olsen
 - e').- " Troug
 - d).- Determinaciones complementarias y de correlación
 - a').- Porcentajes de Arenas, Limo y Arcilla
 - b').- pH (suspensión acuosa 1:2.5)
 - c').- Materia orgánica
 - d').- Conductividad eléctrica (salinidad)
- VIIo.- RESULTADOS
- VIIIo.- DISCUSION DE RESULTADOS
- IXo.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- Xo.- BIBLIOGRAFIA.

10- RESUMEN

Se presenta un estudio de dos lotes de suelos ácidos y alcalinos para establecer cuantitativamente las proporciones de fósforo aprovechable de inmediato por los cultivos, con objeto de tener bases técnicas para tomar una decisión de cuál método es mejor para el análisis del fósforo mencionado. Para realizar el estudio se trabajó con 24 muestras de suelo, lo cual constituye el material por investigar correspondiendo doce muestras a suelos alcalinos y doce muestras a suelos ácidos y de las cuales ocho pertenecen a terrenos de cultivo y dieciseis de terrenos destinados a pastoreo.

Los niveles altitudinales correspondientes a los terrenos muestreados varían de los 1880 a los 2240 m.s.n.m., y administrativamente corresponden a las localidades de El Ejido Palma de la Cruz (Soledad Díez Gutiérrez) y los municipios de Villa de Reyes y Villa de Arriaga.

Para caracterizar la naturaleza física y química del suelo se presentan resultados de análisis para pH obtenido en suspensión acuosa relaciones suelo agua 1:1 y 1:2.5, así como la interpretación de los resultados, cifras para porcentajes de arenas, limo y arcilla, así como las clasificaciones texturales, por otra parte, se reportan contenidos de materia orgánica en % y condición de no salinidad de estos suelos, expresada en función de la conductividad eléctrica del extracto de suelo saturado en mmhos/cm a 25°C.

Así mismo se incluyen resultados de análisis para el fósforo del suelo aprovechable por las plantas obtenidos por cinco métodos ensayados, y los cuales corresponden a Peech et English, Bray-1, Bray-2, Olsen y Troug. Se presenta una discusión de los distintos resultados obtenidos en función de la caracterización física y química de estos

suelos, su utilización y tratamientos a que han sido sometidos, estableciendo que para los suelos alcalinos estudiados, los mejores resultados se obtuvieron con el método Olsen, los cuales están de acuerdo con las deficiencias de fósforo observadas en el campo, y con la naturaleza física y química de los suelos alcalinos que se caracteriza por presentar pobreza de fósforo.

Para los suelos ácidos estudiados, el mejor método ensayado fue el Troug, el cual proporciona los niveles medios de fósforo que coinciden con las observaciones de campo y con la naturaleza física y química de estos suelos.

Finalmente se presenta una revisión bibliográfica acerca de los antecedentes relacionados con este estudio de calibración de un método de laboratorio para análisis de fósforo en suelos agrícolas.

IIo.- INTRODUCCION

El fósforo (P) se considera en la agricultura mundial como el elemento nutriente al cual solo sobrepasa en importancia el nitrógeno, e influye en el desarrollo de los vegetales al grado que permite aumentar la fertilidad de los suelos cultivados y en consecuencia elevar los rendimientos en cosechas.

Los suelos de la República Mexicana particularmente los de las regiones áridas y semiáridas, contienen niveles medios y bajos de este nutriente, por lo que las necesidades de fertilización van de necesarias a moderadas. En la naturaleza el fósforo se encuentra en estado de combinación química formando distintos compuestos, pero nunca como elemento libre. Es un constituyente de la materia viva ya sea animal o vegetal dado que los núcleos de las células lo contienen en forma de nucleína, la cual puede contener hasta un 10% de fósforo.

De acuerdo con lo anterior, es de gran interés conocer por medio del análisis la cantidad de fósforo que se encuentra en el suelo y que es aprovechable como nutriente por las plantas. En este sentido se han desarrollado distintos métodos de laboratorio, cuyo fin es el cuanteo de esta fracción, que las plantas utilizan para su crecimiento y desarrollo.

Estas estimaciones analíticas se basan en el empleo de soluciones extractivas distintas, las cuales estan de acuerdo con la naturaleza del suelo, de modo que, el extractivo utilizado en un suelo ácido si nos da buenos resultados no necesariamente proporcionará la misma respuesta en un suelo alcalino, por lo que es preciso conocer las propiedades físicas y químicas de los distintos suelos, con objeto de utilizar la solución extractiva para fósforo en las condiciones apro-

piadas del suelo. Desde este punto de vista el análisis del fósforo debe proporcionar en principio una medida cuantitativa del grado sobre el cual las fracciones de este elemento tienen relación con la cantidad aprovechable por la planta.

En el suelo el fósforo se encuentra esencialmente en dos formas, principalmente formando compuestos inorgánicos y en menor proporción en compuestos orgánicos. El de mayor importancia agrícola como nutriente para las plantas es el inorgánico.

Por otra parte, es de considerarse que las cantidades de fósforo agregadas al suelo en forma de fertilizantes, solo una parte es aprovechada de inmediato por los cultivos, mientras que la mayor parte reacciona con el suelo transformandose a formas más lentamente asimiladas por los cultivos.

Teniendo en cuenta estos factores, se presenta un estudio cuyo objetivo primordial esta enfocado a la obtención de un método de laboratorio calibrado a las condiciones de suelos agrícolas localizados en los municipios de: Villa de Arriaga, Villa de Reyes y Soledad Diéz Gutiérrez, S.L.P. Correspondiendo los sitios de muestreo a localidades destinadas a una utilización tanto de cultivo como de pastoreo, con objeto de ubicar los posibles grados de perturbación a las condiciones naturales que presentan estos suelos. En este mismo estudio se investiga la contribución de las fracciones del fósforo inorgánico extraído por cinco métodos distintos, con el fin de identificar las variaciones del fósforo cuanteados, debidas a la naturaleza del suelo y a la de las soluciones. Por otra parte se ha investigado el efecto de la fracción arcillosa, pH, y salinidad sobre el fósforo extraído, con las cinco soluciones empleadas.

De este modo se contribuye a un mejor conocimiento de los nu-

trientes en los suelos agrícolas de una parte del Estado de San Luis Potosí, puesto que es preciso conocer las distintas condiciones que presentan estos suelos, para planear los programas tanto de incorporación de nuevas áreas al cultivo, elevación de los rendimientos y en general la obtención de cosechas en grado óptimo. En este sentido sabiendo en que condiciones se encuentra el suelo, es posible decidir con más posibilidades de éxito a que utilización se le puede destinar.

IIIc.- REVISION BIBLIOGRAFICA

Se encuentran antecedentes bibliográficos acerca del tema abordado en este estudio en los siguientes trabajos:

Ortíz V. y Sánchez R. (1965), realizaron un estudio acerca de las fracciones del fósforo en algunos suelos de México, los cuales presentan en forma completa la descripción de la metodología seguida para la obtención de las formas asociadas con calcio, así como para la fraccionación del fósforo inorgánico en algunos suelos de baja fijación. Por otra parte estudian la fraccionación de fósforo inorgánico en compuestos de aluminio y fierro, en los cuales se encuentra adsorbido, presenta asimismo resultados de análisis para fósforo correspondiente a suelos de regiones cañeras de la República, principalmente de Zacatepec, Mor., Atencingo, Pue., Tamazula, Jal., etc.

Concluye entre otras situaciones que el método que dió las mayores correlaciones para todos los suelos estudiados fué el Bray-2, estableciendo que de los análisis de correlación múltiple, el fósforo ligado al aluminio proporciona la mejor predicción en relación del aprovechable.

Ortega T. E. (1963), presenta un estudio de correlación del método Bray-1 para la fracción del fósforo asimilable con rendimientos de campo de maíz de temporal en suelos del bajío, dicho trabajo lo realizó en los ciclos agrícolas (1962, 1963, 1964), en la zona a lo largo de la carretera Silao-Irapuato-La Piedad-Atotonilco-Guadalajara, en los estados de Guanajuato, Michoacan y Jalisco. Incluye tratamientos de fertilización que sirven como punto de comparación a la respuesta de fósforo. De los resultados obtenidos en este trabajo recomienda el método de Bray-1 para determinación de fósforo aprovecha-

ble en los suelos donde se trabajó.

González Gallardo y Ortiz V. (1965), en su trabajo correspondiente al estado actual del programa de análisis de suelos y condiciones de fertilidad en las regiones cañeras de México, utilizan como método de rutina el Olsen para suelos alcalinos y el Troug para suelos ácidos. Mencionando niveles de fertilidad para fósforo y potasio en relación al porcentaje del área estudiada.

Baldovinos de la Peña (1965), menciona que, para estimar la asimilabilidad del fósforo del suelo por las plantas se han investigado algunos procedimientos los cuales consisten en determinar la cantidad que es soluble en ácidos diluidos y menos frecuentemente en soluciones alcalinas.

Troog E. (1930), clasificó el fósforo del suelo en asimilable e inasimilable. De acuerdo con las investigaciones de este autor los fosfatos de fierro y aluminio, constituyen las formas más asimilables, en cambio el fosfato de calcio constituye la forma más inasimilable en suelos alcalinos.

Chang S.C. y Jackson, M.L. (1958), desarrollaron un método de separación de las distintas formas del fósforo del suelo. Este procedimiento se funda en que cada solución extractora posee propiedades físico-químicas diversas y por lo tanto, los fosfatos del suelo y el fósforo orgánico son diferencialmente solubles en estas soluciones extractoras. De acuerdo con este método, el suelo se trata primero con una solución de cloruro de amonio con el objeto de extraer el fósforo ligeramente absorbido en la superficie de los coloides del suelo. Como segunda solución extractora, se utiliza el hidróxido de sodio el cual disuelve eficientemente al fosfato de fierro; finalmente se utiliza el ácido sulfúrico el cual disuelve al fosfato de calcio y no al

fósforo orgánico ya que esta última forma, requiere tratamientos especiales para obtener su extracción. La importancia de la fraccionación de las distintas formas de fósforo radica en el hecho de que es el procedimiento más preciso para predecir cual es la forma más asimilable por las plantas, y así poder efectuar una fertilización de fósforo más adecuada; según sean las condiciones del suelo en donde se desarrollan los diversos cultivos.

Ortiz V. y Sánchez R. (1965), expresan que cualquier análisis de fósforo proporciona en alguna forma la relación que hay entre las fracciones del elemento con el nutriente aprovechable por las plantas.

De esto se deduce que las cantidades de los compuestos del fósforo presentes en el suelo varían según la intensidad del intemperismo, pH, contenido de materia orgánica, fertilización, etc. El fósforo del suelo se clasifica en las formas orgánica e inorgánica. Igualmente las formas inorgánicas usualmente están más relacionadas con la aprovechabilidad por la planta.

Pelletier C.P. (1961), menciona que las plantas absorben la mayor parte del fósforo que requieren de las soluciones del suelo, el fósforo del subsuelo es menos asimilable debido a que la solubilidad aumenta en presencia de materia orgánica; para el abastecimiento del P_2O_5 la cantidad de humedad que en un determinado momento pueda contener el suelo es un factor muy importante. En los suelos arcillosos el aprovechamiento del fósforo suele ser particularmente lento, pero al aplicar a estos suelos abonos verdes aumenta su aprovechabilidad. Los fosfatos insolubles pueden hacerse más rápidamente accesibles a las plantas tratados previamente con ácido.

En los horizontes inferiores de muchos suelos, una buena parte del fósforo esta bajo la forma de fluorapatita compuesto resistente a

la acción del intemperismo.

Las plantas lo asimilan como ión ortofosfato monovalente $H_2PO_4^-$ comunmente designado como ión fosfato.

Lyon T.L. (1958), indica que cuando el fósforo se encuentra en el suelo en combinación orgánica la descomposición facilita mucho su simplificación. Los distintos fosfatos contenidos en el suelo son por lo general bastante insolubles.

El tipo de ión fosfato contenido en el suelo parece variar de acuerdo al pH de la solución. Si el suelo es netamente alcalino la forma más común es $PO_4^{=}$, este ión es adsorbido lentamente por las plantas en casi todos los suelos. Cuando disminuye el pH y se vuelve ligera o moderadamente ácido predominan los iones $HPO_4^{=}$ y $H_2PO_4^-$, a mayor valor de acidez predomina el segundo. Se cree que estas dos formas son adsorbidas con mayor facilidad por las plantas y microorganismos, al aumentar la acidez, se incrementa la solubilidad del fierro y aluminio y los fosfatos solubles quedan fijados como algún compuesto complejo de estos metales.

A un pH mayor de 7 se provoca la presencia del ión $PO_4^{=}$ por lo cual se forman fosfatos alcalinos complejos.

Rehm G.W. y Sorensen (1974), en sus trabajos de correlación entre las aplicaciones del fósforo al suelo y la respuesta en producción de alfalfa, han observado que el fósforo aplicado ocasiona un incremento significativo de este elemento en el tejido celular de la alfalfa, concluyendo en base a estos datos que el fósforo total aplicable a suelos calcáreos no es transformado a formas insolubles en gran proporción y por otra parte, algo de él es retenido en forma latente para ser aprovechado posteriormente a la época de su aplicación.

Pelletier C.P. (1965), uno de los fenómenos que interesan desde

el punto de vista de la concentración y formas en que se aplica el fósforo al suelo, es el efecto de los ingredientes fosforados en la acidez del mismo y en este sentido se identifican en forma definida dos efectos en el suelo al aplicar estos ingredientes, y dichos efectos son: Uno directo que proviene de las reacciones químicas del fertilizante con el suelo y otro residual que es ocasionado por una estabilización del sistema suelo-solución y que se identifica a largo plazo. En lo que respecta al fosfato monopotásico y en general a los fosfatos, el efecto directo es un efecto acidificante, es decir, que tiende a bajar aunque en poca proporción al pH del suelo, y el efecto residual que se manifiesta mucho después de haber aplicado el fertilizante (dos o tres ciclos agrícolas), es también acidificante y en forma aproximada baja el pH de un suelo neutro hasta 5.9 por adiciones continuadas de fosfato monopotásico.

IVo.- GENERALIDADES ACERCA DE LOS MINERALES DEL SUELO QUE CONTIENEN FOSFORO

El fósforo inorgánico del suelo se encuentra principalmente en forma de fosfato combinados particularmente con fierro, aluminio y calcio, aunque la fuente principal la constituye el mineral conocido como apatita $(\text{PO}_4)_3\text{Ca}_5(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$, con sus variedades de fluorapatita e hidroxiapatita, en otros minerales que contienen cloro o carbonatos, pueden sustituir éstos al fluor. También es posible encontrar en el suelo compuestos de fósforo precipitados en forma de variscita y strengita $(\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{FePO}_4)$ y ocasionalmente los fosfatos se encuentran adsorbidos en la superficie de minerales que contienen calcio, fierro o aluminio (carbonato de calcio, calcita, goethita, gipsita y caolinita).

Se distinguen dos formas alotrópicas que son fósforo rojo y amarillo, de éstos el amarillo es sumamente venenoso al grado que un décimo de gramo es suficiente para causar la muerte de un hombre, en cambio el rojo que no es tóxico se utiliza en la industria. En la literatura agrícola la anotación P_2O_5 es un símbolo de empleo usado frecuentemente y corresponde al pentóxido de fósforo o anhídrido fosfórico; esencialmente es el producto final de la oxidación total del fósforo, de modo que, de aquí deriva su importancia química.

En la industria, así como en la agricultura, el contenido de fósforo de los materiales fosforados se estima bajo la forma de P_2O_5 , siendo ésto un procedimiento de carácter universal. El fósforo se presenta en los suelos en forma orgánica y la proporción varía de acuerdo con las condiciones y naturaleza del humus que contiene el suelo.

Además de los minerales que contienen fósforo, otras fuentes im-

portantes de este elemento que interesan desde el punto de vista agrícola son: fosfato de huesos, que comprenden (Sauchelli V. 1959, pag. 27) harina de huesos crudos, huesos tratados al vapor, ceniza de huesos y harina de pescado seca.

Las fuentes de fósforo aprovechable a corto plazo incluyen principalmente las formas inorgánicas de este elemento, debido a que el fósforo asociado a formas orgánicas se descompone lentamente y muy poco de este fósforo es liberado a la solución

La aprovechabilidad (Corey R.B. 1964) de las distintas formas de fósforo para los cultivos se identifican del modo siguiente:

Fósforo en solución	Rápidamente aprovechable
Fósforo adsorbido	
Materia orgánica parcialmente descompuesta	Moderadamente aprovechable

TABLA I

PRINCIPALES MINERALES DEL FOSFORO
(Henry, Kraus E., Fred, Hunt W., Stephen, R.L.)
(1965)

Monacita	$(Ce, La)PO_4$
Trifilina	$Li(Fe, Mn)PO_4$
Ambligonita	$LiAl(F, OH)PO_4$
Apatito	$Ca_5F(PO_4)_3$
Piromorfita	$Pb_5Cl(PO_4)_3$
Vivianita	$Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$
Wawellita	$Al_3(OH)_3(PO_4)_2 \cdot 5H_2O$
Turquesa	$CuAl_6(OH)_8(PO_4)_4 \cdot 4H_2O$

La vida de las plantas necesita fosfatos solubles; la materia prima que suministra estos fosfatos es una variedad del apatito, conocida con el nombre de roca de fosfato y que no es más que un fosfato-carbonato de calcio, impuro. Tratando la roca en cuestión, en masa, con un peso aproximadamente igual de ácido sulfúrico, se forma un superfosfato fácilmente asimilable por la planta.

El apatito es el fosfato más importante y abundante, en el que puede haber sustitución del fluor por cloro e hidroxilos y con menos frecuencia sustitución del fosfato por grupos carbonato.

La solubilidad del fósforo depende en gran parte del pH de la solución del suelo al grado que, los fosfatos de fierro y aluminio son insolubles a pH menor de 4. Los fosfatos de calcio por otra parte son insolubles a pH de 8.5, mientras que la solubilidad aumenta cuando el pH decrece. El resultado de lo anterior consiste en que los fosfatos de calcio son estables en suelos alcalinos y los de fierro y aluminio lo son en suelos ácidos. El fósforo que se encuentra sobre la superficie de minerales corresponde al fósforo adsorbido.

El fósforo que se encuentra en los suelos agrícolas forma parte de compuestos inorgánicos como los mencionados anteriormente, y las formas orgánicas más comunes corresponden a fosfatos de inositol, ácidos nucleicos y fosfolípidos; durante los procesos de descomposición de estos compuestos se libera una fracción pequeña de fósforo que es aprovechable para las plantas, aunque esta fracción entra inmediatamente en equilibrio con las formas inorgánicas del fósforo, debido a ésto en las determinaciones del fósforo aprovechable en suelos, generalmente no se considera en forma significativa al fósforo orgánico.

La velocidad de absorción del fósforo por las plantas depende de la concentración del fósforo en la solución del suelo, lo que da por

resultado que, cuando aumenta la absorción disminuye la concentración de este elemento en la zona de raíces, y el fósforo tiende a difundirse a distancias cada vez más alejadas de dicha zona; por otra parte, como la velocidad de difusión en condiciones normales de humedad del suelo es mayor en los de textura fina (arcillosa), las plantas pueden obtener más fósforo de un migajón arcilloso que de una arena, aunque ambos suelos contengan concentraciones equivalentes de fósforo en la solución del suelo. En consecuencia de lo anteriormente expuesto, parece ser que la mejor prueba para determinar fósforo aprovechable en suelos es el análisis del fósforo extraído por una solución.

Vo.- CONCENTRACION Y FORMAS EN QUE SE APLICA EL FOSFORO AL SUELO

Las formas en que se aplican los materiales fertilizantes a base de fósforo al suelo son:

TABLA II

	% P_2O_5
Fosfato de Amonio	48
Fosfato diamónico	53
Fosfato sulfato de amonio	20
Superfosfato amoniado	16 - 19
Superfosfato concentrado	30 - 50
Superfosfato normal	18 - 20
Harina de hueso	29

(Dr. Tisdale L.S. 1964 No. 39 y 40)

Abonos orgánicos naturales con contenidos apreciables de P_2O_5 :

TABLA III

	%
Ceniza de huesos	35
Negro animal, usado	35
Estiércol fresco	0.4
Estiércol seco (bovinos, ovinos)	1.5
Estiércol seco (porcinos)	3.0
Sedimento seco de aguas fecales	2.0
Guano de murciélago	5.0

(Agricultura de las Américas, Julio 1963 No. 7)

La falta de fósforo en el suelo ocasiona en las plantas que se desarrollan sobre él, los siguientes efectos: (Ignatieff V. 1952), e-

nanismo, maduración tardía, mala producción de frutos, crecimiento imperfecto de los tallos y coloración anormalmente verde oscura en las hojas de algunas especies, como el tabaco y el algodón. Las papas muestran lesiones de color pardo herrumbroso en los tubérculos, las que se presentan primero en forma de manchas aisladas y luego en forma de manchones a medida que éstas se juntan.

En orden creciente de importancia, las principales fuentes de fertilizantes fosfóricos son: huesos, minerales de hierro y yacimientos de fosfatos minerales (fosforita y apatita).

Los huesos no constituyen una materia prima de importancia de abonos fosfatados, debido al descubrimiento y explotación de grandes depósitos de fosfatos minerales, y también a su elevado valor como suplemento fosfórico en la alimentación de los animales. Las escorias fosfatadas subproducto de la manufactura del acero procedente de minerales de hierro rico en fósforo, constituyen una fuente importante de este elemento en la agricultura Europea.

En algunos yacimientos de fosforita, es necesario efectuar varias operaciones en la preparación del material antes de que esté listo para el comercio, incluyendo procesos de tamizado, lavado y flotación, para separar el fosfato de la arcilla, la arena y otras impurezas. En otras fuentes el fosfato es de calidad comercial tal como se extrae de los yacimientos, y en estos casos es posible emplearlo directamente aplicado al suelo como abono molido, pero en la mayor parte de los casos el mineral fosfatado se somete a procedimientos químicos diversos con objeto de convertirlo a formas que sean más fácilmente absorbidas por los vegetales.

A continuación se muestran las cifras correspondientes a los distintos materiales de fósforo en relación al P_2O_5 total y el asimilable:

Ignatieff V. (1952), F.A.O. Uso eficaz de los fertilizantes, 2a. impresión.

TABLA IV

MATERIAS FOSFATADAS	ANHIDRIDO FOSFORICO TOTAL (P_2O_5)	ANHIDRIDO FOSFORICO ASIMILABLE (P_2O_5)
Escoria Básica, Béssemer	17.5	16.0
Escoria Básica, Siemens- Martin	8.0 - 16.0	5.0 - 15.0
Escoria Básica, Fluorita Siemens - Martin	6.0 - 12.0	2.0 - 4.0
Metafosfato Cálcico	64.0	53.0
Fosforita Desfluorizada	20.0 - 30.0	18.0 - 24.0
Fosfato Bicálcico	40.0	39.0
Escorias de Fosforita y Silicato Magnésico	20.0	17.0
Acido Fosfórico Líquido	54.0	54.0
Superfosfato Común	14.5 - 20.0	14.0 - 20.0
Superfosfato Doble	45.0 - 50.0	43.0 - 49.0

El Superfosfato común es la materia fertilizante a base de fósforo de uso más general, aunque el análisis químico demuestra que sólo contiene del 16 al 20% de P_2O_5 , su empleo es satisfactorio para mezclas de fertilizantes complejos y también para aplicarlo en forma individual directamente al suelo. Es una buena fuente de fósforo para la mayor parte de las siembras y casi todos los suelos a excepción de aquellos en cuya formación entran compuestos activos de hierro y aluminio.

El Superfosfato doble, difiere del común en que tiene un porcen-

taje más alto en fósforo y muy poco o nada de azufre y representa una buena fuente de fósforo para los suelos a bajo costo, en regiones alejadas a las fábricas de fertilizantes, también en algunos países se emplea directamente como fertilizante la fosforita en estado natural reducida a polvo, y su eficacia es variable según el tipo de este material y el grado de finura a que se lleve la molienda, aunque también influye la clase de cultivo y el tipo de suelo en que se aplica.

Se han obtenido buenos resultados aplicándolo a leguminosas cultivadas en rotación, sobre suelos ácidos de textura media y ricos en materia orgánica, también usando la fosforita en combinación con el mantillo se logra aumentar la aprovechabilidad del fósforo.

Antes de decidirse a emplear la fosforita, el agricultor debe conocer las condiciones concretas de sus parcelas debido a que los distintos tipos de fosfato mineral pueden acusar variaciones considerables en cuanto a su eficacia como fuentes de fósforo, cuando se emplean en estado natural, por ejemplo la apatita cristalina tiene muy poco valor como fertilizante para aplicarla directamente al suelo.

El fósforo ayuda a los cultivos a crecer rápidamente en su primera fase y se encuentra en las partes de la planta que están creciendo con mayor rapidéz de modo que una buena dotación de este elemento contribuye a dar dureza a la paja de los cereales menores y por otra parte favorece más el desarrollo de las semillas que el de las partes vegetativas. En algunos casos extremos los pastos obtenidos en potreros que son pobres en fósforo, es preciso agregar este elemento a las raciones alimenticias que se proporcionan al ganado (Worthen L. E., Aldrich S. R. 1959).

La cantidad de fósforo de la parte superficial del suelo, es aproximadamente igual en promedio a la de nitrógeno y casi a la mitad del fósforo contenido en el suelo, se encuentra en estado latente al

grado que, se va haciendo asimilable lentamente por las cosechas, des
pués de varios períodos de cultivo.

Los suelos empleados para la producción de hortalizas que se han
fertilizado en forma intensiva durante 10 a 20 años suelen tener 100
veces más fósforo aprovechable del que tenían anteriormente.

VII.- MATERIALES Y METODOS

a).- SELECCION DE MUESTRAS DE SUELO. Indudablemente que las muestras de suelo por investigar deben reunir ciertas condiciones de naturaleza física y química para el análisis de fósforo por los distintos métodos ensayados, de acuerdo con ésto se eligieron dos lotes de doce muestras cada uno que corresponden a suelos de naturaleza alcalina, es decir, con pH mayores de 7 y otro de suelos ácidos con pH inferiores a 7. Desde este punto de vista se tienen definidas las condiciones del suelo; así mismo, se consideró la profundidad a que se obtuvieron las muestras, de modo que el 50% de cada lote corresponden a muestras superficiales y el resto a muestras de subsuelo.

La utilización se considera desde dos puntos de vista que son: las de pastoreo y las de cultivo, con el objeto de establecer el grado de perturbación de las condiciones naturales que presentarán los distintos suelos, asumiendo que los suelos cultivados se encuentran más alterados en sus condiciones y los suelos destinados a pastoreo se encuentran en un equilibrio mejor con el medio.

De acuerdo con lo anterior el lote de suelos alcalinos incluye seis superficiales con profundidades que varían de 0 - 10 a 0 - 30 cm y seis de subsuelo cuyo espesor está entre 10 - 30 y 30 - 60 cm.

De los suelos ácidos igualmente se trabajó con seis muestras superficiales con profundidades de 0 - 30 a 0 - 35 cm y seis muestras de subsuelo de profundidades entre 30 - 60 y 60 - 90 cm.

b).- PROCEDIMIENTO DE PREPARACION DE MUESTRAS PARA ANALISIS. Las muestras de suelo se secan al aire sobre papel, o sobre charola de lámina galvanizada, se rompen los grumos y se pasa la muestra por un tamiz de 2 mm de abertura. Luego se coloca en frasco de vidrio y se tapa colocando previamente en su interior una tarjeta de identificación.

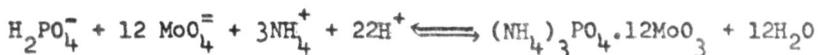
Unicamente para la determinación de materia orgánica, es necesario efectuar un segundo tamizado por malla No. 100. Cuando el volúmen de muestras es demasiado grande es necesario someterlo a una serie de cuarteos hasta obtener la cantidad deseada, después de ésto las muestras se encuentran ya preparadas para efectuar los análisis.

c).- METODOS ANALITICOS PARA FOSFORO. A continuación se describen las técnicas seguidas para determinar fósforo por los siguientes métodos:

- a').- Método Peech-English
- b').- " Bray-1
- c').- " Bray-2
- d').- " Olsen
- e').- " Trog

BREVE DESCRIPCION EN QUE SE BASAN LOS METODOS PARA FOSFORO

La reacción fundamental que se verifica en los métodos Peech-English, Bray-1, Troug y Olsen en diferentes condiciones de acidez se debe a la formación del complejo coloreado fosfomolibdato de amonio, en el cual se supone que el fósforo actúa como átomo central reemplazando los grupos molibdato a los átomos de oxígeno del grupo PO_4 . En primer lugar tenemos:



Este compuesto se define mejor como: $(NH_4)_3P(Mo_{12}O_{40})$, el cual al reducirse forma un complejo de color azul, llamado "azul de molibdeno" en el cual es probable que los grupos molibdato sufran reducción del grado 6^+ a un grado 3^+ o 5^+ ya que no está bien definida su fórmula. Dicha coloración se puede leer en dos longitudes de onda que son 660 μ y 830 μ .

En el método de Bray-2, el fósforo se hace reaccionar con vanadomolibdato de amonio, produciéndose el complejo vanadomolibdo fosforico, de color amarillo, el cual se atribuye a la sustitución de los átomos de oxígeno del grupo PO_4 por radicales oxivanadio y oximolibdeno, el color se lee entre las longitudes de onda de 400 μ y 490 μ .

El método Peech-English usa una solución extractora que actúa como reguladora para mantener un pH de 4.8, dicha solución está compuesta de ácido acético y acetato de sodio, y el fósforo así extraído se hace reaccionar con molibdato de amonio dando por reducción el complejo azul de molibdeno. El color se desarrolla en 8 minutos y su estabilidad dura aproximadamente 24 horas.

En el método Bray-1 la solución extractora está compuesta de

NH_4F 0.03N y HCl 0.025N que mantiene un pH entre 5.5 y 6.0, el reactivo usado es el molibdato de amonio que forma con el fósforo un complejo que es reducido para formar el azul de molibdeno. El color se desarrolla en 15 minutos y es estable hasta 45 minutos.

El método Bray-2 usa HCl 0.3N como solución extractora a un pH aproximado de 4.0, al fósforo extraído se agrega vanado molibdato de amonio y se forma el complejo amarillo vanadomolibdofosfórico, cuyo color es completo a los 5 minutos y dura 25 horas o más.

En el método Olsen la solución extractora esta formada de NaHCO_3 0.5N con un pH de 8.5, el fósforo así extraído se hace reaccionar con solución de ácido cloromolibdico y el complejo formado se reduce con SnCl_2 dando el azul de molibdeno, el cual se desarrolla a los 5 minutos y es estable durante 20 minutos.

El método Troug emplea solución extractora de H_2SO_4 1N y $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ que mantiene el pH en 3.0, añadiendo solución de ácido sulfomolibdico el fósforo forma el complejo que por reducción da el azul de molibdeno. Se lee 7 minutos después, y su estabilidad dura 15 minutos.

DETERMINACION DEL FOSFORO. METODO DE PEECH-ENGLISH. (Navarro, 1957).

MATERIAL Y EQUIPO:

Colorímetro fotoeléctrico Klett-Summerson.

Filtro No. 640.

Balanza analítica.

Espátula de hoja de 10 cm.

Bureta de 50 cc.

Matraces Erlenmeyer de 100 cc.

Embudos de vidrio.

Vasos de precipitados de 100 cc.

Gradilla para los embudos.

Papel filtro Whatman No. 32.

REACTIVOS:

A.- Solución de Molibdato de Amonio:

Disolver 15 g. de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en 300 cc. de agua destilada agitando constantemente. Agregar 500 cc. de HCl concentrado (peso específico: 1.18 conc: 36%). Enfriar y aforar a 1000 cc. en matraz volumétrico. Si la solución no está completamente transparente, se filtra.

B.- Oxalato estannoso:

Disolver 0.5 g. de Oxalato estannoso en 100 cc. de HCl diluído (1:9). Si la solución no está completamente transparente fíltrese.

C.- Solución estándar concentrada (SEC):

Pesar 0.0439 g. de KH_2PO_4 y disolver en 1000 cc. de solución extractiva. Esta solución represen-

ta 10 ppm de fósforo.

D.- Carbón Darco G-60.

E.- Solución extractiva (SX):

Disolver 100 g. de Acetato de Sodio en 400 cc. de H₂O destilada, agregar después 30 cc. de ácido acético glacial, llevar a 1000 cc. El pH de esta solución debe ser de 4.8.

PROCEDIMIENTO:

Pesar 5 g. de tierra fina seca al aire (T.F.S.A.) pasada por el tamiz No. 10 y colocar en un Erlenmeyer. Agregar aproximadamente 0.25 g. de Carbón (D), (para suelos ricos en materia orgánica duplicar la cantidad de carbón). Añadir 25 cc. de la solución extractiva (E). Mezclar muy bien la solución con el suelo (sin usar agitador) dejar reposar 30 minutos agitando durante ese lapso 3 o 4 veces más y filtrar. Recoger el filtrado en un vaso pequeño.

Colocar 4 cc. de extracto de suelo en un tubo de ensaye (15 x 1.8) y agregar 1 cc. del reactivo A. Mezclar enérgicamente. Agregar 3 gotas de Oxalato estannoso y volver a agitar.

Leer en fotómetro 8 minutos después.

BLANCO.- Poner a un tubo de ensaye 4 cc. de la solución extractiva. 1 cc. del reactivo A. Agitar y agregar 3 gotas del reactivo B mezclar.

Este blanco reemplazará la celda con agua destilada del fotómetro, con él se llevará la aguja del galvanómetro a 100.

CONSTRUCCION DE LA GRAFICA:

Solución estándar de fósforo (50 p.p.m.):

Se pesan 0,2195 g. de KH₂PO₄ y se disuelven en

1 lt. de agua destilada.

Solución estándar de fósforo (2 p.p.m.):

Se toman 20 ml. de la solución estándar de fósforo que contiene 50 p.p.m. y se aforan a 500 ml. con agua destilada, mezclando perfectamente.

De la solución estándar de fósforo que contiene 2 p.p.m., se toman alícuotas de 0.0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 y 12.5 ml., que al ser diluidas hasta un volumen de 50 ml. corresponden a 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, y 0.5 p.p.m. de fósforo.

LECTURAS EN ABSORBANCIA

800

400

200

GRAFICA N° 1
METODO PEECH ENGLISH

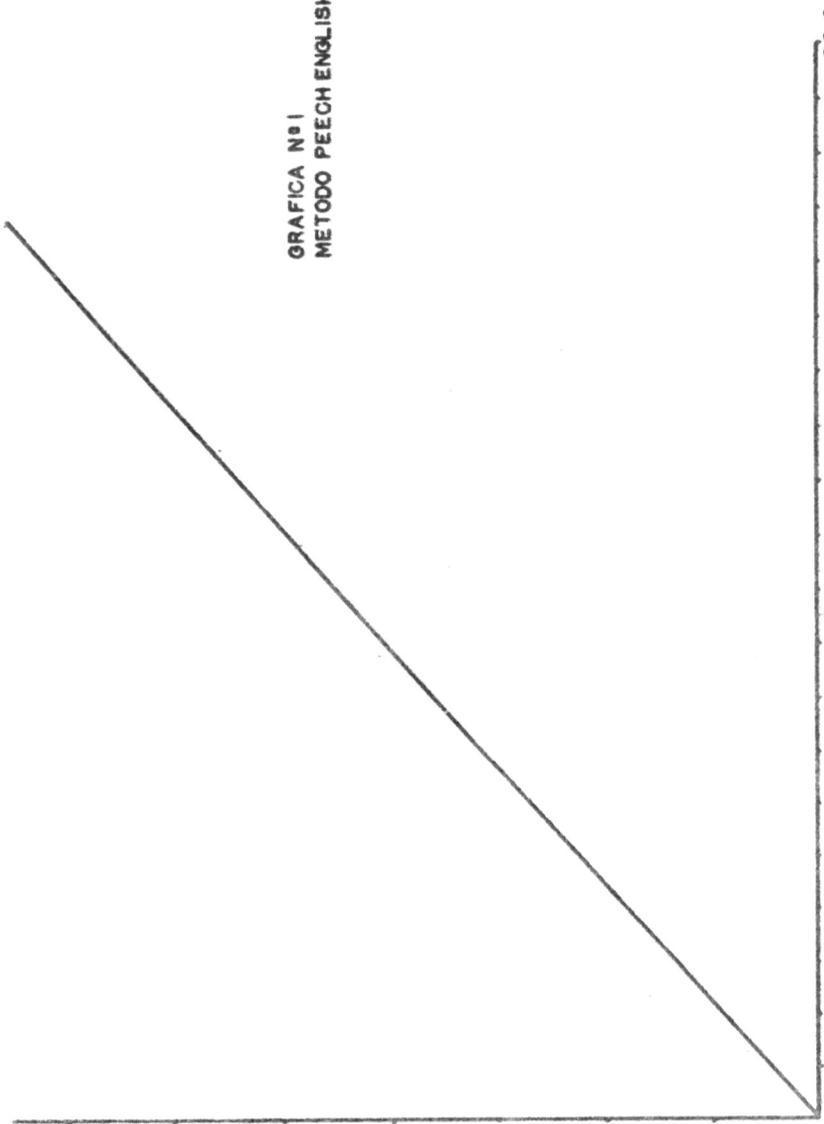
20.0

15.0

10.0

5.0

CONC ppm P



PRUEBA No. 1 DE BRAY PARA FOSFORO APROVECHABLE. (Corey R.B., 1965).

MATERIAL Y EQUIPO:

Colorímetro fotoeléctrico Klett-Summerson.

Filtro No. 660.

Balanza analítica.

Bureta de 50 cc.

Matraces Erlenmeyer de 100 cc.

Embudos de vidrio.

Vasos de precipitados de 100 cc.

Gradilla para los embudos.

Papel filtro Whatman No. 2.

REACTIVOS:

Solución extractora (P-A), (NH_4F 0.03N en HCl 0.025N):

Disolver 1.11 g. de NH_4F en unos 900 ml. de agua destilada, añadir 2.1 ml. de HCl concentrado y aforar a 1 lt.

Solución de Molibdato de Amonio (P-B), (HCl 0.87N;

$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ al 0.38% y H_3BO_3 al 0.5%):

Disolver 3.8 g. de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ en 300 ml. de agua caliente (60°C). Enfriar, disolver 5.0 g. de H_3BO_3 en 500 ml. de agua. Mezclar las dos soluciones, añadir 75 ml. de HCl concentrado (4.6N) y aforar a 1 lt.

Solución reductora (P-C):

Preparar una cantidad suficiente de polvo reductor, mezclando perfectamente y reduciendo a polvo fino mediante pulverización en mortero, 2.5

g. de ácido 1-amino-2-naftol-4 sulfónico, 5.0 g. de Na_2SO_4 y 146 g. de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (m-bisulfito de sodio). Disolver 8 g. de polvo seco en 50 ml. de agua caliente y dejar reposar toda la noche. Preparese este reactivo cada tres semanas.

PROCEDIMIENTO:

Pesar 1.5 g. de suelo y colocarlo en un matraz Erlenmeyer. Añadir 15 ml. de solución extractora, y 15 ml. de la misma solución extractiva a un matraz para usarla como testigo.

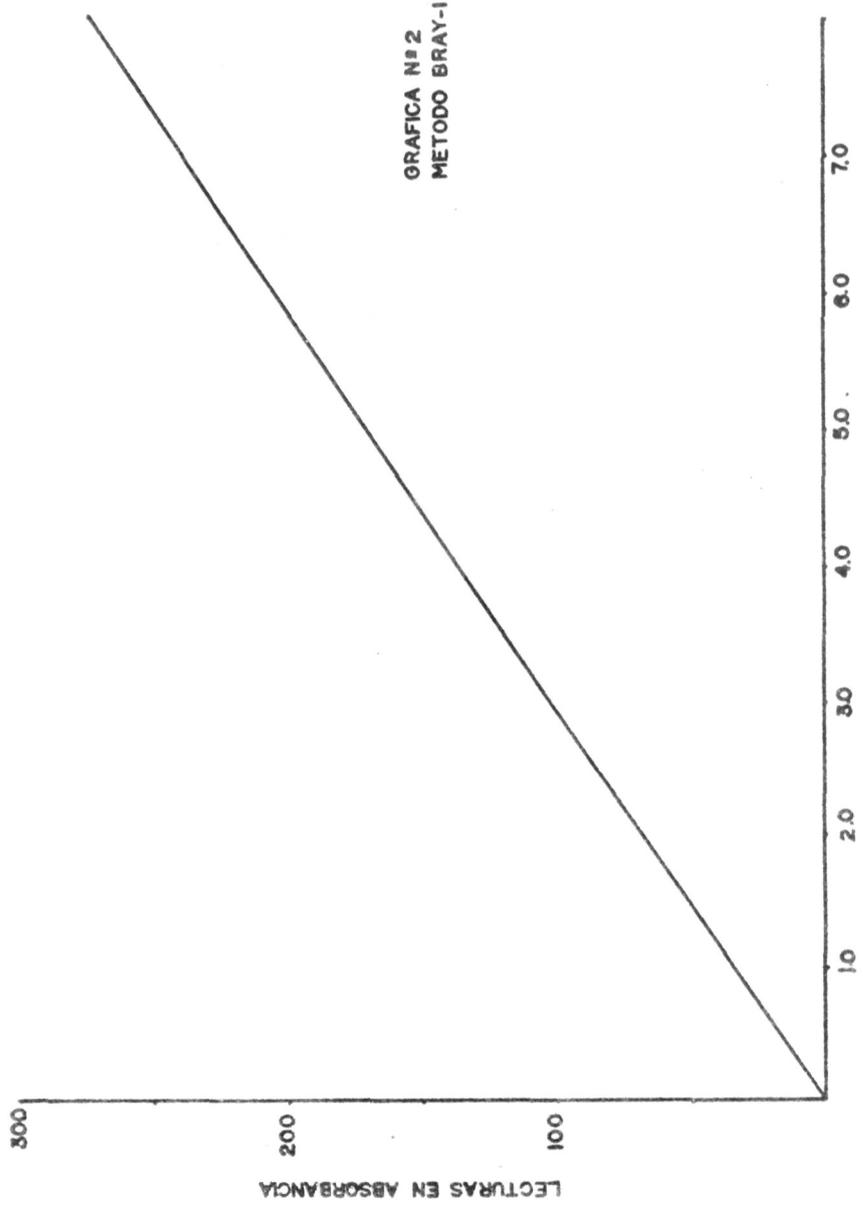
Tapar y agitar 5 minutos. Verter la suspensión sobre un embudo con papel filtro Whatman No. 2, recibiendo la solución en un vaso de precipitados.

Tomar con pipeta una alícuota de 3 ml. y colocarla en un tubo de ensayo. Con bureta, agregar 3 ml. de solución de molibdato (P-B) al tubo.

Agregar 5 gotas de solución reductora (P-C). Mezclar la solución dando al tubo un movimiento de rotación entre ambas manos.

Dejar reposar la solución 15 minutos, y hacer la lectura colorimétrica antes de 45 minutos. Leer en el espectrofotómetro, empleando un filtro No. 660.

Determinar p.p.m. de fósforo en solución, a partir de la curva preparada de antemano.



GRAFICA N° 2
METODO BRAY-1

CONC ppm. P

DETERMINACION DE FOSFORO APROVECHABLE CON HCl 0.3N. BRAY No. 2.
(Corey R.B., 1965).

MATERIAL Y EQUIPO:

Colorímetro fotoeléctrico Klett-Summerson.

Filtro No. 440.

Balanza analítica.

Probeta de 50 ml.

Vasos de precipitado de 100 ml.

Matraces Erlenmeyer de 100 ml.

Embudos de vidrio.

Papel filtro Whatman No. 2.

Pipetas de 5 y 10 ml.

REACTIVOS:

Solución extractora, (HCl 0.3N):

Agregar 25 ml. de HCl concentrado (12N) en unos 900 ml. de agua destilada, aforar a 1 lt. y mezclar perfectamente.

Solución de Vanadato:

Solución A.- Disolver 25 g. de Molibdato de Am₃ nio en 400 ml. de agua destilada.

Solución B.- Disolver 1.25 g. de m-vanadato de amonio en 300 ml. de agua hirviendo.

Enfriar. Añadir 250 ml. de HNO₃ concentrado e incoloro. Enfriar.

Mezclar (A) y (B) y diluir a 2500 ml. La solución resultante deberá ser de color amarillo y no debe adquirir tinte verde. Cuando este se

forma se debe al NO_2 en el HNO_3 .
Carbón Darco G-60.

PROCEDIMIENTO:

Pesar 4.3 g. de suelo y colocar la muestra en un matraz Erlenmeyer. Añadir 0.5 g. de carbón activado. Agregar 10 ml. de solución extractora.

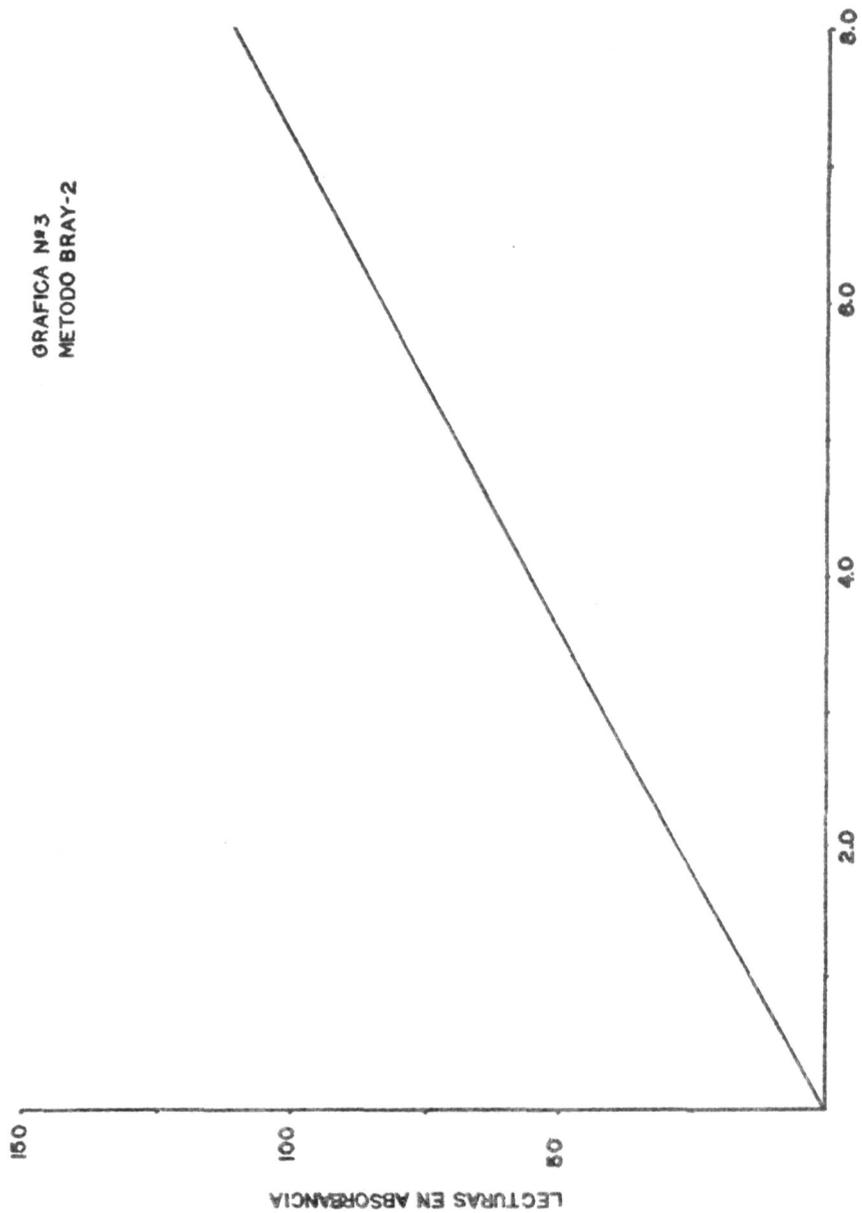
Hacer un testigo colocando 10 ml. de solución extractora en un matraz que contenga unicamente carbón activado. Darle el mismo tratamiento que a los problemas.

Tapar y agitar 5 minutos. Filtrar la suspensión en un embudo con papel filtro Whatman No. 2 recibiendo la solución en un vaso.

En un tubo de ensayo colocar con pipeta, una alícuota de 3 ml. Añadir 3 ml. de solución de vanadato y mezclar perfectamente. Dejar en reposo 5 minutos.

Leer en el colorímetro con filtro No. 440. Determinar p.p.m. de fósforo en solución empleando la curva previamente obtenida.

GRAFICA Nº3
METODO BRAY-2



METODO OLSEN PARA LA DETERMINACION DE FOSFORO EN SUELOS ALCALINOS.
De la Colina F.A.P., (1973).

MATERIAL Y EQUIPO:

Colorímetro fotoeléctrico Klett-Summerson.

Filtro No. 660.

Balanza analítica.

Probeta de 50 ml.

Matraces Erlenmeyer de 100 ml.

Vasos de precipitado de 100 ml.

Embudos de vidrio.

Papel filtro Whatman No. 2.

Pipetas de 10 ml.

Matraces volumétricos de 50 ml.

REACTIVOS:

Solución extractora (NaHCO_3 0.5N.):

Se disuelven 42 g. de NaHCO_3 en agua destilada y se afora a 1 lt. Esta solución se ajusta a pH 8.5 por adición de NaOH 0.5N.

Solución de ácido cloromolibdico:

Se disuelven 15 g. de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en 300 ml. de agua destilada. Se calienta la solución hasta 50°C y se filtra si tiene aspecto turbio. Se deja enfriar y se añaden 410 ml. de ácido clorhídrico 10 N lentamente y agitando. Ya fría la solución se diluye con agua destilada hasta un volumen de 1 lt.

Solución de cloruro estannoso:

Se pesan 25 g. de $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y se disuelven en

50 ml. de HCl concentrado, calentando si es necesario. Se afora a un volúmen de 500 ml. con agua destilada y hervida recientemente. Este reactivo se prepara antes de hacer cada determinación.

PROCEDIMIENTO:

Se pesan 2.5 g. de suelo, colocándose en un vaso de precipitado. Se agregan 0.25 g. de carbón Darco G-60 (duplicando la cantidad de carbón si se trata de suelos ricos en materia orgánica).

Se añaden 50 ml. de solución extractora y se deja reposar durante 30 minutos agitando varias veces durante este período de tiempo.

Se filtra y recibe el líquido filtrado en un matraz Erlenmeyer de 100 ml.

Con pipeta se toma una alícuota de 10 ml. del filtrado y se coloca en un matraz volumétrico de 50 ml.

Se dejan resbalar por las paredes del matraz, 10 ml. de ácido cloromolíb dico y se deja reposar durante 3 minutos, hasta que el desprendimiento de CO_2 haya cesado.

Se lavan perfectamente el cuello y las paredes del matraz con agua destilada y se diluye aproximadamente hasta 40 ml.

Se agregan 5 gotas de cloruro estannoso y se agita inmediatamente.

Finalmente se afora con agua destilada hasta completar el volúmen de 50 ml. y se mezcla perfectamente. 5 minutos después se hace la lectura en el colorímetro.

CALCULOS:

2.5 g. de muestra de suelo en 50 ml. de solución extractora.

$$\text{Factor de dilución} = \frac{50}{2.5} = 20$$

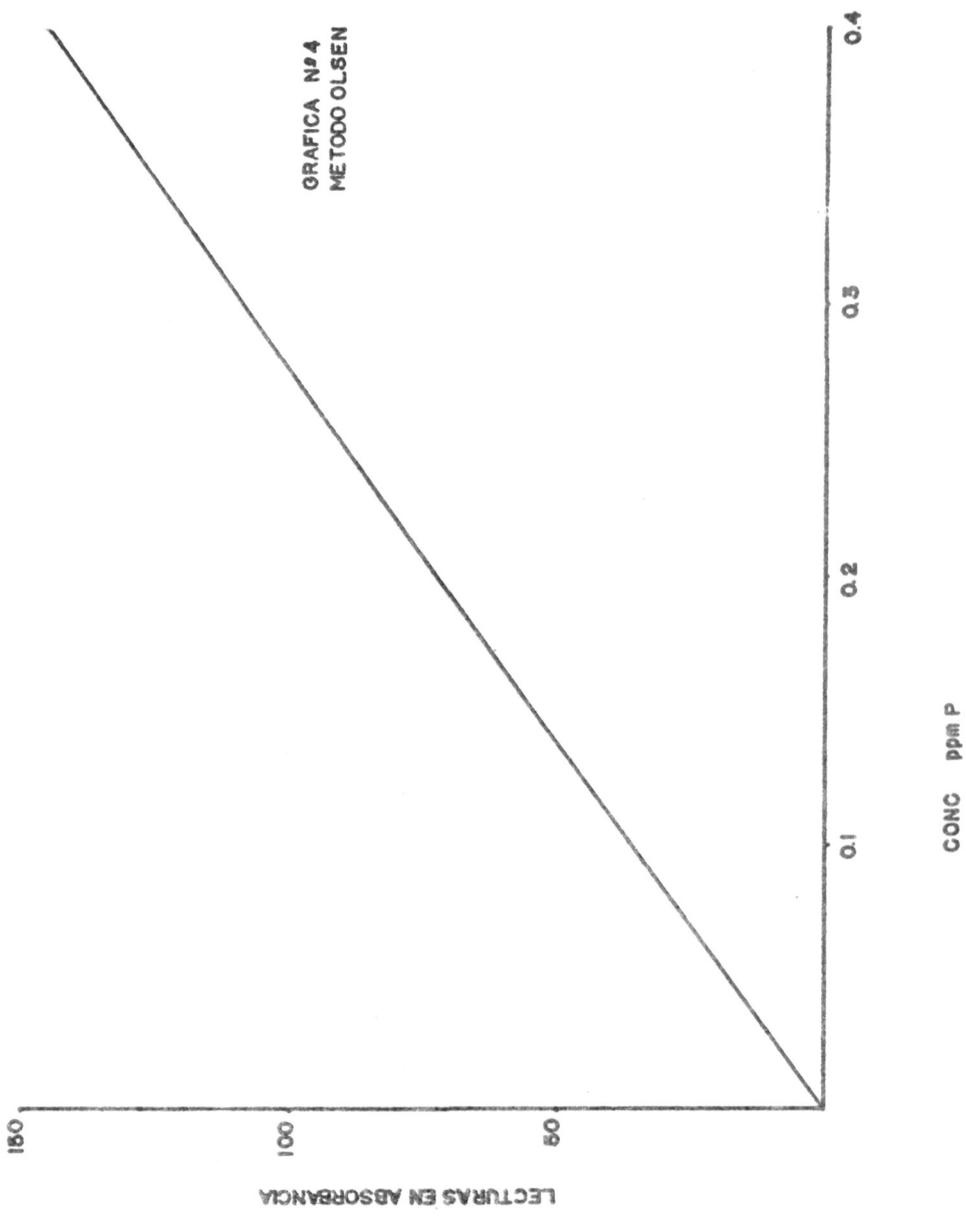
50 ml. de solución extractora, de donde se toman 10 ml. de alícuota.

10 ml. de alícuota, se diluyen hasta un volumen de 50 ml.

$$\text{Factor de dilución} = \frac{50}{10} = 5$$

$$\text{Factor de dilución total} = 20 \times 5 = 100$$

p.p.m. = p.p.m. de fósforo en la gráfica $\times 100$.



METODO TROUG PARA LA DETERMINACION DE FOSFORO EN SUELOS ACIDOS
(Grande L.R., 1974)

MATERIAL Y EQUIPO:

Colorímetro fotoeléctrico Klett-Summerson. Modelo 900-3.

Filtro No. 660.

Balanza analítica.

Probeta de 50 ml.

Vasos de precipitado de 100 ml.

Matraces Erlenmeyer de 100 ml.

Embudos de vidrio.

Papel filtro Whatman No. 2.

Pipetas de 5 y 10 ml.

Matraces volumétricos de 50 ml.

REACTIVOS:

Solución extractora:

Se diluyen 40 ml. de ácido sulfúrico 1N, hasta un volúmen de 2 lt. con agua destilada y se añaden 6 g. de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ Q. P.

Carbón Darco G-60.

Indicador 2.6. dinitrofenol al 0.25% en agua destilada.

Acido sulfúrico 2N.:

55 ml. de H_2SO_4 concentrado se disuelven y añoran a un litro con agua destilada.

Carbonato de sodio 4N.:

Se disuelven 212 g. de Na_2CO_3 Q.P. en agua destilada y completa el volúmen a 1 lt.

Solución de ácido sulfomolibdico:

Se disuelven 25 g. de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en 200 ml. de agua destilada, se calienta hasta 60°C y se filtra si es necesario. Aparte se disuelven 275 ml. de ácido sulfúrico concentrado en 525 ml. de agua destilada. Se dejan enfriar ambas soluciones. Lentamente y agitando se agrega la solución de molibdato a la solución de ácido sulfúrico, se deja enfriar y se afora a 1 lt.

Cloruro estannoso:

25 g. de $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ se disuelven en 100 ml. de HCl concentrado y se diluye a 1 lt. con agua destilada. Esta solución se prepara antes de efectuar la determinación.

PROCEDIMIENTO:

Se pesan 0.5 g. de muestra de suelo, colocándose en un vaso de precipitado. se agregan 0.25 g. de carbón Darco G-60 (para suelos ricos en materia orgánica se duplica la cantidad de carbón), se añaden 50 ml. de la solución extractora y se deja reposar durante 30 minutos agitando de vez en cuando durante este lapso de tiempo.

Se filtra, y el líquido se recibe en un matraz Erlenmeyer de 100 ml.

Con pipeta se toma una alícuota de 15 ml. del extracto de suelo y se colocan en un matraz volumétrico de 50 ml.

Se agregan 3 gotas del indicador 2.6. dinitrofenol. Si al agregar el indicador, la solución obtenida es incolora, indica que el pH es menor de 3, para lo cual debió agregarse carbonato de sodio 4N. gota a gota hasta la aparición de un color amarillo, a continuación

se agregó ácido sulfúrico 2N. gota a gota, hasta que la solución se volvió incolora. Se añaden entonces 2 ml. de ácido sulfomolibdico y se afora el matraz de 50 ml. con agua destilada.

Se agregan 3 gotas de cloruro estannoso y se agita vigorosamente, siete minutos después se hace la lectura en el colorímetro que ha sido ajustado previamente a 100% de transmitancia con un testigo en blanco, que se obtuvo siguiendo el mismo tratamiento que para los extractos de suelo, pero añadiendo agua destilada en lugar de la solución problema.

CALCULOS:

0.5 g. de muestra de suelo en 50 ml. de solución extractora.

$$\text{Factor de dilución} = \frac{50}{0.5} = 100$$

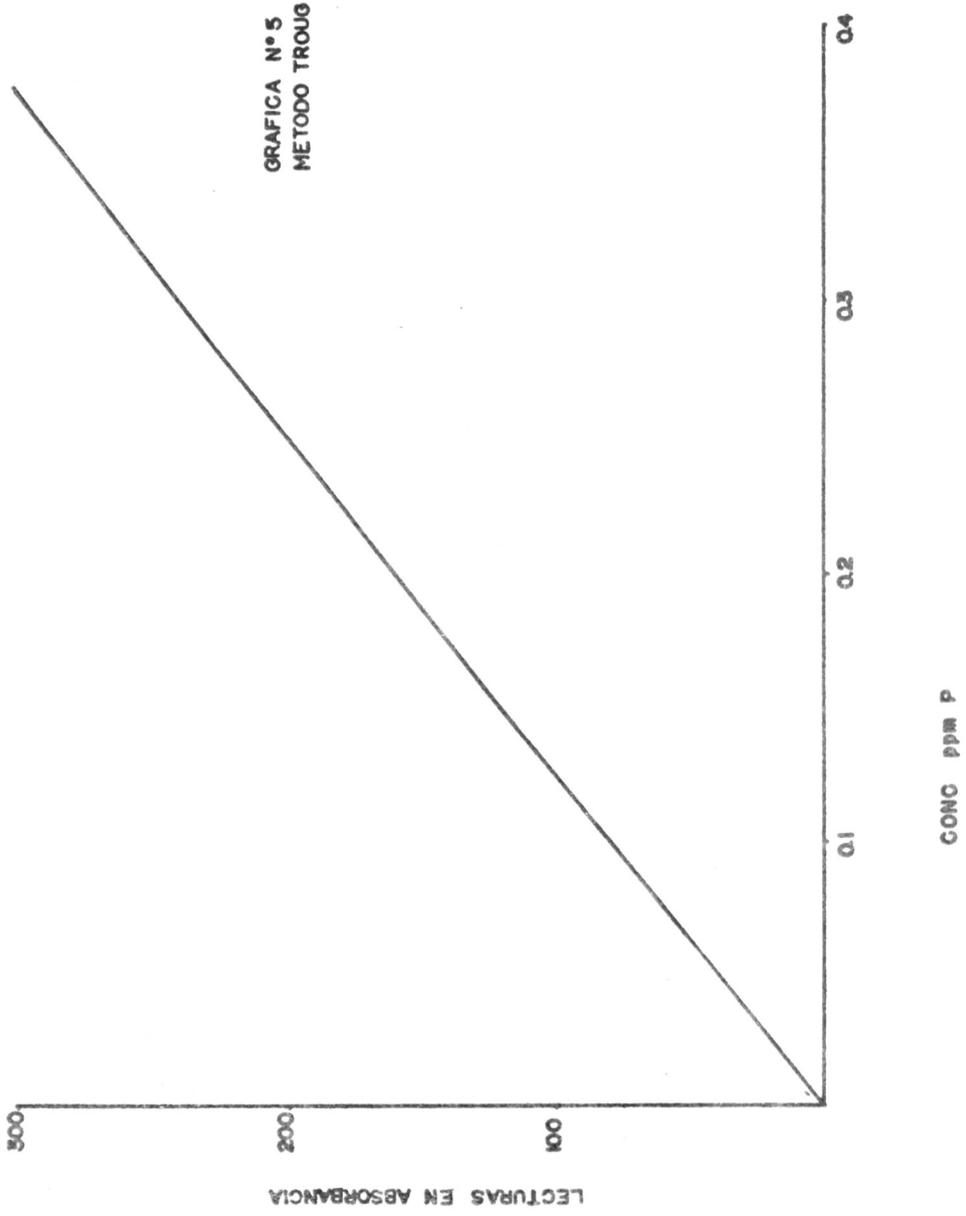
50 ml. de solución extractora, de donde se toman 15 ml. de alícuota.

15 ml. de alícuota se diluyen a un volumen de 50 ml.

$$\text{Factor de dilución} = \frac{50}{15} = 3.33$$

$$\text{Factor de dilución total} = 100 \times 3.33 = 333$$

$$\text{p.p.m.} = \text{p.p.m. de fósforo en la gráfica} \times 333$$



d).- DETERMINACIONES COMPLEMENTARIAS Y DE CORRELACION. Estos análisis fueron practicados con el fin de verificar una interpretación más completa de los resultados obtenidos, así como apoyar las hipótesis de trabajo y fenómenos observados al establecer los análisis comparativos de los distintos resultados. Los métodos mencionados son:

a').- Determinación de Textura (análisis mecánico). Se verificó siguiendo el método del hidrómetro de Bouyoucos (1928); la clasificación textual se obtuvo del Diagrama de Texturas (USDA, 1967).

b').- pH (suspensión acuosa 1:1 y 1:2.5). Se siguió el método electrométrico, efectuando las lecturas por medio de un Potenciómetro Beckman Mod. H-2, en suspensión acuosa, relación 1:1 y 1:2.5 (Jackson, 1964).

c').- Materia orgánica. Se reporta el contenido de ésta a partir del carbono orgánico, el cual se cuantificó siguiendo el método de combustión húmeda de Walkley-Black modificado (Jackson, 1964).

d').- Conductividad eléctrica. A partir de la pasta saturada de suelo y sometida a filtración con vacío, se obtuvo el extracto de saturación de suelo, y en ésta se efectuó la determinación de conductividad eléctrica, la cual se leyó en un Puente de Wheatstone, Solu-Bridge, RD-26, con celda de pipeta (Richards, 1962).

VIIo.- RESULTADOS

- Tabla No. 1 Relación de datos y análisis de suelos procedentes de los municipios de Villa de Reyes, Villa de Arriaga y Soledad Díez Gutiérrez, en el Estado de San Luis Potosí.
- Tabla No. 2 Valores mínimos, máximos y promedios para los resultados analíticos de los suelos ácidos estudiados.
- Tabla No. 3 Valores mínimos, máximos y promedios para los resultados analíticos de los suelos alcalinos estudiados

SUELOS ACIDOS

TABLA N° 2

DETERMINACION	N° DE REGISTRO	PROFUNDIDAD EN cm	METODO	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	UNIDAD
pH 1:1	750 797	0-30 60-90		4.85	6.80	5.81	
pH Relación 1:2.5	780 797	30-60 60-90		4.80	6.70	5.88	
% Arena	797 807	60-90 0-30		32.0	64.20	46.97	%
% Limo	800 734	30-60 0-30		14.00	31.60	23.39	%
% Arcilla	767 800	0-35 30-60		19.25	47.48	29.64	%
Materia Orgánica	807 750	0-30 0-30		0.40	2.14	1.17	%
Conducti- vidad Eléctrica	800 779	30-60 0-30		0.09	1.05	0.36	umhos/cm
Fósforo	734 797	0-30 60-90	Feech English	1.30	10.45	4.94	ppm
Fósforo	767 792	0-35 0-30	Troug	8.32	41.62	16.65	ppm
Fósforo	767 792	0-35 0-30	Bray P-1	0.66	5.90	1.65	ppm
Fósforo	767 792	0-35 0-30	Bray P-2	0.70	8.53	3.01	ppm
Fósforo	734 792	0-30 0-30	Olsen	2.60	11.85	4.37	ppm

SUELOS ALCALINOS

TABLA N° 3

DETERMINACION	N° DE REGISTRO	PROFUNDIDAD EN cm	METODO	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	UNIDAD
pH Relación 1:1	147 31	30-60 0-30		7.10	9.05	7.92	
pH Relación 1:2.5	151 31	0-10 0-30		7.20	9.30	8.04	
% Arena	35 150	0-30 30-60		41.32	70.96	54.96	%
% Limo	150 31	30-60 0-30		14.00	38.62	24.84	%
% Arcilla	34 146	0-30 10-30		13.04	29.60	20.20	%
Materia Orgánica	147 36	30-60 0-30		0.51	1.74	1.07	%
Conductividad Eléctrica	146 150	10-30 30-60		0.07	1.52	0.49	mmhos/cm 25 °C
Fósforo	150 34	30-60 0-30	Peech English	5.35	20.00	11.15	ppm
Fósforo	153 34	30-60 0-30	Trout	10.65	258.41	72.62	ppm
Fósforo	153 34	30-60 0-30	Bray P-1	0.72	3.42	1.84	ppm
Fósforo	152 34	10-30 0-30	Bray P-2	2.00	69.20	19.84	ppm
Fósforo	153 36	30-60 0-30	Olsen	0.60	4.10	2.00	ppm

VIIIo.- DISCUSION DE RESULTADOS

De los datos contenidos en la tabla No. 1 se observa que los análisis correspondientes a pH en suspensión acuosa relación suelo agua igual 1:1 son menores que los obtenidos en suspensión acuosa relación 1:2.5, ésto se interpreta como un efecto de los fenómenos hidrolíticos en relación al volúmen de agua empleado en la determinación, de modo que, a mayor dilución, mayores lecturas de pH. Un hecho de significación se observa en los suelos alcalinos con lecturas iguales o mayores que 9.0, éstos se seleccionaron debido a que (Ortíz Monasterio, 1958) el sodio soluble del complejo coloidal es el responsable del grado de alcalinidad que presentan estos suelos (31/72 y 34/72, 36/72) quedando establecido que a valores de pH superiores a 8.5 empieza a notarse el efecto del sodio soluble.

En lo que respecta a los suelos ácidos, las diferencias entre los pH leídos en las dos relaciones suelo-agua, son menores y en términos generales se observa una semejanza entre los pH reportados, ésto puede atribuírse a las condiciones de acidez de estos suelos y también a que, la acidez activa o aparente (Mela, P., 1964) se debe esencialmente a las cargas dependientes del pH (Corey R.B., 1964).

Los datos anteriores permiten ubicar en forma definida la naturaleza de estos suelos desde el punto de vista de su pH, ésto interesa para la aprovechabilidad del fósforo por las plantas debido a que, la solubilidad de este nutriente depende en gran parte del medio ácido o básico en que se desarrollan los sistemas radiculares de los cultivos, por estas razones en la misma tabla No. 1 se encuentran agrupados los suelos estudiados en dos lotes que son: Suelos alcalinos con pH que varían de 7.1 a 9.3 y suelos ácidos cuyos pH están comprendidos entre 4.8 y 6.8. En esta forma el estudio de comparación de

fósforo extraído con soluciones propuestas por los cinco métodos ensayados se ubica de acuerdo con las condiciones de acidez o basicidad de los suelos. La clasificación de los rangos de pH se hizo de acuerdo con Ignatieff (1952), "El uso eficaz de los fertilizantes" F.A.O., Estudios Agropecuarios No. 9. Roma Italia. El cual considera el estado de neutralidad para los suelos con pH de 6.6 a 7.3.

En lo que respecta a la composición granulométrica del lote correspondiente a los suelos alcalinos, se tiene que, predomina la clase textural de migajón en un rango que va del migajón arenoso al migajón arcilloso, pasando por el migajón arcillo-arenoso. También se tienen aunque en menor proporción, suelos de textura fresca, lo anterior permite afirmar que desde el punto de vista físico, estos suelos estudiados corresponden a tipos medio y ligero lo que indica que las condiciones para trabajarse por efectos mecánicos (arados, subsoleo, etc.) requieren poco esfuerzo y por otra parte desde el punto de vista químico se puede establecer que los sistemas radiculares encuentran condiciones favorables para las condiciones de oxidación y aprovechamiento de elementos nutrientes contenidos en la solución de suelo.

Los rangos en los porcentajes de arenas están comprendidos entre 41.32 y 70.96% (tabla No. 3) mientras que el limo varía del 14.0 al 38.62% y finalmente las arcillas, var del 13.04 a un 29.60%, estos valores permiten identificar a estos suelos como favorables para el desarrollo de cultivos anuales.

Los fenómenos de oclusión o precipitación del fósforo aprovechable para las plantas no se presentan en este tipo de suelos debido a su naturaleza física y al agua gravitacional (de escurrimiento) que impide dichos fenómenos.

Por otra parte, los suelos ácidos muestran las mismas clases texturales que los suelos alcalinos, con la única diferencia de que en

este lote se identifican dos suelos de tipo pesado que corresponden a una clasificación textural de arcilla, esta condición está de acuerdo con la naturaleza ácida de estos suelos, debido a que, los fenómenos de intemperización física y química se intensifican en los suelos ácidos, y en lo que respecta a la retención de nutrientes un criterio general aceptado consiste en establecer que, a mayor cantidad de arcilla puede haber fenómenos de fijación (Corey, 1964) de fósforo, lo que conduce a una inmovilización de este elemento, y por tanto, a una disminución en la aprovechabilidad por las plantas.

De las cifras para contenidos de materia orgánica se observa que, para los suelos alcalinos se tienen clasificaciones de contenidos pobre y mediano, lo cual está de acuerdo con la naturaleza arenosa y arcillo-arenosa de estos suelos. Los porcentajes varían de 0.51 a 1.74% esta situación permite afirmar que el fósforo no se encuentra en forma significativa en la acción orgánica del suelo.

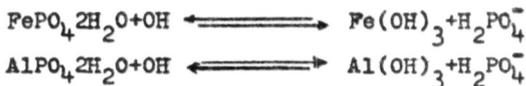
De los contenidos de materia orgánica en los suelos ácidos se tiene un rango más amplio debido a que, los contenidos van de pobre a rico, aunque predominan los contenidos pobres. En este aspecto se define mejor la observación mencionada consistente en que el fósforo asimilable por las plantas se encuentra en su mayor parte en la fracción inorgánica del suelo.

Continuando con la caracterización de estos suelos desde el punto de vista físico y químico, se tiene que, todos los suelos tanto ácidos como alcalinos caen dentro de la clasificación (Richards, 1962) de no salinos; y las conductividades eléctricas expresadas en mmhos/cm a 25°C (Bonnet, 1960) están comprendidos entre .07 y 1.52 mmhos para los suelos alcalinos y 0.09 a 1.05 para los suelos ácidos. Estos resultados confirman que no hay factores limitantes para la absorción

del fósforo por las plantas ocasionados por fenómenos de salinidad.

EXAMEN COMPARATIVO, DISCUSION Y CORRELACION DE LOS RESULTADOS PARA
FOSFORO EXTRAIDO DEL SUELO CON LOS CINCO METODOS ESTUDIADOS.

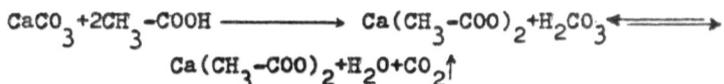
PEECH ET ENGLISH.- Este método emplea una solución para extraer el fósforo del suelo a base de ácido acético y acetato de sodio, ajustado a un pH de 4.8. Como se observa, esta solución preparada es una solución Buffer y al aplicarla en suelos ácidos es de esperarse que solubiliza el fósforo de compuestos inorgánicos principalmente, pero cuando se emplea en suelos alcalinos que contengan carbonato de calcio (CaCO_3) o dolomitas $\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$ hay la posibilidad de que la solución sea parcialmente neutralizada y en consecuencia disminuye la solubilización del fósforo inorgánico. El efecto del pH en la solubilidad de las distintas formas de fósforo es muy importante como se presenta en las siguientes reacciones:



Estos fosfatos de fierro y aluminio generalmente se encuentran en suelos ácidos mientras que los fosfatos de calcio se encuentran en suelos alcalinos y la reacción de solubilidad es como sigue:



La reacción de neutralización del ácido de la solución extractiva con el carbonato de calcio proveniente del suelo es como sigue:



El producto final de esta reacción incluye la disociación del ácido carbónico en la cual el CO_2 se desprende en forma gaseosa.

De acuerdo con los resultados reportados en la tabla No. 1 se observa que la interpretación corresponde a condiciones bajas, regulares y moderadas de fósforo para los suelos alcalinos, mientras que para los suelos ácidos, las interpretaciones van desde muy baja hasta regulares, lo que indica que la extracción del fósforo con esta solución Buffer es menor en suelos ácidos, lo que puede atribuirse por una parte a cantidades más bajas de fósforo en estos suelos, lo que se debe a que si el fósforo es más soluble en condiciones de acidez sea más aprovechable por las plantas y el suelo tienda a menores contenidos.

Por otra parte los suelos alcalinos presentan contenidos mayores de fósforo, debido a que este nutriente se encuentra en forma más insoluble y en consecuencia no es aprovechable para los cultivos, de modo que, las formas ocluidas o fijadas entre las arcillas no las extrae esta solución Buffer de pH ácido.

En los Histogramas de las figuras 4 y 5 que corresponden a los suelos alcalinos se tienen graficados los contenidos de fósforo extraído con los cinco métodos ensayados y observamos que el método de Peech et English únicamente es superado por el método de Troug.

En cambio el Histograma de la figura 5 nos muestra que el método de Peech et English ocupa una posición intermedia ya que el Olsen y el Bray-1 extraen menos fósforo y el método Bray-2 y Troug extraen mayor proporción de fósforo. Esta situación permite establecer que este método de Peech et English extrae en forma aproximada un promedio del fósforo extraído por los cinco métodos.

Lo anterior permite concluir que en suelos de pH cercano a la neutralidad, este método proporcionará resultados más bien altos, mientras que en suelos de naturaleza alcalina definida ($pH > 9$), el mé-

todo dará resultados considerados como regulares.

Por otra parte los Histogramas 6 y 7 corresponden a los contenidos de fósforo cuanteados en los suelos ácidos de valor de pH mínimo y máximo respectivamente. Se concluye de estas figuras que en condiciones de acidez muy fuerte (pH 4.5 a 5.0) este método proporciona resultados reales, es decir muy cercanos a los que la planta requiere en condiciones de campo. En cambio en suelos de pH neutro (6.6 a 7.3) los resultados para el fósforo extraído tienden a ser mayores que los que la planta necesita.

BRAY-1.- El análisis de fósforo con este método fué desarrollado para extraer el fósforo del suelo que es aprovechable para las plantas con objeto de encontrar una relación entre la proporción de fósforo contenido en el suelo y la que es absorbida por los cultivos. Se emplea una solución extractiva a base de fluoruro de amonio en HCl, debido a que el ión fluoruro tiene la propiedad de formar complejos con los iones del Al^{+3} y Fe trivalente en soluciones ácidas liberando las formas ligadas al fósforo de estos cationes trivalentes, como se muestra en las siguientes reacciones (Ortiz y Sánchez, 1965):



Los componentes de fierro y aluminio asociados con fósforo son principalmente fosfatos hidratados o hidróxidos incluyendo también algunos compuestos absorbidos o precipitados en las superficies de los aluminio silicatos u óxidos, los análisis conducidos en fosfatos sintéticos han evidenciado que para un contenido de fósforo inferior a 1 mg. en 50 ml. de NH_4F 0.5N, la solubilidad de compuestos aluminio-fósforo es completa, por otra parte, en solución neutra o alcalina el fluoroferrato es inestable en gran parte y el fosfato de aluminio es

extraído en su totalidad.

De acuerdo con lo anterior, es de esperar un alto grado de correlación entre el fósforo extraído del suelo y el fósforo absorbido por este método en suelos en situaciones de alcalinidad o bien en regiones donde halla suelos ácidos y ligeramente alcalinos. En las regiones con predominancia de suelos ácidos, los extractivos a base de ácidos, pueden tener limitación por los fosfatos de calcio que están presentes en el suelo, cuando éstos se han fertilizado con roca fosfatada (Corey, 1964).

Considerando que la concentración del fósforo en la solución del suelo está en función del fósforo superficial adsorbido en los minerales arcillosos, el análisis del fósforo tenderá a correlacionarse satisfactoriamente con el que necesitan las plantas, y de los extractivos químicos que funcionan bien, la solución a base de fluoruro de amonio y HCl propuesta por Bray ocupa un lugar destacado, particularmente porque como se indicó, el fluoruro desplaza al fósforo retenido en las superficies minerales de fierro y aluminio, y en menor proporción el fluoruro desplaza al fósforo ligado al calcio.

La débil acidez de la solución extractora puede disolver algo del fósforo unido al calcio, pero si el suelo es de naturaleza francamente alcalina, el ácido será neutralizado rápidamente y habrá poca extracción de fósforo. Por lo anterior es de esperar que los extractivos ácidos, incluyendo la solución de fluoruro de amonio con HCl se verá limitada en suelos que contengan fosfato de calcio. La solubilidad relativa de las sales de calcio del ácido ortofosfórico $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ CaHPO_4 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (Tisdale y Nelson, 1956).

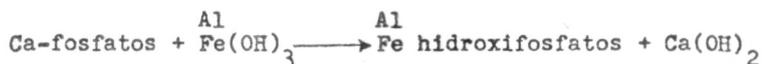
Al observar los datos de la tabla No. 1 concretamente en la columna correspondiente al fósforo extraído por el método Bray P-1, se

observa una situación generalizada y uniforme para los suelos ácidos y alcalinos estudiados en el sentido de una extremada pobreza de fósforo en los dos lotes, ya que en los suelos alcalinos todos presentan niveles pobres en un rango que va de 0.72 a 3.42 p.p.m. y en los suelos ácidos igualmente, los niveles son pobres a excepción de un migajón arcillo-arenoso que corresponde a la muestra 792 que indica un contenido medio de fósforo, los contenidos varían de 0.66 a 5.90 p.p.m. Esta situación puede interpretarse como un efecto de la presencia de fosfato de calcio.

Una conclusión evidente del poco fósforo que extrae esta solución en los suelos estudiados, se muestra en los Histogramas 4 y 9, en donde se tienen las cantidades más bajas de fósforo extraído para suelos alcalinos y en la figura 5 el fósforo es también de los que muestran menor extracción. Estas figuras corresponden a los suelos alcalinos mínimo, promedio y máximo respectivamente.

Para los suelos ácidos, según se tienen en las figuras 6, 7 y 8 el método Bray-1 extrae la menor concentración de fósforo de todas las técnicas ensayadas, estas figuras corresponden a los suelos ácidos con valor de pH máximo, mínimo y promedio.

BRAY-2.- Este procedimiento consiste en tratar al suelo con una solución de HCl 0.3N. Este reactivo disuelve la apatita y menos de la mitad del fósforo asociado al fierro y aluminio presente. Rathje (82) citado por Villanueva y S. (1965), experimentalmente demostró que los minerales del fósforo de el suelo (hidroxifluorapatita, aluminio e hidroxido ferrico-fosfato) existen en equilibrio según la reacción:



Esta solución extractiva ofrece buenos resultados en suelos áci-

dos definidos, pero el fósforo del calcio que esta presente, reaccionará con la solución ácida neutralizándola parcialmente, en cambio los suelos alcalinos con pH mayores de 8.5 que presentan fenómenos hidrolíticos de sodio intercambiable del complejo coloidal, pueden conducir a resultados muy altos, principalmente porque el fósforo se encuentra solubilizado en condiciones de excesiva alcalinidad. Al observar los datos para el Bray-P-2 en el lote de los suelos alcalinos, se observan dos situaciones contrastadas. Una que corresponde a los suelos destinados a cultivos y con niveles muy ricos de fósforo, lo cual puede atribuírse a los manejos y fertilizaciones que han ocasionado un mayor grado de perturbación a las condiciones naturales de estos suelos que se manifiesta en una elevación significativa del pH atribuíble cuando menos en parte a la aplicación de fertilizante de residuo básico. Los contenidos de estos suelos están comprendidos entre 39.72 y 69.20 p.p.m.

La segunda situación evidenciada en estos suelos alcalinos corresponde a todos los suelos de pastoreo, los cuales presentan condiciones menos alteradas y sus niveles de fósforo son pobres a excepción de un migajón arenoso que alcanza el nivel de medio. Los contenidos van de 2 a 13.12 p.p.m.. Como hecho de significación el valor del pH decide la cantidad de fósforo extraída a grado que entre mayor pH tiene el suelo, mayor cantidad de este elemento es extraído.

El lote de suelos ácidos presenta en forma uniforme y general niveles pobres que van de 0.70 a 8.53 p.p.m., ésto se justifica si se considera el medio ácido del suelo en relación al medio ácido del extractivo aunado a un bajo aprovisionamiento de fósforo de estos suelos.

METODO OLSEN.- En este método se emplea una solución alcalina a base de NaHCO_3 , como medio para extraer el fósforo del suelo que es

aprovechable por las plantas de acuerdo con la naturaleza básica de esta solución es de esperar que se encuentran buenos resultados en suelos igualmente alcalinos, mientras que en suelos ácidos hay la posibilidad de que sea neutralizada esta solución básica. Esta solución extraerá parte del fósforo proveniente de la fluoroapatita, hidroxiapatita, fósforo adsorbido en CaCO_3 y algo de fosfatos de fierro y aluminio si el suelo contuviera estos minerales, también en suelos pobremente drenados es posible que se extrajera fósforo proveniente de $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$. Pero en general los suelos alcalinos tienden a inmovilizar más el fósforo aprovechable debido principalmente a la formación de compuestos más estables a base de fósforo, lo que da por resultado que la cantidad de fósforo en estado potencialmente aprovechable sea mayor en suelos básicos que en los ácidos. Cuando se aplica superfosfato concentrado $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ al disolverse las partículas tiene lugar la siguiente reacción:



y el H_3PO_4 tenderá a bajar el pH de la solución saturada del suelo cuando se tienen suelos alcalinos, ahora bien, cuando se aplica una solución alcalina para extraer el fósforo del suelo y también el fósforo aplicado al suelo, el H_3PO_4 liberado tenderá a neutralizarla, y por lo tanto se extraerá una cantidad de fósforo equivalente a la que aprovecha la planta.

En suelos ácidos es posible que se presente la siguiente reacción:



Se dice que el suelo es alcalino por la presencia del hidróxido de aluminio y el ión PO_4^{\equiv} proviene de la disociación de minerales fosfatados que contiene el suelo o que son adicionados al mismo, en este

sentido los hidróxilos tenderán a subir el pH de la solución de suelo y al aplicar el extractivo alcalino, no tendrá efectos de neutralización por ácidos, de modo que la cantidad de fósforo extraído tenderá a ser mayor que cuando se tengan suelos ácidos.

Observando los resultados de la tabla No. 1 para el fósforo extraído por el método Olsen, se tiene que en el lote de suelos alcalinos, todos los resultados son muy pobres y el rango de concentración va de 0.60 a 4.10 p.p.m.

Esta observación se considera significativa si se correlaciona con la textura de estos suelos que es de tipo medio y ligero, así como con los niveles de materia orgánica que son igualmente pobres y medianos, lo que permite concluir que el nivel de fósforo aprovechable de estos suelos es deficiente.

Observando el lote de suelos ácidos, se tienen suelos pobres, un suelo (792) rico en fósforo y cinco suelos con nivel medio, esta variabilidad puede atribuirse en parte a los distintos grados de neutralización de la solución extractiva alcalina por la acidez del suelo lo que puede generalizarse del modo siguiente:

Los pH más cercanos a la neutralidad proporcionan mayor fósforo extraído, mientras que, los pH menores de 6, tienden a niveles de fósforo pobres, la excepción del suelo rico en fósforo (792) puede atribuirse a una condición natural de suelo descansado que da por resultado, que por no estar cultivado, no contener sales y ser pobre en materia orgánica, tiende a retener mayor proporción de fósforo aprovechable. El rango de variabilidad de niveles se interpreta como una deficiencia del método debido a que, los distintos grados de neutralización del medio ácido del suelo a la solución extractiva no tienen correlación en este caso que se tienen suelos ácidos, a los que se apli

ca una solución alcalina para extraer el fósforo.

Al observar las figuras 4, 5 y 9 se tiene que, este método Olsen funciona bien para suelos alcalinos, ya que únicamente el Bray-1 extrae menos fósforo que éste, mientras que en suelos ácidos, las cantidades extraídas son bajas.

Finalmente la figura 9 que corresponde a los valores promedio, nos indica que el Olsen extrae más fósforo que el Bray-1, pero manteniéndose en un nivel bajo.

METODO TROUG.- En este método sugerido por Troug se emplea una solución ácida a base de H_2SO_4 , la cual presenta varios grados de ionización, y la cual ha sido usada con éxito en suelos ácidos, debido a que disuelve los fosfatos de Calcio y demás compuestos básicos que pudieran presentarse en el suelo, y de acuerdo con los datos de la misma tabla No. 1 en el lote de suelos alcalinos se tienen 4 niveles de fósforo, que van del pobre, medio, rico y muy rico, tendiendo a predominar los niveles muy ricos, esto permite establecer que las cantidades extraídas son mayores que las que aprovecha la planta debido a la acidez del extractivo que contribuye a solubilizar más fósforo del suelo.

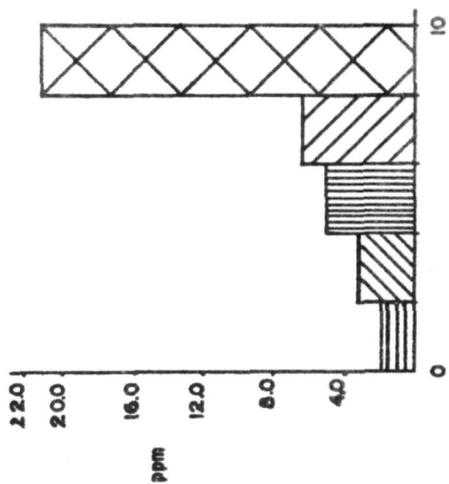
En lo que respecta al lote de suelos ácidos, igualmente se presentan los cuatro rangos mencionados que van del pobre al muy rico, pero predominando los niveles medios, esta situación está más cerca de la realidad y el fósforo extraído está más correlacionado con el fósforo extraído por los cultivos, por lo que, este método se considera adecuado para suelos de naturaleza ácida.

Este método extrae la mayor cantidad de fósforo del suelo de todos los métodos ensayados y en algunos casos las cifras sobrepasan de los 140 p.p.m., esto más que una riqueza de fósforo en el suelo debe

interpretarse como una extracción alta que no corresponde a la cantidad de fósforo que extraen los cultivos. Como se indicó, el método funciona bien únicamente en suelos ácidos por lo que en suelos alcalinos tenderá a dar resultados mucho mayores que los requeridos por las plantas.

HISTOGRAMAS QUE MUESTRAN CONTENIDOS DE FOSFORO
PARA LOS METODOS

- PEECH ENGLISH
- BRAY 1
- BRAY 2
- OLSEN
- TROUG



PROFUNDIDAD cm
pH mínimo 7.2 MUESTRA 151
fig. 4

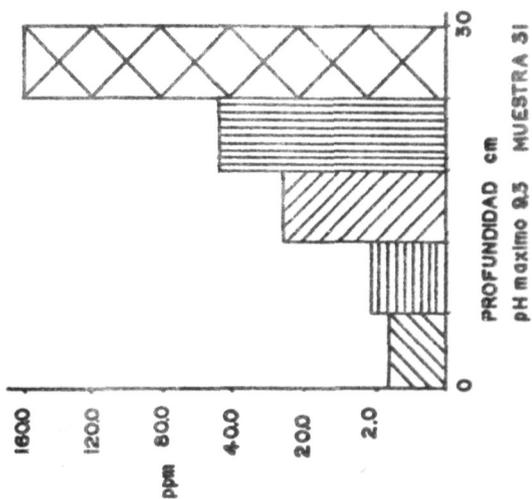


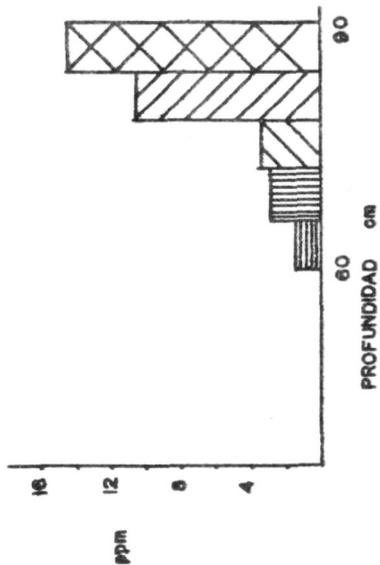
fig. 5

PROFUNDIDAD cm
pH máximo 9.5 MUESTRA 31

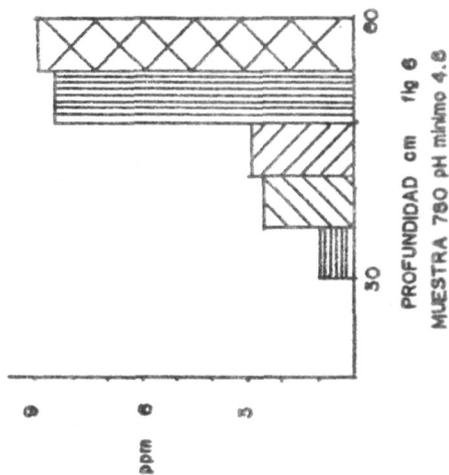
HISTOGRAMAS QUE MUESTRAN LOS CONTENIDOS DE FOSFORO
 CUANTEADO POR LOS METODOS

SUELOS ACIDOS

- PEECH ENGLISH
- BRAY - 1
- BRAY - 2
- OLSEN
- TROUG



MUESTRA 797 pH máximo 6.7
 fig. 7



MUESTRA 780 pH mínimo 4.6
 fig. 6

HISTOGRAMAS QUE MUESTRAN VALORES PROMEDIO
PARA LOS METODOS DE FOSFORO

- PEECH ENGLISH
- BRAY-1
- BRAY-2
- OLSEN
- TROUG

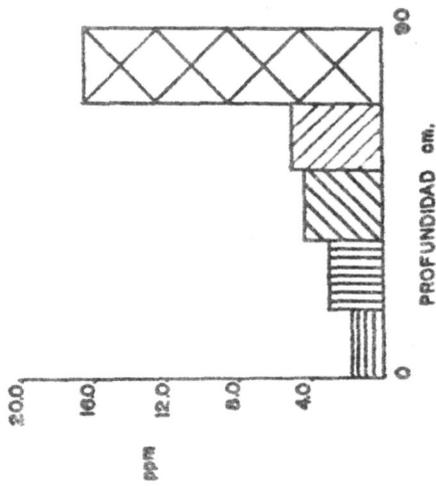


fig. 8 SUELOS ACIDOS

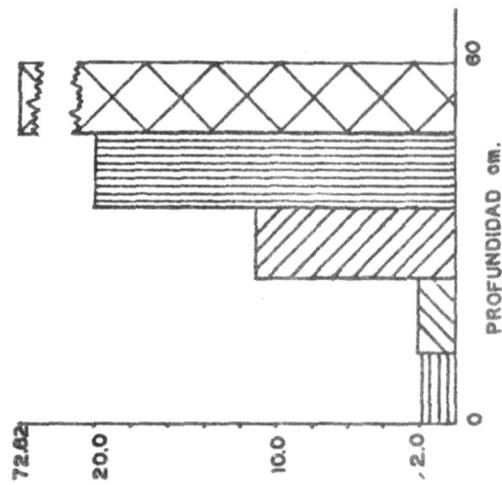


fig. 9 SUELOS ALCALINOS

IXo.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El fósforo es uno de los elementos esenciales para el desarrollo y nutrición de las plantas y entre las funciones de importancia destacan las transformaciones de energía dentro de los vegetales, por otra parte los compuestos químicos que forman los tejidos vegetales incluyen al ión $H_2PO_4^-$, los fosfolípidos, fitina, azúcares fosforilados, nucleoproteínas, ácidos nucleicos y otros, la cantidad total de fósforo en las plantas varía del 0.05 al 1%. El fósforo tiende a concentrarse en los tejidos jóvenes con crecimiento activo y en las semillas de las plantas.

De acuerdo con la discusión anterior se puede establecer lo siguiente:

a).- La solución extractiva sugerida por Peech et English puede dar resultados satisfactorios en regiones de suelos ácidos y neutros siempre y cuando no halla fosfatos calcio en gran proporción, así mismo se concluye que este método no es aplicable a suelos calcáreos (con $CaCO_3$).

b).- El Ensayo P-1 de Bray es adaptable a procedimientos de rutina y da buenos resultados del fósforo extraído del suelo con el fósforo extraído por los vegetales debido a que los iones fluoruro de esta solución forman complejos con los minerales de fierro y aluminio del suelo y un precipitado insoluble con el calcio proveniente del suelo. Este ensayo es de esperar que funcione en suelos alcalinos aún de naturaleza calcárea.

c).- El Ensayo del Bray-2 es aplicable a suelos que no contengan fosfatos de calcio. En aquellos suelos que hallan sido fertilizados con superfosfato es de esperarse un nivel mucho mayor al que la

planta aprovecha, pero este resultado de análisis aunque alto, representa al fósforo que aprovecha de inmediato la planta y a la fracción que es lentamente aprovechable, es decir a la reserva de fósforo en forma potencial.

d).- El fósforo extraído con solución de NaHCO_3 y pH normal de 8.5, funciona bien en suelos alcalinos debido a que el anión $\text{CO}_3^{=}$ desplaza al fósforo superficial de los fosfatos cálcicos y el hidróxido (pH 8.5 de la solución) desplaza los fosfatos superficiales de los compuestos de hierro y aluminio. Este análisis puede presentar una desventaja, la que consiste en extraer algo de materia orgánica en suelos ricos en ésta, la cual debe ser tratada removiendo dicha coloración con carbono orgánico, concluyendo que, en suelos alcalinos pobres en materia orgánica, este método proporciona buenos resultados al fósforo extraído del suelo con el fósforo requerido por los cultivos.

e).- Finalmente el método Troug es recomendado para los suelos ácidos sin material calcáreo y tiene la ventaja de que en suelos bien abastecidos de fósforo, los resultados por este método son más reales y no llegan a cifras muy altas que incluyen algo del fósforo aprovechable a largo plazo por los cultivos.

f).- El lote de suelos alcalinos con texturas medias y ligeras y contenidos pobres y medianos de materia orgánica, no salinos presentan una condición pobre de fósforo de acuerdo al método Olsen, y estos niveles se consideran los más cercanos al fósforo que la planta extraerá en condiciones de campo.

g).- En el lote de suelos alcalinos se identifican cuatro muestras (31 al 36) destinadas a cultivos, las cuales reportan cifras mayores con el método de Peech et English, Bray-2 y el Troug, mientras que con el Bray-1 y el Olsen, reportan cifras bajas. Esta observación

se apoya en el hecho de que, por ser terrenos destinados a cultivos, es posible que se hallan fertilizado y por otra parte el fósforo potencialmente aprovechable es alto, mientras que el fósforo asimilable de inmediato es pobre, como lo indican los métodos Olsen y Bray-1.

h).- Se concluye así mismo que para suelos alcalinos es recomendable utilizar el método Olsen y para suelos ácidos es conveniente aplicar el método Troug.

i).- El lote de suelos ácidos presenta deficiencias de fósforo las cuales se justifican si se consideran las texturas ligeras y medias y las texturas pesadas tienden a aumentar los contenidos de fósforo a un nivel medio. La excepción del suelo (792) que presenta mayor contenido de fósforo puede atribuirse a la utilización de pastoreo de este suelo y en consecuencia está "descansado" (que no ha estado cultivado).

j).- Las observaciones de campo relacionada a la condición de los cultivos establecidos en los suelos estudiados, indicaban cantidades pobres de fósforo que hacía necesario la aplicación de fertilizantes fosfatados y los terrenos destinados a pastoreo por sus condiciones físicas y químicas tales como: baja proporción de arcillas y materia orgánica, escasa proporción de sales, dan por resultado pobreza de fósforo.

k).- En estos suelos el fósforo se encuentra adsorbido a los materiales arcillosos incluido en la materia orgánica y formando complejos con las sales solubles del suelo.

l).- Se establece en base al estudio presentado, que estos lotes de suelos estudiados, además de las deficiencias de fósforo, presentan deficiencias de materia orgánica, lo que justifica la aplicación de abonos verdes y estiércol junto con fertilizantes fosfatados.

Xo.- BIBLIOGRAFIA

- Baldovinos de la Peña, "Efecto de las fracciones del fósforo del suelo en el desarrollo de las plantas". Memorias del 2o. Congreso de la Ciencia del Suelo, Tomo I, México 1965. pp 89-99.
- Bouyoucos, G.J. "A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils". Agrn. Jour. 43:434-438, 1951.
- Bonnet, J.A. "Edafología de los suelos salinos y sódicos". Estación Experimental Agrícola. Universidad de Puerto Rico, 1960.
- Corey, R.B. "Curso semestral de Química Avanzada de suelos". Colegio de Post-Graduados, E.N.A. Chapingo, México 1964.
- Corey, R.B. "Química de elementos menores". Colegio de Post-Graduados, Chapingo, México 1964.
- Chang, S.C., Jackson, M.L. "Soil phosphorus fractions in some representative soils". J. Soil Sci. 9:109-119, 1958. Memorias 2o. Congreso de la Ciencia del Suelo, Tomo I, México 1965.
- De la Colina Fierro, A.P. "Estudio Físico y Químico de Suelos Agrícolas regados con aguas negras del Municipio de Soledad Díez Gutiérrez, S.L.P.". Trabajo Recepcional. S.L.P., México 1973.
- González, G., Ortíz, V.B. "El Estado Actual del Programa de Análisis de Suelos y condiciones de Fertilidad en las regiones cañeras de México". Memorias 2o. Congreso de la Ciencia del Suelo, Tomo II, México 1965. pp 47-57.
- Grande, L.R. "Métodos para Análisis Físicos y Químicos en suelos agrícolas". Departamento de Suelos, Instituto de Investigación Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México 1974.
- Henry, K.E., Fred, H.W., Stephen, R.L. "Mineralogía". Mc. Graw-Hill B. Company, 5a. Edición, New York 1965.

- Ignatieff, V. "Uso eficaz de los fertilizantes". F.A.O. No. 9, Roma, Italia 1952.
- Jackson, M.L. "Análisis Químicos de Suelos". Ed. Omega, S.A. Barcelona 1964.
- Lyon, T.L. "Edafología". Edit. Continental, 2a. Edición, México 1958.
- Mela, M.P. "Tratado de Edafología y sus distintas aplicaciones". Edit. Omega, Zaragoza, España 1964.
- Navarro, C.A. "Métodos de Análisis para suelos Agrícolas y aguas para riego". Sobregiro de la revista Ingeniería Hidráulica en México. S.R.H., México 1957.
- Ortega, T.E. "Estudio de Correlación del Método Bray P-1 para la determinación de fósforo asimilable con rendimientos de campo de maíz de temporal en suelos del Bajío". Memorias del 2o. Congreso de la Ciencia del Suelo, Tomo II, México 1965. pp 59-60.
- Ortíz, V.B., Sánchez, R. "Las fracciones del fósforo en algunos suelos de México". Memorias del 2o. Congreso de la Ciencia del suelo, Tomo II, México 1965. pp 61-130.
- Ortíz, M.R. "Suelos Salinos y Alcalinos". Ingeniería Hidráulica de México. S.R.H., México 1958.
- Pelletier, C.P. "El fósforo, nutriente vegetal". Boletín Guanos y Fertilizantes de México, No. 29 Depto. Agronómico. México 1961.
- Rathje, W. "On the mutual conversion of calcium-bound phosphoric acid and aluminum-and ferric-iron-bound phosphoric acid in soil. Plant and Soil 13:159-165, 1960. Memorias del 2o. Congreso de la Ciencia del Suelo, Tomo II, México 1965.
- Rehm, G.W., Sorensen R.L. "Effects of the application of phosphorus, potassium and sulfur to alfalfa grown on a calcareous silt loam soil science". Vol. 117-1 pag. 58. 1974.

- Richards, L.A. "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils". Agriculture Handbook 60, U.S.A. 1954.
- Sauchelli, V. "Suelos fosfatos y fertilizantes mezclados". Boletín de Guanos y Fertilizantes de México, Departamento Agronómico, México 1959. pp 27-28.
- Truog, E. "The determination of the readily available phosphorus of soils". Journal American Society Agronomical, Vol. 22:874-882. Memorias del 2o. Congreso de la Ciencia del Suelo, Tomo I, México 1965.
- Tisdale, L.S., Nelson, L.W. "Soil Fertility and Fertilizers". The Macmillan Company, New York 4a. Edición 1961.
- U.S.D.A. "Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Samples". Survey Investigations Report No. 1 Washington D.C. 1967.
- Worthen, L.E., Aldrich, S.R. "Suelos Agrícolas su Conservación y Fertilización". Edit. Uteha, México 1959.