

1318  
Sep. 20.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO - UNIVERSIDAD NACIONAL

PROGRAMA DE GRADUADOS

BIBLIOTECA AGROPECUARIA  
DE COLOMBIA

FIJACION DE FOSFORO

EN CINCO SERIES DE SUELOS DE CUNDINAMARCA

Raúl Varela González.

↙

1.976

## C O N T E N I D O

	Pag.
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	2
III. Materiales y métodos	8
1. Suelos estudiados	8
2. Recolección y preparación de las muestras de suelo	10
3. Análisis químico de los suelos	10
4. Estudio de incubación	12
5. Métodos de extracción de P	12
IV. Resultados y Discusión	13
1. Análisis Químico	13
2. Extracción de fósforo	16
3. Curvas de fijación de fósforo	16
4. Niveles críticos de fósforo	23
V. Resumen y Conclusiones	32
Bibliografía	

FIJACION DE FOSFORO EN CINCO SERIES DE SUELOS  
DE CUNDINAMARCA<sup>+</sup>

Raúl Varela G.

I. INTRODUCCION

Uno de los principales problemas en el empleo de fertilizantes fosfatados es el de la fijación, ya que al agregarse al suelo la disponibilidad del P para las plantas disminuye por este fenómeno, que puede ser debido a la precipitación como fosfatos de aluminio, hierro o calcio, dependiendo de si el suelo es ácido o alcalino, o también puede ser el resultado de un proceso de adsorción más o menos complejo, por el cual el radical fosfato llega a quedar firmemente unido al complejo del suelo. Como consecuencia de cualquiera de estos procesos, se restringe la movilidad del fósforo en el suelo y disminuye su posibilidad de ser absorbido por las plantas.

Algunos suelos de la Sabana de Bogotá y del Valle de Ubaté, tienen bajo nivel de P disponible y en algunos casos alta capacidad de retención de fosfatos; esta disponibilidad de P juega un papel importante en relación con el crecimiento del trébol blanco y la fijación de N, por la asociación de éste con el Rhizobium, en las praderas.

---

+ Investigación especial realizada como requisito parcial para optar el título de M.Sc. en el Programa de Graduados ICA-UN, Tibaitatá, bajo la dirección de Fernando Munévar, I.A. - M.Sc.

Los principales objetivos de este trabajo son:

- a. Determinar las cantidades de fósforo que es necesario aplicar a los suelos bajo estudio para extraer 30 p.p.m. de P (Bray II), concentración que se ha tomado como un nivel crítico hipotético para ser luego probado mediante estudios de invernadero.
- b. Comparar la relativa habilidad de los distintos suelos para retener el fósforo agregado.
- c. Comparar tres métodos de extracción de fósforo con el fin de determinar cuál de ellos es más adecuado para estimar requerimientos de P por el trébol.

Las curvas de fijación de P obtenidas en este ensayo servirán para diseñar el experimento titulado: "Efecto de la disponibilidad de P en el crecimiento de trébol blanco (Trifolium repens L.), en varias series de suelos de la Sabana de Bogotá y del Valle de Ubaté-Chiquinquirá", que realizará el Programa de Suelos de Tibaitatá.

#### 7. REVISIÓN DE LITERATURA

Datos presentados por León (1966), para Colombia sugieren que la fijación de P en los suelos puede depender en gran parte de la presencia de Caolinita, vermiculita-clorita interestructuradas, los óxidos de Fe que revisten la caolinita, como es el caso de la fijación del fósforo en

inceptisoles, ultisoles y oxisoles de los Llanos Orientales, y la alofana y el aluminio ligado a la materia orgánica como en el caso de los andosoles de La Selva (Antioquia); en estos suelos se ha demostrado fijación hasta de 800 p.p.m. Esta alta capacidad de fijación de fósforo fué confirmada por Monsalve y Lotero (1972) quienes no encontraron respuesta al efecto residual de aplicaciones tan altas como 1.800 Kg./Ha de  $P_2O_5$ . En suelos de La Libertad los posibles responsables de la fijación del fósforo son el Al-intercambiable (3.01 meq/100 gr.), la vermiculita-clorita, los óxidos de Fe<sup>+++</sup> que revisten la caolinita y la goetita (León, 1966).

Los oxisoles y ultisoles altamente meteorizados de los trópicos, como también los andosoles, frecuentemente son muy deficientes y fijan grandes cantidades del P agregado (Kamprath, 1972). Tisdale and Nelson (1966) indican que la fijación del P en suelos ácidos resulta de la reacción de los iones ortofosfatos con el Al-intercambiable, hidróxidos de Al, óxidos de hierro, arcillas silicatadas y materiales no cristalinos tales como la alofana en suelos de cenizas volcánicas.

Woodruff y Kamprath (1965) demostraron que al neutralizar el Al intercambiable adicionando cal, se aumentaba la eficiencia del fertilizante fosfatado en suelos ácidos, o sea que se disminuye la fijación de P ocasionada por la reacción del ión fosfato con el Al intercambiable.

Fox, Jones y Hasan (1971) y Kamprath (1971) han postulado que las mayores cantidades de P son fijadas por óxidos hidratados de Fe y Al segui-

dos por gibsita, kaolinita y montmorillonita. La absorción máxima de fosfato en suelos de Hawai fué de  $300 \mu\text{g P/g}$  para suelos que contenían montmorillonita,  $500 \mu\text{g P/g}$  para suelos que contenían kaolinita,  $1000 \mu\text{g P/g}$  para suelos que contenían gibsita y  $1320 \mu\text{g P/g}$  para suelos que contenían óxidos hidratados de hierro y aluminio.

Suelos formados recientemente de cenizas volcánicas poco cristalinas, las cuales tienen cantidades limitadas de alófana generalmente absorben fósforo en grandes cantidades y lo retienen más fuertemente que los que contienen material más cristalino (Kamprath, 1971).

Méndez-Lay (1973) trabajó con 9 series de suelos de Panamá y demostró con estudios de incubación que la fijación del P ocurre más en suelos jóvenes formados de cenizas volcánicas que en latosoles altamente meteorizados. El encalamiento redujo la fijación del P en los suelos altamente meteorizados, los cuales tenían una alta saturación de Al. Aplicaciones de cal a una rata equivalente a una vez el Al intercambiable presente, dá como resultado la neutralización de la mayoría del Al intercambiable.

Coleman, Thorup y Jackson (1960) trabajaron con 6 series de suelos (horizontes B y C) del Piedemonte de Carolina del Norte y correlacionaron la cantidad de fosfato absorbido con el contenido de Al intercambiable y encontraron que la remoción de aluminio intercambiable por la sal extractora reduce la adsorción de fosfato en suelos que contienen apreciables cantidades de este ion. La adsorción en suelos que contienen -

poco Al intercambiable pero con grandes cantidades de óxidos de hierro y aluminio o hidróxidos minerales no fué afectada por la sal extractora. Estos investigadores sugieren que las reacciones de enlace del fosfato en las cuales participan iones de Al intercambiable, conducen a la formación de una sustancia que tiene la misma composición global de la variscita y que se forman 2 moles de ion H por cada mol de producto formado.

Swenson citado por Sanguino (1961) encontró la máxima precipitación de fosfatos de hierro entre pH 2.5 a 3.5, mientras que para fosfatos de aluminio fué entre pH 3.5 a 4.0. El fósforo es fijado principalmente por el hierro y el compuesto resultante es generalmente menos soluble que el compuesto correspondiente de Aluminio (Blasco, 1968).

Hemmwall (1957 a) opina que solamente del 10 al 20% del fósforo aplicado es utilizado por los cultivos y el resto lo consumen los microorganismos y/o es fijado en forma rápidamente aprovechable.

Fassbender (1968) en un estudio sobre retención de fosfatos en 14 suelos de Costa Rica, encontró que en promedio el orden de retención fué: Andosoles > latosoles > suelos aluviales y que correlaciona significativamente con el contenido de materia orgánica y contenido de sesquióxidos libres. En otro estudio encontró que en los suelos derivados de cenizas volcánicas la retención del fósforo correlaciona significativamente con el porcentaje de arcillas, carbono total, hierro y aluminio extraíbles y que

la precipitación de fosfatos de hierro y aluminio es más importante que su adsorción (Fassbender, s.f.).

Saunders (1959), obtuvo curvas de retención de fosfatos respecto a pH con suelos francos de New Plymouth los cuales son originados de cenizas volcánicas andesíticas y que contenían bajo, moderado y alto contenido de fósforo. Dichas curvas muestran que en suelos moderadamente ácidos el calcio intercambiable no toma parte en la retención de fosfatos y que la alta capacidad de estos suelos para retener el fosfato adicionado se debe al alto contenido de aluminio activo. La fuente más probable de este aluminio activo es la alófana, la cual es el mineral de arcilla dominante en estos suelos.

Hau y Rennie (1962b) presentan datos con los cuales muestran que el aluminio intercambiable de la resina precipita el fosfato de la solución. Estos datos se ajustan a las isotermas de adsorción de Langmuir y Freundlich; discuten las limitaciones de estas isotermas de adsorción para verificar la reacción de adsorción y concluyen que aunque hay una concordancia entre los datos de fijación de fosfato y las dos isotermas, éste no necesariamente puede implicar una reacción de adsorción en el suelo. En otro estudio estos mismos investigadores indican que la fijación inicial de fosfato hidróxido de aluminio amorfo a los rayos X a valores de pH 7, 6, 5, y 3.8 y a una concentración inicial de fosfato que fluctúa entre 2 y 100 p.p.m. de P y en ciertos casos bajo concentración molar, fueron los principales resultados de la reacción de adsorción. Esta reacción ocurre muy rápido, se completa prácticamente en menos de media hora pero es seguida

por un lento proceso de descomposición-precipitación (Hsu y Rennie, 1962a).

Cole, Olsen y Scott (1953) estudiaron la forma como ocurre la absorción del fosfato por el carbonato de calcio e indicaron que cuando se aplican fertilizantes que contienen fosfato soluble a suelos calcáreos, la reacción con el carbonato de calcio consiste en la rápida formación de una capa sobre la superficie de  $\text{CaCO}_3$  y la alta concentración de fosfato alrededor de la partícula de fertilizante produce fosfato dicálcico u otro compuesto con propiedades similares. El producto inicial de esta reacción se caracteriza por tener muy alta superficie específica y mayor solubilidad del fósforo que la hidroxiapatita ó la fluorapatita.

Hennwall (1957 b) afirma que el fósforo es fijado por minerales de arcilla al reaccionar con el aluminio soluble, el cual es originado de los sitios de intercambio o de la disociación de las rejillas de los minerales de arcilla, para formar un compuesto de fosfato de aluminio altamente insoluble que es la variscita ( $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Hsu (1964) estudió el mecanismo de fijación del fosfato en un suelo ligeramente ácido, tratándolo con una solución diluida de fosfato a pH 7.0 y concluyó que con dicha solución diluida a pH 7.0 el fosfato no es fijado formando compuestos como variscita o strengita sino que es adsorbido por hidróxido de aluminio amorfo y óxidos o hidróxidos de hierro del suelo. Esta rápida reacción se debe a la superficie reactiva propia del hidróxido de aluminio amorfo y del óxido de hierro ya presentes en el suelo.

Munévar (1974) obtuvo curvas de fijación de fósforo en cuatro inceptisoles colombianos y encontró que los suelos de La Ceja, San Jorge y serie Facatativá tuvieron muy alta capacidad de fijación; en cambio el suelo de la serie Tibaitatá tuvo muy baja capacidad de fijación. Estos resultados parecen estar relacionados con el contenido relativo de minerales de arcilla amorfos, ya que el suelo de Tibaitatá fué el de más - bajo contenido de estos materiales.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 1. Suelos Estudiados

Los suelos con los cuales se realizó la presente investigación fueron las series Tibaitatá, Techo y Río Bogotá (de la Sabana de Bogotá) y las series Cabrera y Laguna (del valle de Ubaté).

Los sitios donde se tomaron las muestras para el presente estudio se encuentran en la Tabla No. 1.

Tabla No. 1.: Localización de los sitios de muestreo.

SERIE	Municipio	Longitud	Latitud	Altura m.s.n.m.
Tibaitatá	Funza	74° 10' W	4° 45' N	2.550
Río Bogotá	Cota	74° 4' W	4° 45' N	2.600
Techo	Soacha	74° 25' W	4° 35' N	2.600
Cabrera	Fúquene	73° 45' W	5° 25' N	2.900
Laguna	Ubaté	73° 45' W	5° 15' N	-

La clasificación de estas series es la siguiente:\*

Serie Tibaitatá:	Typic Eutrandept, medial isomésico.
Serie Río Bogotá:	Tropic Fluvaquent, arcilloso muy fino, mezclado, isomésico.
Serie Techo:	Typic Haplustalf.
Serie Cabrera:	Typic Humitropept.
Serie Laguna:	Typic Tropohemist (?)

- Mineralogía de Arcillas

Resultados semicuantitativos de la mineralogía de las arcillas (24) han sido determinados en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi por rayos X y A.T.D.

En la serie Tibaitata las arcillas tienen como componente principal alófanos asociadas con menores cantidades de haloisita, minerales interestratificados, montmorillonita a vermiculita. (IGAC, 1976).

La Serie Río Bogotá tiene un alto contenido de minerales cristalinos como montmorillonita, vermiculita y caolinita que se encuentran en misma proporción; menores cantidades de minerales interestratificados de micas (illita) y de cuarzo y trazas de alófano, haloisita y gibsita (IGAC, 1976).

La arcilla de la serie Techo es en su mayor parte de naturaleza no cristalina (alófanica), a partir de 30 cms. se observa presencia de minerales interestratificados de montmorillonita, vermiculita, micas (illita),

\* Fuente: Inst. Geográfico "Agustín Codazzi" 1976. Estudio detallado de los municipios: Cota, Funza, Mosquera y parte de Madrid. Informe mecanografiado sin publicar.

caolinita y haloisita, por lo tanto los minerales no cristalinos disminuyen hacia la profundidad del perfil, (IGAC, 1976).

En la serie Cabrera por rayos x se han detectado moderadas cantidades de caolinita, abundante haloisita y cuarzo y pocas cantidades de mica, vermiculita, clorita y gibsita; por el método de A.T.D. se ha determinado caolinita, haloisita, gibsita y óxidos de Fe; por absorción con luz infrarroja se ha detectado: cuarzo, alófana, óxidos de Fe ó Al y haloisita, (Mejía, 1967).

De la serie Laguna no se tiene información sobre composición mineralógica de arcillas y como se observa en la Tabla No.1 del apéndice esta serie sólo tiene un 8% de arcillas.

## 2. Recolección y preparación de las muestras de suelo

Las muestras de las cinco series de suelos estudiadas fueron tomadas del horizonte A (0-20 cms) depositadas en bolsas de polietileno y transportadas al invernadero de Tibaitatá donde se secaron al aire, luego se molieron y se pasaron por un tamiz de 2 mm.

## 3. Análisis químico de los suelos

- a. pH: Se determinó el pH del suelo en agua usando una relación suelo: agua 1:1 y leyendo con electrodos de vidrio en un

potenciómetro "Beckman" modelo H-2.

- b. Prueba del fluoruro para arcillas amorfas: La presencia de materiales amorfos fué determinada midiendo el pH del suelo (con el mismo aparato) en NaF 1N en una relación suelo: solución de 1:50 y leyendo el pH a los 2 y a los 60 minutos después de agregada la solución (Fieldes y Perrot, 1966).
- c. Materia orgánica: Se determinó por el método de combustión húmeda propuesto por Walkley y Black con ácido sulfúrico y dicromato de potasio 1N. (Jackson, 1964).
- d. Aluminio intercambiable: Se hizo la extracción del Al intercambiable, con KCl 1N y se midió por titulación del filtrado con NaOH 0.1 N usando como indicadores Fenolftaleína al 1% y Metil naranja al 0.1%. (Jackson, 1964).
- e. Capacidad de intercambio catiónico: Se hizo la extracción con  $\text{NH}_4\text{OAC}$  1N a pH 7.0 en una muestra de 5 gr de suelo; se lavó con alcohol del 95% y el  $\text{NH}_4^+$  retenido fué desplazado con una solución de NaCl al 10%. El  $\text{NH}_4$  retenido por el suelo se determinó por titulación con NaOH 0.1N, usando como indicador fenolftaleína.
- f. Bases intercambiables: El Ca, Mg, K y Na intercambiable fueron extraídos con una solución de  $\text{NH}_4\text{OAC}$  1N a pH

7.0; y se determinaron con un espectrofómetro de absorción atómica Perkin - Elmer modelo 303.

#### 4. Estudio de Incubación

De cada suelo se pesaron muestras de 5 grs y se colocaron en frascos de vidrio a los cuales se les agregó alicuotas de 5 ml. de soluciones de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  de las concentraciones requeridas para dar 0, 50, 100, 200, 400 y 800 p.p.m. de P agregado al suelo; se incubaron en el invernadero a una temperatura que osciló entre  $26^\circ \text{C}$  en el día y  $12^\circ \text{C}$  en la noche durante 21 días; los frascos se taparon con el fin de evitar la evaporación y mantener la humedad durante todo el período de incubación.

#### 5. Métodos de extracción de P

Después de 21 días de incubación la extracción de fósforo se hizo por los 3 métodos siguientes:

- a. Bray II: A los 5 grs de suelo se agregó 35 ml. de la solución extractora ( $\text{NH}_4\text{F}$  0.03 N y  $\text{HCl}$  0.1N) y se determinó por el método del ácido cloromolibdico y cloruro estañoso, para luego leer en el electrofotómetro "Fisher". La lectura del aparato se llevó a una curva calibrada de transmitancia v.s. p.p.m. de Fósforo (grafica No.1 del apéndice) obteniéndose las p.p.m. de P extraído. (Jackson, 1964).

- b. Carolina del Norte: A los 5 grs de suelos se agregó 25 ml. de la solución extractora ( $\text{HCl}$  0.05 N y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.025 N), y se siguió el mismo procedimiento anterior para Bray II. (Hunter, s. .)
- c. Olsen modificado: A los 5 grs de suelo se agregó una cucharadita de carbón activado, y luego 100 ml. de la solución extractora ( $\text{NaHCO}_3$  0.5 N a pH 8.5); después se agregó lentamente la solución de molibdato de amonio y se espera que salga el  $\text{CO}_2$ ; se agregó cloruro estañoso y se leyó la transmitancia en un espectro fotómetro "Spectronic 20" a 660  $\text{m}\mu$ . La lectura del aparato se lleva a una curva calibrada de transmitancia a 600  $\text{m}\mu$  Vs p.p.m. de P (gráfica No. 2 del apéndice) obteniéndose las p.p.m. de P extraído. (Olsen y Dean, 1967).

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

##### 1. Análisis Químico

Algunas de las características químicas de los suelos usados en esta investigación se encuentran en la Tabla 2.

La reacción del suelo medida en agua fué ligeramente ácida para el suelo de la serie Techo y fuertemente ácida para las demás series.

De acuerdo con Fieldes y Perrot, (1966) valores de pH medido en NaF 1N superiores a 9,4 indican que el complejo de intercambio está dominado por arcillas amorfas (Alófana); como se observa en la Tabla 2 solamente las series Tibaitatá y Cabrera son alofánicas.

Respecto al análisis de materia orgánica (Tabla 2) las series Río Bogotá y Techo son las menos orgánicas en cambio la serie Laguna que tiene 25.22 % de M.O. se puede considerar como un suelo orgánico (Lora, 1971).

En términos generales todos los cinco suelos estudiados tienen baja disponibilidad de fósforo principalmente la serie Laguna que tiene 2.95 p.p.m. ya que se considera un nivel bajo aquel inferior a 30 p.p.m.

La C.I.C. para todos los suelos es relativamente alta, sin embargo la serie Techo tiene la mas baja C.I.C. Swindale (1966) indica que la C.I.C. determinada por los metodos convencionales está sujeta al efecto de las cargas dependientes del pH cuando en el suelo están presentes los coloides amorfos (alófana). En este estudio esta afirmación concuerda para las series Tibaitatá y Cabrera que son alofánicas por lo cual tienen alta C.I.C. no así para la serie Laguna que a pesar de no ser alofánica tiene la más alta C.I.C.

Respecto al aluminio intercambiable, la serie Cabrera presenta la mayor cantidad (8.00 meq./100) lo cual puede influir en la fijación de fósforo ya que se pueden formar fosfatos de aluminio que son altamente insolubles.

Tabla 2. Análisis químico de las series: Tibaitatá, Río Bogotá, Techo, Cabrera y Laguna

SUELOS	pH		H <sub>2</sub> O (1:1)	NaF		M.O %	P P.P.m. Bray II	Al	K	Na	Ca	Mg	Suma de Bases	C.I.C.
	2	60		min.	min.									
Tibaitatá	5.07	10.8	11.1	17.5	7.74	2.25	0.69	0.32	19.20	0.80	21.01	66.8		
Río Bogotá	4.47	8.2	8.6	4.81	9.43	3.15	0.44	0.61	17.00	1.25	19.30	56.0		
Techo	6.00	7.8	8.4	5.04	11.12	1.35	0.52	0.35	13.86	1.26	16.99	31.2		
Cabrera	4.70	9.9	10.4	16.16	6.12	8.00	0.32	0.20	10.93	0.46	11.91	68.5		
Laguna	4.60	7.7	8.2	25.22	2.95	5.75	1.63	0.40	30.10	10.42	42.55	82.3		

La serie Laguna presenta la mayor suma de bases intercambiables (42,55 meq/100), lo cual también puede influir en la fijación de fósforo pues se pueden formar principalmente fosfatos de Ca insolubles.

## 2. Extracción de Fósforo

En las Tablas 3, 4 y 5 se encuentran los promedios de tres repeticiones del fósforo extraído para los 3 métodos usados; con estos datos se construyeron las curvas de fijación de fósforo para cada método usado y en cada serie de suelo estudiada.

## 3. Curvas de fijación de fósforo

Los suelos de las series: Laguna, Tibaitatá y Cabrera fueron en su orden los de mayor capacidad de fijación de fósforo, tanto por el método de "Bray II" como por el método "Carolina del N rte" y en la serie Techo fué la que mostró la menor capacidad de fijación, también por los dos métodos (figuras 1 y 2).

Por el método "Olsen modificado" no se obtuvieron las mismas tendencias de los otros dos métodos (figura 3) posiblemente porque, el filtrado que se obtiene con la extracción es de color muy oscuro debido a la M.O. y el carbón activado que se agrega no decolora lo suficiente; por tanto

al desarrollar el color hay un enmascaramiento y por lo consiguiente las lecturas obtenidas en el espectrofotómetro no corresponden exactamente a la concentración de P en la solución.

Estos resultados parecen estar relacionados con el contenido de arcillas amorfas (alófana), la C.I.C., el % de Materia orgánica, el contenido de Aluminio y las bases intercambiables. Como se aprecia en la Tabla 2, la serie Laguna que es la de mayor capacidad de fijación tiene la más alta C.I.C. (82.8 meq/100), el más alto % de materia orgánica - (25.22 %) y además por el alto contenido de Ca (30.10 meq/100) se pueden formar fosfatos de calcio insolubles. Sigue en el orden de fijación la serie Tibaitatá lo cual se explica por qué es la serie más alofánica ya que tiene el más alto pH con NaF 1N (10.8 - 11.1); tiene alto % de M.O. (17.5 %) y además alta C.I.C. (66.8 meq/100).

En tercer lugar de fijación está la serie Cabrera (figura 1 y 2) esto se explica porque de acuerdo a la Tabla 2 es una serie de alto contenido arcillas amorfas (alófana) (pH 9.9-10.4 con NaF 1N) tiene alto % de materia orgánica (16.16 %) lo cual aumenta la actividad de microorganismos al adicionar cantidades ascendentes de fósforo; tiene alta C.I.C. (68.8 meq/100) y además es la serie de mayor contenido de aluminio ( 8.00 meq/100) por lo cual al agregar fósforo se pueden formar, fosfatos de aluminio que son altamente insolubles.

Con relación a la serie "Río Bogotá" mostró baja capacidad de fija-

ción de fósforo porque tiene bajo contenido de arcillas amorfas (pH 8.2-8.6 con NaF 1N); el más bajo % de materia orgánica (4.81 %) y una C.I.C. media.

La serie Techo presentó la menor capacidad de fijación de fósforo porque tiene menor contenido de aluminio (1.35 meq/100) y por lo tanto menor posibilidad de precipitar fosfatos de aluminio; la menor C.I.C. (31.2 meq/100); bajo contenido relativo de arcillas amorfas (pH 7.8-8.4 con NaF 1N); bajo % de materia orgánica (5.04 %) y por lo tanto baja actividad de los microorganismos del suelo; aunque es la serie que tiene mayor fósforo disponible (11.12 p.p.m.).

Las figuras 4, 5, 6, 7 y 8 muestran que la extracción de fósforo por los métodos "Bray II" y "Carolina del Norte" tienen más o menos la misma tendencia para cada serie de suelos estudiados; en cambio por el método "Olson modificado" la extracción es mas alta (con excepción de la serie Techo) y no sigue la misma tendencia de los otros 2 métodos.

De acuerdo con las figuras 4, 5, 6, 7 y 8 al comparar el método Bray II y C.N. en cada serie, se observa que para las series Tibaitatá y Laguna hay mayor extracción por el metodo Bray II que por el método C.N. y lo contrario sucede con las series Techo y Río Bogotá, en cambio con la Serie Cabrera la extracción por los dos métodos es muy similar. Estos resultados podrían indicar que en las series Tibaitatá y Laguna hay mayor proporción de fósforo ligado al Aluminio (P-Al); en las series Techo y Río Bogota habría mayor proporción de fósforo ligado al Calcio (P-Ca);

y en la serie Cabrera las proporciones serían más o menos similares. Estas afirmaciones se hacen de acuerdo a Thomas y Peaslee (1973) los cuales indican que con la solución extractora  $\text{NH}_4\text{F-HCl}$  (Bray II) se extrae mayor cantidad de P-Al y en cambio con la solución extractora  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HCl}$  (C.N.) se extrae mayor cantidad de P-Ca.

Estas afirmaciones serán de mayor valor al hacer el fraccionamiento de fósforo en estas series de suelo.

Tabla 3. Fósforo extraído (p.p.m.) por el método "Bray II" ( $\text{NH}_4\text{F}$  0.03N y HCl 0.1N), después de 21 días de incubaciones.

P.p.m. de P Agregado	Tibaitatá*	Techo*	Río Bogotá*	Cabrera*	Laguna*
0	3.99	5.56	7.53	3.66	1.78
50	5.51	14.25	9.22	6.38	2.47
100	9.29	23.99	13.75	15.33	5.07
200	9.45	97.65	21.63	19.55	6.43
400	15.14	156.33	59.98	24.69	16.95
800	40.25	207.28	111.62	67.13	33.10

\* Promedio tres replicaciones.

Tabla 4. Fósforo extraído (p.p.m.) por el método "Carolina del Norte" (HCl 0.05 N y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.025N) después de 21 días de incubación.

p.p.m. de P Agregado	Tibaitatá*	Techo*	Río Bogotá*	Cabrera*	Laguna*
0	0.51	4.53	4.02	1.78	0.85
50	1.09	16.22	8.57	5.59	1.44
100	1.90	34.98	12.86	8.31	2.67
200	3.62	77.46	26.97	14.48	3.32
400	10.23	193.43	64.32	24.27	6.48
800	21.53	436.62	168.07	64.20	14.37

\* Promedio de tres replicaciones.

Tabla 5. F6-fero extraido (p.p.m.) por el m6todo de "Olser modificado" (Na HCO<sub>3</sub> 0.5N a pH8.5) despu6s de 21 d6as de incubaci6n.

P.P.m. de P Agregado	Tibaitat6*	Techo*	R6o Bogot6*	Cabrera*	Laguna*
0	46.33	8.66	24.33	12.00	32.00
50	62.33	21.33	34.33	17.00	43.66
100	70.00	39.66	41.33	20.00	49.33
200	72.66	45.00	67.33	28.33	62.33
400	90.00	57.66	78.00	43.33	73.33
800	112.00	71.33	91.67	93.33	103.00

\* Promedio de tres repeticiones.

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENT6FICAS

#### 4. Niveles críticos de fósforo

Los niveles críticos para llegar a una extracción de 30 p.p.m. de fósforo se pueden deducir en las gráficas 4, 5, 6, 7 y 8 y con los cuales se elaboró la siguiente Tabla 6.

Tabla 6. Cantidad de fósforo que se debe agregar a cada una de las series estudiadas para alcanzar un nivel de 30 p.p.m. de P-disponible (Método Bray II)

SERIE	P (p.p.m.)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/Ha)
Tibaitatá	625	2.812
Techo	105	472
Río Bogotá	245	1.032
Cabrera	445	2.002
Laguna	720	3.240

Como lo muestra la Tabla anterior a la serie Laguna se debe agregar la mayor cantidad de fósforo porque es la serie más fijadora y la de menor fósforo disponible (2.95 p.p.m.) (Tabla 2); por el contrario a la serie Techo se debe agregar la menor cantidad de fósforo porque es la serie de menor capacidad de fijación y la de mayor cantidad de fósforo disponible (11.12 p.p.m.) (Tabla 2).

FIGURA No.1

Curvas de Extracción de fosforo por el método " Bray II " en los cinco suelos estudiados.

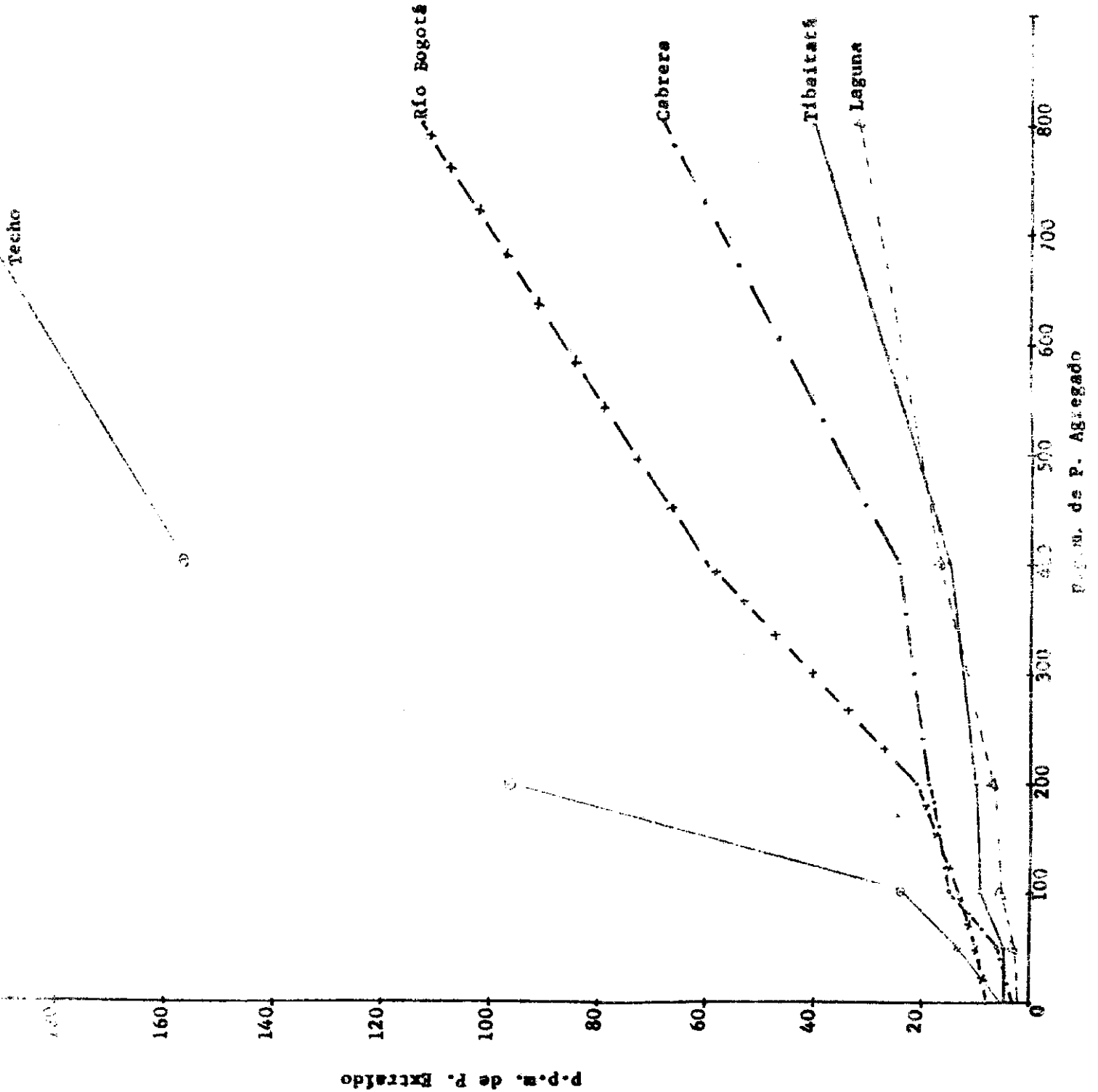


FIGURA No. 2

Curvas de Extracción de fosforo por el método "Carolina del Norte" en los 5 suelos estudiados.

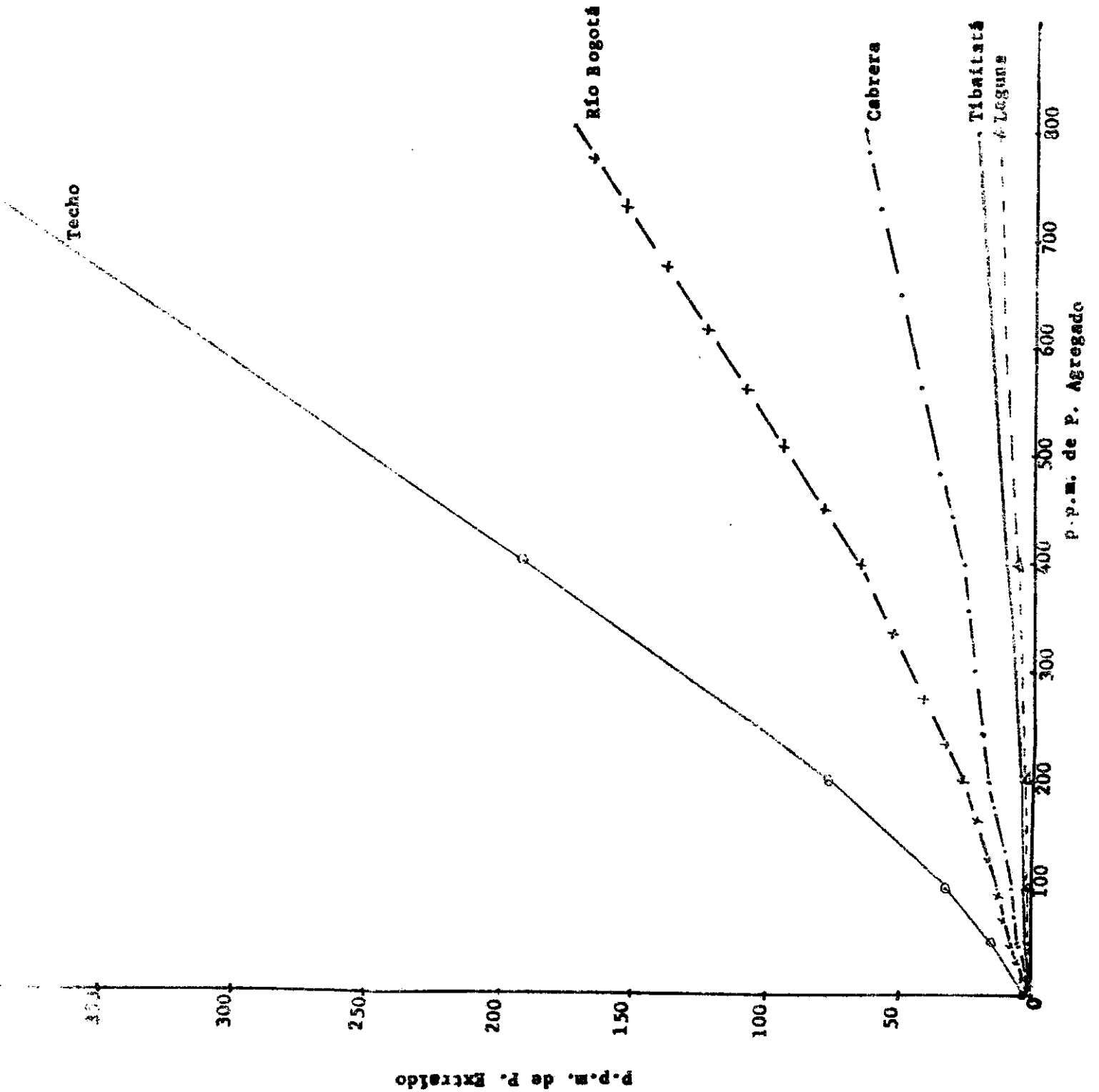


FIGURA No.3

Curvas de Extracción de fosforo por el Método "Olsen Modificado" en los 5 suelos estudiados.

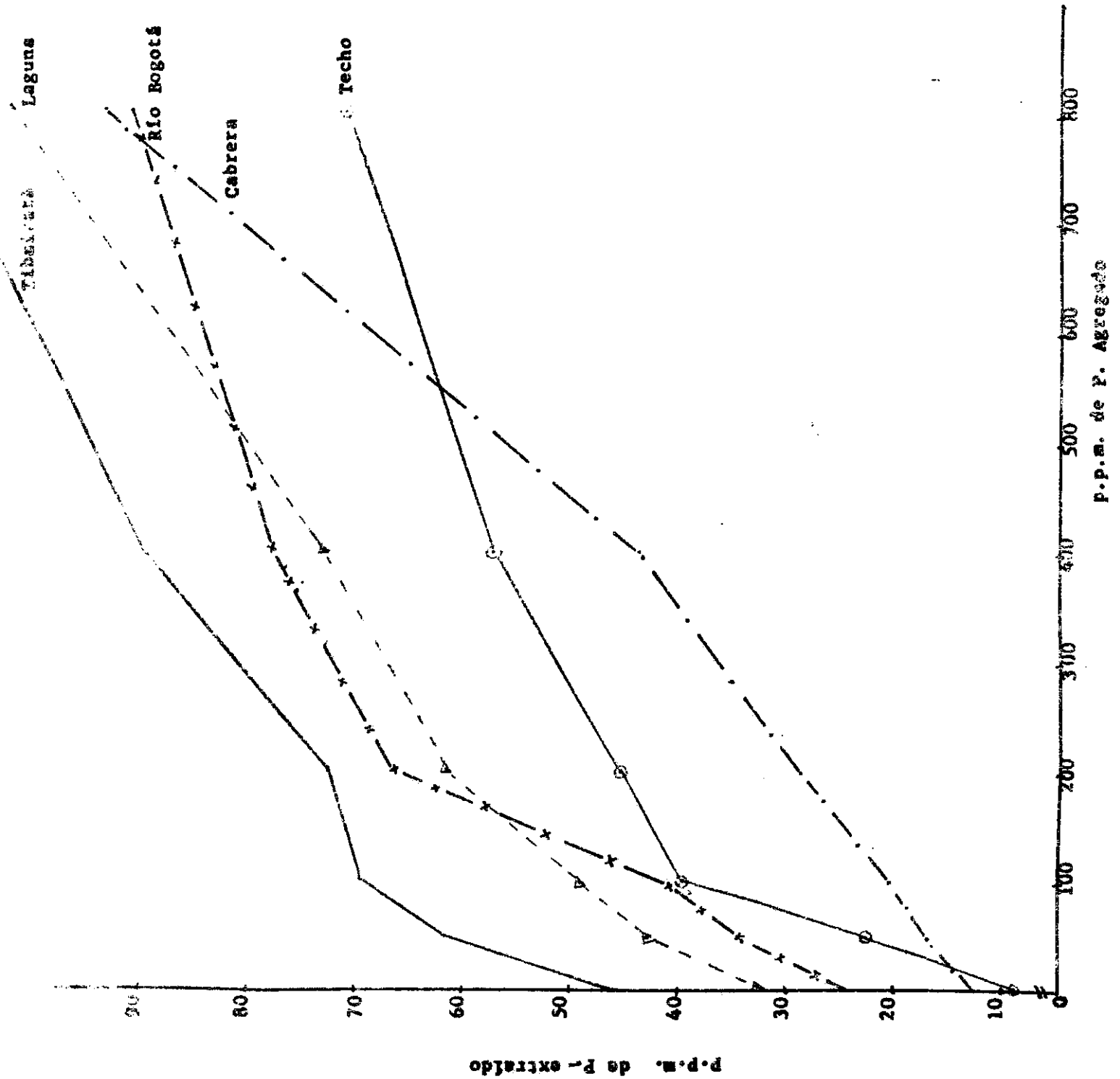


FIGURA No.4

Fosforo Extraído en suelo de la serie "Tibaitatá" por los 3 métodos utilizados.

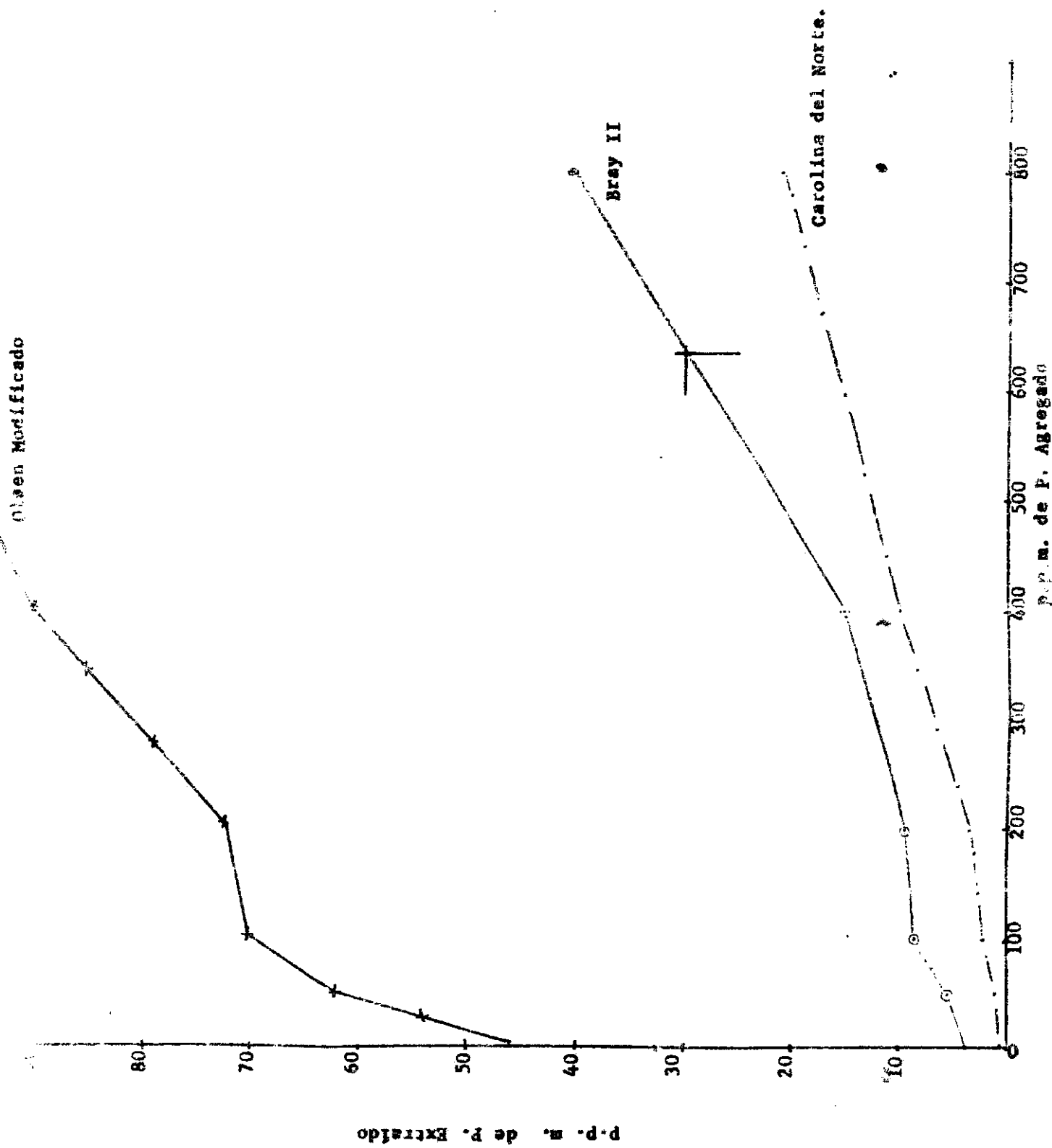


FIGURA No. 5

Fosforo extraido en suelo de la serie " Techo " por los tres métodos utilizados

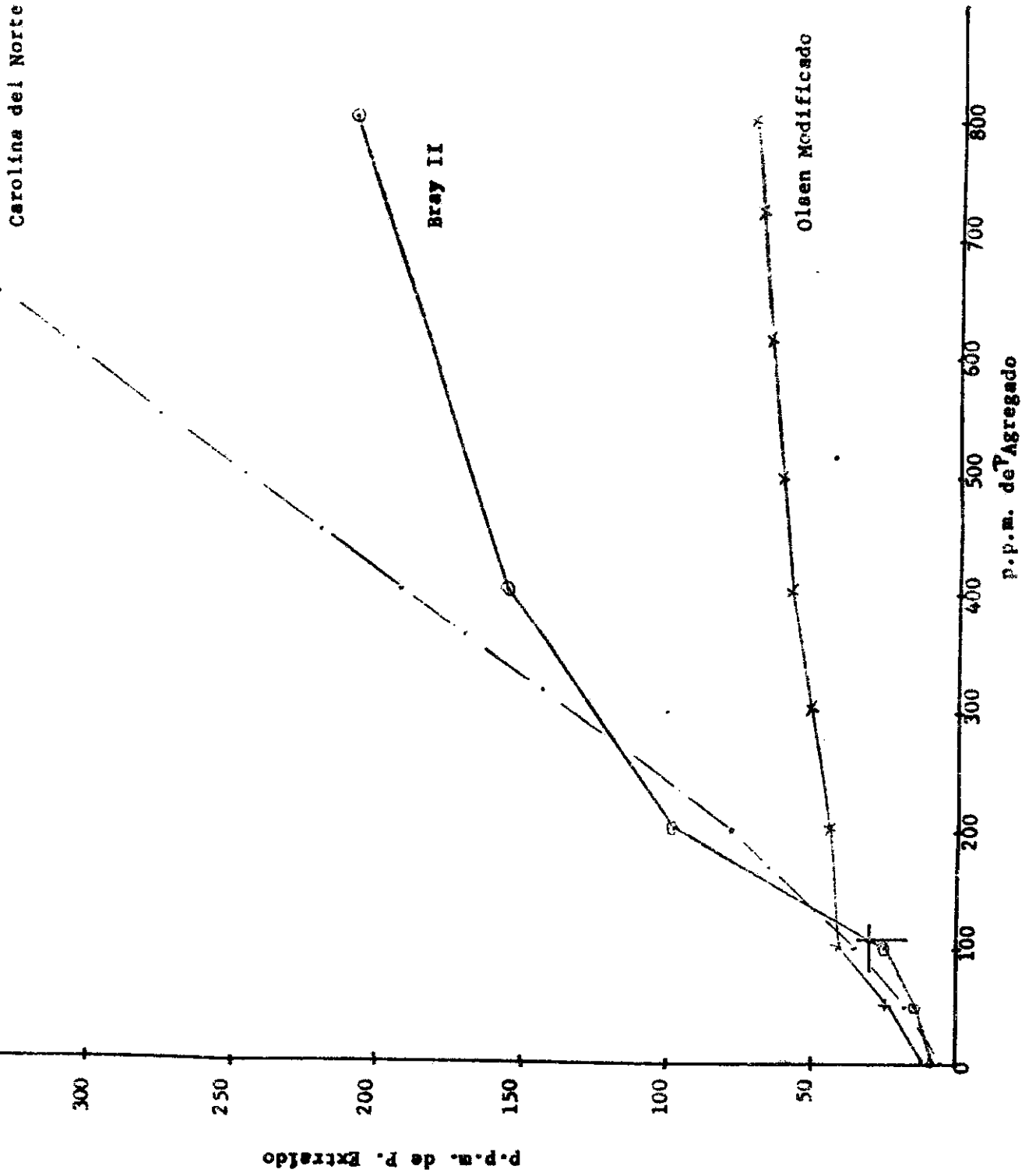


FIGURA No.6

Fosforo extraido en suelo de la serie "Rio Bogotá" por los tres métodos utilizados .

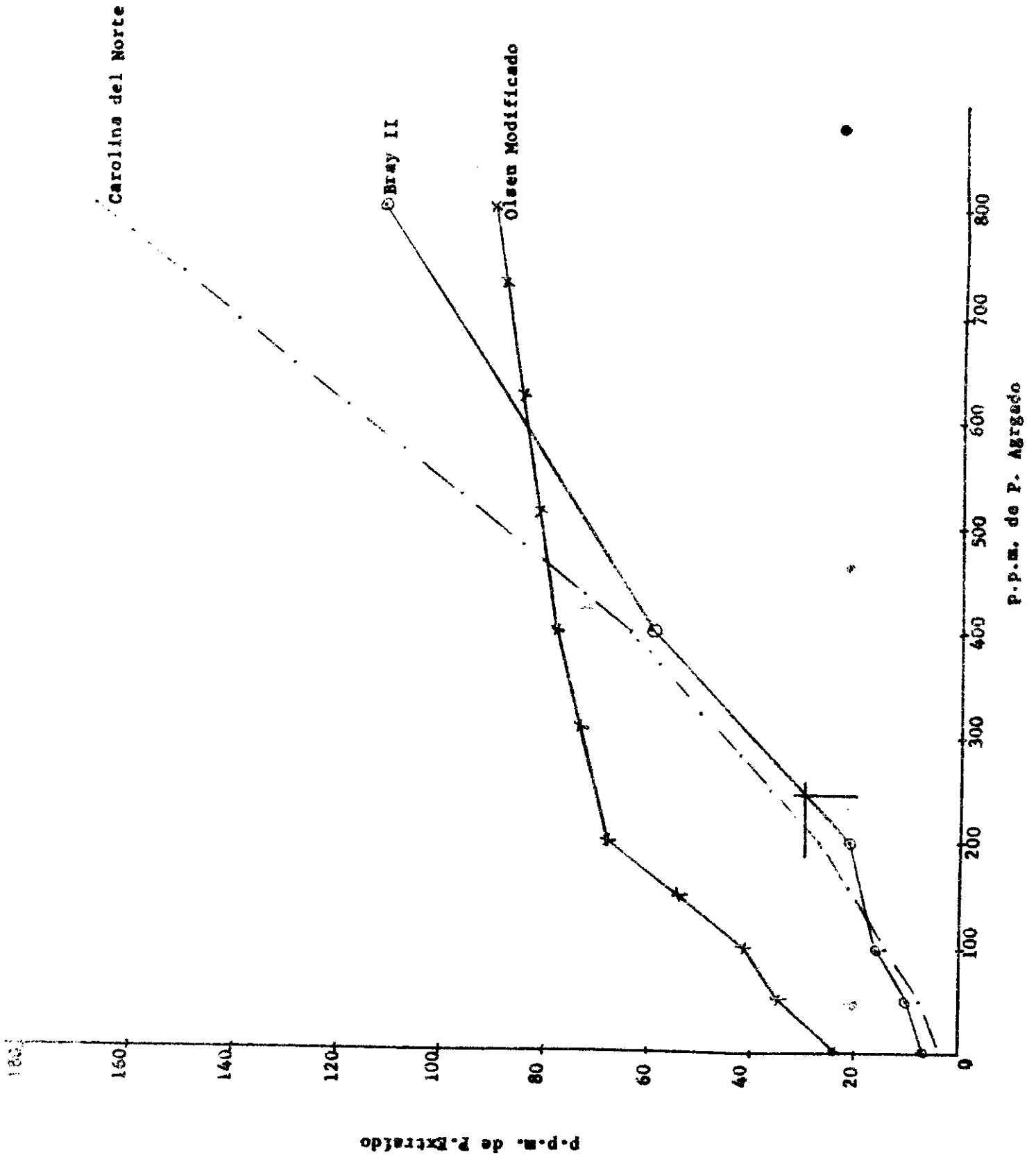


FIGURA No.7

Fosforo extraido en suelo de la serie "Cabrera" por los tres métodos utilizados.

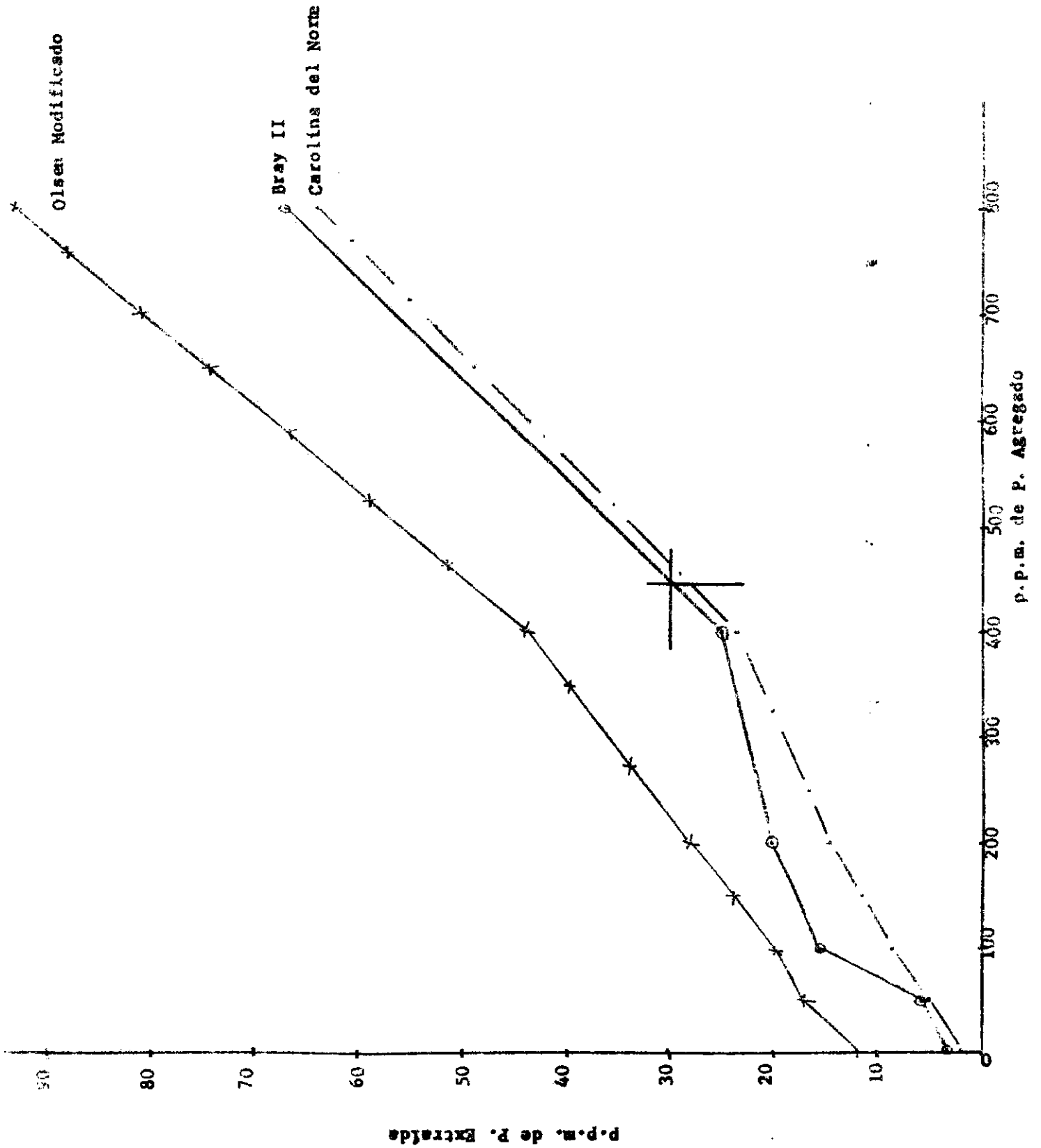
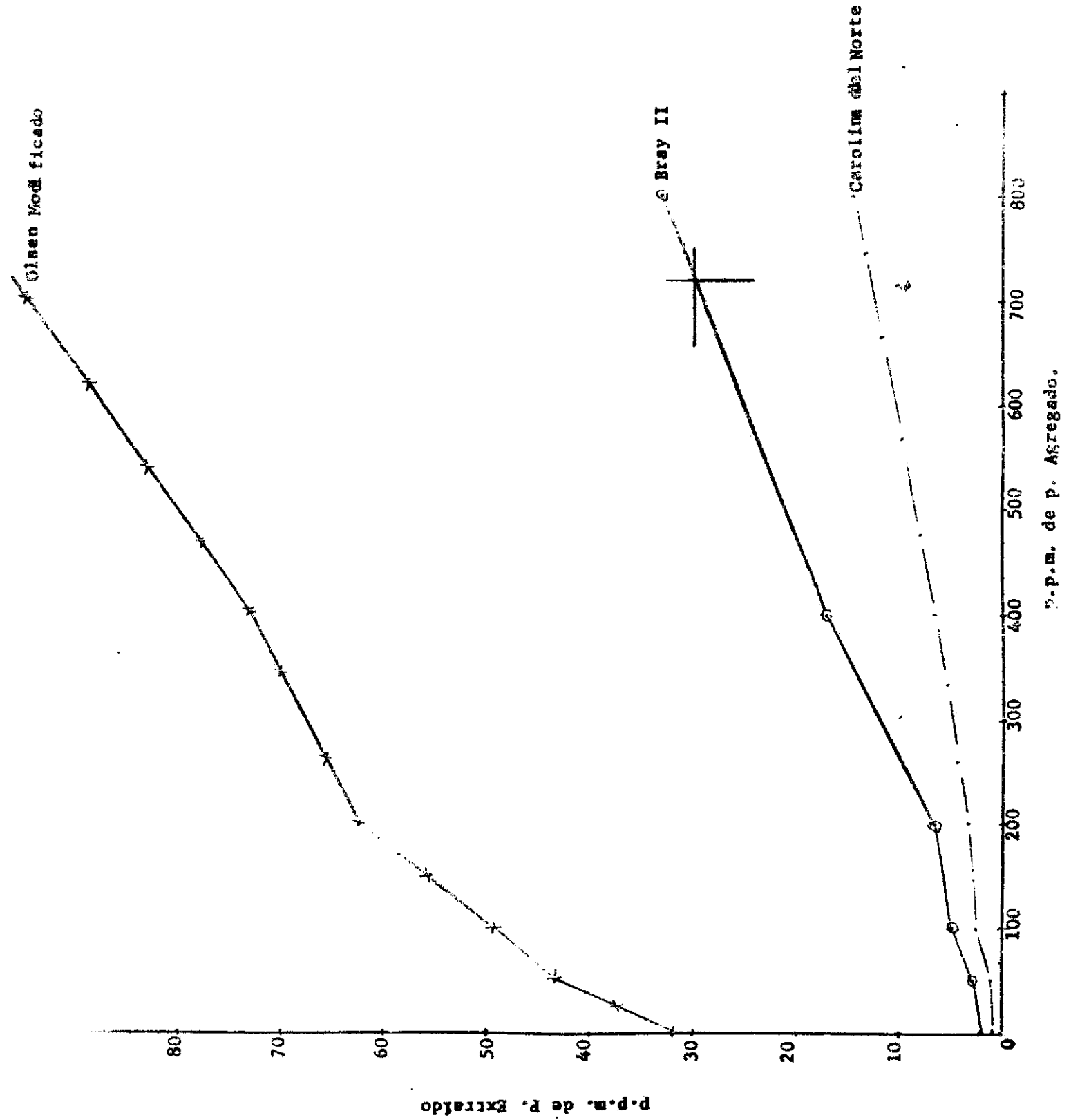


FIGURA No.8

Fosforo Extraido en suelo de la serie "Laguna" por los 3 métodos utilizados.



## V. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Esta investigación se realizó con el fin de establecer los niveles críticos de P-disponible para la planta en cinco series de suelo de Cundinamarca, para saber qué cantidad de fósforo se debe aplicar para alcanzar un nivel de 30 p.p.m. (extraído por Bray II); y además comparar la relativa habilidad de estos suelos para retener el fósforo agregado.

Se estudió el suelo superficial (20 cm) de las series:

Tibaitatá	(Typic Eutrandept medial isomesico),
Techo	(Typic Haplustalf),
Río Bogotá	( Tropic Fluvaquent),
Cabrera	(Typic Humitropept) y
Laguna	(Typic Tropohemist ?)

Una prueba cualitativa indicó que solamente las series Tibaitatá y Cabrera son alofánicas; que las series Río Bogotá y Techo son las menos orgánicas y en términos generales los cinco suelos estudiados tiene baja disponibilidad de fósforo y relativamente alta C.I.C.

A cada suelo se agregó una alicuota de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  en dosis que fluctuaban entre 0 - 800 p.p.m. de fósforo y después de 21 días de incubación se hizo la extracción de fósforo por los métodos: Bray II, Carolina del Norte y Olsen modificado. Con estos resultados se construyeron las curvas de fijación de fósforo por cada método usado y en cada serie de suelos estu-

diada.

Los principales resultados y conclusiones son las siguientes:

1. Las series Laguna, Tibaitatá y Cabrera fueron en su orden las de mayor capacidad de fijación de fósforo y la Serie Techo y Río Bogotá las de menor capacidad.
2. Los métodos Bray II y Carolina del Norte dieron resultados muy similares en cambio, por el método Olsen modificado se obtuvieron resultados muy desuniformes que hacen dudar de su veracidad.
3. La serie Laguna es la de mayor capacidad de fijación posiblemente por tener la mas alta C.I.C. , el más alto % de M.O. y el más alto contenido de Ca, con el cual puede formar fosfatos de calcio insolubles.
4. La serie Tibaitatá sigue en el orden de fijación pues es la más alofónica, tiene además alto % de M.O. y alta C.I.C.
5. El tercer lugar de fijación lo ocupa la serie Cabrera lo cual se explica por tener el más alto contenido de aluminio por lo cual se pueden formar fosfatos de aluminio insolubles; alto contenido de arcillas amorfas , alto % de M.O. y alta C.I.C.
6. La serie Río Bogotá mostró baja capacidad de fijación de fósforo porque tiene bajo contenido de arcillas amorfas y el más bajo % de M.O.
7. La serie Techo presentó la menor capacidad de fijación porque tiene

el menor contenido de aluminio, la menor C.I.C., bajo contenido de arcillas amorfas y bajo % de M.O.

9. Para llegar a una disponibilidad de 30 p.p.m. en los suelos estudiados se necesita agregar:

Serie Tibaitatá:	2812 Kg/Ha de $P_2O_5$
Serie Techo:	472 "
Serie Río Bogotá:	1032 "
Serie Cabrera	2002 "
Serie Laguna	3240 "

## BIBLIOGRAFIA

- MASCO, M. 1968. Curso de Suelos. Facultad de Agronomía de Palmar. Universidad Nacional. 165-181 p.(en mimeógrafo).
- COLE, C.V., B.R. OLSEN y C.O. SCOTT. 1953. The nature of phosphate sorption by calcium carbonate. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 17:512-521.
- COLEMAN, N.T., J.T. THORUP y E.A. JACKSON. 1960. Phosphate-sorption reactions that involve exchangeable Al. *Soil Sci.* 90:1-7
- FASSBENDER, H.W. 1968. Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rica soils. *Agrochimica.* 12(6):512-521.
- FASSBENDER, H.W. s.f. Deficiencia y fijación del fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas en América Central IICA de la OEA.
- FIELDS, M y K.W. PERROT. 1966. The nature of allophane in soils: 3 Rapid field and laboratory test for allophane *N.Zeal. J.Sci.* 9:623-629.
- FOX, R.L., R.C. JONES y S.M. HASAN. 1971. Phosphate and sulfate sorption by latosols. *Proc. Int. Symp. Soil Fert. Evaln., New Delhi* 1:857-864.
- HEMMWALL, J.B. 1957a. The fixation of phosphorus by soils. *Advances in Agronomy* 9:95-112.
- HEMMWALL, J.B. 1957b. The role of soil clay minerals in phosphorus fixation. *Soil Sci.* 83:101-108.
- HSu, P.H. y D.A. RENNIE. 1962a. Reactions of phosphate in aluminum system. I adsorption of phosphate by x-ray amorphous "aluminum hydroxide". *Canadian Journal of Soil Science.* 42:197-209.
- HSu, P.H. y D.A. RENNIE. 1962b. Reactions of phosphate in aluminum systems. II precipitation of phosphate by exchangeable aluminum on a cation exchange resin. *Canadian Journal of Soil Science.* 42:210-221.
- HUNTER, A.R. s.f. Methods commonly used for routine soil analyses in cooperating countries. International soil fertility evaluation and improvement Project North Carolina State University. En mimeógrafo. 9p.
- INSTITUTO GEOGRAFICO "AGUSTIN CODAZZI" 1976. Estudio detallado de los municipios Cota, Funza, Mosquera y parte de Madrid. Informe mecanografiado sin publicar.

- INSTITUTO GEOGRAFICO "AGUSTIN CODAZZI". 1965. Suelos de Ubaté y Chiquinquirá. Estudio detallado del Valle y general de la zona. Bogotá, D.E. 193p.
- JACKSON, M.L. 1969. Análisis químico de suelos. Universidad de Wisconsin. Trad. José Beltrán Martínez. Ed.Omega, S.A. Barcelona. 190-253.p.
- KAMPRATH, E.J. 1971. Phosphorus fertilization and fixation. Annual Report. Research on soils of the Latin American Tropics. Soil Science Department, North Carolina State University Raleigh, N.C.
- KAMPRATH, E.J. 1972. Phosphorus fixation. A review of soils research in tropical Latin American, Soil Science Department, North Carolina State University. Raleigh, N.C.
- LEON, S.A. 1966. Estudios químicos y mineralógicos de 10 suelos colombianos, Agricultura Tropical (Colombia): 20:442-451.
- LORA, R. 1971. Materia orgánica y nitrógeno en el suelo. In: Interpretación de análisis de suelos y recomendaciones de fertilizantes. Instituto Colombiano Agropecuario. Programa de Educación Continuada. Bogotá.
- MEJIA, L. 1967. Principales características físicas, químicas, mineralógicas y micromorfológicas de los suelos de la cuenca alta del Río Bogotá. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi. Depto.Agrológico. Informe mecanografiado.
- MENDEZ-LAY, J.M. 1973. Effect of lime on P fixation and Plant growth in various soils of Panama. North Carolina State University, Department of Soil Science, Thesis for the Degree of Master of Science, Raleigh.
- MONSALVE, S.A. y J.LOTERO. 1972. Efecto residual del fósforo en un suelo negro de Antioquia. Rev:ICA (Colombia) 7:159-171.
- MUNOVAR, F. 1974. Some factors affecting the mineralization of organic matter in volcanic ash soils. North Carolina State University. Thesis of Master of Science. 37-38 pp.
- OLSEN, S.R. y L.A. BEAN. 1965. Phosphorus in methods of soil analysis. Part 2. chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy inc. publisher. Series in Agronomy No. 9. Wisconsin U.S.A. 1035-1049 p.
- Hsu, P.H. 1964. Adsorption of phosphate by aluminum and iron in soils. Soil Sci. Soc. Amer. proc. 28:474-478.
- SANGUINO, E.L. 1961. Influencia del pH sobre la fijación del fósforo y su relación con la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada. Acta agronómica. 11:3-4.

- SAUNDERS, W.M. 1959. Effect of phosphate topdressing on a soil from andesitic volcanic ash. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2:659-665.
- SWINDALE, L.F. 1969. Propiedades de los suelos de cenizas volcánicas. p.8.10.1-8.10.9. In: Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba Costa Rica.
- TISDALE, S.D. y W.L.NELSON. 1966. Soil fertility and fertilizers. 2nd. Edition. The MacMillan Company. Callier-MacMillan Limited, London, England.
- THOMAS, G.W. y PEASLEE, D.E. 1973. Testing Soils for Phosphorus. In: Soils testing and plant analysis. *Soil Sci. Soc. Amer. Wisconsin*. 115-132 p.
- WOODRUFF, J.R. y E.J. KAMPRATH. 1965. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. *Soil Sci.Soc.Amer. Proc.* 29:148-150.

Tabla No. 1 ( Apéndice )

ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DEL HORIZONTE A (0-20 cm) DE LAS SERIES  
TIBAITATA, TECHO, RÍO BOGOTÁ, CABRERA y LAGUNA

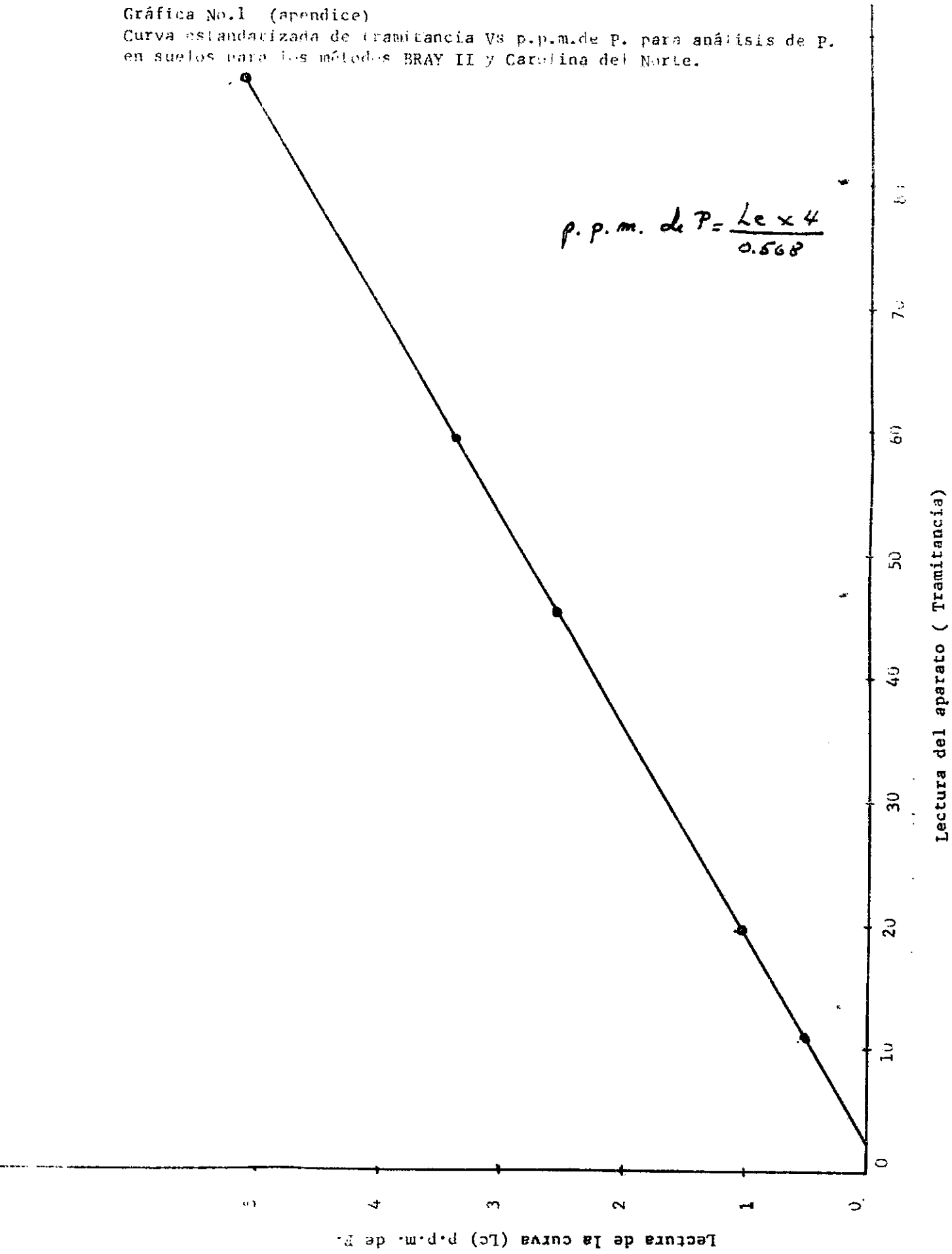
	Tibaitata	Techo	Río Bogotá	Cabrera	Laguna (1)
Arenas (%)	36	36	4.32	32	77
Limos (%)	38	42	38.17	28	15
Arcilla (%)	26	26	57.51	40	8
Textura	F	FAr	Ar	Ar	FAr
pH 1:1	5.9	6.4	4.7	4.9	4.30
Humedad (%)	3.1	1.0	2.0	10.0	-
C.I.C. (meq/100g)	28.9	9.1	22.0	33.9	81.67
Bases Totales "	20.7	6.5	12.7	8.8	5.47
Ca "	13.2	4.0	7.7	5.7	3.66
Mg "	6.6	1.4	3.6	1.8	1.22
K "	0.7	0.7	0.6	1.2	0.22
Na "	0.2	0.4	0.8	0.1	0.37
Saturación Total (%)	71.6	71.4	57.7	26.0	6.70
" de Ca "	45.7	44.0	35.0	16.8	4.48
" de Mg "	22.8	15.4	16.4	5.3	-
" de K "	2.4	7.7	2.7	3.5	-
C-Orgánico "	4.12	1.01	1.77	5.13	25.29
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/Ha	300	129	16	35	15.97

Fuente: Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" 1976. Estudio detallado de los municipios: Cota, Funza, Mosquera y parte de Madrid. Informe mecanografiado sin publicar.

(1) Carrera y Otros, 1968.

Gráfica No.1 (apendice)

Curva estandarizada de transmitancia Vs p.p.m.de P. para análisis de P. en suelos para los métodos BRAY II y Carolina del Norte.



Gráfica No. 2 (Apendice)

Curva estandarizada para extracción de p. En suelos por el método de " OLSEN MODIFICADO "

