

FRACCIONAMIENTO DEL FOSFORO EN SUELOS DEL VALLE  
DEL PATIA - CAUCA - COLOMBIA.

Por

VICTOR HUGO AGREDO HOYOS

"Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis  
de Tesis de grado presentada como requisito del  
autor". parcial para optar al título de

INGENIERO AGRONOMO

Artículo 10. del Acuerdo No. 324 del 11 de Oc-  
tubre de 1.966, expedido del Honorable Consejo  
Directivo de la Universidad de Nariño.

Presidente de Tesis

JORGE B. ORTEGA ENRIQUEZ, I. A.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS  
PASTO - COLOMBIA

1.972

A LA MEMORIA DE MI PADRE  
"Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis  
de grado, son de responsabilidad exclusiva del  
autor".

Artículo 1o. del Acuerdo No. 324 del 11 de Oc-  
tubre de 1.966, emanado del Honorable Consejo  
Directivo de la Universidad de Nariño.

D E D I C O  
VICTOR HUGO AGUIRRE ROYCE

T  
E-631.85  
A277  
Ej. 1

- III -

EL AUTOR EXPRESA SUS AGRADECIMIENTOS A:

A LA MEMORIA DE MI PADRE

A LOS ESFUERZOS DE MI MADRE

A MIS HERMANOS

A NELLY

A MIS AMIGOS

JORGE E. GARCIA RIVERA I.A.

JOSÉ GARCIA J. I.A., M.Sc.

FRANCISCO CORTES DE LA ESPINOSA

FRANCISCO RIVERA RIVERA I.A.

MI MIA, AMIGO DE NIÑOS

Todo el personal del Laboratorio  
de Estudios de la Facultad de Ciencias  
Agrícolas de la Universidad  
de Maricao.

D E D I C O

VICTOR HUGO AGREDO HOYOS

Las personas que en una u otra  
forma hicieron posible la elabo-  
ración del presente trabajo.

EL AUTOR EXPRESA SUS AGRADECIMIENTOS A:

JORGE E. ORTEGA ENRIQUEZ I.A.

JOAQUIN GAMBOA J. I.A., M.Sc.

FRANCISCO CORTES DE LA ESPRIELLA

FRANCO HEBAL BENAVIDES I.A.

RITHA DELGADO DE HURTADO

Todo el personal del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

Las personas que en una u otra forma hicieron posible la elaboración del presente trabajo.



| CONTENIDO |                                                  | Pág. |
|-----------|--------------------------------------------------|------|
| 4.1       | FRACCIONES DE FOSFORO . . . . .                  | 19   |
| 4.2       | ANALISIS ESTADISTICO. . . . .                    | Pág. |
| I.        | INTRODUCCION . . . . .                           | 1    |
| II.       | REVISION DE LITERATURA . . . . .                 | 3    |
| 2.1       | GENERALIDADES DE LA ZONA ESTUDIA-<br>DA. . . . . | 3    |
| 2.1.1     | Situación geográfica . . .                       | 3    |
| 2.1.2     | Ecología y climatología. .                       | 3    |
| 2.1.3     | Geología y suelos. . . . .                       | 4    |
| 2.1.4     | Pluviosidad. . . . .                             | 6    |
| 2.1.5     | Hidrografía. . . . .                             | 6    |
| 2.1.6     | Vías de comunicación . . .                       | 6    |
| 2.2       | FOSFORO . . . . .                                | 7    |
| 2.2.1     | Generalidades. . . . .                           | 7    |
| 2.2.2     | Fracciones de fósforo. . .                       | 8    |
| III.      | MATERIALES Y METODOS . . . . .                   | 13   |
| 3.1       | MUESTREO. . . . .                                | 13   |
| 3.2       | ANALISIS DE LABORATORIO . . . . .                | 13   |
| 3.3       | FRACCIONAMIENTO DEL FOSFORO . . .                | 13   |
| 3.3.1     | Fósforo fácilmente reempla-<br>zable. . . . .    | 15   |
| 3.3.2     | Fósforo unido al Calcio no<br>apatítico. . . . . | 15   |
| 3.3.3     | Fósforo unido al Aluminio. .                     | 15   |
| 3.3.4     | Fósforo unido al Hierro. .                       | 16   |
| 3.3.5     | Fósforo unido al Calcio a-<br>patítico . . . . . | 16   |
| 3.3.6     | Determinación del fósforo<br>orgánico . . . . .  | 17   |
| 3.3.7     | Determinación del fósforo<br>total. . . . .      | 18   |
| 3.3.8     | Fósforo inerte . . . . .                         | 18   |
| 3.3.9     | Fósforo aprovechable . . .                       | 18   |
| IV.       | RESULTADOS Y DISCUSION . . . . .                 | 19   |

|            | TABLAS                                                                                                                              | Pág. |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.1        | FRACCIONES DE FOSFORO . . . . .                                                                                                     | 19   |
| 4.2        | ANALISIS ESTADISTICO. . . . .                                                                                                       | 29   |
| V.         | CONCLUSIONES . . . . .                                                                                                              | 39   |
| VI.        | RESUMEN. . . . .                                                                                                                    | 41   |
|            | SUMMARY. . . . .                                                                                                                    | 43   |
| VII.       | BIBLIOGRAFIA . . . . .                                                                                                              | 45   |
|            | APENDICE . . . . .                                                                                                                  | 54   |
| Tabla I.   | Fracciones de fósforo en los suelos de algunas regiones del país en ppm. . . . .                                                    | 11   |
| Tabla II.  | Fracciones de fósforo en los suelos de algunas regiones del país en ppm. . . . .                                                    | 12   |
| Tabla III. | Fracciones de fósforo en los suelos estudiados en ppm. . . . .                                                                      | 22   |
| Tabla IV.  | Fracciones de fósforo en los submuestras estudiadas en ppm. . . . .                                                                 | 23   |
| Tabla V.   | Concentraciones máximas, promedio y mínimas de las fracciones de fósforo en los suelos y submuestras estudiadas en ppm. . . . .     | 24   |
| Tabla VI.  | Concentraciones máximas, promedio y mínimas del fósforo aporreado (Bray II) en ppm de los suelos y submuestras estudiadas . . . . . | 27   |
| Tabla VII. | Relación C/N orgánico de los suelos y submuestras estudiadas (Bray II) en ppm. . . . .                                              | 28   |

TABLAS

Pág.

|            |                                                                                                                                       |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla I.   | Promedios de las distintas fracciones de fósforo en los suelos de algunas regiones del país en ppm . . . . .                          | 11 |
| Tabla II.  | Promedios de las distintas fracciones de fósforo en los subsuelos de algunas regiones del país en ppm. . . . .                        | 12 |
| Tabla III. | Fracciones de fósforo en los suelos estudiados en ppm . . . . .                                                                       | 22 |
| Tabla IV.  | Fracciones de fósforo en los subsuelos estudiados en ppm . . . . .                                                                    | 23 |
| Tabla V.   | Concentraciones máximas, promedias y mínimas de las fracciones de fósforo en los suelos y subsuelos estudiados en ppm. . . . .        | 24 |
| Tabla VI.  | Concentraciones máximas, promedias y mínimas del fósforo aprovechable (Bray II) en ppm de los suelos y subsuelos estudiados . . . . . | 27 |
| Tabla VII. | Relación C/P orgánico de los suelos y subsuelos estudiados (Resultados en ppm . . . . .                                               | 28 |



APENDICE

|           |                                                                                                   |            |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|           | y el P- <u>a</u> provechable (Bray II) en el suelo . . . . .                                      | Pág.<br>37 |
| Tabla I.  | Ecuaciones de regresión y coeficientes de correlación entre los parámetros estudiados. Suelo. . . | 55         |
| Tabla II. | Porcentaje de arcillas, materia-orgánica y pH de los suelos y sub-suelos estudiados. . . . .      | 56         |

ILUSTRACIONES

|           |                                                                                                 |    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. | Localización del muestreo de suelos en el Valle del Patía, Cauca                                | 14 |
| Figura 2. | Contenido promedio de las fracciones de fósforo en los suelos . .                               | 30 |
| Figura 3. | Contenido promedio de las fracciones de fósforo en los subsuelos.                               | 33 |
| Figura 4. | Comparación del contenido promedio de fósforo total en los suelos y subsuelos . . . . .         | 34 |
| Figura 5. | Comparación del contenido promedio de fósforo orgánico en los suelos y subsuelos . . . . .      | 35 |
| Figura 6. | Relación entre el P-Ca no apatítico y el P- <u>a</u> provechable (Bray II) en el suelo. . . . . | 36 |
| Figura 7. | Relación entre el P-Ca apatítico                                                                |    |

FRACCIONAMIENTO DEL FOSFORO EN SUELOS DEL V. Pág.

y el P-aprovechable (Bray II) en  
el suelo . . . . . 37

Figura 8. Relación entre el porcentaje de-  
arcillas y el P-aprovechable  
(Bray II) en el suelo. . . . . 38



FRACCIONAMIENTO DEL FOSFORO EN SUELOS DEL VALLE  
DEL PATIA - CAUCA - COLOMBIA (\*)  
El presente trabajo cuyo objetivo principal es el de  
conocer el estado de las distintas fracciones del  
fósforo.

Por

VICTOR HUGO AGREDO HOYOS

## I. INTRODUCCION

El buen uso de las tierras requiere normas prácticas y una de estas es conocer la forma en que se encuentran los distintos nutrimentos en el suelo. Por tal motivo, el fraccionamiento de cualquiera de estos elementos es esencial en todo programa de producción agrícola.

Se debe tener en cuenta, que no todas las formas de fosfatos en el suelo son directamente asequibles para las plantas; es decir, que cada una de ellas puede proporcionar fósforo a estas con diferentes grados de intensidad con dependencia de las condiciones del suelo.

---

(\*) Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de Jorge B. Ortega Enríquez, I.A.

Para continuar la investigación detallada de los suelos del Valle del Patía se ha proyectado el presente trabajo cuyo objetivo principal es el de conocer el estado de las distintas fracciones del fósforo.

### 2.1.1 Situación geográfica

El Valle del Patía se encuentra localizado al Sur del Departamento del Cauca, entre las subregiones de la Cordillera Central y Occidental. Sus límites con el Norte son el Municipio del Norte, al Oriente La Vega y La Sierra, al Sur Vergara, al Surroeste Jijón y al Occidente Buenaventura (48).

Las coordenadas geográficas de la zona son:  $4^{\circ} 30' N$  a  $4^{\circ} 45' N$  de latitud norte, y  $77^{\circ} 00' W$  a  $77^{\circ} 30' W$  de longitud oeste de Greenwich (11, 15).

### 2.1.2 Vegetación y Climatología

El Valle del Patía, según el tipo de clasificación de Holdridge (27) se halla dentro de las formaciones vegetales tipo tropical (10-21), y bosque seco tropical (20-25). La temperatura media anual es de  $27^{\circ} C$ . Las lluvias anuales promedio son de 1500 mm, con un promedio mensual de 125 mm. El clima es tropical húmedo (28). El Valle del Patía está a una altura



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 GENERALIDADES DE LA ZONA ESTUDIADA.

#### 2.1.1 Situación geográfica.

El Valle del Patía se encuentra localizado al Sur del Departamento del Cauca, entre las estribaciones de la Cordillera Central y Occidental. Sus límites son: al Norte con el Municipio del Tambo, al Oriente La Vega y La Sierra, al Sur Mercaderes, al Sureste Bolívar y al Occidente Ralboza y Argelia (48).

Las coordenadas geográficas de este Valle son:  $2^{\circ}08'$  a  $1^{\circ}51'$  de latitud norte, y  $77^{\circ}03'$  a  $77^{\circ}00'$  de longitud oeste de Greenwich (11, 15).

#### 2.1.2 Ecología y Climatología.

El Valle del Patía, según el sistema de clasificación de Holdrige (27) se halla dentro de las formaciones bosque muy seco tropical (bms-T), y bosque seco tropical (bs-T). La temperatura media es de  $27^{\circ}\text{C}.$ , con máximos y mínimos promedios que oscilan entre  $30^{\circ}\text{C}.$ , y  $22^{\circ}\text{C}.$ , respectivamente (11). El Valle del Patía está a una altura



aproximada de 500 metros sobre el nivel del mar, con ondulaciones que oscilan entre 100 y 400 metros. En cuanto a vegetación, posee una flora muy variada de mesofita a xerófita. El bosque ha sido totalmente destruido quedando apenas algunos árboles de sombrío; entre los principales tenemos: Cassia grandis L. (Cañafistula), Samanea saman Jacq. (Saman), Brythirina glauca Willd. (Chambul), Anacardium excelsium Ber. et Balb. (Caracolí), Tamarindus indica L. (Tamarindo), Guadua angustifolia Kunth. (Guadua).

Principales malezas: Adipera bacopularis (L) Brill et Rose (Chirrincho), Tradescantia multiflora Swz. (Suelda con suelda), Mimosa spp. (Dogmidera).

Leguminosas: Desmodium spp. (Pegapaga).

Gramíneas: Panicum purpurascens Raddi. (Pará), Hyparrhenia rufa (Ness) Staf (Puntero), Pennisetum purpureum Schumacher (Elefante) (24).

### 2.1.3 Geología y suelos.

Según Hubach, citado por Hennmen (26); los suelos del Valle del Patía tienen influencia de materiales volcánicos, emanados de los volcanes Soto



mayer, Doña Juana y Puracé. Informa además este autor que la Cuenca del Valle del Patía fué investigada por Grosse en 1930 y después por Keizer, describiendo las unidades estratigráficas de Grosse, el Neoterciario consiste en una serie de arcillas duras con mantos de carbón, presentándose también capas de areniscas de color blanco y conglomerados de cuarzo con intercalaciones de arcillas duras de color gris azulado. El Terciario medio está compuesto por una serie de areniscas verdosas-carmelita-rojizo con intercalaciones de arcillas duras esquistosas y conglomerado de lidita. La formación del Galeón de Keizer y Harmen, consiste principalmente de material volcánico correspondiente probablemente al Mioceno alto.

Garcés y Gutiérrez, citados por Afiasco y Córdoba (4) informan que los Valles del Patía, Juanambú, Cuáltara y Mayo están cubiertos de depósitos volcánicos abundantes, arrojados en la época post-terciaria por los volcanes Las Animas, Galeras, Sotomayor y otros cuyo material fué arrastrado hacia las partes bajas por el hielo, depositándose en los lagos que en aquella época debieron existir.

Afiasco y Córdoba (4) establecen que los suelos del Valle del Patía presentan un conteni-



de de materia orgánica favorable, pH ligeramente ácido, texturas francas, condiciones estructurales estas que permiten un fácil laboreo, índice de plasticidad y porosidad bajo y una pequeña retención de agua.

#### 2.1.4 Pluviosidad.

En el Valle del Patía se consideran dos zonas, en cuanto a pluviosidad se refiere, así: la parte norte del Valle que tiene un promedio de 1.750 mm anuales, en base a estudios realizados durante once años de observación y la zona sur del Valle tiene un promedio de 1.293 mm anuales, en base a estudios realizados durante siete años. Las lluvias muestran una distribución muy irregular, presentándose sequías muy intensas (24).

#### 2.1.5 Hidrografía.

González y Gómez (24) informan, que la zona plana del Patía está irrigada por el sistema hidrográfico del Alto Patía integrado por los ríos: Capitanes, Criollo, Mamacondo, Guachiceno, y varias quebradas de menor importancia.

#### 2.1.6 Vías de comunicación.

El Valle del Patía está cruzado



de sur a norte por la arteria troncal occidental. Esta se halla en buenas condiciones al atravesar el tramo del Valle.

De esta carretera principal se desprenden varios ramales secundarios para comunicarse con las poblaciones de Bolívar, Balboa, Olaya, Las Fondas y Segovia (12).

## 2.2 FOSFORO.

Con el objeto de puntualizar en forma más concreta las investigaciones sobre la concentración de las distintas formas de fósforo en los suelos, se ha recurrido para efecto de revisión de literatura, al sistema de Tablas (I y II). Sin embargo, algunos apartes dentro de este capítulo merecen describirse.

### 2.2.1 Generalidades.

Dada la gran cantidad y complejidad de funciones fisiológicas dentro de las plantas, el fósforo es un elemento de suma importancia para el crecimiento de las mismas. Debido a las bajas concentraciones de formas asequibles en los suelos, especialmente por fenómenos de fijación, muchos investigadores concluyen que el fósforo total es un elemen



te doblemente crítico en la producción de cosechas (2, 10, 18, 19, 20, 23, 34, 46). en el suelo, poseen las siguientes comunidades: P-Inerte > P-Orgánico > P-Útil. Se ha encontrado en suelos tropicales una gran variabilidad en el contenido de fósforo. Los datos obtenidos oscilan entre algo más de 3.000 ppm y menos de 150 ppm (5, 18, 19, 20, 37, 45). Esto se debe a la dependencia del fósforo de una gran cantidad de factores, entre otros el material parental, génesis del suelo, etc. (23, 34).

Farps, citado por Ortega (39) en 1.906, fué quien realizó el primer fraccionamiento de fósforo y posteriormente en 1.938 Dean, citado por Blasco (7). Lotero (32) indica que Mudler, en 1.844 sugirió por vez primera la presencia de fósforo inorgánico en los suelos.

**2.2.2 Fracciones de Fósforo.** Se encuentra que en suelos tropicales, el fósforo total disminuye con la profundidad del perfil y con la disminución de la materia orgánica (6, 17, 44).

Blasco y Bohórques (6) hallaron en suelos del Valle del Cauca, que la cantidad de las



distintas formas de fósforo, expresadas como porcentaje del fósforo total contenido en el suelo, presentaron las siguientes secuencias: P-Inerte > P-Orgánico > P-Unido al Hierro > P-Unido al Aluminio > P-Unido al Ca no apatítico > P-Unido al Ca apatítico > P-Fácilmente reemplazable. Los subsuelos siguen la misma secuencia anterior excepto la fracción unida al calcio no apatítico, la cual es mayor que el fósforo unido al aluminio. En suelos de Valledupar, Tafur (44) encontró el mismo resultado.

Entre las formas orgánicas del fósforo se encuentran la fitina, fosfolípidos, ácidos nucleicos, sulfatos metabólicos, fosfatos de inositol. La forma inorgánica la conforman, entre otros, los fosfatos solubles, fosfatos de aluminio, fosfatos de calcio, y fósforo inerte (19, 20). El fósforo orgánico tiene una relación directa con la cantidad de materia orgánica del suelo, con influencia preponderante de la temperatura y la precipitación pluvial (2, 47).

Por otra parte, existe un alto rango de variabilidad en la cantidad de fósforo orgánico del suelo, algunos autores señalan que esta fracción puede oscilar entre el 3% y 90% del fósforo total (6, 16, 20). La descomposición de la mate-



ria orgánica solubiliza los compuestos fosforados que ésta contiene (17).

Debido a la gran facilidad que el fósforo orgánico tiene para pasar a formas asequibles para la planta, los investigadores han unificado su criterio al decir que ésta fracción puede considerarse como la reserva principal de tan importante elemento en suelos del trópico (5, 13, 16, 17, 20).

Los fosfatos de hierro y de aluminio se presentan en mayor concentración que los fosfatos de calcio en suelos de fuerte meteorización (1, 6, 29, 37).

El fósforo es fijado en forma más rápida por el aluminio que por el hierro; no obstante, se debe tener en cuenta que las últimas investigaciones demuestran que el fosfato de aluminio en estado coloidal puede pasar a la solución del suelo, en cuya forma es fácilmente asequible para las plantas (1, 8, 40).

Existe una mayor cantidad de fósforo aprovechable en suelos de textura franca o arenosa, disminuyendo en los arcillosos ácidos (31, 38).



TABLA I.

PROMEDIOS DE LAS DISTINTAS FRACCIONES DE FOSFORO EN LOS SUELOS  
DE ALGUNAS REGIONES DEL PAIS EN ppm.

| REGION                   | COBERTURA         | FRACCIONES DE FOSFORO |                  |               |                 |                |                |               | REP.                |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|------------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|---------------|---------------------|
|                          |                   | P-Total               | P-Inerte         | P-al<br>Fe    | P-al<br>Al      | P-Org.         | P-Ca<br>no Ap. | P-Ca<br>Ap.   | P-Facilm.<br>Reemo. |
| Llanura del Pacifico     | Varios            | 577,68                | 261,27           | 49,77         | 106,50          | 109,59         | 12,94          | 27,47         | 8,09 (3)            |
| Jamundí (V)              | Varios            | 532,31                | 226,18           | 118,71        | 325,54          | 57,84          | 172,81         | 26,26         | 9,75 (13)           |
| Sabana de Miquorres      | Pradera           | 777,35                | 395,96           | 64,90         | 188,00          | 53,93          | 17,61          | 39,11         | 17,80 (21)          |
| Altiplano de Ipiales     | Varios            | 835,85                | 208,46           | 179,03        | 189,87          | 99,71          | 45,70          | 100,81        | 12,28 (25)          |
| Intendencia del Putumayo | Pradera<br>Bosque | 439,60<br>314,89      | 188,97<br>138,26 | 37,74<br>8,03 | 57,97<br>130,17 | 42,73<br>29,08 | 10,90<br>5,18  | 42,45<br>0,70 | 0,69<br>3,45 (33)   |
| Sinú (Córd.)             | Varios            | 1.175,00              | 49,10            | 218,80        | 69,80           | 720,00         | 32,50          | 65,30         | 8,20 (44)           |



TAHA II.

PRONEDIOS DE LAS DISTINTAS FRACCIONES DE FOSFORO EN LOS SUBSUELOS  
DE ALGUNAS REGIONES DEL PAIS EN ppm.

| REGION                   | COBERTURA | FRACCIONES DE FOSFORO |          |            |            |        |                |                         | REF.      |
|--------------------------|-----------|-----------------------|----------|------------|------------|--------|----------------|-------------------------|-----------|
|                          |           | P-Total               | P-Inerte | P-al<br>Fe | P-al<br>Al | P-Org. | P-Ca<br>no av. | P-Ca<br>apat.<br>Reemp. |           |
| Llanura del Pacifico     | Varios    | 276,15                | 113,83   | 3,59       | 84,05      | 44,28  | 5,25           | 16,37                   | 8,81 (3)  |
| Jamundí (V)              | Varios    | 298,95                | 144,97   | 53,95      | 25,95      | 35,23  | 8,92           | 21,09                   | 8,84 (13) |
| Sabana de Tiqueros       | Pradera   | 486,84                | 242,89   | 32,69      | 115,42     | 26,16  | 18,67          | 43,05                   | 4,94 (21) |
| Altiplano de Ipiales     | Varios    | 448,94                | 88,86    | 89,89      | 153,01     | 83,30  | 14,47          | 63,63                   | 5,77 (25) |
| Intendencia del Putumayo | Pradera   | 332,14                | 209,77   | 32,36      | 56,63      | 30,23  | 1,24           | 0,67                    | 0,67 (33) |
|                          | Bosque    | 314,89                | 138,26   | 8,03       | 130,17     | 29,08  | 5,18           | 0,70                    | 3,45      |
| Sinú (Córdoba)           | Varios    | 769,30                | 51,70    | 165,90     | 52,80      | 403,60 | 24,40          | 50,80                   | 3,80 (44) |



### III. MATERIALES Y METODOS

- 14 -

#### 3.1 MUESTREO.

Se utilizaron 32 muestras representativas del Valle del Patía; 16 correspondientes al suelo y 16 al subsuelo. (Fig. 1).

Cada muestra se obtuvo de la mezcla homogénea de las diferentes submuestras en número de 12 por cada muestra representativa. Se llevaron al laboratorio en bolsas de polietileno, se secaron al aire, se molieron, cuartearon, se pasaron a través de un tamiz de 20 mallas y se guardaron en frascos de vidrio.

#### 3.2 ANALISIS DE LABORATORIO.

Los análisis químicos se efectuaron en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

#### 3.3 FRACCIONAMIENTO DEL FOSFORO.

Se realizó por el método sugerido por Chang y Jackson (14), con las modificaciones propuestas por Sen Gupta y Cornfield (42, 43), para distin-

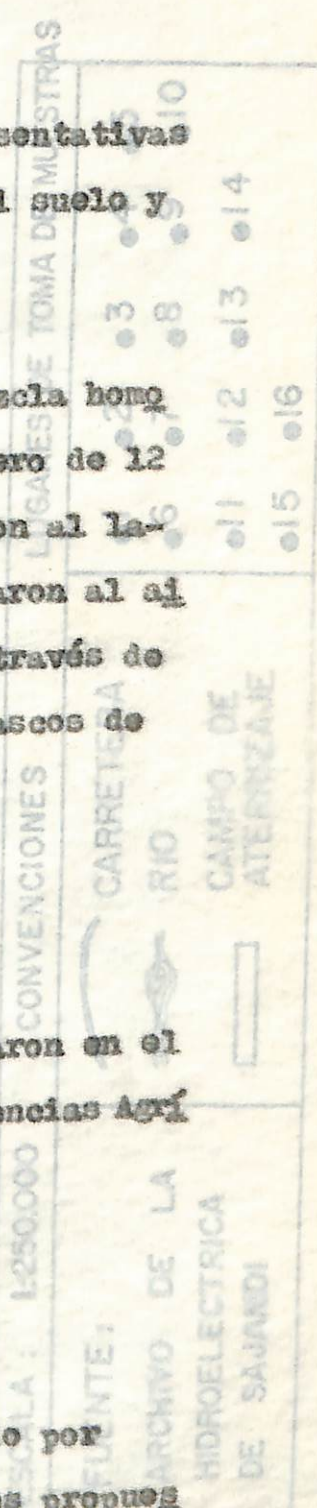
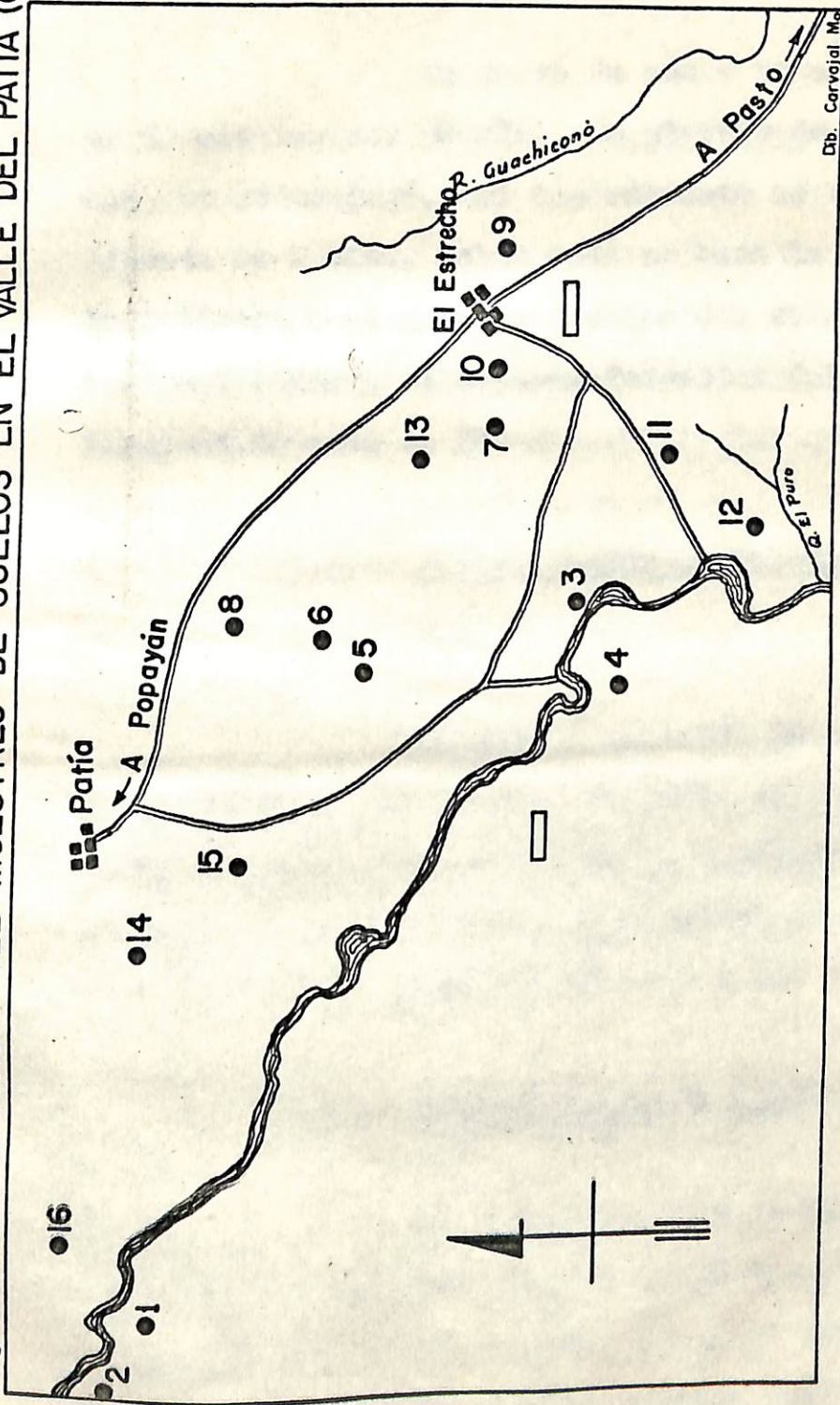
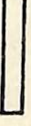




Fig.1 LOCALIZACION DEL MUESTREO DE SUELOS EN EL VALLE DEL PATIA (C.)



| ESCALA : 1:250.000                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | CONVENCIONES                                                                           | LUGARES DE TOMA DE MUESTRAS                                                            |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| FUENTE:<br>ARCHIVO DE LA<br>HIDROELECTRICA<br>DE SAJANDI | <br>CARRETERA<br><br>RIO<br><br>CAMPO DE<br>ATERRIZAJE |  1  |  2  |  3  |  4  |  5  |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  6  |  7  |  8  |  9  |  10 |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  11 |  12 |  13 |  14 |  15 |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  16 |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |

Dib. Carvajal Mo



guir las fracciones unidas al calcio. 3.3.1 Fósforo fácilmente reemplazable.

Un gramo de suelo se agitó durante 30 minutos con 50 ml., de cloruro de amonio normal, se centrifugó, del supernadante se tomó una alícuota de 2 ml., sobre esta se hizo la lectura colorimétrica empleando la técnica del color azul o cloromolibdica y el espectrofotómetro Coleman a una longitud de onda de 660 m.

3.3.2 Fósforo unido al Calcio no Apatítico.

Se obtuvo mediante la agitación del suelo residual con 50 ml. de ácido acético 0,5N durante una hora. Para la lectura se siguió el mismo proceso anterior mediante la técnica del color azul y lectura en el espectrofotómetro a 660 m.

3.3.3 Fósforo unido al Aluminio.

El suelo residual se lavó con agua destilada, se centrifugó y se agitó durante una hora con fluoruro de amonio 0.5N y pH 7. Se adicionaron 2 ml., de ácido bórico 0.8 molar para evitar las in-



terferencias del flúor en el complejo fosfomolibdíco, la lectura se efectuó en igual forma a las anteriores, mediante la técnica del color azul y el espectrofotómetro a 660 m .

#### 3.3.4 Fósforo unido al Hierro.

Con una solución saturada de cloruro de sodio se lavó el suelo de la extracción anterior, se sometió a agitación durante 15 minutos, se centrifugó, y se desechó el líquido sobrenadante. Al suelo residual se añadieron 50 mls. de hidróxido de sodio 0.1N y se agitó durante 17 horas, se centrifugó, a continuación el líquido sobrenadante se trasvasó a beakers de 50 mls., y se añadieron gotas de ácido sulfúrico concentrado para remover la materia orgánica presente en el extracto alcalino. La lectura se efectuó mediante la técnica del color azul y el espectrofotómetro Coleman a una longitud de onda de 660 m .

#### 3.3.5 Fósforo unido al Calcio Apatítico.

Al suelo residual de la extracción anterior se lo trató con 50 mls. de ácido sulfúrico 0.5N, se agitó durante una hora, luego se centrifugó tomando a continuación la alícuota correspondien



te y se leyó en el colorímetro de igual manera que las fracciones anteriores.

### 3.3.6 Determinación del Fósforo Orgánico.

Se efectuó mediante el método de ignición de Saunders y Williams (41). Se tomó un gramo de suelo y se agitó con 50 mls. de ácido acético normal durante 5 minutos, se centrifugó y el líquido sobrenadante se descartó. El suelo residual se trató con 50 mls. de ácido sulfúrico 0.2N, se agitó durante 30 minutos, se filtró utilizando papel filtro cinta azul (3AS), luego se lavó con agua destilada con el objeto de remover todo el fósforo inorgánico y los carbonatos libres presentes en el suelo.

El suelo lavado libre de ácido se secó en la estufa y se transfirió a un crisol de sílice sometiéndose a ignición por dos horas a 550°C. Se enfrió, se agitó con 10 mls. de ácido sulfúrico 0.2N durante 30 minutos, se filtró, y del filtrado se tomó una alícuota de 2 mls., se hizo la lectura correspondiente empleando la técnica del color azul y el espectrofotómetro Coleman a una longitud de onda de 660 m.



### 3.3.7 Determinación del Fósforo Total.

Se utilizó el método de fusión con carbonato de sodio anhidro descrito por Jackson (30), se tomó un gramo de suelo bien mullido, se adicionaron 5 gramos de carbonato de sodio anhidro se fundió en un crisol de platino, se dejó enfriar, se añadieron 20 mls. de ácido clorhídrico 6N, se filtró y se llevó a un volumen final de 100 mls., en balón aforado, se tomó una alícuota de 2 mls., se hizo la lectura en el colorímetro como en los casos anteriores.

### 3.3.8 Fósforo Inerte.

Se obtuvo mediante cálculo, restando del fósforo total la suma de las fracciones inorgánicas más el fósforo orgánico.

### 3.3.9 Fósforo Aprovechable.

Se determinó utilizando el método de Bray y Kurtz (II), (9). Se agitaron 3,85 gr. de suelo seco al aire con 20 mls. de una solución de  $\text{HCl}$  0.1N y  $\text{NH}_4\text{F}$  0.03N, por un minuto; se filtró a través de papel cinta azul y en el extracto se determinó el fósforo por medio del azul cloromolibdico utilizando un espectrofotómetro Coleman a una longitud de onda de 660 m .

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

##### 4.1 FRACCIONES DE FOSFORO.

En este capítulo se discuten las relaciones entre las formas de fósforo en el suelo con algunas características físico-químicas. La concentración de las formas del fósforo así como sus porcentajes, máximas, promedias y mínimas de las distintas fracciones con relación al fósforo total, se presentan en las Tablas III, IV, V, VI, y las Figuras 2 y 3.

Los resultados indican que el promedio del fósforo total (1.108,50 y 984,17 ppm) en el suelo y subsuelo, respectivamente está dentro del rango encontrado por la mayoría de investigadores en suelos tropicales (1, 6, 8, 16, 18, 25, 33, 40, 44). Al comparar estas concentraciones con las encontradas en suelos derivados de cenizas volcánicas, (Tablas I y II), se puede apreciar que los suelos del Valle del Patía son mayores (Tabla III). Los contenidos totales disminuyen al aumentar la profundidad, concordando así con lo reportado en otras investigaciones. (3, 5, 13, 21, 25, 33, 44). Por ejemplo Tafur (44), en suelos del Valle del Sinú (Córdoba) obtuvo datos similares (1.175 y 789 ppm), en el suelo y subsuelo respectivamente. La explicación puede estar en el hecho de que



estos suelos que tienen influencia volcánica y aluvial, tanto la presencia de compuestos inorgánicos amorfos como la depositación de sedimentos, facilitan el aumento de esta fracción.

Valle del Cauca.

Con respecto al promedio de fósforo orgánico, si se compara con otros trabajos (3, 6, 13, 21, 33), éste se presenta en concentración muy baja, 19,51 ppm en el suelo y 14,22 ppm en el subsuelo, que representan el 1,76 y 1,52% respectivamente del fósforo total. Por otra parte, el fósforo orgánico considerado por algunos autores, como la reserva de los suelos tropicales, al ser bajo, indica que el potencial de mineralización es muy reducido pues de acuerdo a la relación C/P-Orgánico obtenida, (Tabla VII) se presenta una fuerte inmovilización del fósforo en estos suelos. Sin embargo Blasco (8) sostiene que la mineralización o inmovilización, se presenta independientemente de la mencionada relación.

Las concentraciones promedias del fósforo fácilmente reemplazable para el suelo, como para el subsuelo (4,06 y 1,86 ppm) respectivamente, demuestran que estos suelos presentan un porcentaje relativamente bajo (0,37 y 0,19%) del fósforo total, (Tablas III y IV). Estos resultados son similares a los obtenidos por Pantoja en suelos de clima medio



de Nariffo (40), Angulo et al (3), en suelos de la  
Llanura del Pacífico, Matta y Palacios (33), en sue-  
los del Putumayo y un poco menores que los obteni-  
dos por Chamorro et al (13), en suelos de Jamundí,  
Valle del Cauca.

El fósforo aprovechable determinado por  
el método de Bray II ( $\text{HCl } 0.1\text{N} + \text{NH}_4\text{F } 0.03\text{N}$ ), pre-  
sentó un promedio de 2,48 y 2,50 ppm en el suelo y  
subsuelo, respectivamente (Tabla VI). Lo anterior  
explica que hay necesidad de recomendar niveles de  
fertilización fosfatada altos de lenta solubilidad,  
que contrarresten esta acentuada deficiencia.

La baja concentración de fósforo fácil-  
mente asequible detectada, tal como lo anotan muchos  
investigadores, se debe a la presencia del hierro y  
aluminio que precipitan la forma aprovechable del  
fósforo hacia formas inasequibles (6, 16, 18, 20, 28).

Los porcentajes de fósforo unido al Ca  
no apatítico 1,38% para el suelo y 1,66% para el sub-  
suelo; y el calcio apatítico 0.70 y 0.73% para el sue-  
lo y subsuelo respectivamente (Tablas III y IV) son  
en general bajos, siendo mayores los fosfatos de cal-  
cio no apatítico sobre los apatíticos. Esta misma se-  
cuencia presentaron los suelos del Municipio de Ja-



TAHA III

FRACCIONES DE FOSFORO EN LOS SUELOS ESTUDIADOS EN ppm.

| NUESTRA   | Pácil<br>mente<br>reemp. | Unido al<br>Al | Unido al<br>Fe | Unido al<br>Ca<br>Apatítico | Orgánico | Unido al<br>Ca<br>No Apat. | Inerte   | TOTAL    |
|-----------|--------------------------|----------------|----------------|-----------------------------|----------|----------------------------|----------|----------|
| 1.        | 3.25                     | 85.04          | 364.11         | 26.01                       | 15.73    | 18.21                      | 665.80   | 1.178.15 |
| 2.        | 5.87                     | 44.47          | 276.71         | 9.83                        | 48.49    | 7.25                       | 1.043.24 | 1.438.88 |
| 3.        | 2.60                     | 90.56          | 199.96         | 0.52                        | 36.43    | 5.86                       | 1.725.07 | 2.061.02 |
| 4.        | 4.47                     | 111.28         | 306.29         | 9.36                        | 15.61    | 24.06                      | 486.16   | 957.24   |
| 5.        | 7.80                     | 92.54          | 300.40         | 0.52                        | 10.66    | 8.58                       | 755.08   | 1.175.58 |
| 6.        | 2.38                     | 195.38         | 302.46         | 25.15                       | 19.19    | 0.26                       | 625.31   | 1.170.15 |
| 7.        | 0.65                     | 117.16         | 296.11         | 0.52                        | 28.19    | 0.52                       | 260.29   | 703.43   |
| 8.        | 0.66                     | 45.74          | 398.23         | 3.94                        | 18.40    | 0.53                       | 544.51   | 1.011.99 |
| 9.        | 0.64                     | 37.14          | 396.52         | 0.52                        | 2.45     | 33.53                      | 230.69   | 701.49   |
| 10.       | 0.64                     | 48.17          | 303.66         | 0.51                        | 7.65     | 0.25                       | 329.79   | 690.67   |
| 11.       | 2.37                     | 51.63          | 391.20         | 0.51                        | 6.79     | 0.26                       | 202.88   | 655.63   |
| 12.       | 0.64                     | 50.71          | 283.00         | 0.51                        | 5.63     | 0.26                       | 455.75   | 796.50   |
| 13.       | 6.63                     | 113.41         | 289.61         | 21.87                       | 24.79    | 19.22                      | 312.73   | 763.47   |
| 14.       | 12.44                    | 41.72          | 433.93         | 0.53                        | 21.20    | 0.26                       | 575.07   | 1.085.15 |
| 15.       | 2.63                     | 127.82         | 372.16         | 23.01                       | 27.88    | 119.67                     | 1.188.93 | 1.862.11 |
| 16.       | 11.27                    | 95.44          | 400.32         | 0.53                        | 23.06    | 6.63                       | 947.38   | 1.484.64 |
| Promedio  | 4.06                     | 84.45          | 332.17         | 7.74                        | 19.51    | 15.53                      | 633.38   | 1.097.08 |
| % P-Total | 0.37                     | 7.62           | 29.97          | 0.70                        | 1.76     | 1.38                       | 57.18    | 100.00   |



TAULA IV

FRACCIONES DE FOSFORO EN LOS SUBSUELOS ESTUDIADOS EN ppm.

| MUESTRA   | Facil-<br>mente<br>reemp. | Unido al<br>Al | Unido al<br>Fe | Unido al<br>Ca<br>Apatítico | Orgánico | Unido al<br>Ca<br>No Apat. | Inerte   | TOTAL    |
|-----------|---------------------------|----------------|----------------|-----------------------------|----------|----------------------------|----------|----------|
| 1.        | 0.64                      | 64.68          | 123.42         | 17.96                       | 10.65    | 16.17                      | 464.96   | 718.48   |
| 2.        | 2.60                      | 44.78          | 177.20         | 0.52                        | 22.97    | 5.22                       | 821.93   | 1.075.23 |
| 3.        | 1.96                      | 102.41         | 222.49         | 0.52                        | 30.01    | 7.83                       | 1.080.62 | 1.445.84 |
| 4.        | 2.34                      | 115.82         | 111.22         | 31.32                       | 30.43    | 22.37                      | 752.69   | 1.066.19 |
| 5.        | 2.59                      | 78.95          | 361.90         | 0.52                        | 5.43     | 0.76                       | 573.51   | 1.023.66 |
| 6.        | 1.32                      | 418.45         | 296.21         | 11.90                       | 13.54    | 39.67                      | 329.69   | 1.110.78 |
| 7.        | 0.65                      | 69.67          | 285.79         | 0.62                        | 14.68    | 15.48                      | 451.77   | 838.66   |
| 8.        | 0.66                      | 50.05          | 229.06         | 0.53                        | 15.62    | 0.27                       | 511.48   | 807.68   |
| 9.        | 0.66                      | 41.03          | 309.70         | 0.53                        | 3.68     | 5.57                       | 455.80   | 817.98   |
| 10.       | 0.65                      | 37.50          | 298.19         | 0.52                        | 3.90     | 0.26                       | 330.87   | 671.90   |
| 11.       | 0.64                      | 53.66          | 381.43         | 0.53                        | 5.95     | 0.26                       | 378.27   | 820.74   |
| 12.       | 0.65                      | 37.39          | 307.79         | 0.52                        | 2.47     | 0.26                       | 438.35   | 787.36   |
| 13.       | 4.74                      | 134.67         | 311.73         | 20.33                       | 14.37    | 16.79                      | 269.92   | 772.54   |
| 14.       | 2.37                      | 33.94          | 60.23          | 0.52                        | 18.46    | 0.26                       | 678.18   | 793.97   |
| 15.       | 1.33                      | 136.13         | 371.51         | 27.20                       | 23.88    | 121.02                     | 1.067.68 | 1.746.76 |
| 16.       | 5.92                      | 98.65          | 389.99         | 0.53                        | 22.62    | 9.34                       | 719.88   | 1.246.94 |
| Promedio  | 1.86                      | 96.11          | 264.86         | 7.16                        | 14.92    | 16.34                      | 582.85   | 984.17   |
| % P-Total | 0.19                      | 8.77           | 26.91          | 0.73                        | 1.52     | 1.66                       | 59.22    | 100.00   |



TAULA V

CONCENTRACIONES MAXIMAS, PROMEDIAS Y MINIMAS DE LAS FRACCIONES DE FOSFORO  
EN LOS SUELOS Y SUBSUELOS ESTUDIADOS EN ppm.

| FRACCIONES            | S U E L O |          |        | S U B S U E L O |          |        |
|-----------------------|-----------|----------|--------|-----------------|----------|--------|
|                       | Máximo    | Promedio | Mínimo | Máximo          | Promedio | Mínimo |
| P-Inerte              | 1.725.09  | 633.82   | 202.88 | 1.080.62        | 582.85   | 269.92 |
| P-Unido al Fe         | 433.93    | 332.17   | 199.96 | 389.99          | 264.86   | 60.23  |
| P-Unido al Al         | 195.38    | 84.45    | 37.14  | 418.45          | 96.11    | 33.94  |
| P-Orgánico            | 48.49     | 19.51    | 2.47   | 30.43           | 14.92    | 2.47   |
| P-Ca. No Apatítico    | 119.67    | 15.33    | 0.25   | 121.02          | 16.34    | 0.26   |
| P-Ca. Apatítico       | 26.01     | 7.74     | 0.51   | 31.32           | 7.16     | 0.52   |
| P- Fácilmente Recomp. | 12.44     | 4.06     | 0.64   | 5.92            | 1.86     | 0.64   |
| P-Total               | 2.061.02  | 1.108.50 | 655.63 | 1.748.76        | 984.17   | 671.90 |

mundí (Valle), estudiados por Chamorro et al (13). Sin embargo, otros investigadores en suelos del Departamento de Nariño, tanto de clima medio como de clima frío, han encontrado mayor predominio por parte de los fosfatos de calcio apatítico sobre los no apatíticos, (Tablas I y II).

Al ser bajos los porcentajes de estas dos fracciones se concuerda con el criterio de muchos investigadores en el sentido de que en zonas tropicales a medida que la meteorización de los suelos es más intensa el calcio se pierde por los procesos de lixiviación (22, 37, 40).

Los fosfatos de aluminio muestran concentraciones de 84,45 y 96,11 ppm (7,62, 9,77%) del fósforo total para el suelo y subsuelo respectivamente. Los de hierro 332,17 y 264,86 ppm equivalentes al 29,97 y 26,91% del fósforo total para el suelo y subsuelo, (Tablas III y IV).

Varios investigadores (3, 21, 25, 33) han encontrado que los fosfatos de aluminio predominan sobre los de hierro. En el presente estudio las fracciones de fósforo unido al hierro son mayores sobre los fosfatos de aluminio para los suelos como para los subsuelos estudiados. Si se comparan estos re-



sultados con los obtenidos por González (25), en su los volcánicos del Altiplano de Ipiales se aprecia menor concentración de los fosfatos de aluminio, lo cual indica que los procesos de edafización en la zona del Patía han sido mucho más drásticos. Por otra parte, resultados similares a los de la presente investigación se encontraron en suelos de Jamundí (13) y en suelos del Valle del Sinú (44).

La baja concentración de fosfatos de aluminio podría ser debida al bajo contenido de aluminio de cambio que presentan estos suelos que como lo comprobó Astaiza (5) el promedio en el suelo puede ser de 13,84 ppm, siendo su máximo de 28,78 ppm y su mínimo 6,23 ppm.

El hecho de que los fosfatos de hierro y aluminio sean superiores a los fosfatos de calcio, corrobora aún más el criterio expuesto anteriormente, en el sentido de haber sufrido estos suelos una fuerte meteorización química.

Por otra parte, las mayores concentraciones de fosfatos de aluminio en los subsuelos que en los suelos, nos está indicando que estos son mucho más móviles que los fosfatos de hierro cuyas concentraciones son mayores en los suelos.

TABLA VI

CONCENTRACIONES MAXIMAS, PROMEDIAS Y MINIMAS DEL FOSFORO  
APROVECHABLE (BRAY II) EN ppm  
DE LOS SUELOS Y SUBSUELOS ESTUDIADOS.

| MUESTRAS | SUELO | SUBSUELO |
|----------|-------|----------|
| 1.       | 2.48  | 1.89     |
| 2.       | 1.66  | 1.19     |
| 3.       | 0.27  | 0.18     |
| 4.       | 1.27  | 1.34     |
| 5.       | 0.64  | 0.07     |
| 6.       | 0.07  | 2.69     |
| 7.       | 1.18  | 1.72     |
| 8.       | 1.72  | 2.41     |
| 9.       | 1.71  | 0.99     |
| 10.      | 3.21  | 5.48     |
| 11.      | 0.07  | 3.05     |
| 12.      | 1.44  | 0.08     |
| 13.      | 7.90  | 6.37     |
| 14.      | 4.99  | 3.86     |
| 15.      | 8.27  | 8.06     |
| 16.      | 2.70  | 0.65     |
|          |       | 8.06     |
|          | 8.27  | 2.50     |
| MAXIMO   | 2.48  | 0.07     |
| PROMEDIO | 0.07  |          |
| MINIMO   |       |          |



TABLA VII  
RELACION C/P ORGANICO DE LOS SUELOS Y SUBSUELOS  
ESTUDIADOS (Resultados en ppm).

| MUESTRA  | SUELO    | SUBSUELO |
|----------|----------|----------|
| 1.       | 2.247,85 | 1.079,81 |
| 2.       | 703,24   | 500,65   |
| 3.       | 936,04   | 383,21   |
| 4.       | 2.184,50 | 377,92   |
| 5.       | 2.148,52 | 1.860,04 |
| 6.       | 1.193,33 | 745,94   |
| 7.       | 812,34   | 688,01   |
| 8.       | 1.244,56 | 646,61   |
| 9.       | 8.499,79 | 2.934,78 |
| 10.      | 2.718,95 | 2.769,23 |
| 11.      | 3.063,33 | 1.815,13 |
| 12.      | 3.694,49 | 4.312,47 |
| 13.      | 1.645,82 | 737,65   |
| 14.      | 1.924,53 | 574,21   |
| 15.      | 1.463,41 | 443,89   |
| 16.      | 1.769,30 | 468,61   |
| MAXIMO   | 8.499,79 | 4.372,47 |
| PROMEDIO | 2.266,24 | 1.271,13 |
| MINIMO   | 703,24   | 377,92   |

Por otra parte, los fosfatos inertes que se hallan en el interior de los minerales del suelo, como formas estables e inactivas, no participan de la dinámica del fósforo en el suelo y representan un 57,18 y 59,22% respectivamente para el suelo y subsuelo del fósforo total. Estos resultados son similares a los encontrados para suelos de clima medio de Nariño (40), Llanura del Pacífico (3) y suelos del Putumayo (33); y mayores a los reportados por Gamboa (22), en suelos derivados de cenizas volcánicas en Costa Rica y a los detectados por González (25), en el Altiplano de Ipiales.

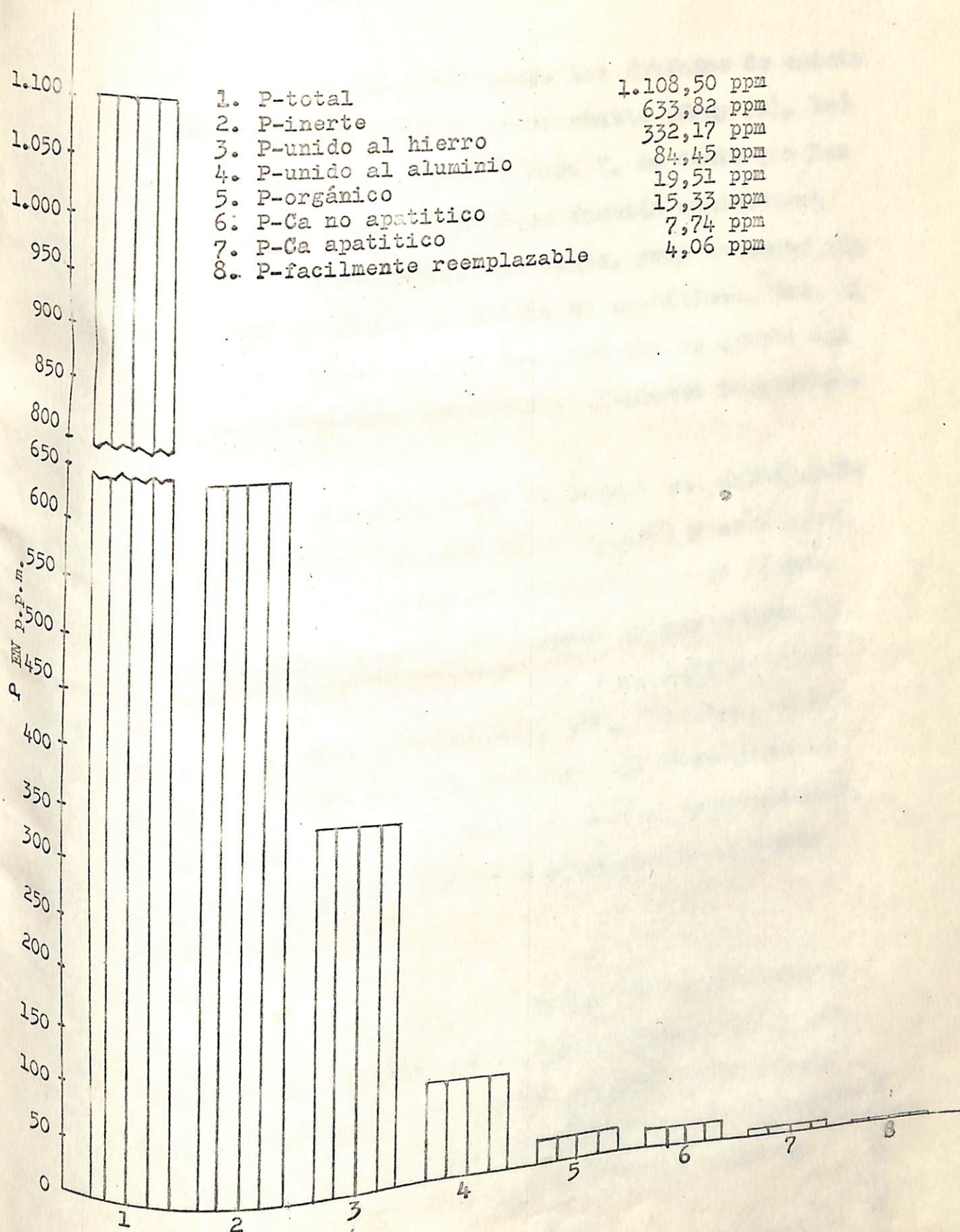
Al tener en cuenta las fracciones de fósforo en el presente estudio, se aprecia que el fósforo inerte representa el mayor porcentaje del fósforo total, duplicando aún, los fosfatos de hierro y aluminio, (Tablas III y IV).

#### 4.2 ANALISIS ESTADISTICO.

Se encontró una correlación altamente significativa entre el fósforo aprovechable (Bray II) Fig. 6. Lo anterior, indica que los fosfatos de calcio no apatíticos suministran fósforo aprovechable fácilmente por las plantas. Puesto que esta fracción está integrada por fosfatos mono y dicálcicos



FIGURA 2. CONTENIDO PROMEDIO DE LAS FRACCIONES DE FOSFORO EN  
LOS SUELOS.



de fácil solubilidad.

La relación entre los fosfatos de calcio apatíticos y el fósforo aprovechable (Bray II), fué significativa ( $r = 0,486^+$ ) Fig. 7, es decir que los fosfatos de calcio apatíticos también suministran fósforo al aprovechable del suelo, pero en menor grado que los fosfatos de calcio no apatíticos. Esta situación es lógica ya que los fosfatos de calcio apatíticos son formas tricálcicas altamente insolubles.

Por otra parte se obtuvo una correlación significativa y negativa ( $r = -0,519^+$ ) y como se observa entre el porcentaje de arcillas y el fósforo aprovechable a medida que aumenta el porcentaje de arcillas especialmente del tipo sesquióxidos disminuye el fósforo aprovechable, (Fig. 8). Esto se explica en el sentido que al haber más abundancia de arcillas estas van a tomar las formas aprovechables, produciendo así el discutido fenómeno de fijación del fósforo.

Al realizar la prueba "t" para comparar promedios de concentraciones entre los suelos y sub-suelos estudiados, únicamente se obtuvo diferencia altamente significativa respecto al fósforo total, (Fig. 4) y significativa con el fósforo unido al



PROMEDIO DE LAS FRACCIONES DE FOSFORO EN LOS  
 hierro. Lo anterior indica que estas dos formas pre  
 dominan en los suelos.

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 1. P-total                    | 984,17 ppm |
| 2. P-inerte                   | 382,85 ppm |
| 3. P-unido al hierro          | 264,86 ppm |
| 4. P-unido al aluminio        | 91,11 ppm  |
| 5. P-unido al Ca no apatítico | 16,34 ppm  |
| 6. P-orgánico                 | 24,92 ppm  |
| 7. P-unido al Ca apatítico    | 7,16 ppm   |
| 8. P-fácilmente reemplazable  | 1,86 ppm   |



FIGURA 3. CONTENIDO PROMEDIO DE LAS FRACCIONES DE FOSFORO EN LOS  
SUBSUELOS.

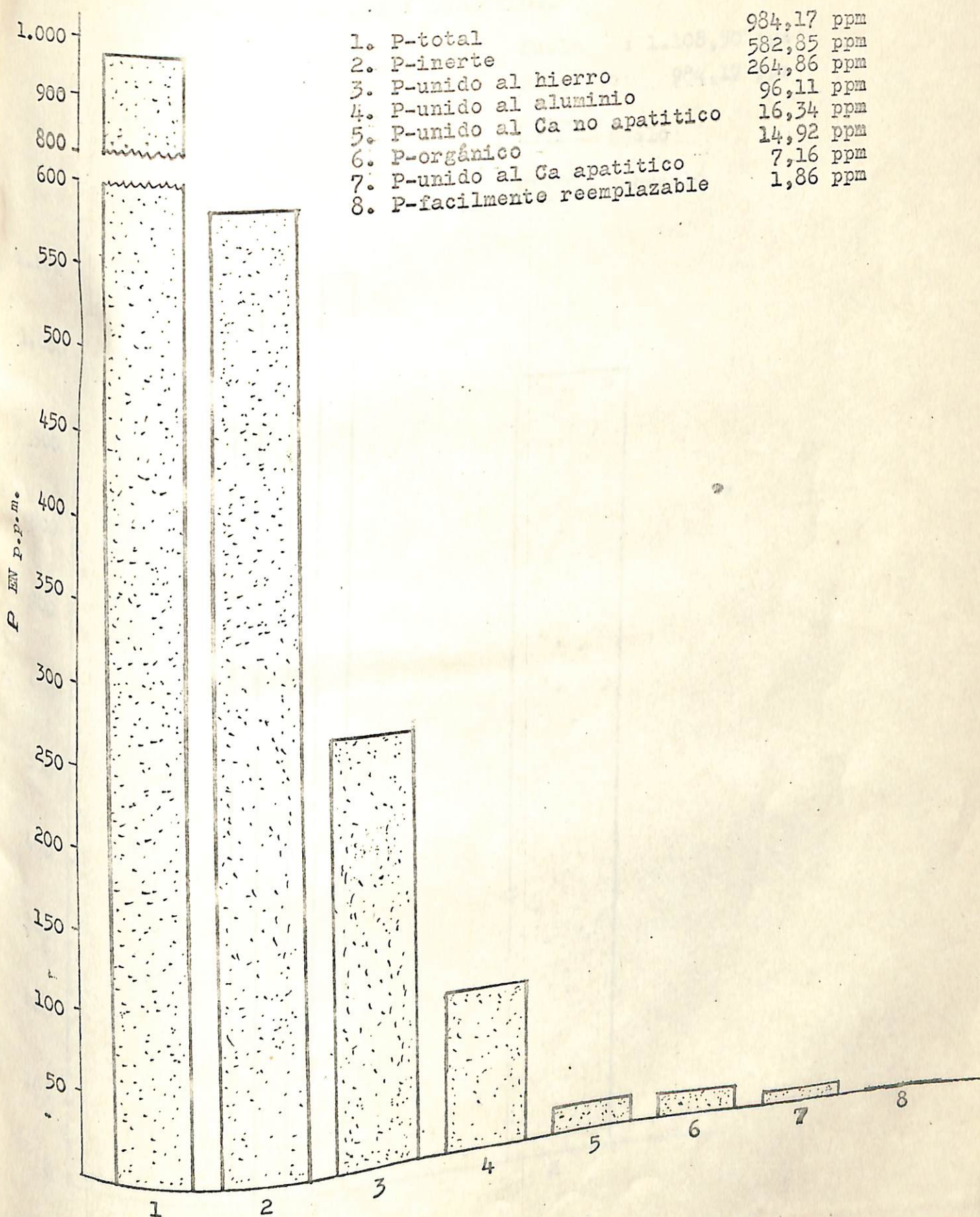




FIGURA 4. COMPARACION DEL CONTENIDO PROMEDIO DE FOSFORO TOTAL  
EN LOS SUELOS Y SUBSUELOS.

Suelo : 1.108,50 ppm  
Subsuelo: 984,17 ppm

1.  Suelo  
2.  Subsuelo

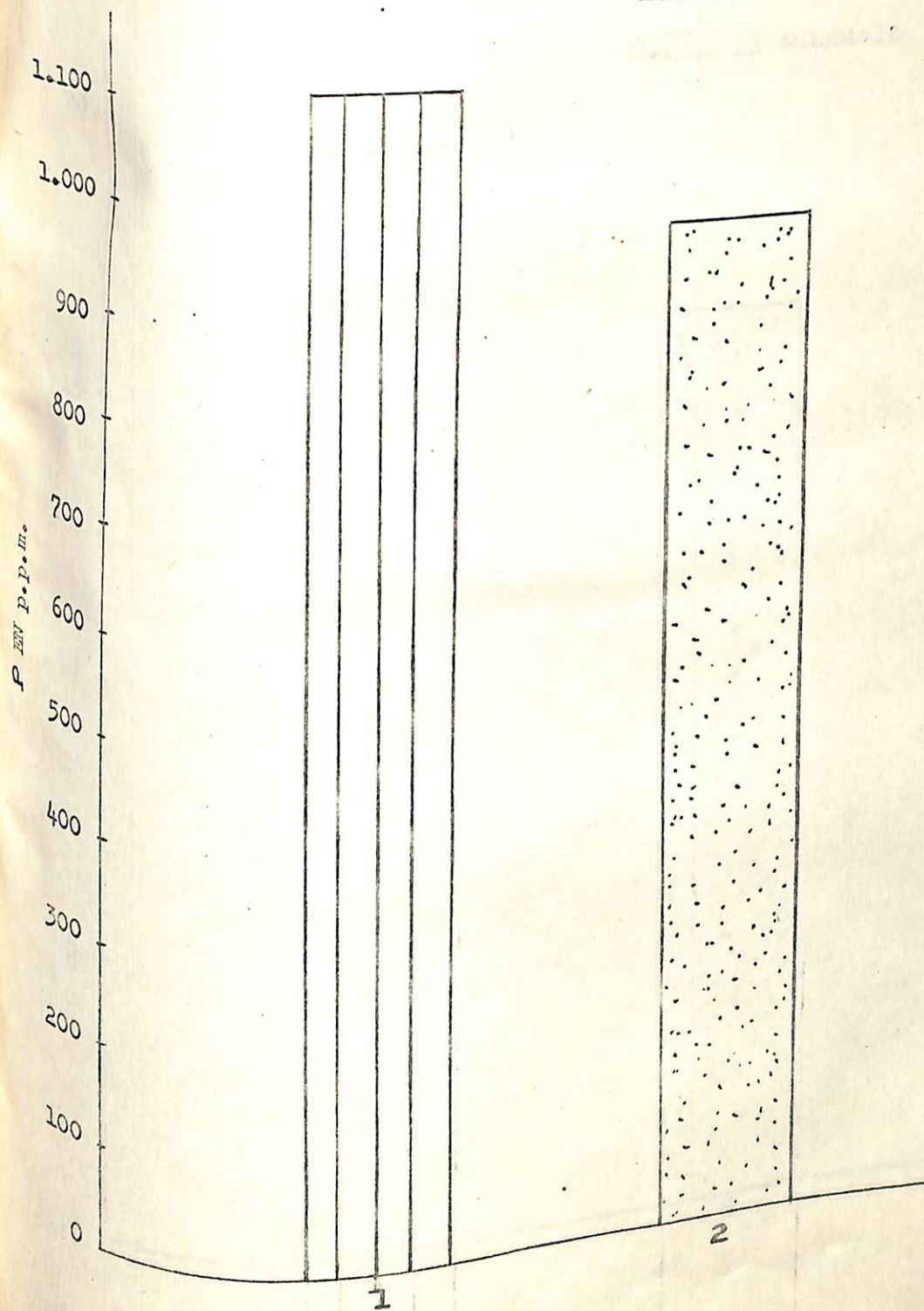
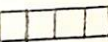
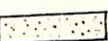


FIGURA 5. COMPARACION DEL CONTENIDO PROMEDIO DE FOSFORO ORGANICO  
EN LOS SUELOS Y SUBSUELOS.

Suelo : 19,51 ppm

Subsuelo: 14,92 ppm

1.  Suelo

2.  Subsuelo

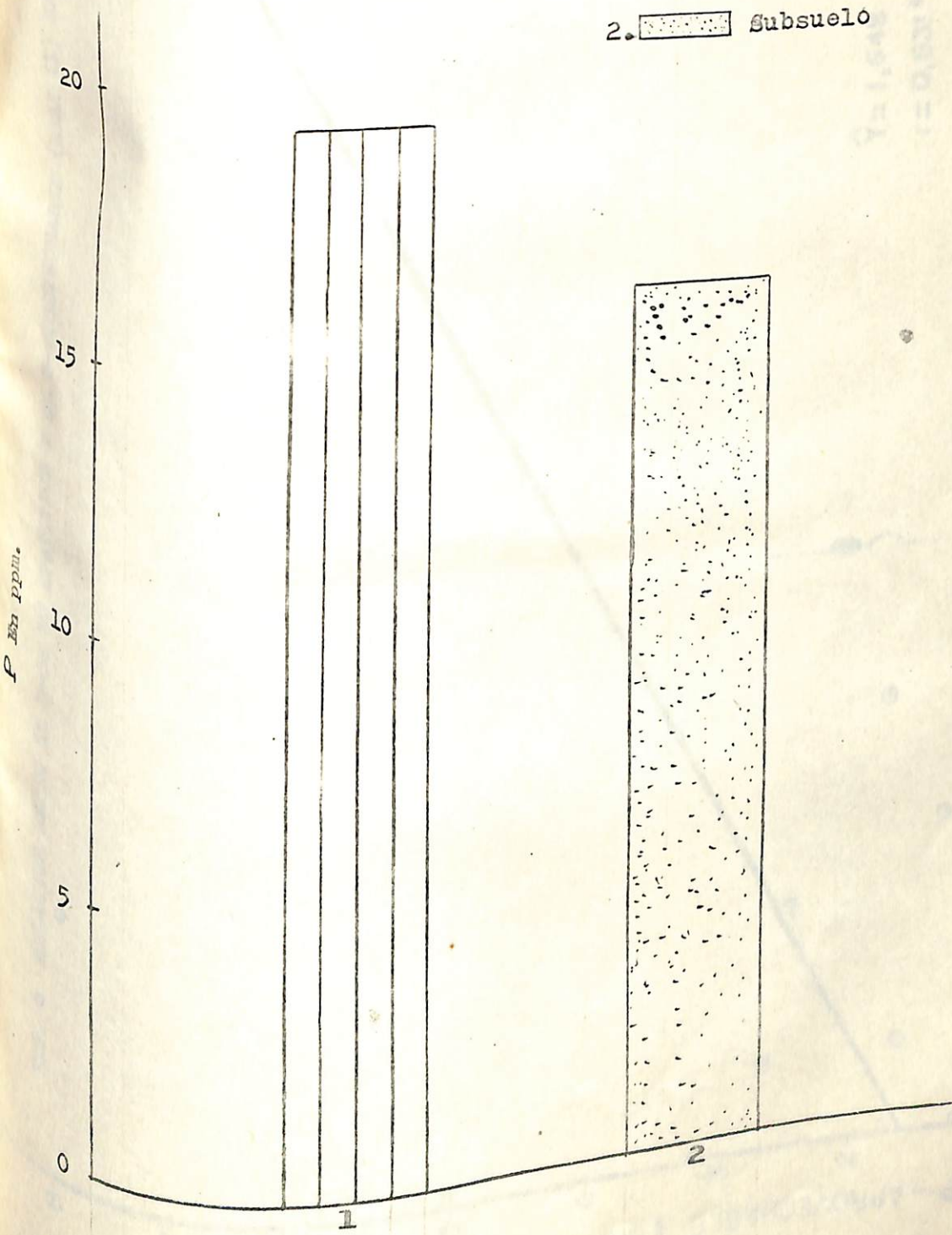




FIG. 6 RELACION ENTRE EL P-Ca NO APATITICO Y EL P-APROVECHABLE (BRAY II) EN EL SUELO

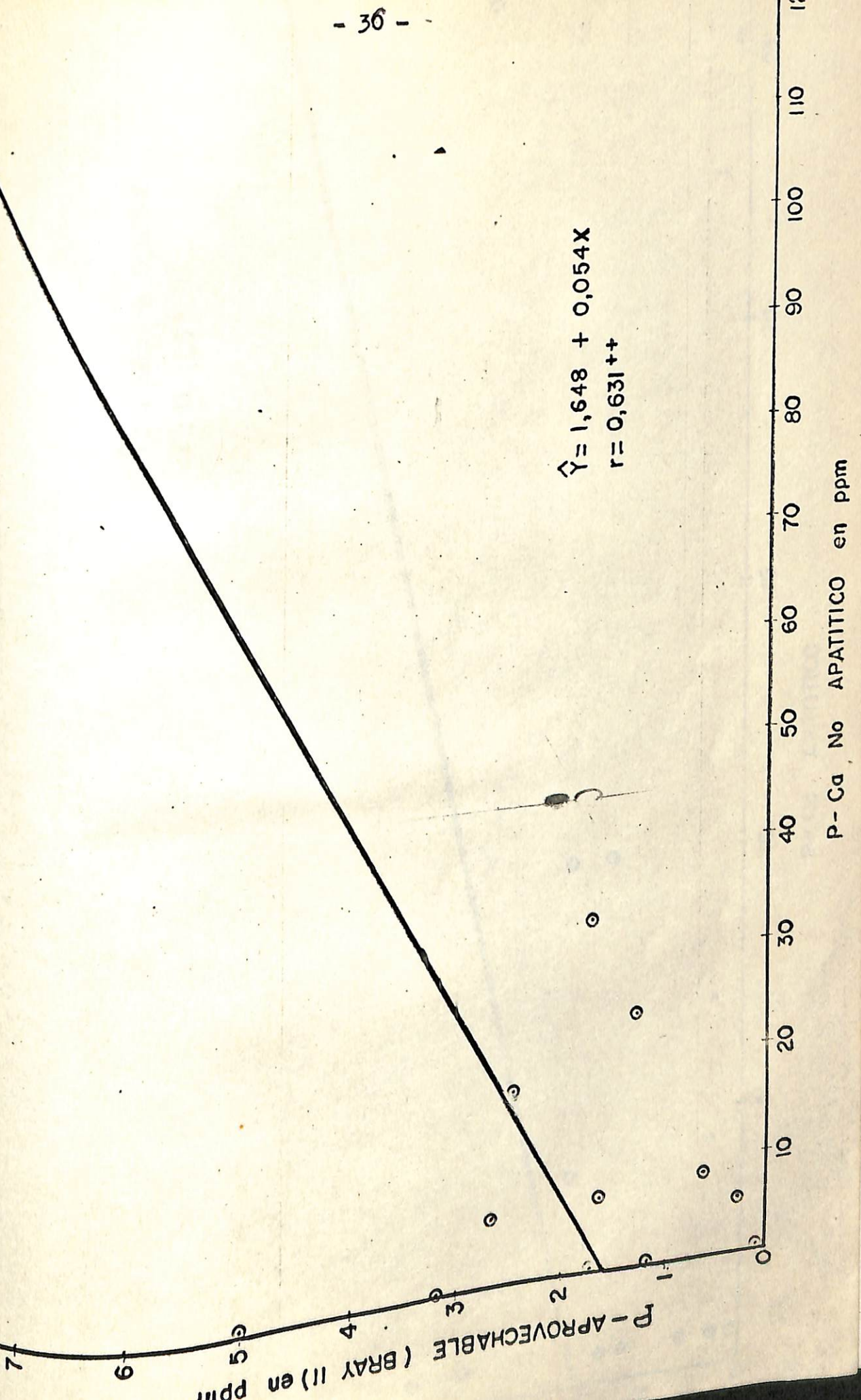
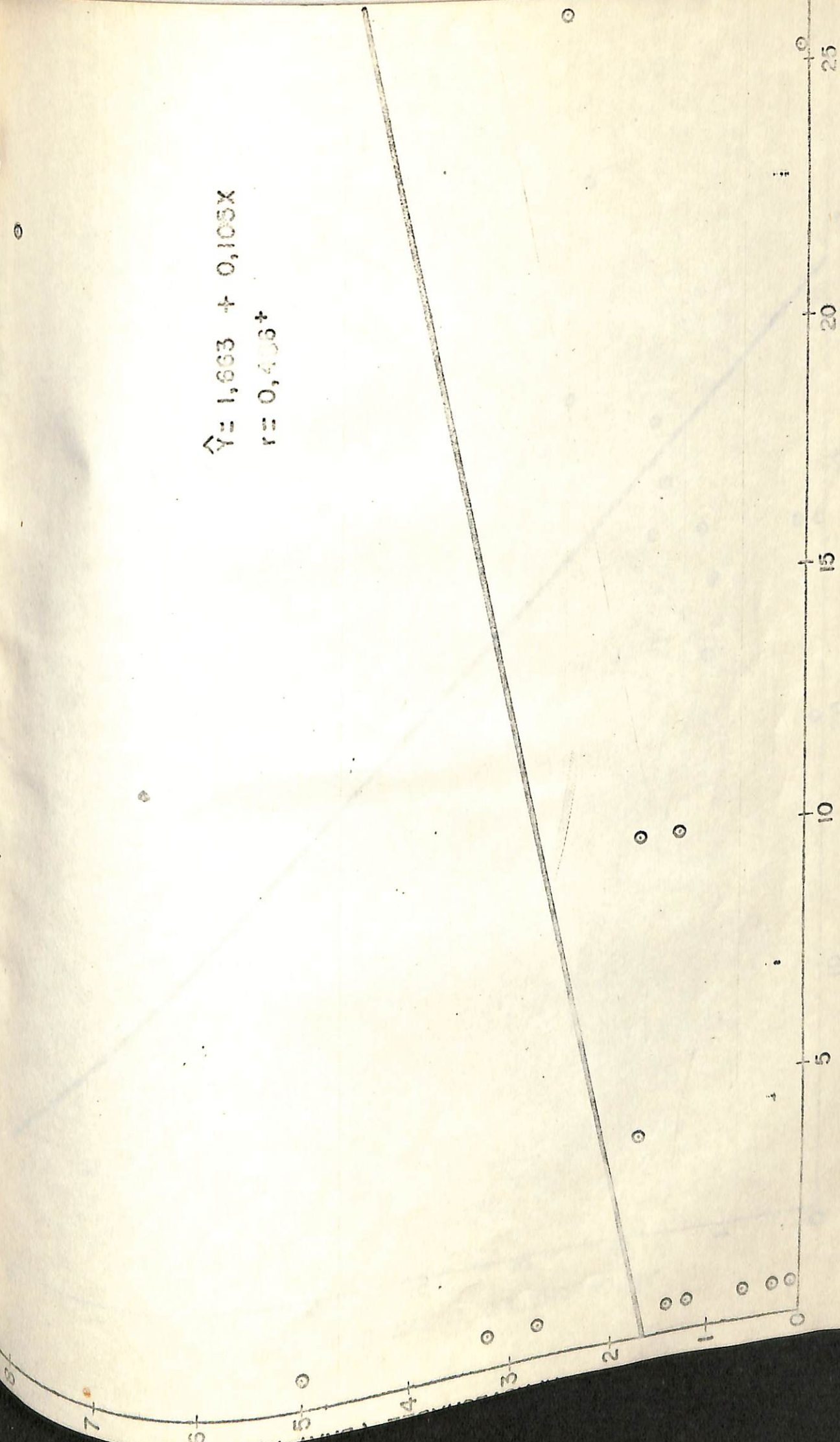


Fig. 1. Dependence of the P-Ca ratio on the P-apatite content in the bone tissue.

$$\hat{Y} = 1,663 + 0,105X$$
$$r = 0,486^+$$

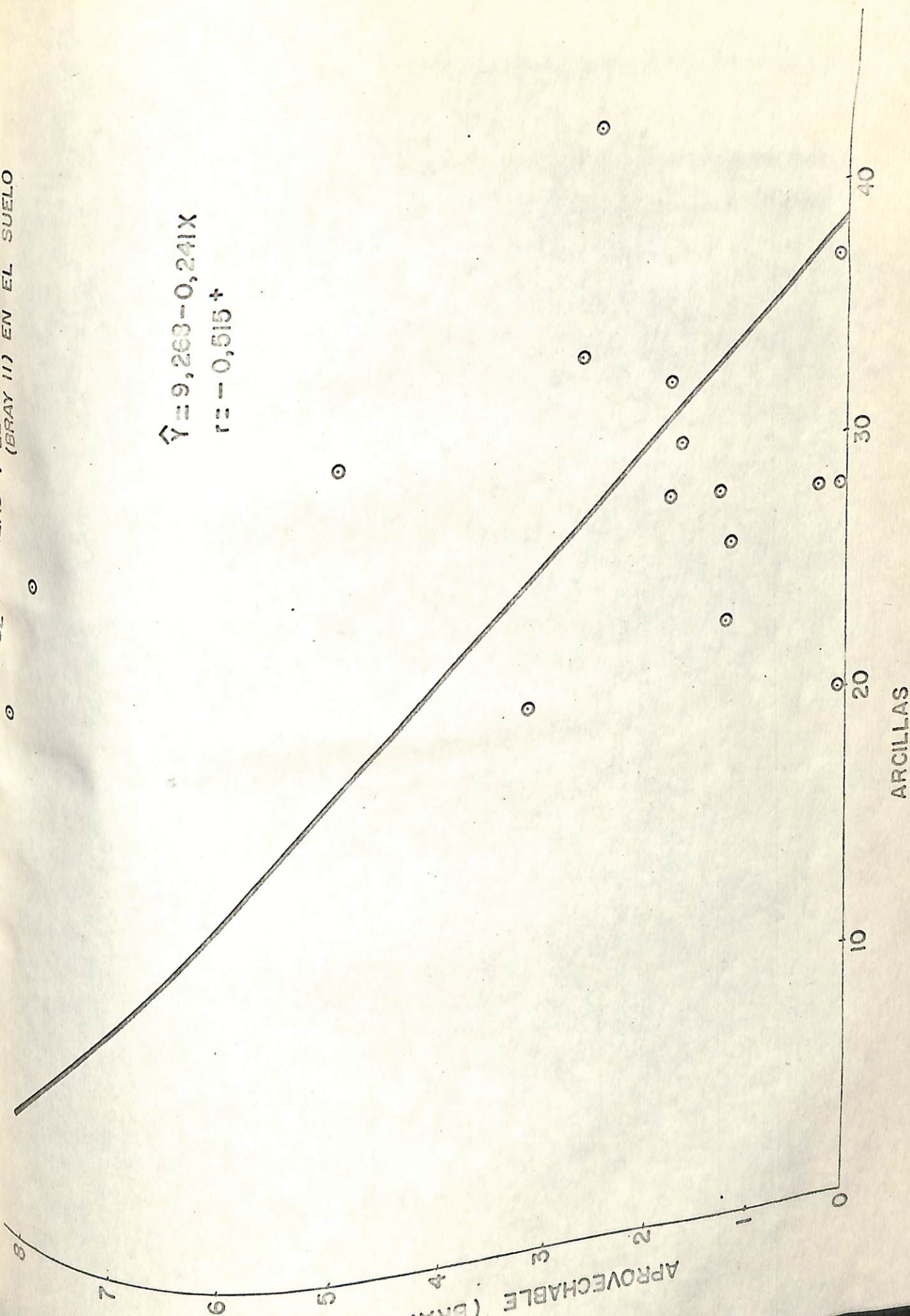


P-Ca APATITICO



Fig. 3. RELACION ENTRE EL PORCENTAJE DE ARCILLAS Y EL P-APROVECHABLE (BRAY II) EN EL SUELO

$$\hat{Y} = 9,268 - 0,241X$$
$$r = -0,515 +$$



## V. CONCLUSIONES

1. La concentración promedio de fósforo total es similar a los detectados para algunos suelos tropicales.

2. Las fracciones presentan las siguientes secuencias:

Suelo:

P-Inerte > P-Unido al Hierro > P-Unido al aluminio > P-Orgánico > P-Unido al Ca no apatítico > P-Unido al Ca apatítico > P-Fácilmente reemplazable.

Subsuelo:

P-Inerte > P-Unido al Hierro > P-Unido al aluminio > P-Unido al Ca no apatítico > P-Orgánico > P-Unido al Ca apatítico > P-Fácilmente reemplazable.

3.- Estos suelos son pobres en fósforo aprovechable para las plantas. Aplicaciones entre 400 y 600 Kg./Ha. de  $P_2O_5$  de lenta solubilidad, se hacen necesarias para un buen manejo de los mismos.

4. El fósforo orgánico fué acentuadamente



jo y la relación C/P-Orgánico, muy amplia, lo cual supone una baja mineralización.

5. Los suelos estudiados han sufrido un proceso de edafización drástica.

6. El mayor aporte de fósforo aprovechable proviene de la fracción de calcio no apatítico, siguiendo en su orden los fosfatos de calcio apatítico.

7. A medida que aumenta en estos suelos el porcentaje de arcillas el fósforo aprovechable (Bray II) disminuye por los fenómenos de retrogradación.

## VI. RESUMEN

factos de Hierro y Aluminio representaron el 29,27 y 7,62% respectivamente del fósforo total en el suelo

La presente investigación se llevó a cabo en suelos del Valle del Patía, al sur del Departamento del Cauca. Esta región tiene las siguientes coordenadas geográficas:  $2^{\circ}08'$  a  $1^{\circ}51'$  de latitud norte y  $77^{\circ}03'$  a  $77^{\circ}00'$  de longitud oeste de Greenwich.

Los resultados promedios de las diferentes formas de fósforo presentan la siguiente secuencia:

Suelo:

P-Inerte > P-Unido al Hierro > P-Unido al aluminio > P-Orgánico > P-Unido al Ca no apatítico > P-Unido al Ca apatítico > P-Fácilmente reemplazable.

Subsuelo:

P-Inerte > P-Unido al Hierro > P-Unido al aluminio > P-Unido al Ca no apatítico > P-Orgánico > P-Unido al Ca apatítico > P-Fácilmente reemplazable.

El P-Total se encuentra en un promedio de 1.108 ppm de las cuales el 59% es P-Inerte. Los fog



fatos de Hierro y Aluminio representaron el 29,27 y 7,62% respectivamente del fósforo total en el suelo y el 26,91 y 9,77% en el subsuelo. Las fracciones orgánica e intercambiable fueron bajas presentándose una relación C/P-Orgánico bastante amplia. Los fosfatos de calcio no apatíticos correlacionaron estrechamente con el fósforo aprovechable (Bray II), implicando que esta fracción proporciona el mayor aporte de este elemento a las formas de fósforo aprovechable, siguiendo en orden la intensidad los fosfatos de calcio apatíticos.

La correlación entre el P-Aprovechable (Bray II) y el porcentaje de arcillas fué significativa y negativa ( $r = -0,519^+$ ) indicando la precipitación que sufre este elemento por parte del complejo arcilloso del suelo.

# SUMMARY

phosphates correlated with the available-P signifi-  
cantly, implying that this fraction provides the larger

The present research was carried out on soils  
of Patia Valley, located south of the Cauca Department.  
Region whose geographic coordinates are:  $2^{\circ}08'$  to  $1^{\circ}51'$   
North Latitude and  $77^{\circ}03'$  to  $77^{\circ}00'$  West Longitude of  
Greenwich Meridian.

The average results of the different Phospho-  
rus forms presented the following sequence:

## Soils:

Inert-P > iron bound-P > aluminium bound-P >  
organic-P > non apatitic Ca-P > Apatitic Ca-P  
readily replaced-P

## Subsoils:

Inert-P > iron bound-P > aluminium bound-P >  
non apatitic Ca-P > organic-P > apatitic Ca-P  
readily replaced-P

The iron and aluminium phosphates were about  
29.97 and 7.62 respectively, of P-total. The organic  
and readily replaced fractions were low, showing a  
C/P-Organic relation very ample. The non apatitic



phosphates correlated with the available-P rigorously, implying that this fraction provide the larger contribution of this element to the available-P forms, following in intensity order apatitic Ca-P.

The correlation between available-P and the clay percentage was significant and negative ( $r = -0,519^+$ ) indicating the precipitation that this element by clay complex of the soil suffer.

Y. ANGULO, H., y E. NAVAS y A. VILLANUEVA. 1970. Fraccionamiento de N, P, K en el suelo de la zona del Departamento de Mariño, Estado del Zulia. Boletín de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Mariño, Págs. 116p.

A. ANGULO, H. y E. NAVAS. 1973. Propiedades físicas de algunos suelos del Valle del Zulia, Estado del Zulia, Colombia. Boletín de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Mariño, Págs. 64p.

A. ANGULO, H. 1972. Características físicas de algunos suelos del Valle del Zulia, Estado del Zulia, Colombia. Boletín de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Mariño, Págs. 64p.

VII. BIBLIOGRAFIA

- 1.- AHMAD, N. y R.L. JONES. 1967. Forms of occurrence of inorganic phosphorus and its chemical availability in limestone soils of Barbados. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31: 184-186.
- 2.- ALEXANDER, M. 1961. Introduction to soil microbiology. Wiley. New York. 472p.
- 3.- ANGULO, N., y L.R. NAVAS y A. VILLAMIL. 1970. Fraccionamiento de N, P, K en el piso tropical del Departamento de Nariño, Llanura del Pacífico. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 116p.
- 4.- AÑASCO, N. y D. CORDOBA. 1972. Propiedades físicas de algunos suelos del Valle del Patía, Cauca, Colombia. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 64p.
- 5.- ASTAIZA, J.M. 1972. Determinación de bases cambiables en suelos del Valle del Patía, Cauca, Colombia. Tesis de grado. Facultad



- de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 63p.
- 6.- BLASCO, M. y N. BOHORQUEZ. 1968. Fractionation of phosphorus in tropical soils of Colombia. *Agrochemical*. 12: 173-178.
- 7.- \_\_\_\_\_. 1968. Curso de Suelos II. Palmira, Facultad de Agronomía. Universidad Nacional. pp. 165-191. (En mimeógrafo).
- 8.- \_\_\_\_\_. 1970. Formas de fósforo en suelos del Amazonas Colombiano. *Anales de Edafología y Agrobiología*.
- 9.- BRAY, R. H. and L. T. KURTZ. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci*. 59: 39-45.
- 10.- BUCKMAN, H.O. y N.C. BRADY. 1965. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Trad. S. Barceló. México. UTSHA. 590p.
- 11.- COLOMBIA. BANCO GANADERO ET AL. 1967. Estudio y encuesta Socio-económica de la zona del Alto Patía. Bogotá. 23p.

- 12.- COLOMBIA. BANCO DE LA REPUBLICA. 1962. Atlas de Ecología Colombiana. 3ed. Imprenta del Banco de la República. Bogotá. 129p.
- 13.- CHAMORRO, L.A. y N. SANCHEZ y E.H. ZARAMA. 1971. Estudio de los elementos N. P. K en algunos suelos del Municipio de Jamundí, Valle del Cauca. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Narino. Pasto. 140p.
- 14.- CHANG, S.A. y M.L. JACKSON. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84: 113-137.
- 15.- CHAVEZ, J. y L. ROBERO. 1969. El Valle del Patía. Propiedades químicas de sus suelos y su fertilidad. Universidad de Narino, I.T.A. Tesis de grado. Pasto. 94p.
- 16.- ENWEZOR, E.O. y A.W. MOORE. 1966. Phosphorus status of some nigerian soils. Soil Sci. 10: 322-328.
- 17.- ————. 1967. Significance of the C/P organic ratio in the mineralization of soil organic phosphorus. Soil Sci. 103: 62-66.



- 18.- FASSBENDER, H.W. 1966. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de la meseta central y de las llanuras atlánticas de Costa Rica. Fito. Latin. 3: 187-202.
- 19.- \_\_\_\_\_ 1968. Phosphate retention and its different Chemical. Agrochimica. 12: 512-521. *Univ. Nacional de Costa Rica. Facultad de Agronomía. Turrialba.*
- 20.- FASSBENDER, H.W. L. MULIER y F. BALERDI. 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central. Formas y sus relaciones con las plantas. Turrialba. Costa Rica. 18: 333-347.
- 21.- FEUILLET, B.C. y S.A. FEUILLET. 1971. Fraccionamiento de N, P, y K en suelos de la Sabana de Tiquerres, bajo condiciones de pradera. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 115p.
- 22.- GAMBOA, J. 1971. Dinámica del N, P, K en el suelo después de cinco fertilizaciones consecutivas. Tesis Mg. Sc. Turrialba. Costa Rica. IICA. 70p.
- 23.- GOEL, K.N. y R.A. AGARWAL. 1960. Total and organic phosphorus in different size-fraction

tions in genetically related soils of Kampur in the Indian Gangetic alluvium. Jour. Indian Soc. Soil. 3: 17-22.

- 24.- GONZALEZ, A. y E.L. GOMEZ. 1968. Estudio semidetallado y diagnóstico de la situación agropecuaria en el Valle del Patía. Departamento del Cauca. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Palmira. Tesis de grado. 79p.
- 25.- GONZALEZ, M.G. 1971. Fraccionamiento del fósforo en suelos volcánicos del Altiplano de Ipiiales, Nariño, Colombia. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 65p.
- 26.- HANNUMEN, V. 1958. Estratigrafía del terciario Maestrichtiano continentales y Tecnogénesis de los Andes Colombianos. Ministerio de Minas y Petróleos. Servicio Geológico Nacional. Bol. Geol. Bogotá. 6: 67-127.
- 27.- HOLDRIDGE, L.R. 1958. Curso de Ecología vegetal. Costa Rica. IICA. 45p.
- 28.- HOYOS, A. y R. GARCIA. 1963. Distribución de



las distintas formas de fósforo en las fracciones de algunos suelos naturales. An Edafol. Agrobiol. 22: 414-451. pp. 151-160.

29.- HSU, P.H. y M.L. JACKSON. 1960. Inorganic phosphate transformation by chemical weathering of soil as influenced by pH. Soil. Sci. 90: 16-32.

30.- JACKSON, M.L. 1964. Soil Chemical analysis 3a. Ed. Parentice Hall New York. 498p.

31.- KELLY, J.B. and R. MIDGLER. 1953. Phosphate fixation and exchange of phosphate and hydroxide. Soil Sci. Finland. 55: 167.

32.- LOTERO, I. 1966. Formas del fósforo en el suelo, fijación y aprovechabilidad. Agric. Trop. 22: 275-284.

33.- MATTA, A. y J. PALACIOS. 1971. Estudio del N, P y K en los suelos tropicales de la Intendencia del Putumayo. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto 75p.

34.- McCONAGHY, S.J., W. STEWAR y M. MALBCK. 1967.

- Soil phosphate status measured by isotopic exchange and other techniques. Meeting Inter. Soc. Soil Sci. Transac. Aberdeen. pp. 151-160.
- 35.- MILLER, C.E. 1955. Soil fertility. John Wiley. N. Y. pp. 139-146.
- 36.- MORA, T.E. y L.E. IEGARDA. 1969. Estudios de ciertas características de algunos suelos de Nariño relacionados con las formaciones ecológicas. Tesis de grado. I.T.A. Universidad de Nariño. Pasto. 164p.
- 37.- MORILLO, R.M. y H.W. PASSBENDER. 1968. Formas y disponibilidad de fosfatos en algunos suelos de la Cuenca baja del Río Choluteca, Honduras. Turrialba. 19: 26-33.
- 38.- MUÑOZ, T. y R. FABREGAS. 1962. Fósforo y Potaasio en suelos de cultivo de Gallegos. An Eda fol. Agrobiol. 31: 415-423.
- 39.- ORTEGA, J.E. 1970. Estudio comparativo de tres fuentes de fósforo a diferentes niveles de aplicación en relación a su absorción y fijación en suelo rojo de Nariño. Tesis de grado. I.T.A. Universidad de Nariño. Pasto. 122p.



- 40.- PANTOJA, C. 1969. Fraccionamiento del fósforo en algunos suelos de clima medio en el Departamento de Nariño. Tesis de grado. I.T.A. Universidad de Nariño. Pasto. 111p. mineral
- 41.- SAUNDERS, S.H. and E.G. WILLIAMS. 1955. Determination of total organic phosphorus in soils. Jour. Sci. 6: 254-260. 1956. Soil
- 42.- SEN GUPTA, M.B. and A.H. CORNFIELD. 1962. Determination of the organic phosphorus contents of calcareous soils and its relations to soil calcareous carbonate content Jour. Sci. Food. Agric. 13: 655-658. 1962. Phosphorus
- 43.- \_\_\_\_\_ 1962. Phosphorus in calcareous soils. J. The organic phosphorus fractions and their relations to the amount of calcium carbonate present. Jour. Sci. Food. Agric. 13: 652-655.
- 44.- TAFUR, V.N. 1969. Fraccionamiento del fósforo en algunos suelos del Valle del Sinú-Córdoba. Revista I.C.A. Vol. IV. 2: 59-71.
- 45.- VIEIRA, L.S. y E. BORNEMISZA. 1968. Categorías de fósforo en los principales grandes grupos

de suelos en la Amazonía del Brasil. *Turrialba*. 18: 342-348.

- 46.- WALLACE, C.B. 1961. The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms. 3a. ed. London. Cuswen Press. 125p.
- 47.- WESTIN, F.C. and G.J. BUNTLEY. 1966. Soil phosphorus in South Dekota. III Phosphorus fractions of some Borolls and Ustolls. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 31: 521-528.
- 48.- ZUNIGA, J. 1960. *Geografía del Departamento del Cauca*. Ed. del Departamento. Popayán. 215p.



A P P E N D I C E

TABLA I

ECUACIONES DE REGRESION Y COEFICIENTES DE CORRELACION  
ENTRE LOS PARAMETROS ESTUDIADOS

S U E L O

| RELACION                    | ECUACION              | r                   | r tabulado<br>1% | 15 G.L. |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------|------------------|---------|
| pH- P-al Hierro             | $Y = 204,61 + 21,07X$ | 0,317               | 0,480            | 0,600   |
| pH- P-al Aluminio           | $Y = 99,88 - 2,55X$   | -0,057              | "                | "       |
| pH- P-Ca no apatítico       | $Y = 31,16 - 2,61X$   | 0,008               | "                | "       |
| pH- P-Ca apatítico          | $Y = 4,08 + 0,99X$    | 0,091               | "                | "       |
| Arcillas -P-al Hierro       | $Y = 287,01 - 1,60X$  | 2,245               | "                | "       |
| Arcillas -P-al Aluminio     | $Y = 27,41 + 2,02X$   | 0,270               | "                | "       |
| Arcillas -P-Aprovechable    | $Y = 9,26 - 0,24X$    | -0,515 <sup>+</sup> | "                | "       |
| P-al Al -P-Aprovechable     | $Y = 1,88 + 0,01X$    | 0,072               | "                | "       |
| P-al Fe-P-Aprovechable      | $Y = 2,14 + 0,01X$    | 0,254               | "                | "       |
| pH- P-Aprovechable          | $Y = 2,51 - 0,01X$    | -0,002              | "                | "       |
| P-Ca no Apatítico -P-Aprov. | $Y = 1,64 + 0,05X$    | 0,631 <sup>++</sup> | "                | "       |
| P-Ca Apatítico -P-Aprov.    | $Y = 1,66 + 0,11X$    | 0,486 <sup>+</sup>  | "                | "       |

G.L. = Grados de Libertad

++ = Altamente Significativo

+ = Significativo



TAHLA II

PORCENTAJE DE ARCILLAS, MATERIA ORGANICA Y PH EN LOS SUELOS Y SUBSUELOS ESTUDIADOS

| MUESTRA  | % Arcillas<br>(Ponvounos) |          | Materia Orgánica<br>% (Wakley Black) |          | pH<br>(Potenciómetro) 1:1 |          |
|----------|---------------------------|----------|--------------------------------------|----------|---------------------------|----------|
|          | Suelo                     | Subsuelo | Suelo                                | Subsuelo | Suelo                     | Subsuelo |
| 1.       | 42,02                     | 31,80    | 7,78                                 | 1,47     | 6,40                      | 6,35     |
| 2.       | 29,69                     | 17,69    | 5,10                                 | 1,52     | 6,50                      | 6,65     |
| 3.       | 28,02                     | 23,69    | 5,76                                 | 1,95     | 6,25                      | 6,65     |
| 4.       | 28,02                     | 23,69    | 4,91                                 | 2,95     | 6,05                      | 6,90     |
| 5.       | 28,36                     | 28,69    | 2,26                                 | 1,76     | 6,20                      | 6,75     |
| 6.       | 37,36                     | 25,69    | 5,64                                 | 1,09     | 6,00                      | 6,55     |
| 7.       | 26,02                     | 27,69    | 5,24                                 | 2,40     | 6,40                      | 6,55     |
| 8.       | 32,36                     | 39,68    | 5,17                                 | 7,76     | 6,30                      | 6,25     |
| 9.       | 29,02                     | 42,36    | 3,72                                 | 2,00     | 6,00                      | 5,90     |
| 10.      | 20,36                     | 35,02    | 3,78                                 | 1,74     | 5,90                      | 8,10     |
| 11.      | 20,06                     | 42,36    | 3,02                                 | 1,74     | 6,10                      | 6,85     |
| 12.      | 23,02                     | 42,80    | 3,88                                 | 1,92     | 5,70                      | 5,70     |
| 13.      | 24,89                     | 22,77    | 9,05                                 | 2,84     | 6,35                      | 6,40     |
| 14.      | 30,20                     | 24,66    | 8,02                                 | 1,57     | 6,10                      | 5,90     |
| 15.      | 19,36                     | 13,36    | 5,22                                 | 1,79     | 5,75                      | 6,10     |
| 16.      | 33,36                     | 27,77    | 5,83                                 | 1,14     | 5,65                      | 6,15     |
| Promedio | 28,18                     | 27,64    | 5,89                                 | 1,85     | 6,05                      | 6,76     |

Tomado de: Masco y Córdoba (4).



T  
631.85  
A277  
Ej.1

# UNIVERSIDAD DE NARIÑO

Inventario: 12208

Autor: Agredo Hoyos, Victor Hugo

Título: Fraccionamiento del fósforo en suelos del Valle...

| FECHA DEV. | NOMBRE              | CARNET   |
|------------|---------------------|----------|
|            | Carlos A. Cifuentes | 213      |
|            | Monica Ortiz        | 243      |
|            | Fernando Botna      | 10231206 |

X

T  
E-631.85  
A277  
Ej.1

12208

X

U