

AN
T
631.4
B946
Ej. 2

**CAPACIDAD DE FIJACION DE FOSFORO EN SUELOS DE CUATRO
AREAS VOLCANICAS DE COLOMBIA Y SU RELACION
CON ALGUNAS CARACTERISTICAS EDAPICAS**

Por
JAIME E. BURBANO HUERTAS
TEOFILO CABRERA GUERRA

Tesis de grado presentada como requisito
parcial para optar al título de
INGENIERO AGRONOMO

Presidente de Tesis
RICARDO GUERRERO R., I.A., M.Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PASTO - COLOMBIA
1.971

"Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado son de responsabilidad exclusiva de sus autores".

Artículo 10. del Acuerdo No. 324 de Octubre 11 de 1.966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

A LOS SACRIFICIOS DE MIS PADRES
A MIS HERMANOS
A MIS FAMILIARES
A MI ESPOSA
A MI HIJA
A MIS AMIGOS

DEDICO
JAIME E. BURBANO HUERTAS

AGRADECIMIENTOS A:

REYNALDO GUERRERO RILACON I.A., M.Sc.

FRANCISCO GUTIERREZ DE LA ESPERANZA

MIRIAM GUERRERO GUERRA I.A.

A LOS SACRIFICIOS DE MIS PADRES I.A.

A MIS HERMANOS

A MIS FAMILIARES CARLOS GUERRA I.A.

A MIS AMIGOS

A MI PATRIA CHICA Y A LA VIDA DE MI PAIS

ALMA GUERRA DE GUERRA

D E D I C O

TEOFILO CABRERA GUERRA

GUERRA GUERRA GUERRA

Todas las personas que en una u otra

forma colaboraron en el desarrollo

del presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS A:

RICARDO GUERRERO RIASCOS I.A., M.Sc.

FRANCISCO CORTES DE LA ESPRIELLA

HERNAN BURBANO ORJUELA I.A.

JORGE ORTEGA ENRIQUEZ I.A.

BENJAMIN SANUDO SOTELO I.A.

AURA INES SALAS Vda. DE HINESTROSA

RITHA DELGADO DE HURTADO

IGNACIO ESCANDON BRAVO

SERVIO GONZALEZ OROZCO

**Todas las personas que en una u otra
forma colaboraron en el desarrollo
del presente trabajo.**

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION	1 ✓
II. REVISION DE LITERATURA	3 ✓
2.1 Generalidades	3
2.1.1 Volcán Puracé	3
a. Situación	3
b. Características geológicas.	3
2.1.2 Volcán Galeras	4
a. Situación	4
b. Características geológicas.	4
2.1.3 Volcán Cumbal	4
a. Situación	4
b. Características geológicas.	4
2.1.4 Volcán Doña Juana	5
a. Situación	5
b. Características geológicas.	5
2.2 Fijación de fósforo.	6
2.2.1 Generalidades	6
2.2.2 Naturaleza de la fijación de fos- fatos	8
2.2.3 Factores que inciden en la fija- ción	10
a. Reacción del suelo (pH)	10
b. Compuestos de hierro y aluminio	11
c. Compuestos de calcio	13
d. Meteorización	13
e. Arcillas	14
f. Alófana	16
g. Textura	16
2.2.4 Capacidad de fijación de fósforo en algunos suelos	17
III. MATERIALES Y METODOS	21
3.1 Localización de los perfiles estudia- dos	21

	Pág.
a. Perfil Puracé	21
b. Perfil Galeras	21
c. Perfil Cumbal	21
d. Perfil Doña Juana	21
3.2 Suelos	22
3.3 Características de los suelos.	22
3.3.1 pH	22
3.3.2 Carbono orgánico	23
3.3.3 Nitrógeno total.	23
3.3.4 Capacidad catiónica de cambio.	23
3.3.5 Bases cambiables	23
3.3.6 Aluminio cambiante	23
3.4 Capacidad de fijación	24
3.5 Formas de fijación	24
3.5.1 Fijación por precipitación	24
3.5.2 Fijación por adsorción	25
3.6 Fósforo orgánico	26
3.7 Fósforo total	26
3.8 Fósforo inerte	26
3.9 Fósforo aprovechable	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	27
4.1 Capacidad de fijación	27
4.2 Formas de fijación	34
4.2.1 Fijación por adsorción	34
4.2.2 Fijación por precipitación	36
a) Fosfatos de calcio.	39
b) Fosfatos de hierro	48
c) Fosfatos de aluminio	50
d) Fósforo inerte	60
4.3 Relación de la fijación con algunas- características edáficas	60
4.3.1 Carbono Vs. fijación de fósfo- ro	60
4.3.2 Relación del suelo Vs. fija- ción de fósforo	77

ILUSTRACIONES

	Pág.
Figura 1. Fijación y sus formas en el perfil Puracé I	40
Figura 2. Fijación y sus formas en el perfil Puracé II	41
Figura 3. Fijación y sus formas en el perfil Galeras I	42
Figura 4. Fijación y sus formas en el perfil Galeras II	43
Figura 5. Fijación y sus formas en el perfil Cumbal I	44
Figura 6. Fijación y sus formas en el perfil Cumbal II	45
Figura 7. Fijación y sus formas en el perfil Doña Juana I	46
Figura 8. Fijación y sus formas en el perfil Doña Juana II	47
Figura 9. Fijación por precipitación y sus - formas en el perfil Puracé I . . .	52
Figura 10. Fijación por precipitación y sus - formas en el perfil Puracé II . .	53
Figura 11. Fijación por precipitación y sus - formas en el perfil Galeras I . .	54
Figura 12. Fijación por precipitación y sus - formas en el perfil Galeras II . .	55
Figura 13. Fijación por precipitación y sus - formas en el perfil Cumbal I . . .	56
Figura 14. Fijación por precipitación y sus - formas en el perfil Cumbal II. . .	57
Figura 15. Fijación por precipitación y sus - formas en el perfil Doña Juana I .	58

	Pág.
Figura 16. Fijación por precipitación y sus formas en el perfil Doña Juana II.	59
Figura 17. Relación entre el contenido de fosfatos de aluminio y fijación total por precipitación	81
Figura 18. Relación entre P-Ca apatítico y fijación total por precipitación . .	83
Figura 19. Relación entre fijación total por precipitación y fósforo aprovechable	86
Figura 20. Relación entre fijación por adsorción y fósforo aprovechable . . .	87
Figura 21. Relación entre el contenido de Fe_2O_3 y fijación por precipitación hacia P-Fe.	90
Figura 22. Relación entre el contenido de Fe_2O_3 y fijación por precipitación hacia P-Ca no apatítico	91
Figura 23. Relación entre el contenido de SiO_2 y la fijación total	96
Figura 24. Relación entre el contenido de SiO_2 y fijación total por precipitación	97
Figura 25. Relación entre el contenido de SiO_2 y fijación por precipitación hacia el P-Fe.	98
Figura 26. Relación entre el contenido de SiO_2 y fijación por precipitación hacia P-Ca no apatítico	99
Figura 27. Relación entre el contenido de SiO_2 y fijación por precipitación hacia P-Ca apatítico	101

Figura 28.	Relación entre el contenido de SiO_2 y fijación por adsorción	102
Figura 29.	Relación entre el contenido de SiO_2 y fósforo aprovechable	104

	Pág.
Tabla I. Fracciones de fósforo en los suelos estudiados	28
Tabla II. Fracciones de fósforo en los suelos estudiados	29
Tabla III. Fijación de fósforo y sus formas (ppm)	30
Tabla IV. Fijación de fósforo y sus formas (ppm)	31
Tabla V. Fijación de fósforo y sus formas (%)	32
Tabla VI. Fijación de fósforo y sus formas (%)	33
Tabla VII. Fijación de fósforo de acuerdo a los horizontes	38
Tabla VIII. Fijación de fósforo de acuerdo a los horizontes	49
Tabla IX. Coeficientes de correlación entre los parámetros de fijación y las diferentes características edáficas	61
Tabla X. Coeficientes de correlación entre los parámetros de fijación y las diferentes características edáficas	62
Tabla XI. Coeficientes de correlación entre los parámetros de fijación y las diferentes características edáficas	63
Tabla XII. Coeficientes de correlación entre los parámetros de fijación y las diferentes características edáficas	64

Tabla XIII.	Coefficientes de correlación entre los parámetros de fijación y diferentes características edáficas.	65
Tabla XIV.	Coefficientes de correlación entre los parámetros de fijación y las diferentes características edáficas.	66
Tabla XV.	Coefficientes de correlación entre los parámetros de fijación y las diferentes características edáficas.	67
Tabla XVI.	Coefficientes de correlación entre los parámetros de fijación y las diferentes características edáficas.	68
Tabla XVII.	Ecuaciones de regresión	69
Tabla XVIII.	Ecuaciones de regresión	70
Tabla XIX.	Ecuaciones de regresión	71
Tabla XX.	Ecuaciones de regresión	72
Tabla XXI.	Ecuaciones de regresión	73
Tabla XXII.	Ecuaciones de Regresión	74
Tabla XXIII.	Ecuaciones de regresión	75
Tabla XXIV.	Fracciones de fósforo en los suelos después de la adición de 100 ppm de P.	93
Tabla XXV.	Fracciones de fósforo en los suelos después de la adición de 100 ppm de P.	94
Tabla XXVI.	Análisis de los óxidos del perfil de los suelos estudiados . .	127

Tabla XXVII.	Análisis de los óxidos del perfil de los suelos estudiados. .	128
Tabla XXVIII	Características generales de los suelos estudiados	
Tabla XXIX.	Características generales de los suelos estudiados	130

IMPRESA Y EDITORIA MEXICANA
TOMÁS CAMERON EDITOR

I. INTRODUCCION

Uno de los problemas fundamentales de los suelos, especialmente de aquellos derivados de pedregales volcánicos, es aquel que se relaciona con el llamado uso de la fertilidad de éstos.

Este problema, al estar íntimamente relacionado con la utilización por parte de la planta, del Nitrógeno como fertilizante, constituye un problema que no sólo reviste importancia científica, sino que tiene un carácter de tipo económico.

(2) Véase el título de tesis como requisito previo para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la dirección de Ricardo Guerrero B., I. A., U. S. A.

CAPACIDAD DE FIJACION DE FOSFORO EN SUELOS DE CUATRO
AREAS VOLCANICAS DE COLOMBIA Y SU RELACION
CON ALGUNAS CARACTERISTICAS EDAFICAS (+)

Por

JAIINE E. BURBANO HUERTAS
TEOFILO CABRERA GUERRA

I. INTRODUCCION

Uno de los problemas fundamentales de los sue
los, especialmente de aquellos derivados de cenizas vol
cánicas, es aquel que se relaciona con el llamado proce
so de fijación de fósforo.

Este fenómeno, al estar íntimamente relaciona
do con la utilización por parte de la planta, del fósfo
ro añadido como fertilizante, constituye un problema
que no sólo reviste importancia académica, sino que tie
ne implicaciones de tipo económico.

(+) Tesis de grado presentada como requisito parcial
para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la pre
sidencia de Ricardo Guerrero R., I.A., M.Sc.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Un adecuado manejo de la fertilización fosfatada, para niveles, fuentes, época y formas de aplicación, está significativamente relacionada con la magnitud del fenómeno de fijación o retención de fosfatos por el suelo. Así, el estudio de este proceso resulta, para efectos de fertilización, de capital importancia práctica.

La presente investigación pretende determinar la magnitud del fenómeno de fijación, sus diferentes formas y relaciones con diversas características del suelo, en cuatro áreas volcánicas de Colombia.

En Guasca Pailón, en la Cordillera Central de Colombia, según Hohenberg y Alvarado, citados por López y Rodríguez (40), este volcán está a 5.750 m.s.n.m. y forma la cumbre de una serie volcánica, conocida como Sierra de Guasca.

3. Caracterización del área

Según Hohenberg y Alvarado, citados por López y Rodríguez (40), el área que ha sido estudiada pertenece a una zona volcánica, conocida como Sierra de Guasca.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Generalidades

Los departamentos del Cauca y Nariño se caracterizan por tener el mayor número de volcanes en Colombia, de los cuales el último tiene veintitrés (40).

2.1.1 Volcán Puracé

a. Situación.

Megyesi, citado por López y Rodríguez (40), indica que es el único volcán en actividad dentro del grupo de volcanes pliocénicos del Batholito Cauca Patía, en la Cordillera Central de Colombia. Según Hubach y Alvarado, citados por López y Rodríguez (40), este volcán está a 5.750 m.s.n.m. y forma la cima de una serie volcánica, conocida como Sierra de Conucos.

b. Características geológicas

Megyesi, citado por López y Rodríguez (40), indica que las rocas eyectadas mediante erupciones explosivas son andesitas-augitas.

2.1.2 Volcán Galeras.

a. Situación

Según Ramírez (47), se encuentra a 1° 10' latitud norte y a 77° 18' longitud oeste del Meridiano de Greenwich. Su altura es 4.262 m.s.n.m.

b. Características geológicas.

Está constituido por capas de lava, ceniza y material piroclástico (47).

2.1.3 Volcán Cumbal

a. Situación

Se encuentra a 02° 59' latitud norte y 77° 53' longitud oeste del Meridiano de Greenwich y su altura es 4.890 m.s.n.m. (47).

b. Características geológicas.

Ostenta antiguos ríos de lava, grietas radicales y minas ricas en azufre (47).

2.1.4 Volcán Doña Juana.

a. Situación

Ramírez (47) afirma que este volcán está a $12^{\circ} 31'$ latitud norte y a $75^{\circ} 36'$ longitud oeste del Meridiano de Greenwich y su altura es 4.250 m.s.n.m. Tiene un cráter de 4 km. de diámetro aproximadamente.

Sus tobas cubren vastas regiones de las hoyas hidrográficas del Mayo y Juanambú (59).

b. Características geológicas.

Está constituido por rocas andesíticas con hornblenda y biotita (47).

De acuerdo a Blasco (6), la precipitación oscila entre los 700 y los 1.200 mm anuales, y la temperatura entre los 10 y 13°C .

Los suelos volcánicos estudiados son de poco desarrollo pedogenético ya que las relaciones $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ y $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})/\text{Al}_2\text{O}_3$ son altas (40).

2.2 Fijación del Fósforo.

2.2.1 Generalidades.

El fósforo es un elemento que constituye uno de los principales problemas de fertilidad en los suelos, debido a las bajas concentraciones en los mismos, provocados por escasez o por fijación (3).

Con excepción del nitrógeno, ningún otro elemento influye tan notoriamente en el crecimiento de las plantas como el fósforo. Una carencia de este elemento es doblemente seria, ya que perjudica directamente a la planta y evita que ésta ^aproveche otros nutrientes (10).

Hemmwall y Dalton, citados por Ortega (45) opinan que del fósforo aplicado, solamente del 10 al 20% es utilizado por los cultivos y el resto lo toman los microorganismos y/o es precipitado o adsorbido por el complejo coloidal.

formas de fijación

Según Huertas y Lozano (29), al aplicar fertilizantes fosfatados al suelo, la planta no aprovecha la totalidad del fósforo disponible en los fertilizantes, ya que los fosfatos contenidos en éstos

reaccionan con partículas orgánicas e inorgánicas del suelo, con disminución del fósforo asimilable del fertilizante. Lo anterior se denomina "fijación del Fósforo", fenómeno que constituye problemas serios en la productividad agrícola, por las pérdidas que ocasiona.

El problema de la fijación, se estudió por primera vez en Europa en el año de 1.850 y 50 años más tarde es tenido en cuenta por autores americanos (28).

Sólo en los últimos 25 años, se han hecho estudios con el fin de averiguar la base química de este fenómeno (45).

La fijación del fósforo, se interpreta como el efecto de las interacciones del ión fosfato y otros componentes del suelo; esto trae como consecuencia, su adsorción al complejo coloidal y su precipitación en fosfatos menos solubles (6).

Para León (37), el término fijación se refiere a la porción que no es extractable con ácidos diluidos y que generalmente no se consideran como verdaderamente aprovechables para las plantas.

2.2.2 Naturaleza de la fijación de fosfatos.

Mucho se ha discutido sobre la fijación del fósforo, según Mela (42), se debe a:

1) Adsorción del ión fosfato por el complejo humo arcilloso.

2) Formación de fosfatos de calcio, poco solubles en los suelos alcalinos.

3) Adsorción del fósforo por los microorganismos, por lo cual no puede ser utilizado directamente por la alimentación vegetal.

Pasbender (17) indica que la fijación del fósforo en los suelos ácidos se produce por:

a) Adsorción de iones fosfatos por el complejo coloidal del suelo.

b) Precipitación de fosfatos de aluminio y hierro.

c) Intercambio isomórfico de iones $H_2PO_4^-$ ó HPO_4^{2-} por SiO_4 en las arcillas del suelo.

Kardos, citado por Santaella y González (50) explica la fijación del fósforo, enunciando varias teorías:

a) adsorción iónica, física o química ejercida por fuerzas que atraen los iones de fósforo hacia la superficie de la partícula, reduciendo su aprovechabilidad.

b) Reemplazo isomórfico, es decir, reemplazo del silicio u otro elemento dentro de la estructura cristalina por el fósforo, quedando esta en forma insoluble.

c) Doble descomposición, que consiste en reacciones químicas, con la formación de compuesto insolubles de fósforo. Las reacciones del fósforo pueden ser con el hierro y aluminio o con el calcio.

Kelly y Midgley citados por Ortega (45) Drake y Stenkel y otro citados por Sanguino (51) indican que la fijación se puede deber a:

a) Precipitación química, atribuida principalmente al calcio magnesio en suelos calcáreos y al hierro, aluminio y manganeso en suelos ácidos.

b) Adsorción de fósforo por óxidos hidratados de hierro y aluminio y por las arcillas. En estas la adsorción ocurre por intercambio entre los grupos

grupos OH- y el ión $\text{PO}_4^{=}$.

2.2.3 Factores que inciden en la fijación

Según León (37), los factores que influyen la retención del fósforo en los suelos son: a) tipo arcilla, b) tiempo de reacción, c) reacción del suelo (pH), d) temperatura, e) materia orgánica, y f) contenido original del fósforo en el suelo.

a) Reacción del suelo (pH)

La influencia del pH es discutida por Buckman y Brady (10), quienes opinan que los fosfatos de hierro y aluminio, tienen una solubilidad mínima, aproximadamente de pH 3 a 4. a valores de pH más altos, parte del fósforo es liberado y la capacidad de fijación queda algo reducida. No obstante, a pH de 6,5 gran cantidad del fósforo, probablemente, está combinada químicamente con el hierro y aluminio. Cuando el pH se acerca a 6, comienza la precipitación como compuesto de calcio y de magnesio y a pH de 6,5 la formación de sales insolubles de estos elementos es ya un factor en el aprovechamiento del fósforo. Por encima de pH 7,0 se forman otros compuestos más insolubles como la apatita.

Branfield y otros citados por Ortega (45), y Valkerding, citado por Madrid (41) postulan que a pH de 2 a 5 la retención del fósforo es debida principalmente a la gradual disolución de los óxidos de hierro y aluminio que son precipitados como fosfatos. A pH de 4,5 a 7,5 el fósforo es fijado en la superficie de las partículas de arcilla; cuando el pH está entre 6 y 10 el fósforo es precipitado por cationes divalentes como el calcio y el magnesio.

Swenson, citado por Sanguino (51) encontró que la máxima precipitación de los fosfatos de hierro está entre pH de 2,5 a 3,5, mientras que para los fosfatos de aluminio el pH fue de 3,5 a 4,0, siendo los compuestos de hierro menos solubles que los de aluminio.

b) Compuestos de hierro y aluminio.

En los suelos ácidos, la retención de los fosfatos, se debe a la reacción de los iones ortofosfato, con el hierro y el aluminio y posiblemente con las arcillas silicatadas (37).

Se cree que existe la formación de orto-fosfatos complejos de hierro y aluminio como: Dufrenita, Wavelita y Vivianita (29).

Blancheet (4), Smith, Laverty y Hanotiaux, citados por Jiménez y Ocampo (35) dicen que aunque el aluminio fija el fósforo con mayor rapidez que el hierro, el fósforo retenido por el aluminio es más fácilmente asecuible para las plantas.

Según Ortega (45), el 63% de la fijación por precipitación corresponde al aluminio, en suelos latosólicos.

Tisdale y Nelson, citados por Huertas y Lozano (29) afirman que además del hierro y aluminio, el titanio y el manganeso también son de naturaleza coloidal y atraen los iones fosfatos, formando fosfatos complejos.

Pantoja (46) encontró que los fosfatos de hierro y aluminio se hallan en proporción doble a la de los fosfatos de calcio.

Bastidas y otros (3) verificaron que los fosfatos de hierro y aluminio, representan aproximadamente, 6 veces los fosfatos cálcicos, siendo ligeramente superiores las cantidades del fósforo retenidas por el aluminio que por el hierro.

c) Compuestos de calcio.

En los suelos calcáreos o alcalinos, la fijación del fósforo (PO_4)⁼, se debe a la formación de una serie de fosfatos insolubles de calcio (46).

De acuerdo a Mela (42), la fluorapatita es uno de los fosfatos más insolubles en los suelos alcalinos.

d) Meteorización.

Según Blasco, citado por Pantoja (46) los suelos que han sufrido una fuerte meteorización, parece que tiene una mayor cantidad de fósforo fijado por el hierro que por el aluminio.

Feuillet y Feuillet (26) determinaron que los fosfatos de aluminio eran más prominentes que los de hierro, y que la meteorización de los suelos estudiados, era de grado intermedio.

Hsu y Jackson (30), Blasco y Bohorquez (7) dicen que las fracciones de fósforo unidas al hierro y al aluminio, son características de los suelos altamente meteorizados típicos de las áreas tropicales. En cambio, los fosfatos cálcicos son predominantes en suelos donde la meteorización química es comparativamente escasa, como ocurren en los suelos de la zona templada.

Pantoja (46) afirma que la mayor concentración de los fosfatos de hierro y aluminio, se debe a la meteorización química, predominante en la región estudiada.

e) Arcillas.

Buckman y Brady (10) indican que además de reaccionar el ión PO_4H_2^- con el hierro, aluminio y manganeso solubles, también lo hace con los óxidos hidratados insolubles de éstos elementos, tales como la limonita y la goethita.

Según los mismos autores (10), la fijación bajo condiciones moderadas se efectúa por silicatos minerales, como la caolinita, montmorillonita e illita. Esto se realiza mediante la reacción entre los grupos OH^- de los cristales minerales y los iones PO_4H_2^- .

Se ha sugerido, que los iones fosfatos se pueden combinar con las arcillas del tipo 2:1 y 1:1, ya por reemplazo de un grupo hidroxilo de un átomo de aluminio o por la formación de una cadena de arcilla-calcio-fosfato. El intercambio es mayor en las arcillas del tipo 2:1 (57).

Según Coleman (11), el fósforo fijado por la montmorillonita y caolinita, es debido al hierro y al aluminio libres en las arcillas.

Dean (15) afirma que la cantidad de fósforo fijado por la caolinita natural es alta a pH de 4 o menos, y que esta fijación disminuye a medida que el pH se acerca a la neutralidad.

La caolinita, por contener grupos hidroxilos, puede adsorber el ión fosfato, en mayor o menor cantidad. Se supone que la fijación se realiza, preferentemente, en la superficie de los minerales, aunque el ión puede penetrar en las estructuras del cristal en pequeña proporción (43).

León, citado por Ortega (45) sugiere que para las condiciones de Colombia, la fijación del fósforo puede depender, en gran parte, de la presencia de caolinita, vermiculita, clorita interestratificada y alófana. En otro estudio, se indica que los suelos ácidos que contienen alófana, fija mayores cantidades de fósforo que los suelos con alto contenido de geothita y hematita (39).

Fassbender (23) afirma que el porcentaje de arcillas, carbono total, hierro y aluminio extraíble son factores que influyen significativamente en la retención del fósforo en los suelos volcánicos y

que la precipitación de los fosfatos de aluminio y hierro es más importante que la fijación por adsorción.

f) Alófana.

Según Pantoja (46), en suelos de clima medio de Nariño, hay una deficiencia general de fósforo asequible por las plantas y una alta capacidad de fijación por la presencia de alófana y óxido de hierro.

En suelos del Valle de Sibundoy, de acuerdo a Bastidas y otros (3), la deficiencia del fósforo aprovechable se debe, en gran parte, a la presencia de alófana.

g) Textura.

Rolly y Midgler, Muñoz y Fábregas, citados por Bastidas y otros (3), opinan que la fijación es mayor en suelos arcillosos ácidos que en los arenosos neutros y básicos o francos.

Sanguino (51) indica que hay mayor capacidad de fijación de fósforo en un suelo franco que en uno franco arcilloso.

2.2.4 Capacidad de fijación de fósforo en algunos suelos.

Heck, citado por Blasco (5) demostró que en los suelos lateríticos de Hawaii, se fija el 80% de fósforo en compuestos inasequibles de fosfatos ácidos de hierro y aluminio.

Tafur (55) encontró que en el valle del Cesar las cantidades de fósforo retenidas por el hierro eran más importantes que las retenidas por el aluminio y el calcio.

Fassbender (20) concluye que los andosoles tienen gran capacidad de retención de fósforo, luego siguen los latosoles y por último los aluviales. Este autor (22), en estudios realizados en la Amazonía del Brasil, determina que la fijación de fósforo en estos latosoles, no es un problema tan grave como en otras regiones tropicales y que se puede esperar una respuesta positiva a aplicaciones de fertilizantes fosfatados.

Fassbender (23) trabajó en 107 suelos de América Central, agregando a 1 gr de suelo 50 ml de una solución de KH_2PO_4 , la que contenía 100 ug de P/ml. Se agitó por 6 horas y centrifugó para determinar el fósforo en el supernadante y por diferencia ob-

servó que la fijación varía entre 9,7 y 94,1% del fósforo agregado (47,5 a 470,5 mg P/100 gr de suelo) y en promedio fue del 37,1% (175 mg P/100 gr de suelo). Los promedios de retención fueron muy similares para los diferentes tipos de suelos (andosoles, fluvisoles y otros).

✓ El mismo autor (23) encontró correlaciones significantivas y positivas entre la capacidad de fijación de fósforo y otras características del suelo, como el contenido de carbono, arcillas, hidróxidos de hierro libre, aluminio extraíble y relación negativa con el pH del suelo, observando que éste factor y el contenido de Fe_2O_3 , son los que más afectan la fijación.

Fassbender (24), con base en trabajos de invernadero, concluye que fertilizantes solubles, como superfosfatos llevaron a mayores cosechas, pero fueron fijados más rápidamente. En experimentos de fertilización con superfosfatos, en condiciones de campo y en suelos aluviales, por 9 años constató una alta acumulación de fosfatos de hierro y aluminio.

Fassbender (24) determinó las formas de retención de acuerdo al método de Chang y Jackson (13). Encontró que la fracción retenida en forma de fosfato de calcio fue menor del 2%; la fracción retenida

como fosfato de aluminio fue la más importante, alcanzando en algunos suelos hasta el 87,4%. La retención asociada con el hierro le sigue en importancia, y la de los fosfatos asociada con el hierro y aluminio representó: 96,96; 86, 96; y 83,54% del total para los andosoles, latosoles y suelos aluviales respectivamente.

Passbender (18) usando la isoterma de Langmuir, indica que la capacidad máxima de adsorción de los suelos estudiados sigue el orden: latosol andosol aluvial. Los fosfatos no desorbibles se presentan en formas de aluminio, hierro y calcio.

En muestras de 8 suelos y subsuelos de latosoles de la Amazonia del Brasil, Passbender (22) determinó que la capacidad de retención de fósforo no es tan alta como para otros latosoles tropicales y se puede esperar buena respuesta a fertilización fosfata-da. Con la técnica de trazadores, determinó que de 100 ppm de fósforo agregados a 0,5 gr de suelo, fueron retenidas entre 26 y 51,6%, después de 6 horas de agitación.

Al analizar 14 suelos fuertemente ácidos de Costa Rica, Passbender (20) encontró que la fijación de fósforo, varió entre 26,2 y 94,1% del fós-

foro aplicado (equivaliendo la retención a 131 y 450 mg P/100 gr de suelo). La retención fue más alta en andosoles (86,4%), que en latosoles (58,2%) y suelos aluviales (42,0%) y correlacionó significativamente con el carbono y los hidróxidos libres de aluminio.

Chu y Sherman (14) opinan que los suelos de Hawaii retienen entre 3 y 93% de una solución de 100 mg de fósforo agregados a 100 gr de suelo.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización de los perfiles estudiados.

a. Perfil Puracé: Bosque muy húmedo Montano (bmh-M) y está a una distancia de 6 a 6,3 kilómetros al volcán, a una altura de 3,820 a 3,750 m.s.n.m. (40).

b. Perfil Galeras: Se tomaron muestras de suelos a 3,850 y 3,810 m.s.n.m. a una distancia a la cima del volcán de 5 a 6 kilómetros; el relieve es característicamente montañoso y predomina el bosque muy húmedo Montano (bmh-M) (40).

c) Perfil Cumbal: En el lugar de las muestras recolectadas a alturas de 4.420 a 3.340 m.s.n.m., por López y Rodríguez (40), predomina el relieve montañoso y formación ecológica de bosque húmedo Montano (bh-M), que corresponde a áreas que oscilan entre 4 a 4,5 kilómetros, distantes de la cima del volcán.

d. Perfil Doña Juana: Las muestras de suelos fueron obtenidas entre 5 y 6 kilómetros de distancia a la cima del volcán, a una altura de 3.250 a 3.180 m.s.n.m. el relieve montañoso y una formación ecológica de bosque pluvial Montano (bp-M) (40).

3.2 Suelos

En la elaboración del presente trabajo se utilizaron 26 muestras de 8 perfiles recolectados por López y Rodríguez (40). En cuatro áreas de influencia volcánica, Puracé en el departamento de Cauca y Galeras, Cumbal y Doña Juana en el de Nariño.

Algunas características generales y físico-químicas de estos suelos están en la tesis presentada por López y Rodríguez (40).

Los análisis se hicieron con base en las muestras de los perfiles estudiados, exceptuando los de la roca madre.

3.3 Características de los suelos.

El análisis químico de los diferentes suelos se verificó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño. Las características y los métodos utilizados fueron:

3.3.1 pH

Se determinó por el método del Potenciómetro Beckman, con una relación suelo:cloruro de

potasio 1N 1:2,5; descrita por Pure y Asghar, citados por Jackson (33).

3.3.2 Carbono orgánico.

Se uso el método de Walkley y Black, (58).

3.3.3 Nitrógeno total.

Se empleó el método Kjeldhal modificado (9).

3.3.4 Capacidad catiónica de cambio.

Se obtuvo por el método del Acetato de Amonio normal y neutro de Schollenberger y Simon (55).

3.3.5 Bases embiabiles.

Se determinó por el método del Acetato de Amonio, descrito por Jackson (33).

3.3.6 Aluminio cambiabile.

Se realizó por el método del Aluminio modificado por Yuan y Fiskell, descrito por Jiménez y Ocampo (35).

3.4 Capacidad de fijación

Se verificó siguiendo el método de Passbender e Igue (19) con la siguiente modificación:

A muestras duplicadas de 5 gr de suelo tamizado a 1 mm, se agregaron 25 ml de una solución de KH_2PO_4 que contenía 100 ppm de fósforo. Se sometió a agitación 6 horas, centrifugó y decantó. En el supernadante se determinó el fósforo no retenido y, por diferencia, el fósforo fijado.

La capacidad de fijación se refirió a porcentaje del fósforo añadido, mediante la fórmula:

$$\% \text{ de fijación} = \frac{\text{P - fijado}}{\text{P - añadido}} \times 100$$

3.5 Formas de fijación

3.5.1 Fijación por precipitación

Descartado el supernadante, se tomó 1 gr de suelo con 100 ppm de fósforo y se procedió al fraccionamiento de fosfatos mediante la técnica de Chang y Jackson (13), con las modificaciones propuestas por Sen Gupta y Cornfield (52). Las fracciones determinadas y el extractante fueron:

P-Fác. Reemplazable	ClNH_4	1N	
P-Ca no apatítico	CH_3COOH	0,5N	
P-Aluminio	NH_4F	0,5N	(pH 7)
P-Hierro	NaOH	0,1N	
P-Ca Apatítico	H_2SO_4	0,5N	

Simultáneamente se efectuó el mismo fraccionamiento en el suelo original. Las diferentes formas de fijación y su magnitud se determinaron por diferencia.

En cada forma, se calculó la fijación expresada en porcentaje de la fijación total, ejemplo:

$$\% \text{ fijación hacia el P-Fe} = \frac{\text{ppm P-Fe}}{\text{ppm fijación total}} \times 100$$

La fijación por precipitación total se calculó mediante la suma de la fijación hacia las diferentes formas.

3.5.2 Fijación por adsorción.

Se calculó por diferencia, así:

Fijación por adsorción = Fijación total - Fijación por precipitación.

Esta forma de fijación se expresó en porcentaje, así:

$$\% \text{ Fijación por adsorción} = \frac{\text{ppm Fij. X adsorción}}{\text{ppm Fij. total}} \times 100$$

3.6 Fósforo orgánico.

El método utilizado fue el propuesto por Saunders y Williams, descrito por Pantoja (46).

3.7 Fósforo Total.

Se determinó por el método de fusión con carbonato de sodio, descrito por Jackson (33).

3.8 Fósforo inerte.

Se obtuvo por diferencia, al fósforo total se le restó la suma de las fracciones inorgánicas y orgánicas.

3.9 Fósforo aprovechable.

Se empleó el método Bray II, desarrollado por Bray Kurtz (8).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En las Tablas I a XXV y en las Figuras 1 a 29 se presentan los resultados obtenidos.

En las Tablas XXVIII y XXIX del apéndice se incluyen los resultados de la caracterización de los perfiles estudiados.

4.1 Capacidad de fijación.

La fijación total de fósforo fue muy homogénea en los perfiles estudiados. Los valores fueron altos y fluctuaron entre el 92,56 y el 99,00 % del fósforo añadido.

Prácticamente, no se presentaron diferencias apreciables, entre horizontes y perfiles. No obstante, el promedio de fijación total en los dos primeros horizontes tiende a ser un poco mayor que para los horizontes inferiores, pero la diferencia es insignificante.

De esta forma, los suelos estudiados presentan una acentuada capacidad para fijar o retener fosfatos, confirmando así, los resultados que han sido obtendidos en suelos volcánicos de diferentes regiones (20, 21, 24).

T A B L A I

FRACCIONES DE FOSFORO EN LOS SUELOS ESTUDIADOS

P. No. Reen. ppm.	P-Al ppm.	P-Po ppm.	P-Ca		P. Orgánico ppm.	P. Total ppm.	P. Inerte ppm.
			No Apat. ppm.	Apat. ppm.			
1.66	240,37	75,63	4,99	2,49	157,92	639,99	156,93
1.81	203,19	101,96	0,26	2,58	85,18	632,41	237,43
0.28	210,62	83,36	18,71	4,13	117,19	962,85	528,56
5.57	250,99	170,03	0,76	212,54	87,65	985,27	257,74
1.64	386,16	254,16	0,27	24,37	92,29	813,17	54,28
0.76	222,99	269,01	0,76	12,14	72,31	686,67	108,70
1.09	350,81	157,17	0,82	7,69	99,14	1.000,18	383,46
1.07	392,66	135,59	0,27	5,07	126,29	793,23	132,28
1.61	207,31	122,52	29,62	171,68	51,32	903,25	319,19
0.25	251,17	224,57	0,25	75,24	112,41	804,15	140,27
1.09	119,71	185,51	23,36	230,85	59,91	194,94	715,37
1.60	88,22	140,35	1,34	250,74	49,08	680,61	149,28

T A B L A I

FRACCIONES DE FOSFORO EN LOS SUELOS ESTUDIADOS

Horizonte	P. Fac. Reem. ppm.	P-Al ppm.	P-Fe ppm.	P-Ca No Apat. ppm.	P-Ca Apat. ppm.	P. Orgánico ppm.	P. Total ppm.	P. Inerte ppm.
0 - 160	1.66	240.37	75.63	4.99	2.49	157.92	639.99	156.93
160 - 220	1.81	203.19	101.96	0.26	2.58	85.18	632.41	237.43
0 - 230	0.28	210.62	83.36	18.71	4.13	117.19	962.85	528.56
230 - 270	5.57	250.99	170.03	0.76	212.54	87.65	985.27	257.74
270 - 282	1.64	386.16	254.16	0.27	24.37	92.29	813.17	54.28
282 - X	0.76	222.99	269.01	0.76	12.14	72.31	686.67	108.70
0 - 10	1.09	350.81	157.17	0.82	7.69	99.14	1.000.18	383.46
10 - 40	1.07	392.66	135.59	0.27	5.07	126.29	793.23	132.28
40 - X	1.61	207.31	122.52	29.62	171.68	51.32	903.25	319.19
0 - 20	0.25	251.17	224.57	0.25	75.24	112.41	804.15	140.27
20 - 100	1.09	119.71	185.51	23.36	230.85	59.91	194.94	715.37
100 - X	1.60	88.22	140.35	1.34	250.74	49.08	680.61	149.28

T A B L A II

FRACCIONES DE FOSFORO EN LOS SUELOS ESTUDIADOS

SUELO	Horizonte	P. Fec. Reem. ppm	P-Al ppm	P-Fe ppm	P-Ca No Apat. ppm	P-Ca Apat. ppm	P Orgánico ppm	P Total ppm	P. Inerte ppm
HUECO I	0 - 90	7,13	241,91	107,79	3,57	20,68	125,07	360,56	866,71
	90 - 140	5,83	229,11	97,11	1,27	14,19	80,27	910,24	482,46
	140 - X	4,02	348,52	147,49	1,34	29,91	101,91	707,98	74,79
HUECO II	0 - 80	4,55	338,58	117,67	0,25	11,70	81,99	738,91	184,17
	80 - 125	3,81	283,10	118,47	1,76	10,94	69,51	895,47	407,88
	125 - 190	2,16	345,70	163,23	1,66	57,56	89,99	864,80	204,54
	190 - X	1,53	272,35	144,68	4,33	33,11	87,88	951,80	307,92
CALLEJAS I	0 - 190	0,25	312,86	87,58	2,03	25,57	126,56	561,94	7,09
	190 - 230	6,64	202,26	91,42	5,36	37,28	91,02	704,84	290,86
	230 - 270	9,86	242,78	96,86	2,28	75,36	17,70	607,28	162,44
	270 - X	6,77	213,51	71,11	0,78	185,72	22,40	767,36	267,07
	0 - 70	9,12	351,49	122,41	2,47	25,51	107,21	742,21	124,00
	70 - 120	1,77	188,46	93,46	93,72	7,59	70,67	650,98	288,26
	120 - X	3,29	163,18	99,70	0,25	12,94	45,82	604,82	279,64

T A B L A III

FIJACION DE FOSFORO Y SUS FORMAS (ppm)

SUELO	Horizonte	P. Añadido	P. Fec. Reem.	FIJACION POR PRECIPITACION							Fijación por Adsorción	Fijación Total
				P-Al	P-Fe	P-Ca		Total	Inerte			
						No Apat.	Apat.					
FURACE I	0 - 90	548,55	150,85	-125,73	118,48	185,96	2,63	307,07	- 36,12	222,82	534,89	
	90 - 140	507,10	84,18	- 33,78	237,58	92,04	25,11	354,73	-260,96	143,59	498,32	
	140 - I	536,35	89,84	-153,47	233,32	67,04	0,47	375,25	74,42	154,27	529,52	
FURACE II	0 - 80	506,10	95,66	-146,36	209,25	62,51	0,45	303,12	30,91	188,55	491,67	
	80, - 125	507,35	139,01	-180,21	342,20	80,18	0,43	422,81	-234,47	77,59	500,40	
	125, - 190	540,50	81,62	-280,84	216,47	82,97	16,22	315,66	- 56,72	219,45	535,11	
GALERIAS I	190 - I	509,45	86,35	-131,13	184,42	29,53	2,30	216,27	- 76,02	284,92	501,19	
	0 - 190	506,25	88,34	-163,11	220,22	58,21	159,97	448,27	9,87	46,42	494,69	
	190 - 230	510,75	74,57	- 72,94	404,77	54,65	4,86	464,28	-180,30	37,68	501,96	
GALERIAS II	230, - 270	505,80	105,21	- 71,31	116,84	41,98	72,59	231,41	- 99,04	266,28	497,69	
	270 - I	520,95	58,35	-166,01	39,59	76,84	18,75	135,18	-155,54	369,10	504,28	
	0 - 70	552,65	51,12	-138,61	250,53	31,52	4,90	365,95	78,90	175,14	541,09	
GALERIAS II	70 - 120	506,60	60,81	- 45,60	146,92	14,18	3,80	353,10	188,20	142,62	495,72	
	120 - I	507,40	126,86	- 39,89	77,89	38,57	11,42	176,02	48,14	320,69	496,71	

T A B L A IV

FIJACION DE FOSFORO Y SUS FORMAS (ppm)

SUELO	Horizonte	Medido	Fac. Reom.	FIJACION POR PRECIPITACION						Fijación	
				P-Al	P-Fe	P-Ca No Apat.	P-Ca Apat.	P. Total	P. Inerte	Por Adsorci	Total
CUMAL	0 - 160	554,10	104,45	- 72,48	116,09	30,47	18,29	180,14	- 15,29	361,52	541,66
	I 160 - 220	516,25	82,34	- 96,02	260,45	99,12	5,94	365,51	- 22,47	138,18	503,69
	0 - 230	550,20	124,34	- 80,88	116,91	82,53	17,60	217,04	- 290,32	320,99	538,03
CUMAL	230 - 270	506,05	113,35	- 41,08	68,57	15,18	110,32	194,07	- 228,69	298,72	492,79
	II 270 - 282	547,75	9,18	- 157,61	64,90	1,10	56,15	398,86	276,71	121,41	520,27
	282 - I	505,65	10,100	- 76,76	86,71	20,98	3,15	375,71	264,87	103,39	479,10
D. JUANA	0 - 10	549,55	33,26	- 148,03	96,45	0,00	36,72	371,88	236,71	162,01	533,89
	10 - 40	533,80	24,55	- 297,22	34,69	61,92	240,48	425,43	88,34	70,07	495,50
	I 40 - I	537,35	47,62	- 20,29	199,89	1,27	87,00	288,16	- 273,11	209,56	497,72
D. JUANA	0 - 20	508,65	13,99	- 13,43	63,58	1,02	89,33	24,73	- 110,67	406,04	495,47
	20 - 100	549,65	82,18	- 9,23	18,68	24,18	164,90	207,76	- 148,65	327,73	535,49
	II 100 - I	534,65	41,44	- 37,54	40,09	4,81	30,25	75,15	- 74,35	443,33	518,48

T A B L A V

FIJACION DE FOSFORO Y SUS FORMAS (%)

SUELO	Horizonte	P. Fac. Reem.	FIJACION POR PRECIPITACION					Fijación por Adsorción	Fijación Total
			P-Fe	P. No. Apat.	P. Apat.	P. Total	P. Inerte		
CUMBAL I	0 - 160	19,28	21,43	5,62	3,37	33,25	2,82	66,74	97,75
	160 - 220	16,35	19,67	11,17	1,17	72,56		27,43	92,56
	0 - 230	23,11	21,72	15,33	3,27	40,33		59,66	97,78
	230 - 270	23,00	13,91	3,08	22,38	39,38		60,61	97,37
CUMBAL II	270 - 282	1,76	12,47	2,11	10,79	76,66	53,17	23,33	94,98
	282 - X	2,09	18,09	4,37	6,57	78,41	55,28	21,58	94,74
	0 - 10	6,23	18,06	0,00	7,25	69,65	44,33	30,34	97,15
D. JUANA I	10 - 40	4,95	7,00	12,49	48,53	85,85	17,82	14,14	98,82
	40 - X	9,57	40,16	2,55	17,47	57,89	42,10	42,10	92,62
	0 - 20	2,82	13,83	2,05	4,99	18,88		81,96	97,38
D. JUANA II	20 - 100	15,34	3,48	4,51	30,79	38,79		61,20	97,42
	100 - X	7,99	7,73	0,92	5,83	14,49		85,50	96,97

T A B L A VI

FIJACION DE FOSFORO Y SUS FORMAS (A)

SUELOS	Horizonte	Fac. Reom.	FIJACION POR PRECIPITACION					Fijación por Adsorción	Fijación Total
			P-Po	P-Ca No Apat.	P-Ca Apat.	P. Total	P. Inerte		
FURACE I	0 - 90	28,20	34,76	22,15	0,49	57,40		42,59	97,50
	90 - 140	16,89	47,67	18,47	5,03	71,18		26,61	98,26
	140 - X	16,96	44,06	12,66	0,08	70,86	14,05	29,13	98,72
FURACE II	0 - 80	19,45	42,55	12,71	0,09	61,51	6,28	38,34	97,14
	80 - 125	27,78	68,38	16,02	0,85	84,49		15,50	98,63
	125 - 190	15,25	40,45	15,50	0,03	58,98		41,01	99,00
	190 - X	17,23	39,79	5,89	4,58	43,15		56,84	98,37
GALERIAS I	0 - 90	17,86	44,55	11,76	32,33	90,61	1,99	9,38	97,71
	190 - 230	12,86	80,63	10,88	0,96	92,49		7,50	98,27
	230 - 270	21,14	23,47	8,43	14,58	46,49		53,50	98,39
	270 - X	11,57	7,85	15,23	3,71	26,80		73,19	96,80
GALERIAS II	0 - 70	9,45	46,31	5,82	0,91	67,63	14,58	32,36	37,90
	70 - 120	19,73	29,63	2,86	0,76	71,22	37,96	28,75	97,85
	120 - X	25,54	15,68	7,76	2,29	35,43	2,69	64,66	97,89

Sin embargo, el promedio obtenido para los suelos (97;53%) resulta altamente superior al obtenido por Fassbender (21) (35,9 %).

Los resultados obtenidos indican que casi la totalidad del fósforo añadido fue retenido por el suelo, lo cual teóricamente implicaría que el aprovechamiento de los fertilizantes fosfatados en estos suelos sería prácticamente nulo. No obstante esta situación no se presenta por razones que se clarificarán a lo largo de la discusión.

4.2 Formas de fijación.

4.2.1 Fijación por adsorción.

La fijación por adsorción se obtuvo por diferencia entre la fijación total y la fijación por precipitación. Sin embargo, de acuerdo a Fassbender (22) el fósforo fácilmente reemplazable representaría la retención de fósforo por adsorción. Es decir, que sobre esa base, los valores de esa fracción deberían ser sensiblemente iguales a los determinados por diferencia. Observando los resultados, se aprecia que lo anterior no ocurre y que, en general, los valores obtenidos por diferencia son mayores que los correspondientes al fósforo fácilmente reemplazable.

La anterior situación plantea dos posibilidades: o bien existen errores analíticos, o se producen formas de retención no detectadas por el método utilizado. De acuerdo a Fassbender (22), las dos posibilidades podrían involucrarse.

La retención de fósforo por adsorción presentó valores variables entre los diferentes perfiles estudiados. En general, tendió a ser mayor en los perfiles de Cumbal, Puracé I y Doña Juana II que en los demás perfiles. Así, mientras en el perfil Doña Juana II la adsorción representó, en el suelo, el 81,96% de la fijación total, en el perfil Galeras I este valor sólo representó el 9,38% de la fijación total. Como se verá más adelante, esta forma de retención puede estar asociada a algunas características mineralógicas, lo cual explicaría las diferencias encontradas.

Al estudiar los resultados, en relación a la profundidad del horizonte, no se observa ninguna tendencia clara. Sin embargo, en la Tabla VII podemos observar que la adsorción tiende, en promedio, a disminuir en el segundo horizonte (30,49%), en comparación al primero (45,17%), para luego estabilizarse en el tercero y cuarto (48,46% y 50,53%).

Los promedios generales resultaron en valores de retención por adsorción muy superiores a los encontrados por diferentes autores (20, 21, 24) en otros suelos volcánicos.

Así, el promedio para los suelos (45,17%), difiere acentuadamente del encontrado por Fassbender (21) en andosoles de Centroamérica (2,95%). Esta situación podría explicarse por diferencias en la metodología utilizada y/o características inherentes al suelo.

Si la fracción retenida por adsorción corresponde a fósforo soluble y débilmente ligado, esta forma de retención no podría considerarse como verdadera fijación ya que este fosfato podría ser asimilado por la planta. Se coincide así con la opinión de Hsu (31). Más adelante, se complementará la discusión sobre esta hipótesis.

4.2.2 Fijación por precipitación.

La fijación del mecanismo de precipitación, varió dentro de límites más o menos amplios. Para los suelos (primer horizonte), la precipitación representó entre el 18,03% y el 90,61% de la fijación total.

El mayor valor correspondió al perfil Galeras I y el menor a Doña Juana II. Las diferencias observadas pueden atribuirse a diferentes factores, especialmente a aquellos relacionados con la composición mineralógica.

El fenómeno de precipitación parece ser independiente de la profundidad del horizonte, las variaciones que se presentan (Tabla VII), son muy pequeñas y no indican ninguna tendencia. Así, para los horizontes primero, tercero y cuarto, los promedios son: 54,81; 51,52 y 49,45% y sólo se podría hablar de una mayor intensidad de la precipitación en el segundo horizonte, en donde este mecanismo respondió por el 69,49% de la fijación total.

El hecho de no presentarse un efecto de la profundidad sobre la intensidad de la precipitación, implica que este fenómeno se presenta en forma más o menos homogénea hasta una profundidad promedio no inferior a dos metros, y que es independiente de varias características edáficas que varían con la profundidad. Este aspecto se estudiará más adelante.

El promedio general obtenido para los suelos (54,81%), se considera muy inferior al encontrado por Fassbender (21), (98,00%) en suelos andosoles de

T A B L A VII

FIJACION DE FOSFONO DE ACUERDO A LOS HORIZONTES

SUELOS	FIJACION TOTAL			FIJACION POR PRECIPITACION			FIJACION POR ABSORCION		
	Mínimo	Mínimo	Promedio	Mínimo	Mínimo	Promedio	Mínimo	Mínimo	Promedio
1º HORIZONTE	97,90	97,14	97,53	90,61	18,03	54,81	81,96	9,38	45,17
2º HORIZONTE	96,82	92,56	98,02	92,48	38,79	69,49	61,20	7,50	30,49
3º HORIZONTE	99,00	92,62	96,93	76,66	14,49	51,52	85,50	23,33	48,46
4º HORIZONTE	96,37	94,74	96,63	78,41	26,80	49,45	73,19	21,58	50,53

Costa Rica. Esta situación podría explicarse por diferentes inherentes a los suelos, como por diferencias en la metodología utilizada.

a) Fosfatos de calcio.

La precipitación hacia los fosfatos de calcio no apatítico fluctó entre límites más o menos amplios (0,0 a 22,10%). Para el caso de los suelos (primer horizonte). La mayor precipitación hacia esta fracción ocurrió en el perfil Puracé I y la menor en el Doña Juana I. Es probable que las diferencias encontradas estén asociadas con algunas características edáficas, tales como la concentración de sílice.

Los valores promedios para los diferentes horizontes, indican que la intensidad del fenómeno de precipitación hacia esta fracción no apatítica es independiente de la profundidad.

La precipitación hacia los fosfatos de calcio apatítico respondió desde el 0,08 al 48,53% de la fijación total. En general, la variabilidad encontrada fue, superior a la correspondiente a los fosfatos de calcio no apatítico.

Para los horizontes superiores, el promedio encontrado fue de 6,58%, el mayor valor de pre-

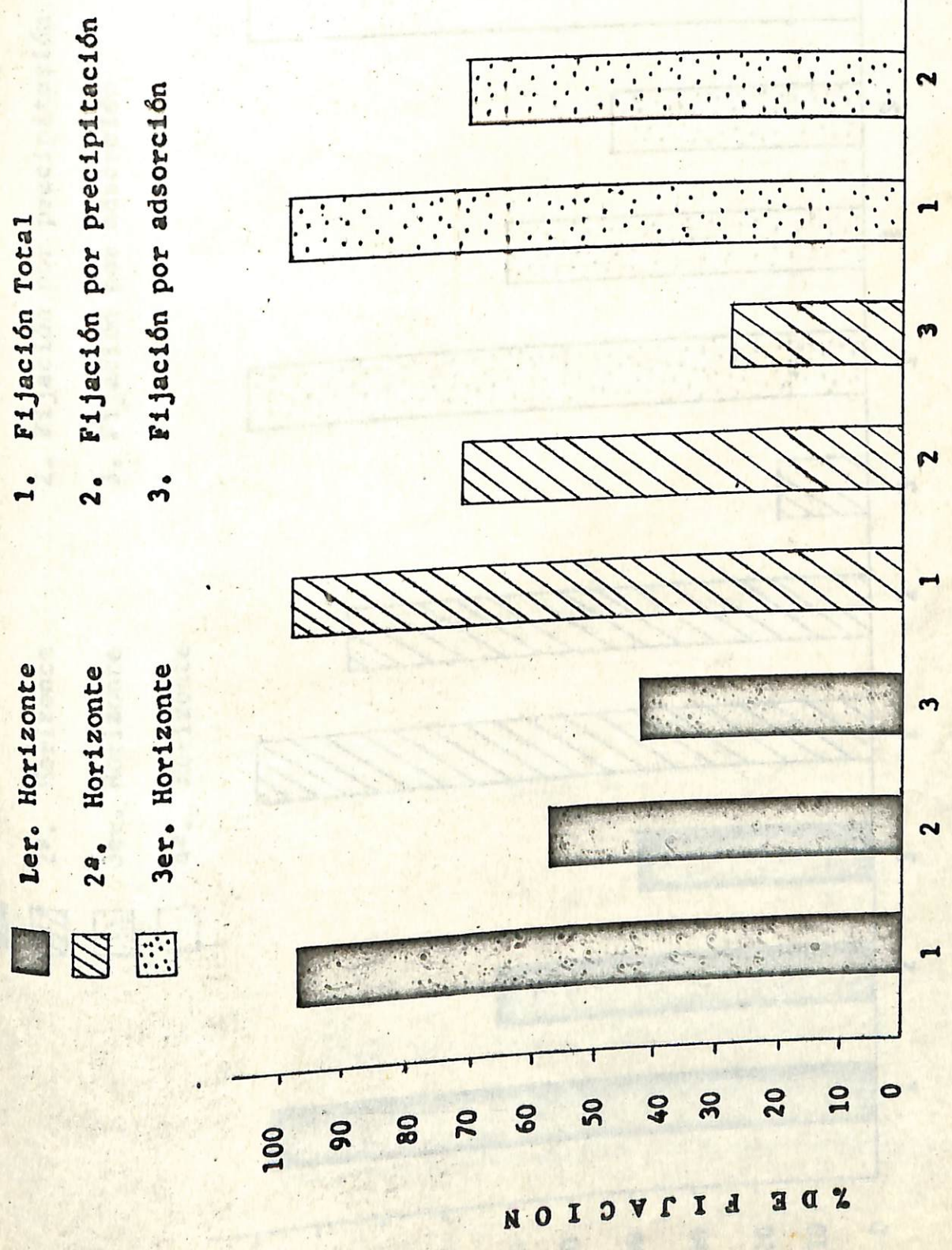
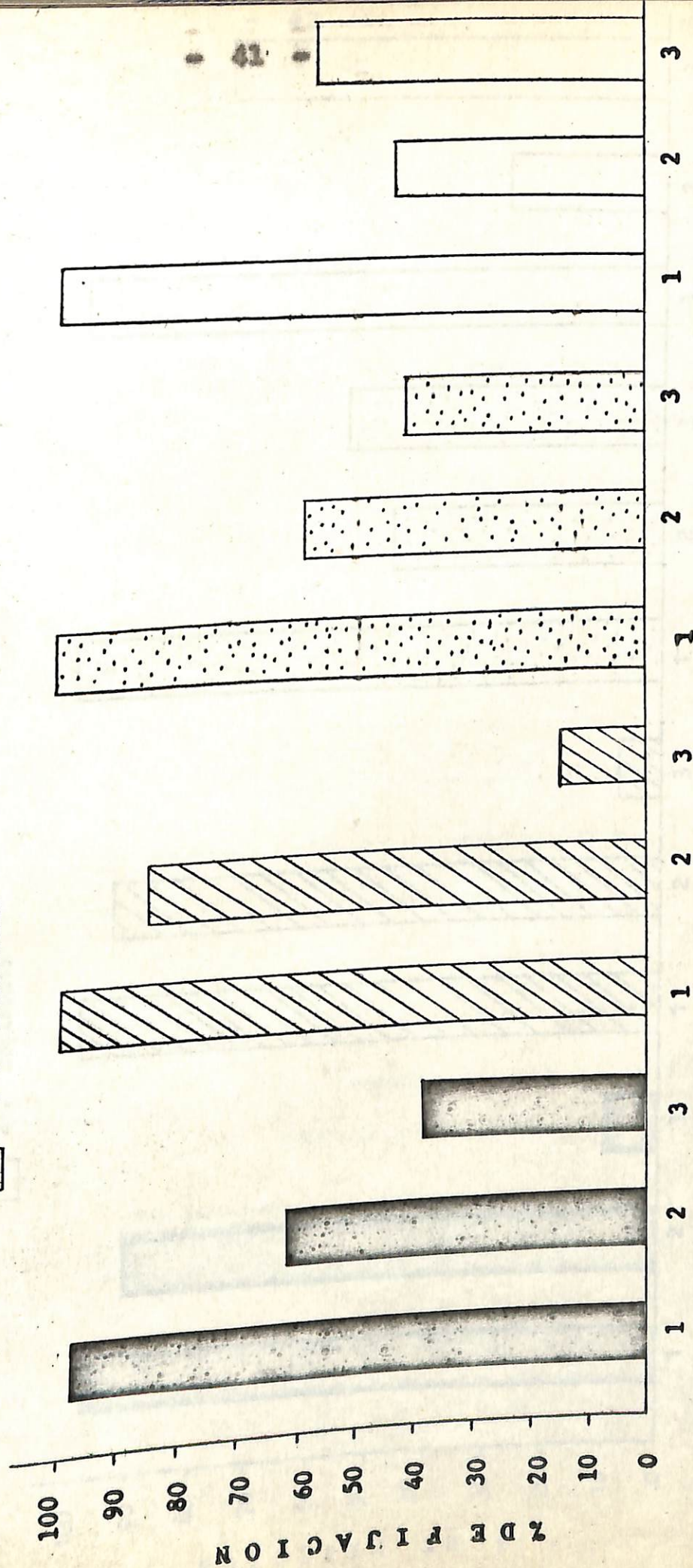


Figura 1 . FIJACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL PURACE I.



1er. Horizonte

2º. Horizonte

3er. Horizonte

4º. Horizonte

1. Fijación total

2. Fijación por precipitación

3. Fijación por adsorción

Figura 2 . FIJACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL PURACE II.

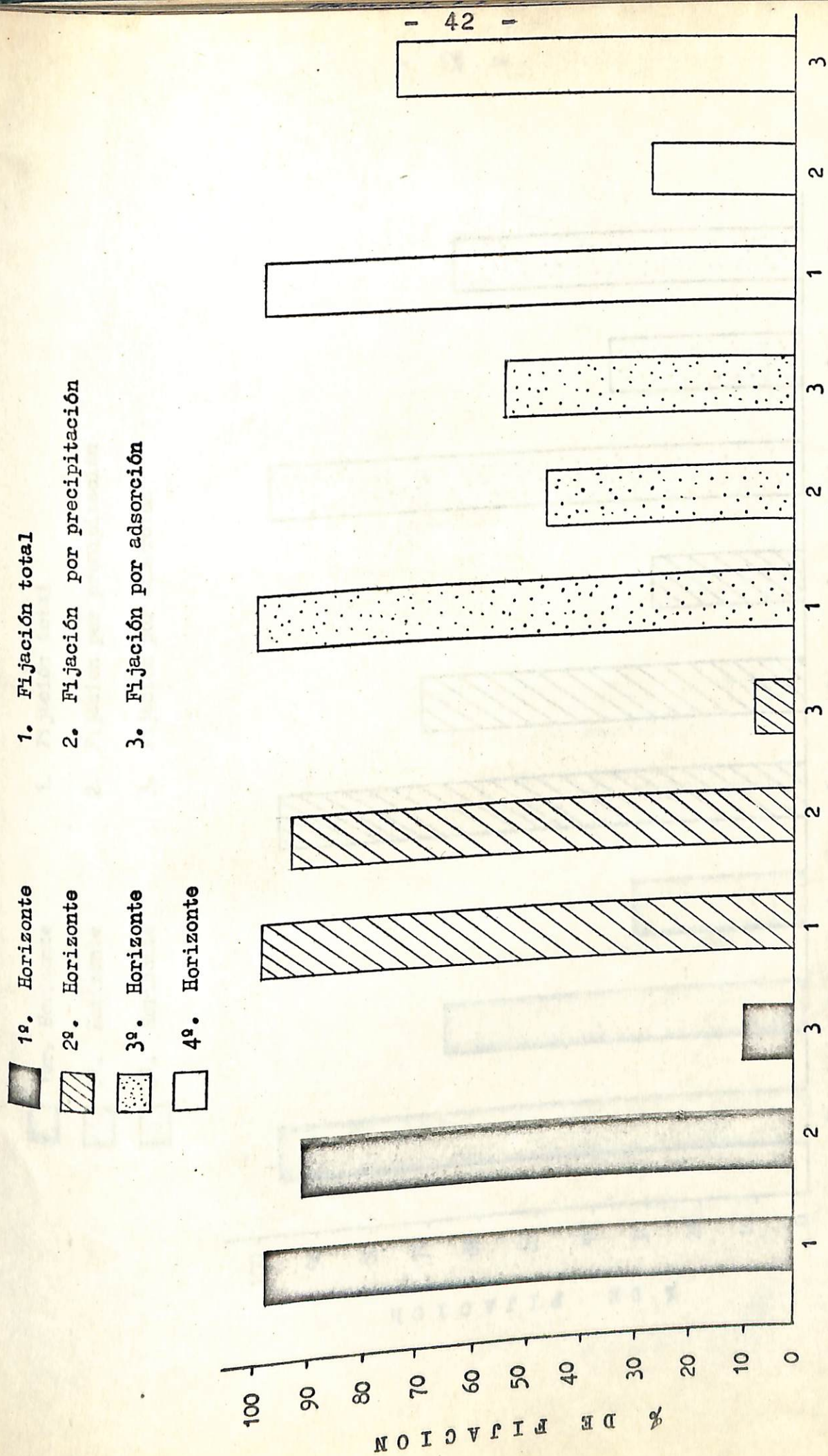


Figura 3 . FIJACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL GALERAS I.

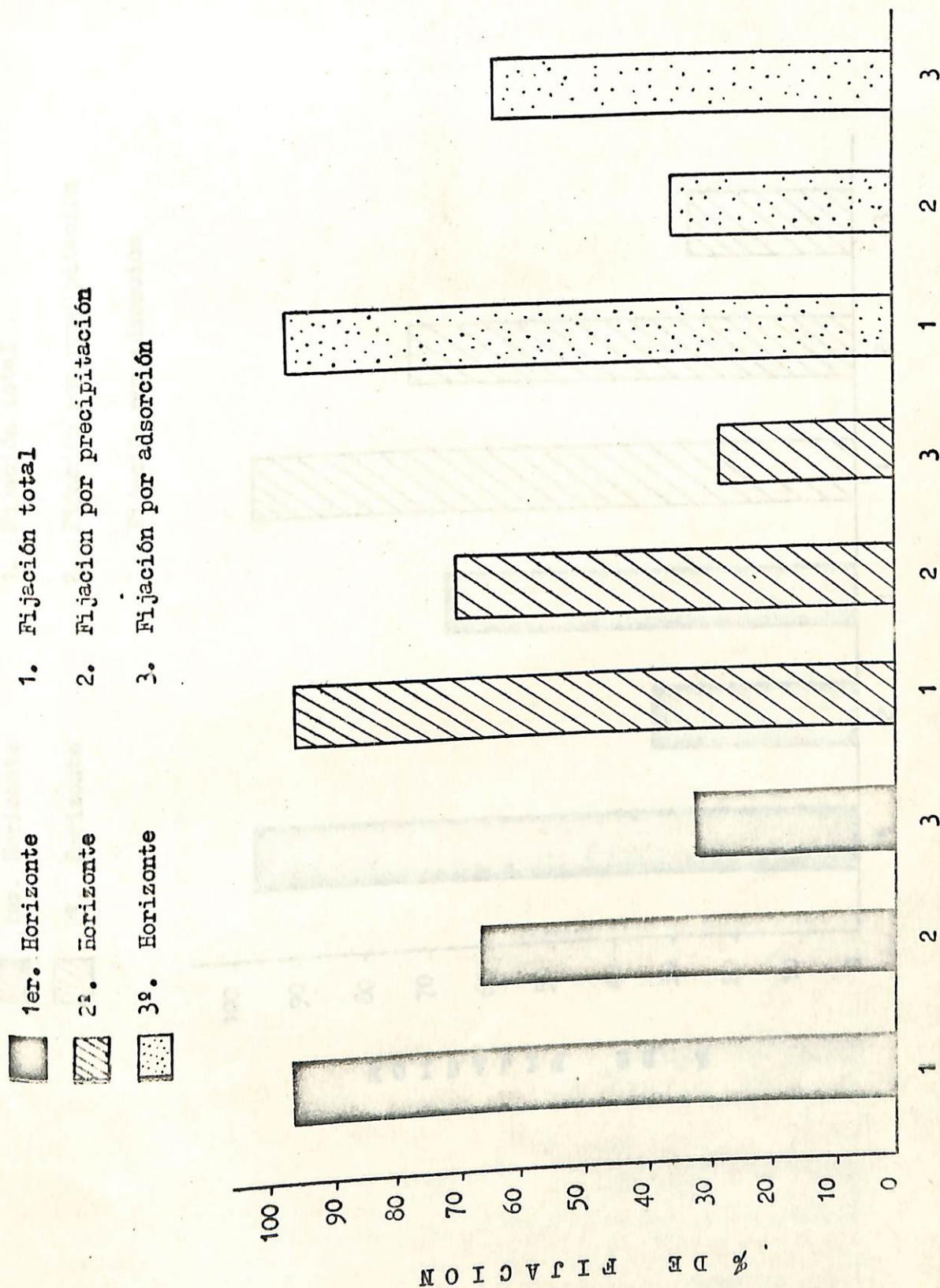


Figura 4 . FIJACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL GALERAS II.

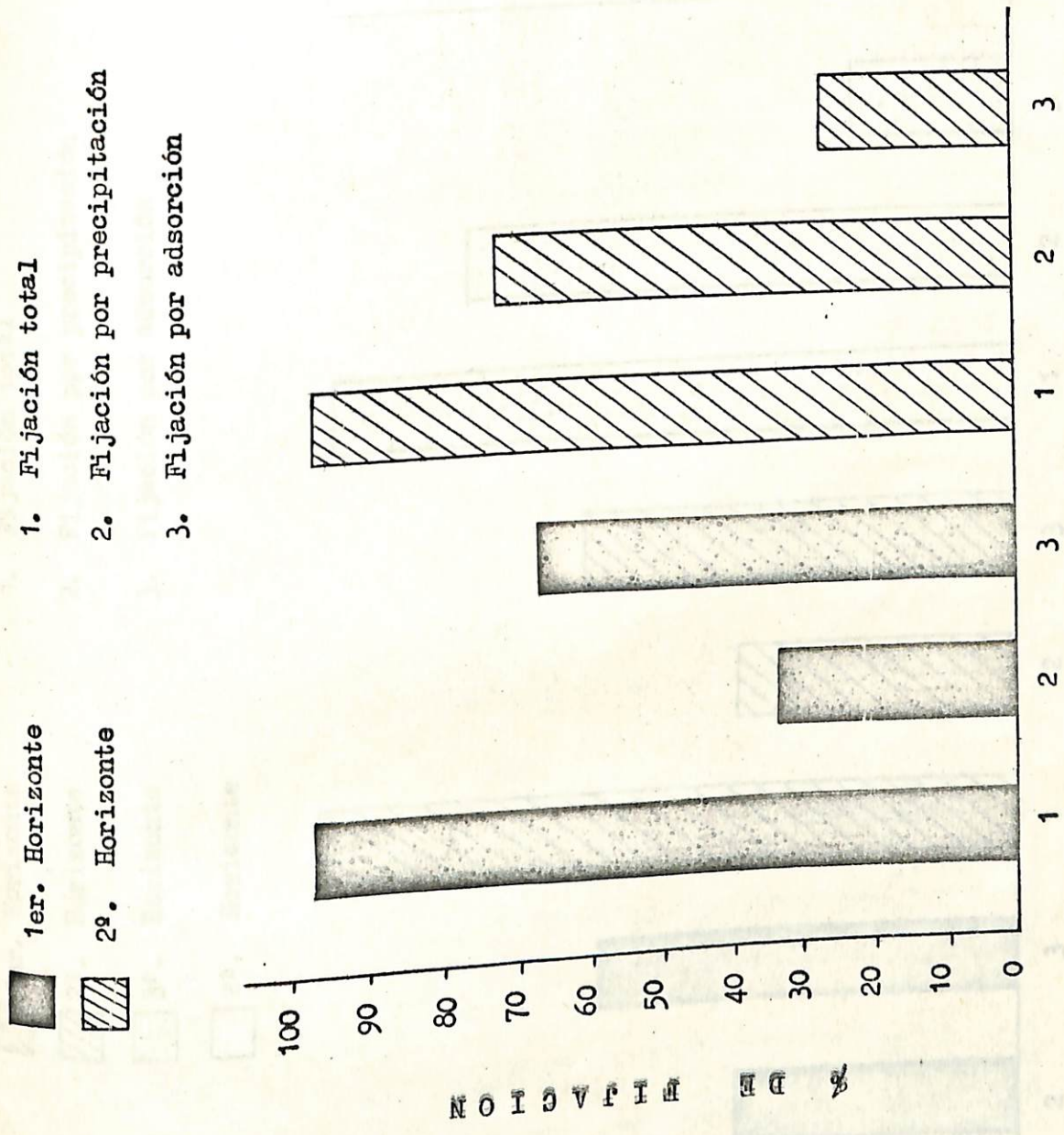


Figura 5 . FIJACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL CUMBAL I.

- 1er. Horizonte

2º. Horizonte

3º. Horizonte

4º. Horizonte
1. Fijación total

2. Fijación por precipitación

3. Fijación por adsorción

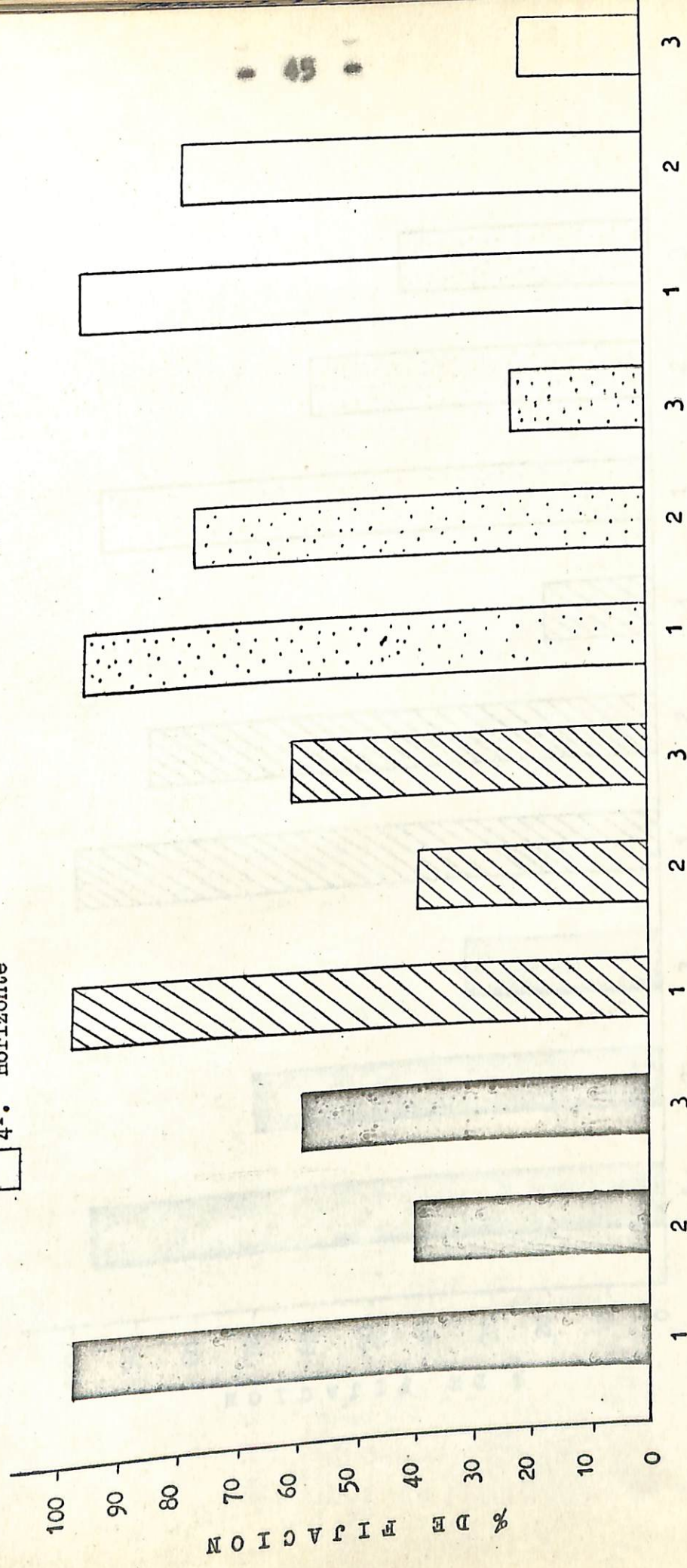


Figura 6 . FIJACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL CUMBAL II.

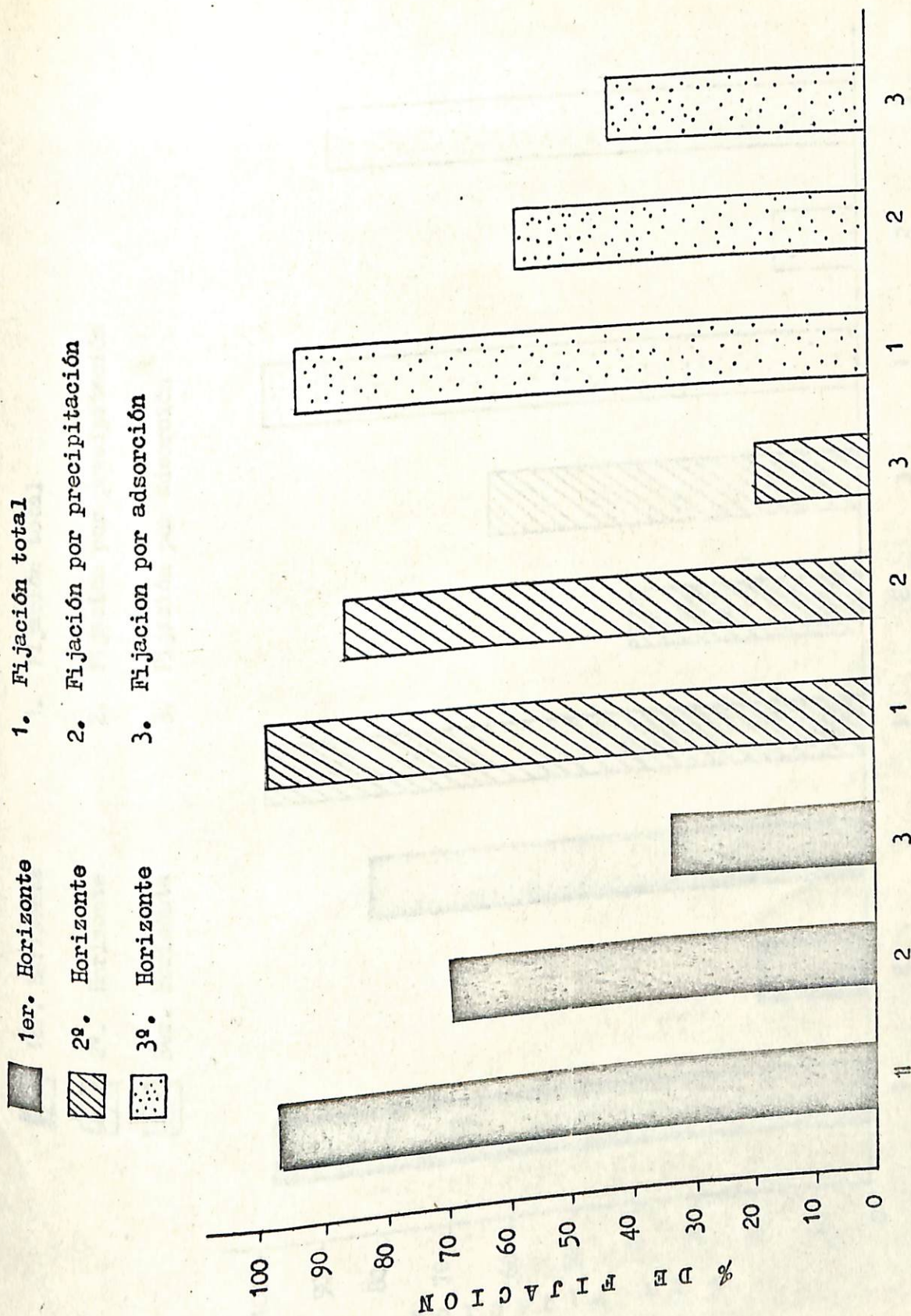


Figura 7 . FIJACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL DOÑA JUANA I.

- | | | |
|---|----------------|-------------------------------|
|  | 1er. Horizonte | 1. Fijación total |
|  | 2º. Horizonte | 2. Fijación por precipitación |
|  | 3er. Horizonte | 3. Fijación por adsorción |

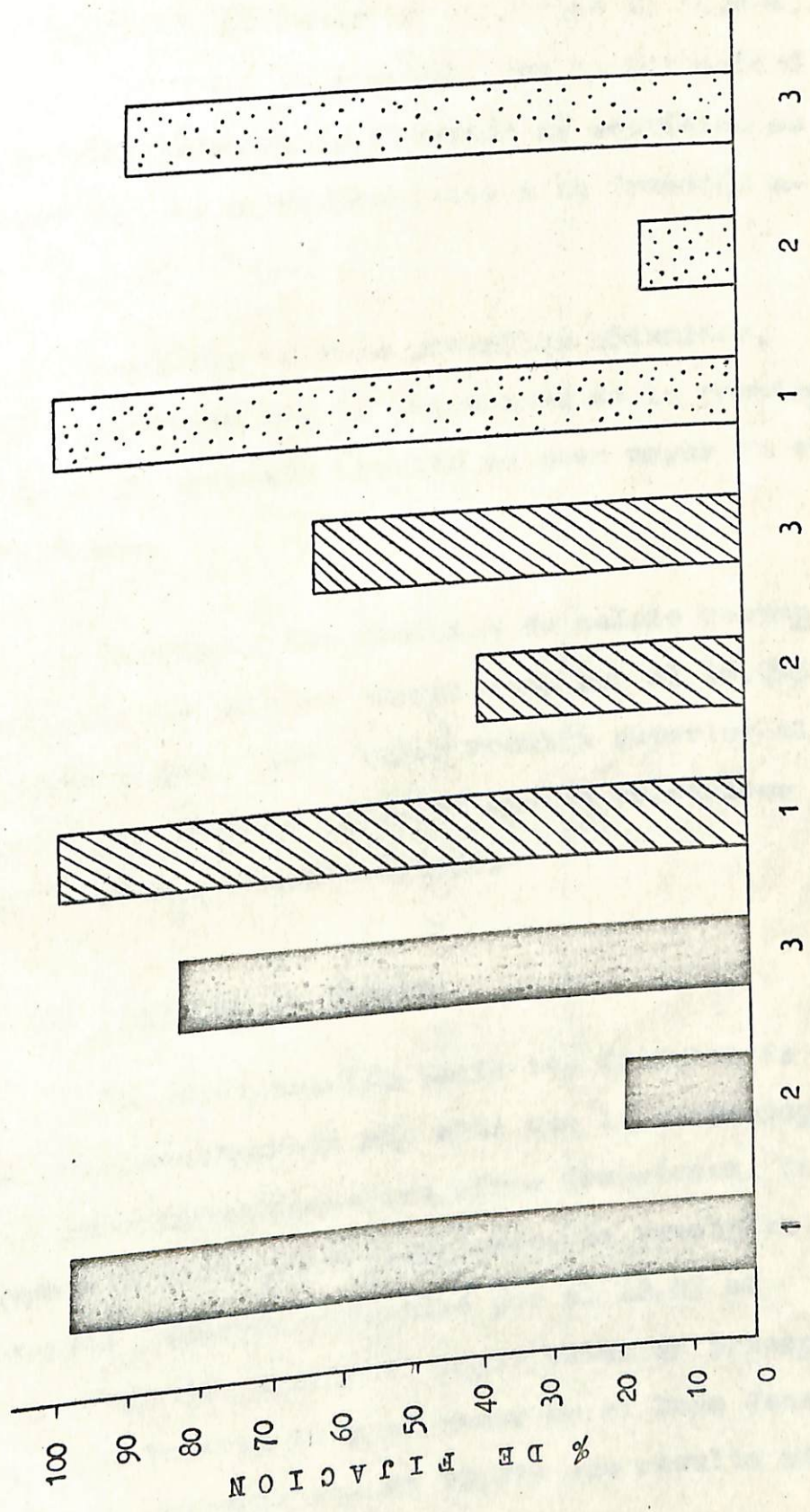


Figura 8 . FIJACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL DOÑA JUANA II.

precipitación hacia esta fracción se presentó en el suelo Galeras I (32,33%) y el menor en el Puracé II (0,09%). Los resultados indican, en general, que la intensidad de la precipitación hacia la fracción no apatítica es un poco mayor que la correspondiente a la fracción apatítica.

Para los valores promedios obtenidos, los resultados indican que la intensidad de la precipitación hacia esta fracción resultó un poco mayor en el segundo horizonte.

En total, los fosfatos de calcio respondieron, para los horizontes superiores, por el 16,01% de la fijación total. Este valor resulta superior al encontrado por Fassbender (21), en suelos volcánicos de América Central (promedio 1,64%).

b) Fosfatos de Hierro.

La precipitación hacia los fosfatos de hierro fue consistentemente más alta que la correspondiente a la presentada hacia las otras fracciones. En efecto, para los horizontes superiores, la precipitación hacia esta fracción respondió por el 12,83 al 46,31% de la fijación total. El mayor valor se presentó en el perfil Galeras II y el menor en el Doña Juana, II, el promedio obtenido fue de 30,27% que resulta más

T A B L A VIII

FIJACION DE FOSFORO DE ACUERDO A LOS HORIZONTES

SULO	FIJACION P-Po		FIJACION P-Ca NO APATITICO		FIJACION P-Ca APATITICO		FIJACION P-INERTE					
	Máximo	Mínimo Promedio	Máximo	Mínimo Promedio	Máximo	Mínimo Promedio	Máximo	Mínimo Promedio				
1º HORIZONTE	46,31	12,83	30,27	22,15	0,00	9,43	32,33	0,09	6,58	44,33	1,99	14,00
2º HORIZONTE	80,63	3,48	37,80	19,67	2,86	10,99	48,53	0,76	13,80	37,96	17,82	27,89
3º HORIZONTE	44,06	7,73	26,28	15,50	2,11	7,13	14,58	0,08	7,72	53,18	9,69	25,64
4º HORIZONTE	39,79	7,85	21,91	15,23	4,37	8,49	6,57	3,71	4,95	55,28	—	55,28

que el obtenido por Fassbender (21), en suelos volcánicos de América Central (14,40%), pero menor el obtenido en la tosoles del Brasil (22), en donde los fosfatos de hierro respondieron por el 63,0% de la fijación total.

En términos generales, la precipitación hacia esta fracción es mayor en el primero y segundo horizontes (30,27 y 37,80%) que en el tercero y cuarto (26,28 y 21,91%).

El hecho de que los fosfatos de hierro hayan respondido por la mayor parte de la fijación por precipitación, implica que los suelos estudiados presentan altas cantidades de hierro activo. En efecto, algunos autores (12, 35), han encontrado altos valores de hierro intercambiable en suelos del Altiplano de Pasto y Sabana de Túquerres.

c) Fosfatos de aluminio.

En ninguno de los perfiles y horizontes estudiados se presentó precipitación hacia los fosfatos de aluminio. Estos resultados son contrarios a los encontrados por otros autores (21, 22, 24), quienes han reportado que los fosfatos de aluminio responden, junto con el hierro, por la mayor parte de la fijación total.

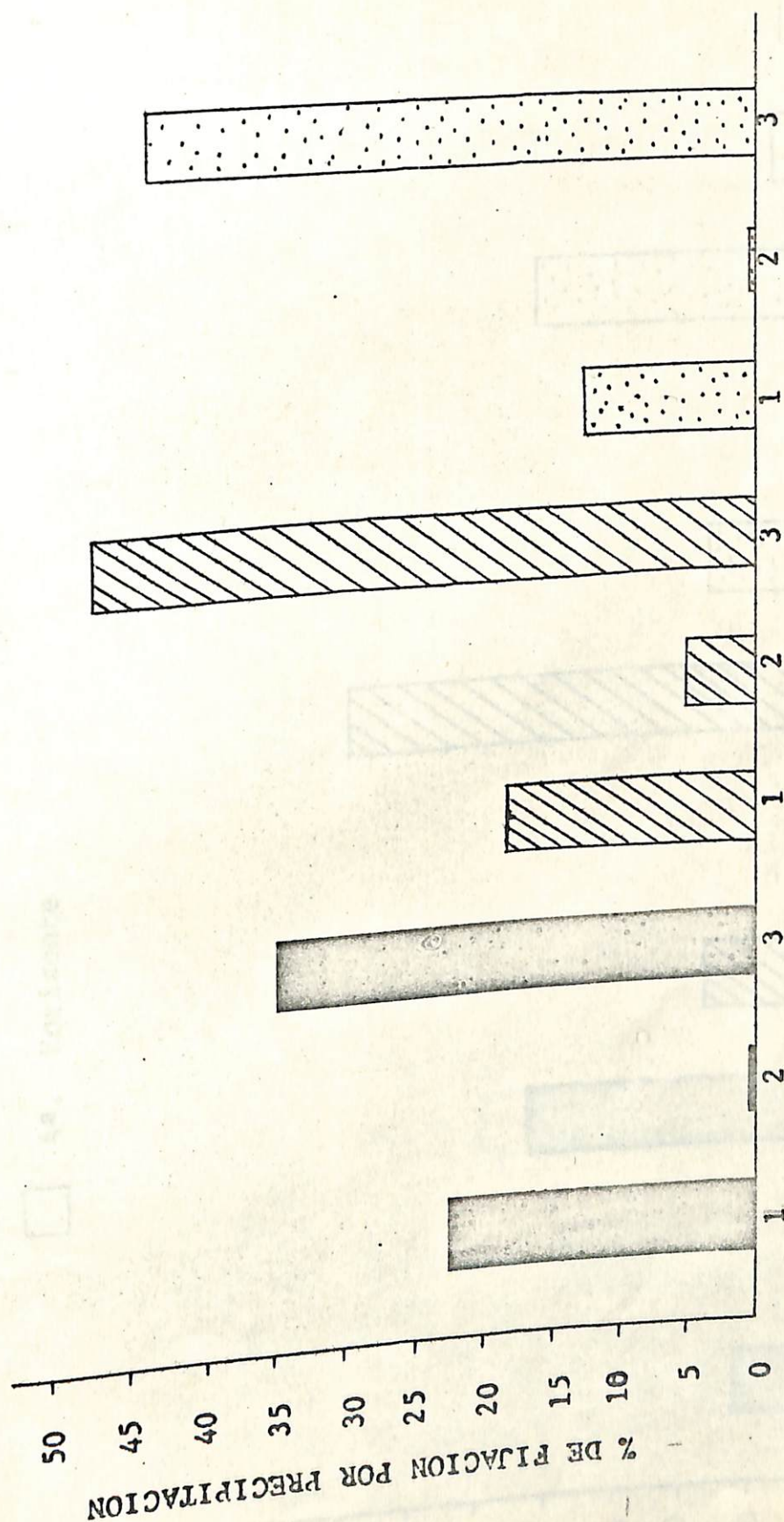


Figura 9 . FIJACION POR PRECIPITACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL PURACE I.

- 1er. Horizonte

2^a. Horizonte

3er. Horizonte

4^a. Horizonte

1. P - Ca - no Apatítico

2. P - Ca - Apatítico

3. P - Fe

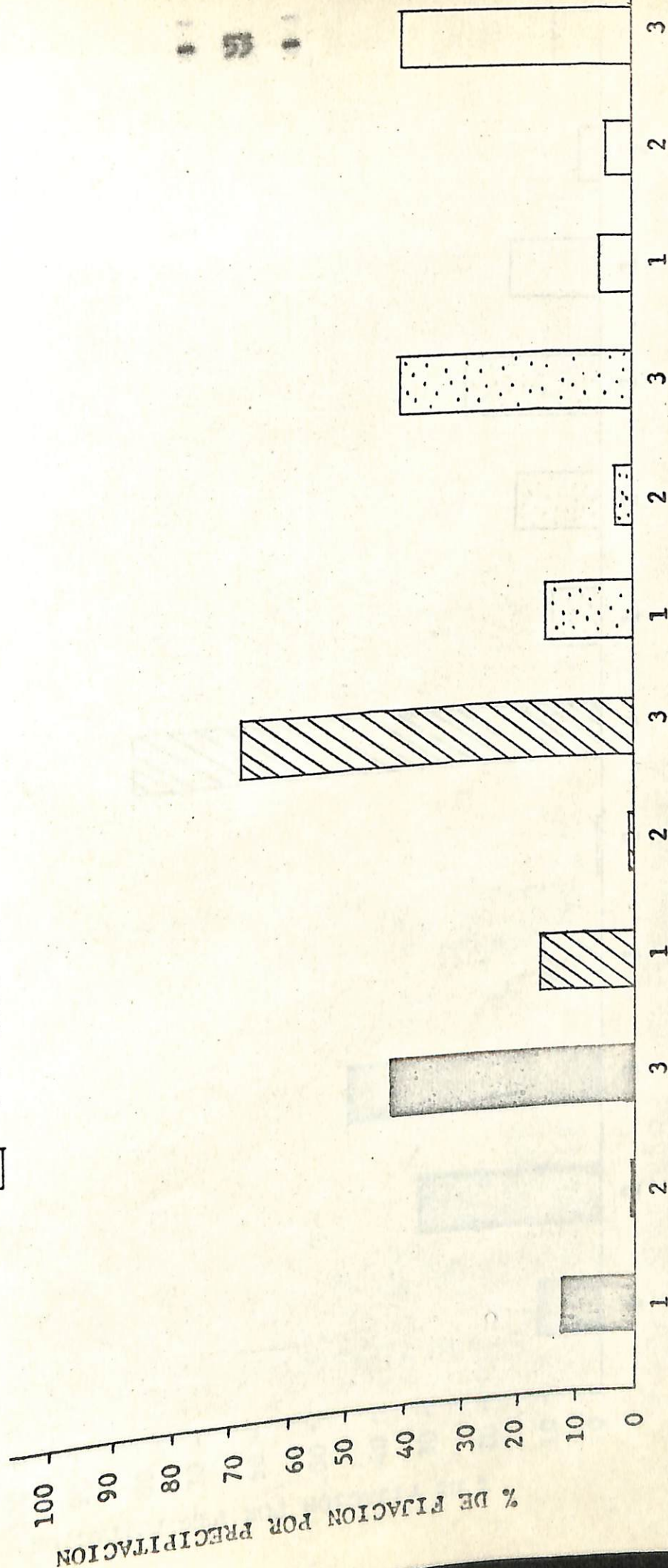


Figura 10. FIJACION POR PRECIPITACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL PURACE II.

- 1er. Horizonte

2s. Horizonte

3er. Horizonte

4s. Horizonte

1. P - Ca - no Apatítico

2. P - Ca - Apatítico

3. P - Fe

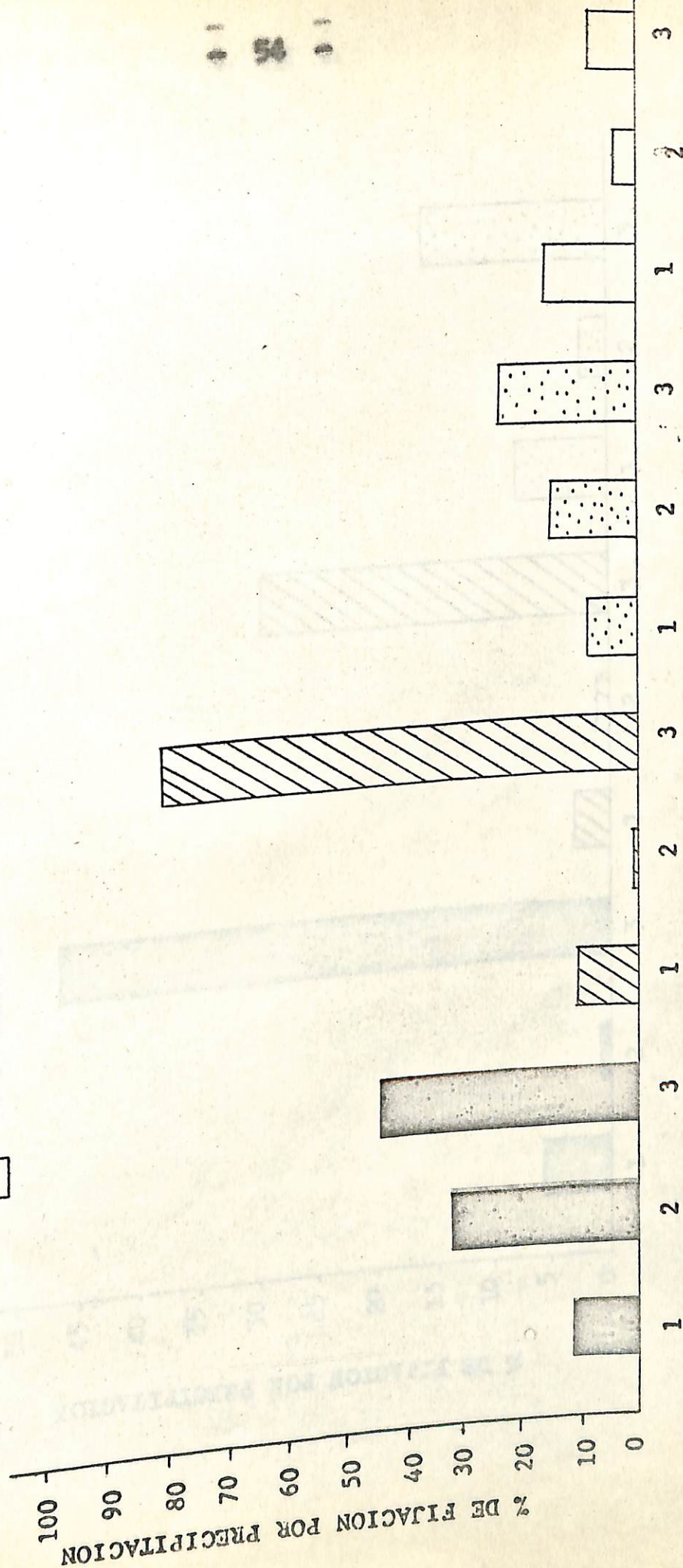


Figura 11. FIJACION POR PRECIPITACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL GALERAS I.

1. P - Ca - No Apatítico
2. P - Ca - Apatítico
3. P - Fe

- 1er. Horizonte
2º. Horizonte
3er. Horizonte

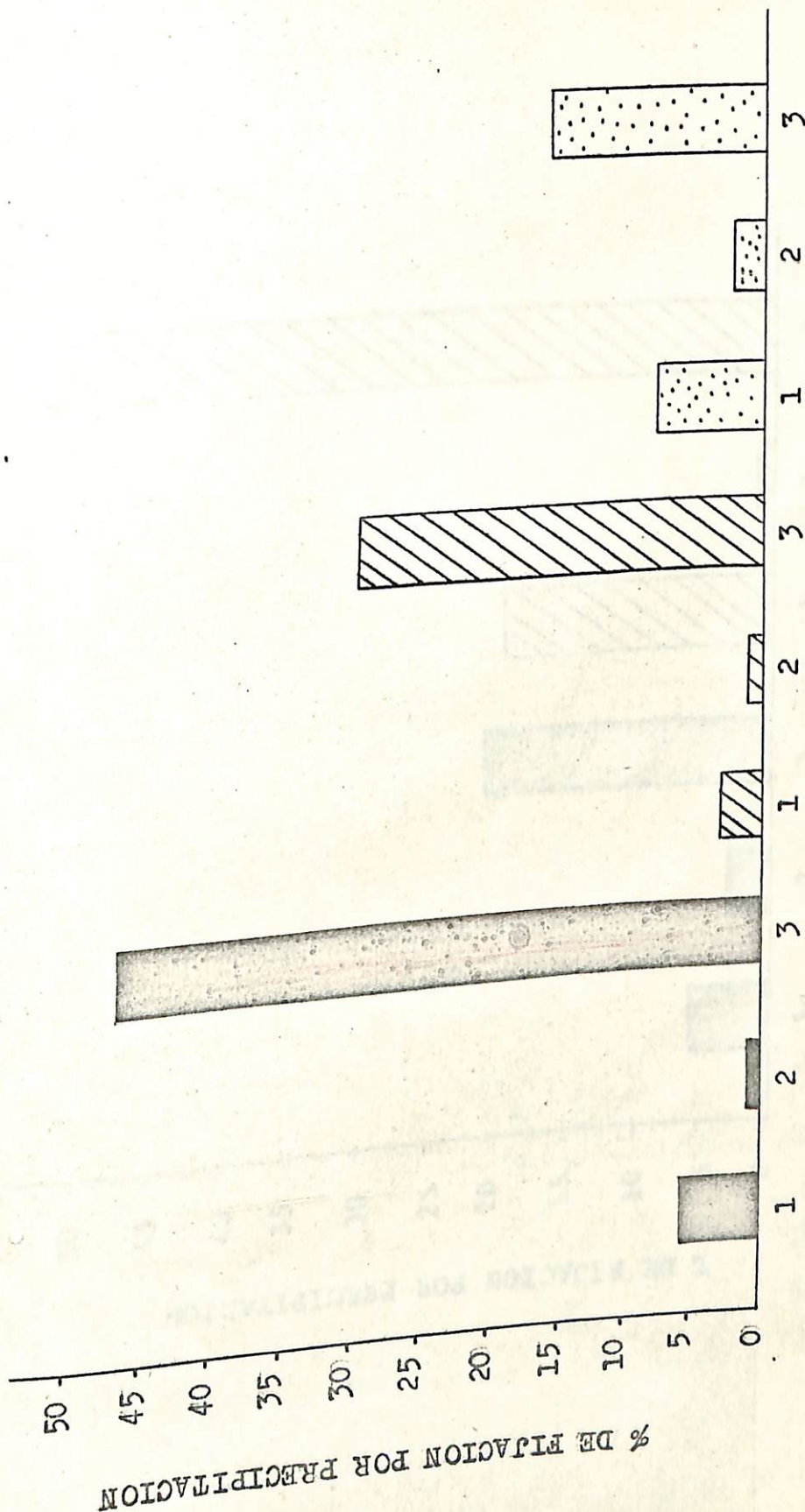


Figura 12. FIJACION POR PRECIPITACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL GALERAS II.

- 1er. Horizonte 1. P - Ca - no Apatítico
- 2º. Horizonte 2. P - Ca - Apatítico
3. P - Fe

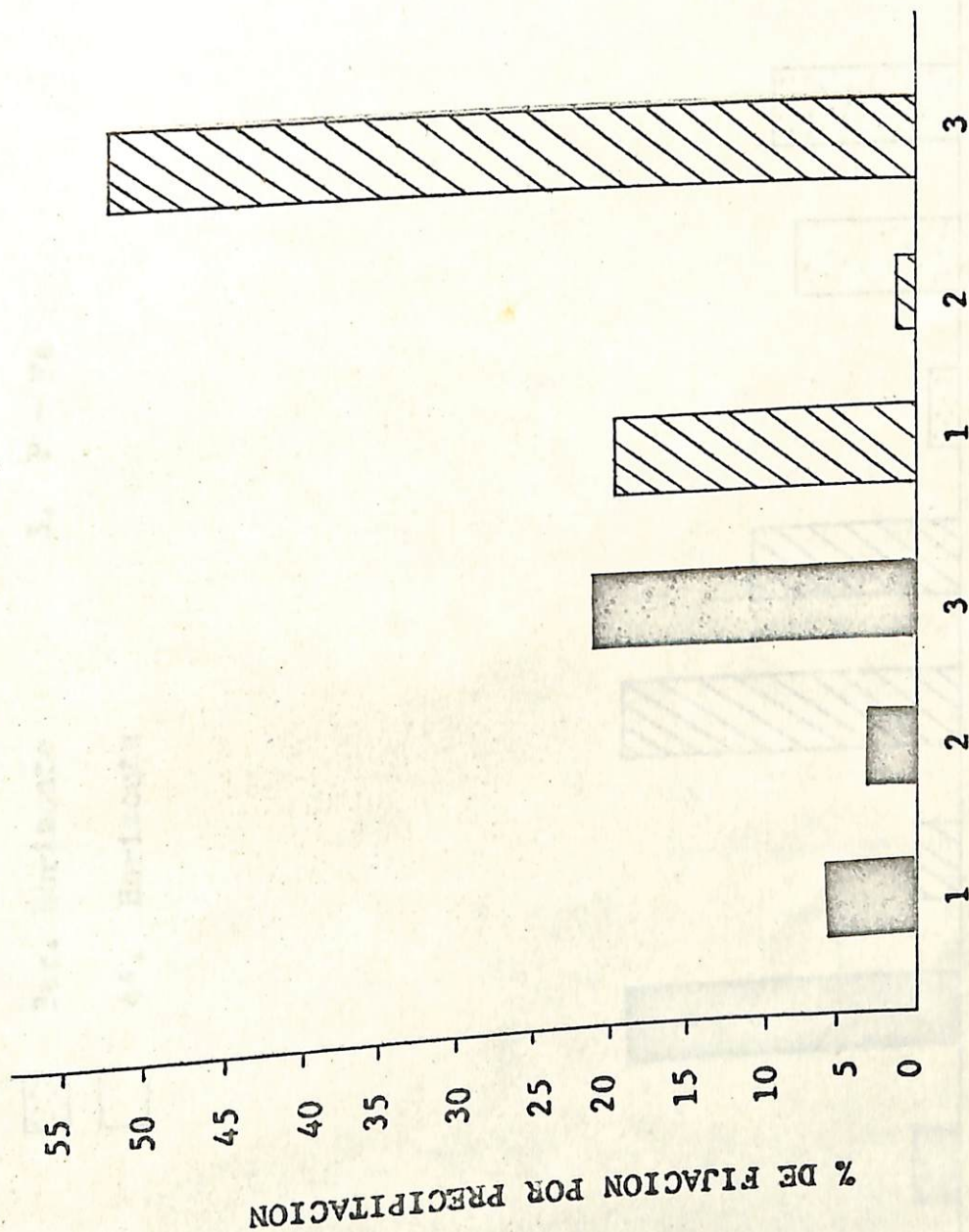


Figura 13. FIJACION POR PRECIPITACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL CUMBAL I.

- | | |
|----------------|--------------------------|
| 1er. Horizonte | 1. P - Ca - no Apatítico |
| 2ª. Horizonte | 2. P - Ca - Apatítico |
| 3er. Horizonte | 3. P - Fe |
| 4ª. Horizonte | |

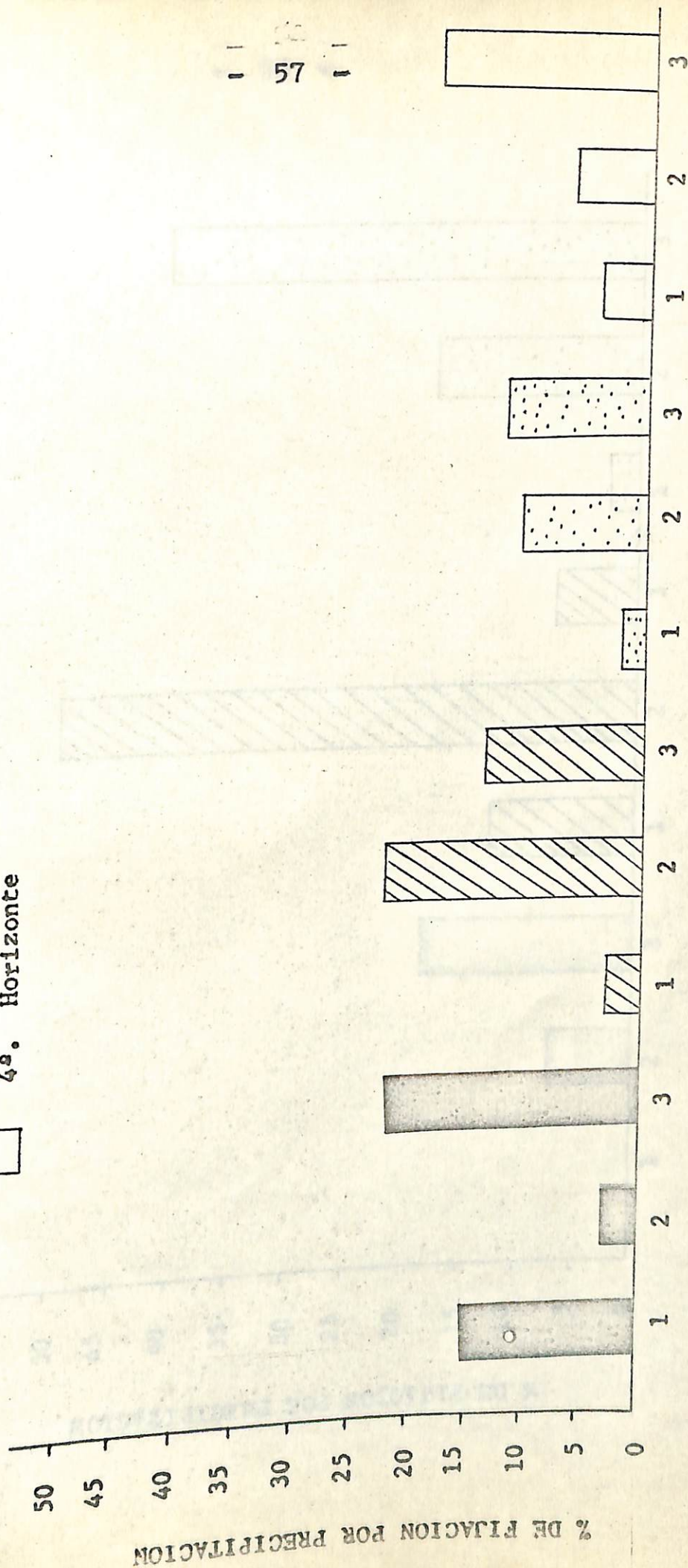


Figura 14. FIJACION POR PRECIPITACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL CUMBAL II.

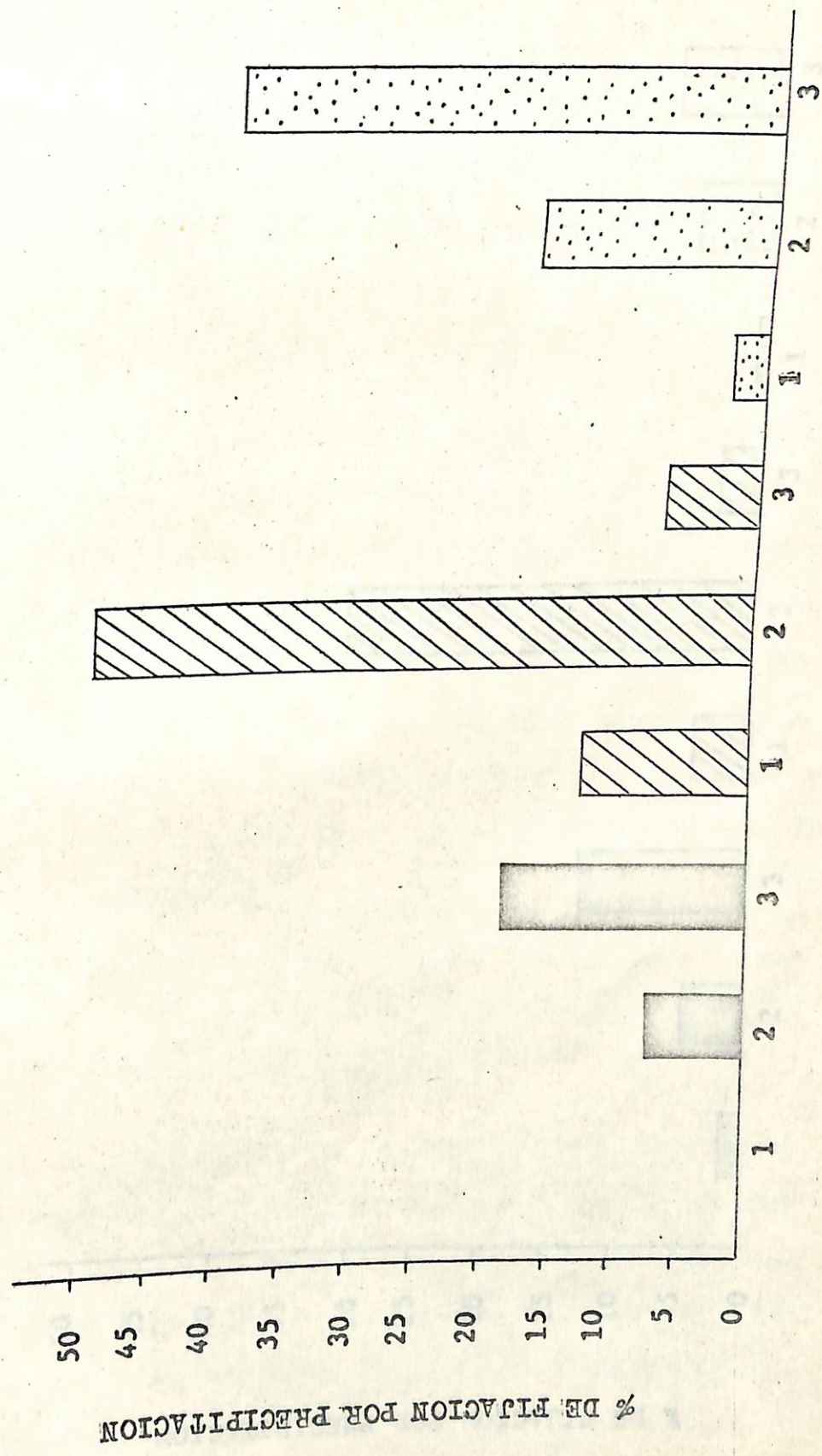


Figura 15. FIJACION POR PRECIPITACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL
DOÑA JUANA I.

- | | |
|----------------|--------------------------|
| 1er. Horizonte | 1. P - Ca - no Apatítico |
| 2s. Horizonte | 2. P - Ca - Apatítico |
| 3er. Horizonte | 3. P - Fe |

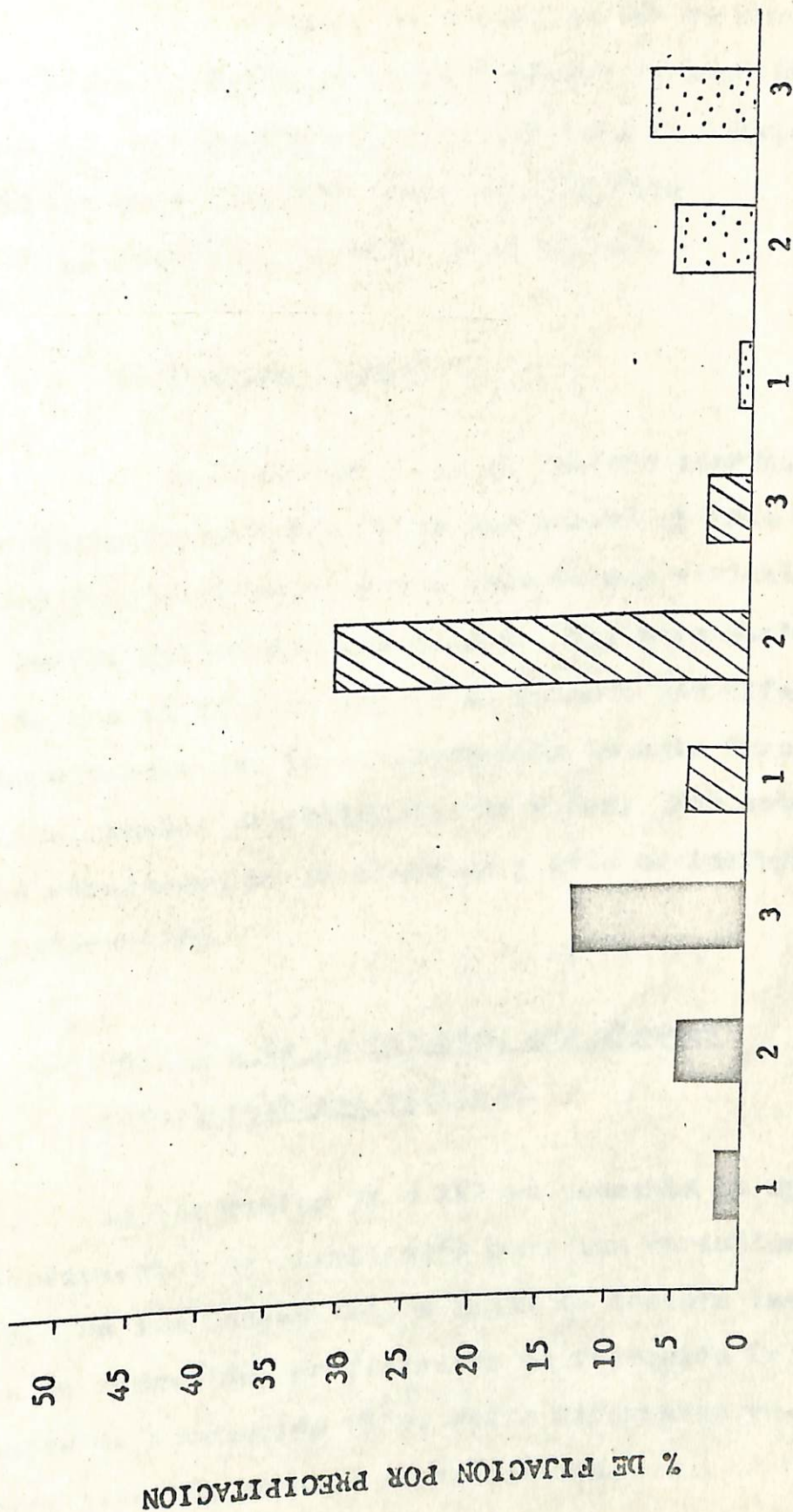


Figura 16 . FIJACION POR PRECIPITACION Y SUS FORMAS EN EL PERFIL.

DOÑA JUANA II.

En resumen, la participación de las diferentes formas de fosfatos en el fenómeno de precipitación (para los horizontes superiores), tuvo la siguiente secuencia: P-Fe (30,27%) P-Ca no apatítico (9,43%) P-Ca apatítico (6,58%) P-Al (0,0%).

d) Fosforo inerte.

La fijación hacia el fósforo inerte, se presentó muy irregularmente en los suelos estudiados, y sólo fue detectable, y con valores muy variables, en 11 de los 26 horizontes estudiados. Por otra parte, el hecho de que el fósforo inerte se calcule por diferencia, hace pensar que la determinación de esta fracción implica grandes posibilidades de error. Por esta razón, los resultados no se discuten y sólo se incluyen a título informativo.

4.3 Relación de la fijación con algunas características edáficas.

En las Tablas IX a XVI se presenta la matriz de coeficientes de correlación para las variables estudiadas. En las Tablas XVII a XXIII se incluye las ecuaciones de regresión, coeficientes de regresión (r) y porcentajes de asociación (R^2), entre diferentes variables cuya relación resultó significativa.

TABLA IX
COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS DE FIJACION
Y DIFERENTES CARACTERISTICAS EDATICAS

VARIABLES	P Inerte ppm.	Fijación Total ppm	Fijación Total %	Fijación Total por prec. ppm.	Fijación Total por Prec. %
PH	0,083	-0,013	-0,083	0,028	0,041
Carbono %	0,300	-0,205	0,219	0,321	0,364
Arcilla %	-0,377	0,206	-0,423 ⁺	0,082	0,050
CIC mg/100 gr.	0,313	0,018	0,258	0,348	0,380
Potasio ppm.	-0,184	-0,011	-0,264	0,265	0,270
Calcio ppm.	-0,176	0,027	-0,528 ⁺⁺	0,228	0,242
Sodio ppm.	0,113	-0,283	0,338	0,086	0,046
Magnesio ppm.	-0,033	-0,207	0,084	0,170	0,171

TABLA X

COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS DE FIJACION
Y DIFERENTES CARACTERISTICAS EDAFICAS
(Continuación)

VARIABLES	P Inerte ppm	Fijación Total ppm	Fijación Total ppm	Fijación Total por Pree. ppm.	Fijación Total por pree. ppm.
Al de cambio ppm.	- 0,323	0,242	- 0,281	- 0,148	- 0,129
P. aprovechable ppa.	0,006	0,159	- 0,364	- 0,628 ⁺⁺	- 0,629 ⁺⁺
P. fácilmente aprovechable ppm	0,119	- 0,281	0,243	0,074	0,027
P. Al ppm.	- 0,333	0,076	0,160	0,506 ⁺⁺	0,514 ⁺⁺
P. Fe ppm.	- 0,417 ⁺	0,075	- 0,391 ⁺	- 0,010	0,011
P. Ca no apatítico ppm.	0,310	0,099	- 0,444 ⁺	0,136	- 0,163
P. Ca apatítico ppm.	- 0,076	0,104	- 0,305	- 0,567 ⁺⁺	- 0,575 ⁺⁺
P. Orgánico ppm.	- 0,130	- 0,123	0,239	0,275	0,247

TABLA XI

COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS DE FIJACION
Y DIFERENTES CARACTERISTICAS EDAFICAS
(Continuación)

VARIABLES	P. Inerte ppm.	Fijación		Fijación		Fijación	
		Total	ppm	Total	%	Total por Prec. ppm	Total por Prec. %
P. Inerte ppm.	- 1,00	- 0,202		0,105		- 0,114	- 0,103
Fijación total ppm.	- 0,202	1,000		0,056		- 0,078	- 0,043
Fijación total %	0,105	0,056		1,000		0,079	0,049
Fijación total por Prec. ppm.	- 0,114	- 0,078		0,079		1,000	0,985 ⁺⁺
Fijación total por Prec. %	- 0,103	- 0,043		0,049		0,895	1,000
Fijación por adsorción ppm	0,101	0,073		- 0,036		- 0,979	- 0,997
Fijación por adsorción %	0,099	0,059		- 0,050		- 0,985	- 0,998
Fijación por Prec. P-Ca no Apat. ppm.	0,385	0,405		0,480		0,328	0,258

COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS DE FIJACION
Y DIFERENTES CARACTERISTICAS EDAFICAS

, (Continuación)

VARIABLES	Fijación Por Prec. P-Ca no Apat. %	Fijación Por Prec. P-Ca Apat. ppm	Fijación Por Prec. P-Ca Apat. %	Fijación Por Prec. P-Fe ppm	Fijación Por Prec. P-Fe %
pH	-0,035	-0,002	0,055	0,126	0,113
Carbono %	0,192	-0,204	-0,138	0,353	0,254
Arcillas %	-0,289	0,093	0,032	-0,167	-0,090
CIC me/100 gr.	0,082	-0,269	-0,197	0,340	0,224
Potasio ppm.	0,151	-0,119	-0,141	0,067	0,036
Calcio ppm.	-0,253	-0,208	-0,164	-0,013	-0,065
Sodio ppm.	0,535 ⁺⁺	-0,295	-0,286	0,349	0,292
Magnesio ppm.	0,308	-0,258	-0,162	0,270	0,178

TABLA XIV

COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS DE FIJACION
Y DIFERENTES CARACTERISTICAS EDAFICAS

(Continuación)

VARIABLES	Fijación Por Prec. P-Ca No Apat. %		Fijación Por Prec. P-Ca Apat. ppm		Fijación Por Prec. P-Ca Apat. %		Fijación Por Prec. P-Fe ppm		Fijación Por Prec. P-Fe %	
Al de cambio ppm.	-0,323		0,242		-0,281		-0,148		-0,129	
P. aprov. ppm.	0,006		0,159		-0,364		-0,628 ⁺⁺		-0,629 ⁺⁺	
P. Fácilmente reem.	0,119		-0,291		0,253		0,074		0,027	
P-Al ppm.	-0,333		0,076		0,160		0,506 ⁺⁺		0,514 ⁺⁺	
P-Fe ppm.	-0,417 ⁺		0,075		-0,391 ⁺		-0,010		0,011	
P-Ca no Apat. ppm.	0,310		0,099		-0,444 ⁺		0,136		-0,163	
P-Ca apatítico ppm.	-0,076		0,104		-0,305		-0,567 ⁺⁺		-0,575 ⁺⁺	
P orgánico ppm.	-0,130		-0,123		0,239		0,275		0,247	

TABLA XV
COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS DE FIJACION
Y DIFERENTES CARACTERISTICAS EDAFICAS
(Continuació)

VARIABLES	Fijación Por Prec. P-Ca no Apat %	Fijación Por Prec. P-Ca Apat. ppm	Fijación Por Prec. P-Ca Apat. %	Fijación Por Prec. P-Fe ppm	Fijación Por Prec. P-Fe %
P. inerte ppm.	1,000	-0,202	0,105	-0,114	-0,104
Fij. total ppm.	-0,202	1,000	0,056	-0,078	-0,043
Fij. Total %	0,105	0,056	1,000	0,079	0,049
Fij. total prec. ppm.	-0,114	-0,078	0,079	1,000	0,985 ⁺⁺
Fij. total prec. %	-0,103	-0,043	0,049	0,985	1,000
Fij. adsorción ppm.	0,101	0,073	-0,036	-0,979	-0,997
Fij. Adsorción %	0,099	0,059	-0,050	-0,985	-1,000
Fij. prec. P-Ca no Apat. ppm.	0,385	-0,405	0,480	0,328	0,258

TABLA XVI

COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS DE FIJACION
Y DIFERENTES CARACTERISTICAS EDAFICAS
(Continuación)

VARIABLES	Fijación Por Prec. P-Ca no apat. %	Fijación Por Prec. P-Ca apat. ppm	Fijación Por Prec. P-Ca Apat. %	Fijación Por Prec. P-Fe ppm	Fijación Por Prec. P-Fe %
Fij. prec. P-Ca no apat. %	0,362	-0,404	0,428	0,255	0,184
Fij. prec. P-Ca apat. ppm.	-0,311	0,035	-0,036	0,113	0,129
Fij. prec. P-Ca apat. %	-0,331	0,045	-0,025	0,223	0,234
Fij. prec. P-Fe ppm.	0,232	-0,076	0,249	0,632	0,596
Fij. prec. P-Fe %	0,241	-0,039	0,251	0,588	0,549
SiO ₂ %	-0,078	0,217	-0,382	-0,434	-0,429
Al ₂ O ₃ %	-0,373	-0,161	-0,317	+0,432	-0,020
Fe ₂ O ₃ %	0,137	-0,626	-0,115	0,335	0,326

TABLA XVII

ECUACIONES DE REGRESION

X	Y	ECUACION	r. obtenido	R ²
pH	P. Fac. Recomp. (ppm)	$Y = 2,67X - 9,34$	0,404 ⁺⁺	16,32 %
pH	P-Fe (ppm)	$Y = -47,36X + 357,82$	-0,385 ⁺	14,82 %
pH	P- orgánico (ppm)	$Y = -38,44X + 267,54$	-0,499 ⁺⁺	24,90 %
C %	Arcillas %	$Y = -0,88X + 12,52$	-0,563 ⁺⁺	31,69 %
C %	CIC me/100 gr.	$Y = 3,84X + 8,83$	0,811 ⁺⁺	65,77 %
C %	P. aprovechable (ppm)	$Y = -6,52X + 44,57$	-0,530 ⁺⁺	28,09 %
C %	P-Ca apatítico (ppm)	$Y = -17,93X + 119,42$	-0,626 ⁺⁺	39,18 %
C %	P. orgánico (ppm)	$Y = 6,07X + 60,51$	0,507 ⁺⁺	25,70 %
Arcilla %	K (ppm)	$Y = 13,42X + 53,28$	0,503 ⁺⁺	25,30 %
Arcilla %	Ca (ppm)	$Y = 20,32X + 61,89$	0,501 ⁺⁺	25,10 %
Arcilla %	P. Fac. Recomp. (ppm)	$Y = -0,25X + 5,67$	0,386 ⁺	14,89 %
Arcilla %	P-Fe (ppm)	$Y = 9,03X + 47,22$	0,744 ⁺⁺	55,35 %
Arcilla %	Pijeción total %	$Y = -0,14X + 98,76$	-0,423 ⁺	17,89 %

ECUACIONES DE REGRESION

X	Y	ECUACION	r obtenido	R ²
CIC (me/100 gr)	P. aprovechable (ppm)	$Y = -1,75X + 60,67$	-0,674 ⁺⁺	45,42 %
CIC (me/100 gr)	P-Ca apatítico (ppm)	$Y = -4,64X + 159,79$	-0,768 ⁺⁺	58,98 %
CIC (me/100 gr)	P. orgánico (ppm)	$Y = 1,10X + 61,95$	0,437 ⁺	14,51 %
CIC (me/100 gr)	Fijación adsorción (%)	$Y = -0,65X + 56,20$	-0,381 ⁺	14,51 %
K (ppm)	Fijaci. Ca (ppm)	$Y = 1,09X + 55,14$	0,718 ⁺⁺	51,55 %
Ca (ppm)	Fijación total (%)	$Y = -0,004X + 97,95$	-0,508 ⁺⁺	25,80 %
Na (ppm)	Mg (ppm)	$Y = 0,10X + 44,21$	0,677 ⁺⁺	45,83 %
Na (ppm)	P. Fac. Reemp. (ppm)	$Y = 0,003X + 2,05$	0,595 ⁺⁺	35,40 %
Na (ppm)	Fij. Prec. P-Ca no Ap.ppm.	$Y = 0,04X + 29,32$	0,558 ⁺⁺	31,13 %
Na (ppm)	Fij. Prec. P-Ca apat.ppm.	$Y = 0,006X + 4,11$	0,535 ⁺⁺	28,62 %
Mg (ppm)	Fe ₂ O ₃ %	$Y = 0,01X + 6,28$	0,477 ⁺	22,75 %
Al de Cambio (ppm)	Fij.Prec. P-Fe (ppm)	$Y = -10,30X + 615,11$	-0,398 ⁺	15,84 %

ECUACIONES DE REGRESION

- 71 -

X	Y	ECUACION	r obtenido	R ²
P. aprov. (ppm)	P-Al (ppm)	-1,25X + 284,65	-0,534 ⁺⁺	28,51 %
P. aprov. (ppm)	P-Ca no apatítico (ppm)	0,11X + 1,69	0,506 ⁺⁺	25,60 %
P. aprov. (ppm)	P-Ca apatítico (ppm)	2,12X + 11,06	0,912 ⁺⁺	83,17 %
P. aprov. (ppm)	Fij. prec. P. total (ppm)	-2,05X + 337,56	-0,628 ⁺⁺	39,43 %
P. aprov. (ppm)	Fij. adsorción (ppm)	2,14X + 166,93	0,632 ⁺⁺	39,94 %
P. aprov. (ppm)	Fij. Prec. P-Ca no apatítico (ppm)	-0,41X + 55,15	-0,401 ⁺⁺	16,08 %
P. aprov. (ppm)	Fij. Prec. P-Fe (ppm)	-1,51X + 189,63	-0,511 ⁺⁺	26,11 %
P-Al (ppm)	P-Ca apatítico (ppm)	-0,51X + 190,12	-0,511 ⁺⁺	26,11 %
P-Al (ppm)	P. orgánico (ppm)	0,19X + 37,07	0,463 ⁺⁺	21,43 %
P-Al (ppm)	Fij. Prec. P. total (ppm)	0,71X + 108,89	0,506 ⁺⁺	25,60 %
P-Al (ppm)	Fij. Prec. P. total (%)	0,14X + 20,629	0,514 ⁺⁺	26,41 %
P-Al (ppm)	Fij. Adsorción (ppm)	-0,74X + 405,54	-0,509 ⁺⁺	25,90 %
P-Al (ppm)	Fij. adsorción (%)	-0,15X + 80,57	-0,514 ⁺⁺	26,41 %
P-Fe (ppm)	P. inerte (ppm)	X + 363,99	-0,417 ⁺	17,38 %
P-Fe (ppm)	Fij. total (%)	-0,01X + 98,75	-0,391 ⁺⁺	15,28 %
P-Fe (ppm)	Fij. prec. P-Ca no apatítico (ppm)	-0,33X + 89,93	-0,503 ⁺⁺	25,30 %
P-Fe (ppm)	Fij. prec. P-Ca no apatítico (%)	-0,06X + 17,53	-0,498 ⁺⁺	24,80 %

TABLA XX

ECUACIONES DE REGRESION

X	Y	ECUACION	r obtenido	R ²
P-Ca no Apat. (ppm)	Flj. Total (%)	-0,08X + 97,75	-0,444 ⁺	19,75 %
P-Ca apatítico (ppm)	P. orgánico (ppm)	-0,21X + 98,21	-0,503 ⁺⁺	25,30 %
P-Ca apatítico (ppm)	Flj. prec. P. total (ppm)	-0,80X + 338,31	-0,561 ⁺⁺	32,14 %
P-Ca apatítico (ppm)	Flj. prec. P. total (%)	-0,16X + 67,28	-0,575 ⁺⁺	33,06 %
P-Ca apatítico (ppm)	Flj. adsorción (ppm)	0,83X + 166,45	0,569 ⁺⁺	32,31 %
P-Ca apatítico (ppm)	Flj. adsorción (%)	0,16X + 32,64	0,576 ⁺⁺	33,17 %
P-Ca apatítico (ppm)	Flj. prec. P-Fe (ppm)	-0,54X + 187,26	-0,423 ⁺	17,89 %
P. inerte (ppm)	Flj. prec. P-Ca no apat. (ppm)	0,11X + 20,47	0,385 ⁺	14,42 %
Fljación total (ppm)	Flj. prec. P-Ca no apat. (%)	-0,25X + 170,24	-0,405 ⁺	16,40 %
Fljación total (ppm)	Flj. prec. P-Ca no apat. (ppm)	-0,04X + 29,47	-0,404 ⁺	16,32 %
Fljación total (%)	Flj. prec. P-Ca no apat. (ppm)	11,92X + 192,48	0,480 ⁺	23,04 %
Fljación total (%)	Flj. prec. P-Ca no apat. (%)	1,90X + 175,58	0,428 ⁺	18,31 %

TABLA XXI

ECUACIONES DE REGRESION

X	Y	ECUACION	r obtenido	R ²
Fij. Prec. P. total (ppm)	Fij. Prec. P. total (%)	0,20X + 0,38	0,985 ⁺⁺	97,02 %
Fij. Prec. P. total (ppm)	Fij. adsorción (ppm)	-1,02X + 512,36	-0,979 ⁺⁺	95,84 %
Fij. Prec. P. total (ppm)	Fij. adsorción (%)	-0,20X + 100,30	-0,985 ⁺⁺	97,62 %
Fij. Prec. P. total (ppm)	Fij. Prec. P-Fe (ppm)	0,37X + 10,57	0,632 ⁺⁺	39,94 %
Fij. Prec. P. total (ppm)	Fij. Prec. P-Fe (%)	0,10X + 3,29	+0,588 ⁺⁺	34,57 %
Fij. Prec. P. total (%)	Fij. adsorción (ppm)	-0,15X + 512,15	-0,997 ⁺⁺	99,40 %
Fij. Prec. P. total (%)	Fij. adsorción (%)	X + 99,92	-1,00	0,100%
Fij. Prec. P. total (%)	Fij. Prec. P-Fe (ppm)	2,66X + 1,48	0,596 ⁺⁺	35,52 %
Fij. Prec. P. total (%)	Fij. Prec. P-Fe (%)	0,46X + 5,80	0,549 ⁺⁺	30,14 %
Fij. adsorción (ppm)	Fij. adsorción (%)	0,19X + 1,15	0,997 ⁺⁺	99,40 %
Fij. adsorción (ppm)	Fij. Prec. P-Fe (ppm)	-0,51X + 265,20	-0,593 ⁺⁺	35,16 %
Fij. adsorción (ppm)	Fij. Prec. P-Fe (%)	-0,08X + 49,62	-0,545 ⁺⁺	29,70 %

ECUACIONES DE REGRESION

X	Y	ECUACION	r obtenido	R ²
Fij. adsorción (%)	Fij. Prec. P-Fe (ppm)	-2,67X + 267,68	-0,597 ⁺⁺	35,64%
Fij. adsorción (%)	Fij. Prec. P-Fe (%)	-0,46X + 51,75	-0,550 ⁺⁺	30,25%
Fij. Prec. P-Ca no apat. (ppm)	Fij. Prec. P-Ca no Apat. (%)	0,17X + 1,73	0,967 ⁺⁺	93,50%
Fij. Prec. P-Ca apat. (ppm)	Fij. Prec. P-Fe (ppm)	1,32X + 94,70	0,460 ⁺	21,16%
Fij. Prec. P-Ca no Apat. (ppm)	Fij. Prec. P-Fe (%)	0,22X + 22,29	0,400 ⁺	16%
Fij. Prec. P-Ca no Apat. (%)	Fij. Prec. P-Fe (ppm)	6,89X + 89,60	0,428 ⁺	18,31%
Fij. Prec. P-Ca apat. (ppm)	Fij. Prec. P-Ca Apat. (%)	0,18X + 231	0,972 ⁺⁺	94,47%
Fij. Prec. P-Ca Apat. (ppm)	Fij. Prec. P-Fe (ppm)	-0,64X + 182,72	-0,400 ⁺	16%
Fij. Prec. P-Fe (ppm)	Fij. Prec. P-Fe (%)	0,17X + 4,44	0,936 ⁺⁺	87,60%
SiO ₂ (%)	C (%)	-0,13X + 2,297	-0,437 ⁺⁺	19,09%
SiO ₂ (%)	CIC (me/100 gr)	-0,80X + 52,33	-0,567 ⁺⁺	32,14%
SiO ₂ (%)	P. aprovechable (ppm)	2,52X - 92,808	0,691 ⁺⁺	47,74%
SiO ₂ (%)	P-Fe (ppm)	5,07X + 70,588	0,483 ⁺	23,43%
SiO ₂ (%)	P-ca Apatítico (ppm)	4,94X - 167,226	0,581 ⁺⁺	33,75%
SiO ₂ (%)	Fij. total (%)	-0,06X + 100,174	-0,382 ⁺	14,59%
SiO ₂ (%)	Fij. Prec. P- total (ppm)	-5,17X + 528,462	-0,434 ⁺	18,73%
SiO ₂ (%)	Fij. Prec. P- total (%)	-1,04X + 105,495	-0,429 ⁺	20,40%
SiO ₂ (%)	Fij. adsorción (ppm)	5,47X - 35,223	0,44	19,36%

4.3.1 Carbono Vs. fijación de fósforo.

El contenido de carbono orgánico ha sido señalado por otros autores (20, 21, 49), como uno de los factores más relacionados con el fenómeno de fijación de fósforo.

En el presente estudio, la relación entre el contenido de carbono orgánico y la fijación total no fue significativa ($P = 0,05$). Esto de ninguna manera indicaría que el fenómeno es independiente del contenido de materia orgánica. Lo que ocurre es que la variabilidad entre los valores de la fijación total fue mínima y esto no permitió establecer una relación consistente.

No obstante, al establecer las relaciones entre el contenido de carbono y la fijación por adsorción, por una parte, y la fijación por precipitación, por otra, se encontraron coeficientes de correlación muy cercanos a la significación; así, la relación entre el contenido de carbono orgánico y la fijación por precipitación (%), fue positiva ($r = 0,364$), mientras que la relación con la fijación por adsorción (g) fue negativa ($r = -0,368$).

Lo anterior, ha sido explicado por Passbender (22), quien interpreta en el sentido de que el contenido de materia orgánica al incrementar la fijación por precipitación atenúa la adsorción del fósforo al complejo coloidal.

4.3.2 Reacción del suelo Vs. fijación de Fósforo.

Del examen de la matriz de correlación se puede concluir que el pH no influyó sobre la capacidad de fijación de fósforo, ni sobre ninguna de sus formas. Los coeficientes de correlación encontrados son acentuadamente bajos.

Esta situación, es contraria a la determinada por otros autores (20, 22, 23), quienes trabajando con diferentes tipos de suelos han encontrado relaciones significativas inversas entre estas dos variables.

La explicación de lo anterior puede estar en el hecho de que las correlaciones significativas dadas por los autores antes citados, se han dado sobre la base de una variabilidad en los valores de pH entre 4.0 y 7.5. En los suelos estudiados esta situación no se presenta, pues la variación de los valores de pH es muy

escasa (4,2 a 5,6; KCl 1N), no permitiendo, por tanto, establecer una relación consistente.

De esta suerte, los resultados indican que la fijación de sus formas, para los suelos estudiados, fueron independientes del pH, no porque esta característica no influya sobre el fenómeno, sino porque la escasa variación entre los valores de pH no permite que se exprese la relación en niveles estadísticamente detectables.

4.3.3 Arcillas Vs. fijación de fósforo.

Al igual que lo ocurrido con el pH, el contenido de arcillas del suelo, no correlacionó significativamente con la capacidad de fijación de fósforo, ni con ninguna de sus formas. A una conclusión similar llegó Fassbender (23), con suelos de Centroamérica.

Tal como ocurre con los valores de pH, la variación de los contenidos de arcilla en los suelos es muy escasa y no sobrepasa del 22,5%.

Por otra parte, el método empleado para determinación de textura en suelos volcánicos, arroja valores bajos, debido a la difícil dispersión.

4.3.4 Aluminio intercambiable Vs. fijación de fósforo.

Los contenidos de aluminio intercambiable de los suelos estudiados son relativamente bajos. En términos generales, los valores de Al^{+++} están alrededor de 0,5 me/100 gr y su variabilidad es muy escasa. Quizá a esto se deba, en parte, el hecho de que no se haya producido precipitación hacia los fosfatos de aluminio y, por tanto, no existe relación entre esta característica y las variables de fijación (fijación total y fijación por precipitación). Una situación similar fue encontrada por Fassbender (23), en suelos Centroamericanos. Sin embargo, otros investigadores (1, 2), si han hallado correlaciones significativas entre esas variables.

El aluminio intercambiables correlacionó significativa y negativamente con la precipitación (ppm) hacia los fosfatos de calcio no apatíticos ($r = -0,380$) y hacia los fosfatos de hierro ($r = -0,398^+$). No obstante, estas relaciones no fueron significativas cuando la precipitación se expresó en por ciento del total.

De esta manera, se puede decir que con un aumento en el aluminio de cambio, la precipitación hacia los fosfatos de calcio no apatíticos y hacia los fosfatos de hierro tiende a disminuir. Teóricamente, la primera relación resulta lógica ya que un aumento en el

aluminio de cambio implica aumento en la acidez y disminución en la actividad del calcio. La relación con el hierro no es tan lógica, puesto que un aumento en la acidez supondría un aumento en la actividad del hierro y, por tanto, un incremento en la precipitación de los fosfatos de hierro.

4.3.5 Fracciones de fósforo Vs. fijación de P.

a) Fosfatos de aluminio.

Sorpresivamente, los fosfatos de aluminio en el suelo correlacionaron significativamente ($r = 0,514^{++}$) y en forma positiva con la fijación total por precipitación, pese a que no se presentó precipitación hacia esta fracción. La relación se muestra en la Figura 17 y estaría indicando que ésta variable se presenta a su vez, relacionada con otros factores que gobiernan la fijación por precipitación, implicando que un alto nivel de P-Al en el suelo supondría una elevada intensidad en el fenómeno de precipitación de fosfatos. Por el contrario, el contenido de P-Al relacionó negativamente ($r = - 0,632^{++}$) con la retención por adsorción. Esta relación es lógica si se tiene en cuenta que la fijación por precipitación y la fijación por adsorción es inversa ($r = - 0,985^{++}$).

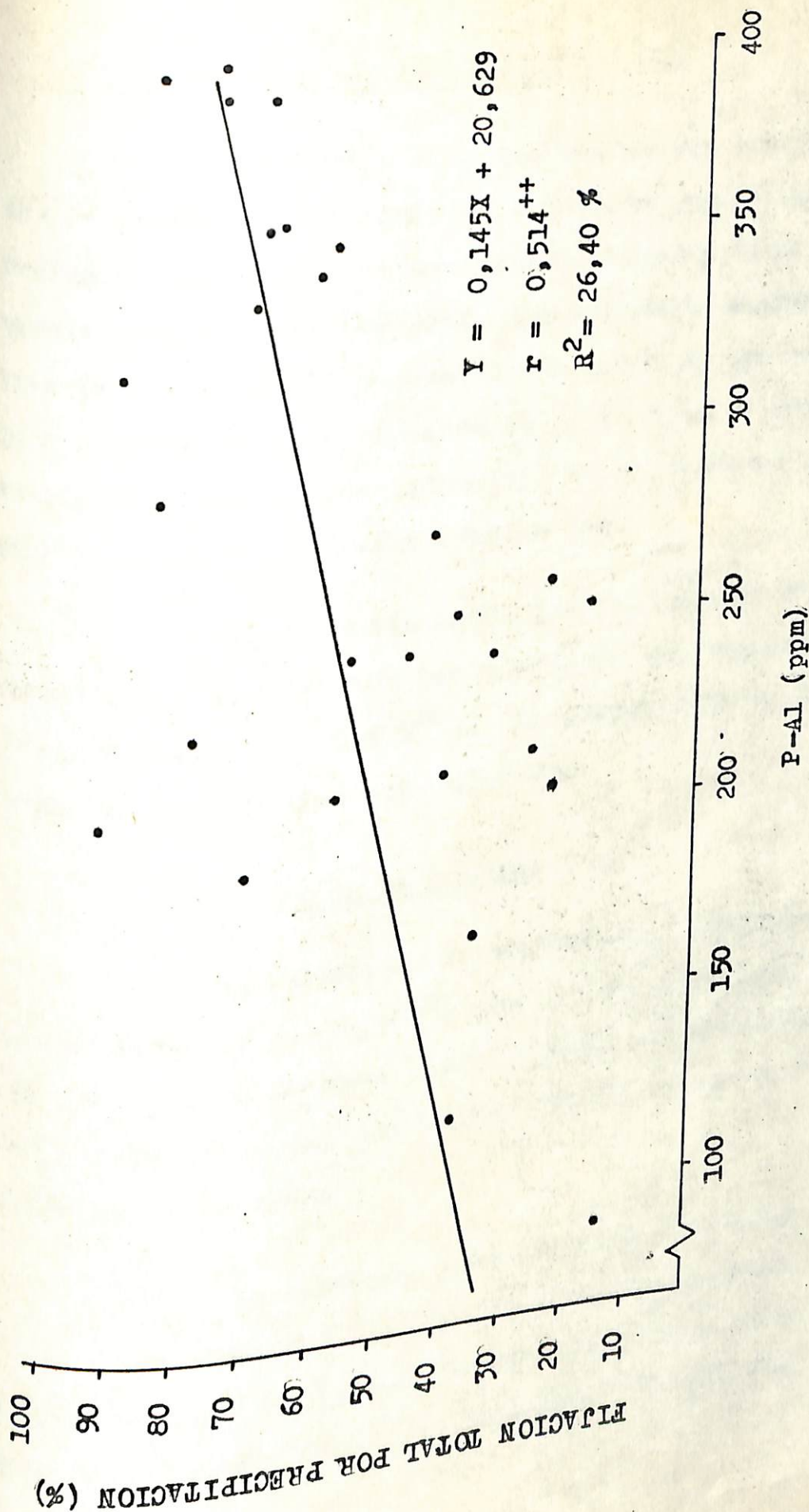


Figura 17 . RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE FOSFATO DE ALUMINIO Y FIJACION TOTAL POR PRECIPITACION.

b) Fosfatos de calcio.

Contrario a lo que ocurre con los fosfatos de aluminio, los fosfatos de calcio apatíticos correlacionaron negativamente con la fijación total por precipitación. Esta relación fue altamente significativa ($r = -0,575^{++}$) y describe el hecho de que un alto contenido de esta fracción de fósforo en el suelo implicaría, una escasa intensidad en el fenómeno de precipitación de fosfatos (Figura 18).

La relación entre los fosfatos de calcio apatíticos y la fijación por adsorción fue significativa y directa ($r = 0,576^{++}$). La explicación es la misma que la ofrecida para el P-Al.

c) Fosfatos de hierro.

Los fosfatos de hierro correlacionaron negativamente ($r = -0,391^{+}$) con el por ciento de fijación total, pero no hubo correlaciones significativas con la fijación total por precipitación ni con la fijación por adsorción.

Sin embargo, esta fracción de fósforo en el suelo correlacionó negativa y significativamente con la precipitación hacia los fosfatos de calcio no apatíticos ($r = -0,498^{++}$). Este resultado implica que

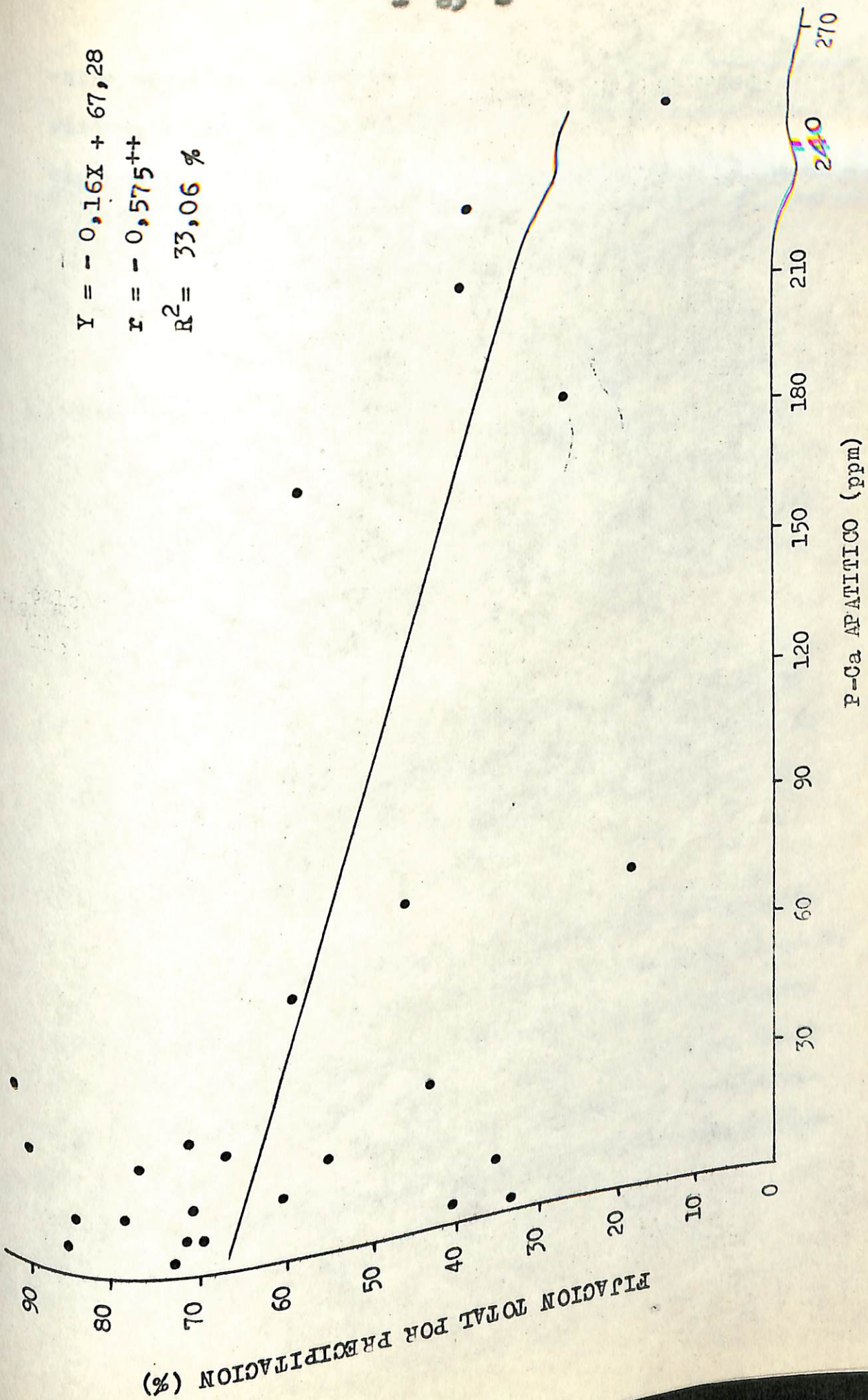


Figura 18. RELACION ENTRE P-Ca APATÍTICO Y FIJACION TOTAL POR PRECIPITACION

entre mayor es el contenido de P-Fe en los suelos estudiados, menor es la intensidad de la precipitación hacia los fosfatos de calcio no apatíticos.

d) Fósforo aprovechable (Bray II).

Las relaciones más interesantes para estudiar son las correspondientes a la fijación y sus formas con el nivel de fósforo aprovechable en el suelo. La razón está en el hecho de que estas relaciones indicarían como la metodología utilizada describe la situación real del fenómeno de fijación en relación a la aprovechabilidad del fósforo para la planta.

De acuerdo a los resultados, no se encontró relación significativa entre la capacidad de fijación de fósforo por el suelo (Fijación Total) y el fósforo aprovechable ($P = 0,05$).

Sin embargo, al establecer la relación entre el contenido de fósforo aprovechable y la fijación total por precipitación, se encontró que era altamente significativa e inversa ($r = -0,629^{++}$), lo cual implica que entre más intenso fue el fenómeno de precipitación, menor era el nivel original de fósforo aprovechable en el suelo.

La relación anterior se presenta en la Figura 19 en la cual se puede observar que, cuando la fijación por precipitación corresponde a valores superiores al 50,0% de la fijación total, los niveles de fósforo aprovechable en el suelo son insignificantes.

Como es lógico, las relaciones entre la precipitación hacia los fosfatos de hierro ($r = - 0,511^{++}$) con el fósforo aprovechable, resultaron significativas y negativas. Esto en razón de que fueron las fracciones que más participaron en el fenómeno de precipitación y, en general, de fijación.

Por el contrario, la fijación por adsorción correlacionó en forma positiva y altamente significativa ($r = 0,632^{++}$) con el fósforo aprovechable del suelo. Esta relación, se presenta en la Figura 20 e indica que altos niveles de adsorción de fósforo en el suelo suponen altos valores de fósforo aprovechable en el mismo.

Las evidencias descritas implican conclusiones muy interesantes:

El hecho de no encontrar una correlación significativa entre la capacidad de fijación de fósforo

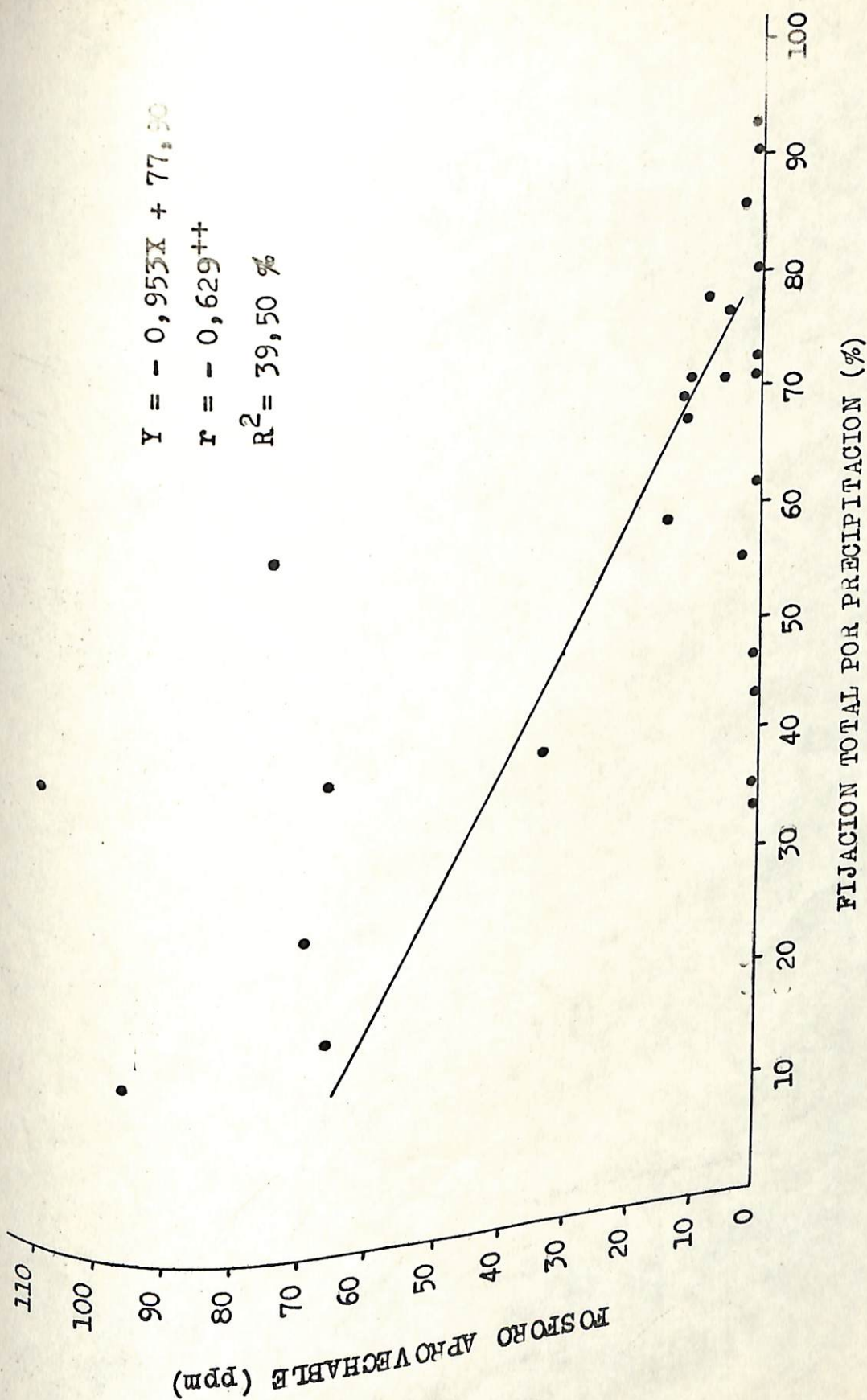


Figura 19. RELACION ENTRE FIJACION TOTAL POR PRECIPITACION Y FOSFORO APHOVECHABLE.

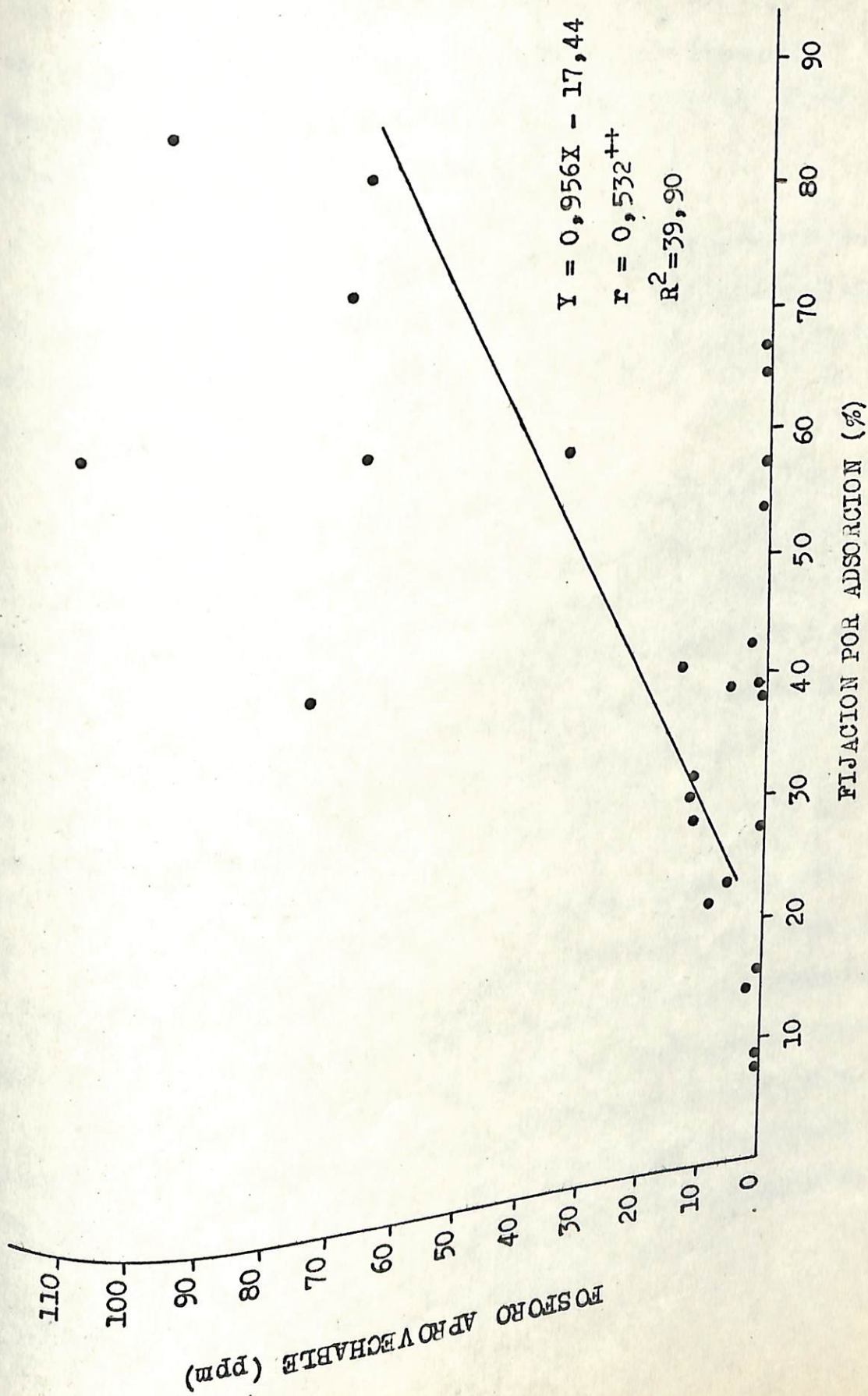


Figura 20 . RELACION ENTRE FIJACION POR ADSORCION Y FOSFORO APROVECHABLE

(Fijación total) y el fósforo aprovechable, implicaría que, para los suelos estudiados, la sola determinación de la capacidad de fijación de fósforo no describe la realidad de la fijación de fósforo en relación al suministro de fósforo aprovechable.

La fijación por precipitación, en cambio, si parece ser una medida adecuada para describir el fenómeno de fijación de fósforo y su significado real para la planta.

Por el contrario, la llamada fijación por adsorción, aparentemente, no puede considerarse como tal y más bien describe el fenómeno contrario o sea el suministro de fósforo aprovechable. En estas circunstancias se afianza la opinión antes planteada en el sentido de que el fenómeno de adsorción no puede considerarse como proceso de fijación.

No obstante, el problema planteado sólo se podría clarificar mediante el desarrollo de investigaciones que permitan evaluar el significado agronómico de la fijación y sus formas. Esto se lograría al establecer correlaciones entre los parámetros de fijación y los parámetros de la planta, tales como: producción de materia seca, absorción de fósforo y respuesta a la adición de fertilizantes fosfatados.

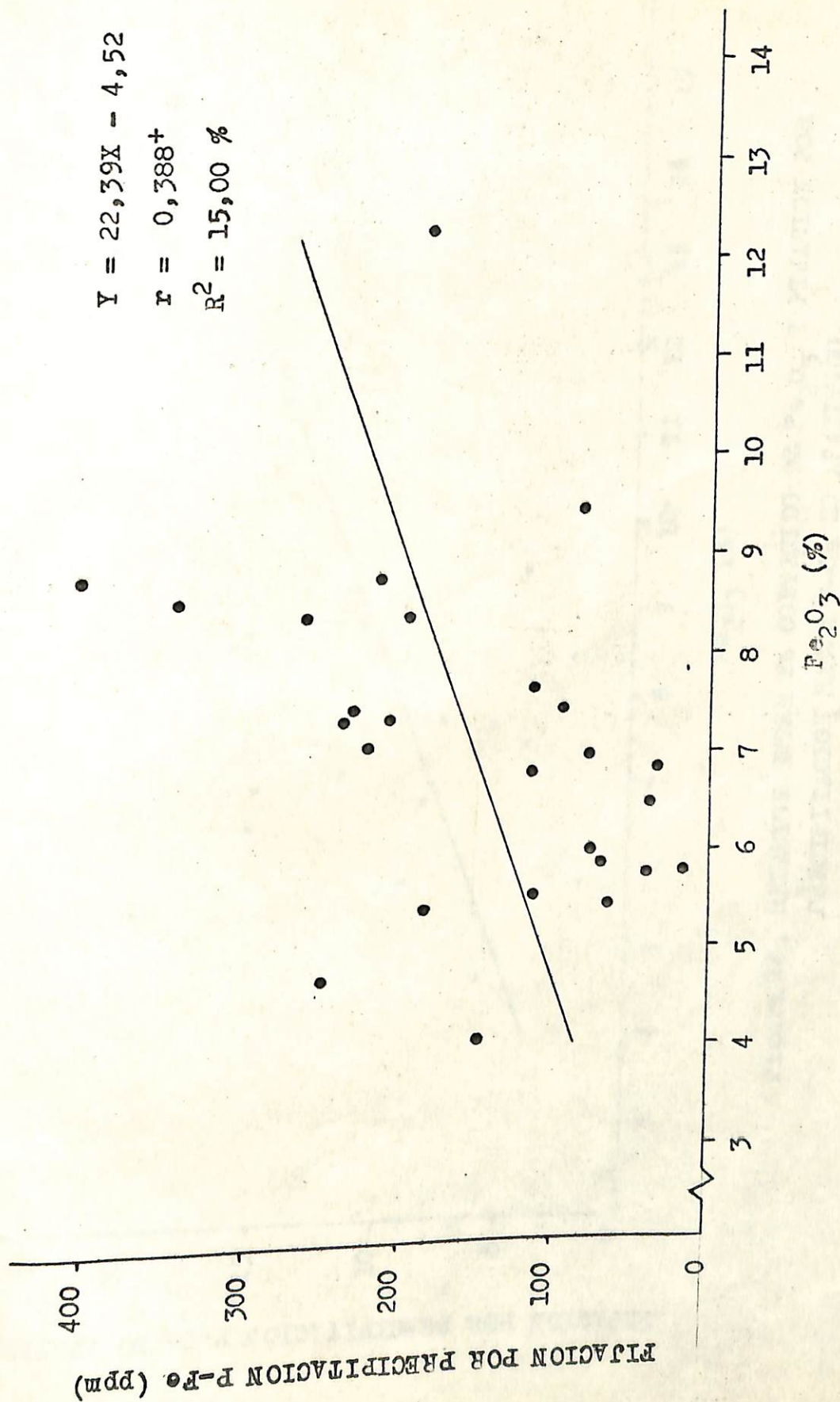


Figura 21 . RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE Fe₂O₃ Y FIJACION POR PRECIPITACION HACIA P-Fe.

FIJACION POR PRECIPITACION P-Ca NO APATITICO (%)

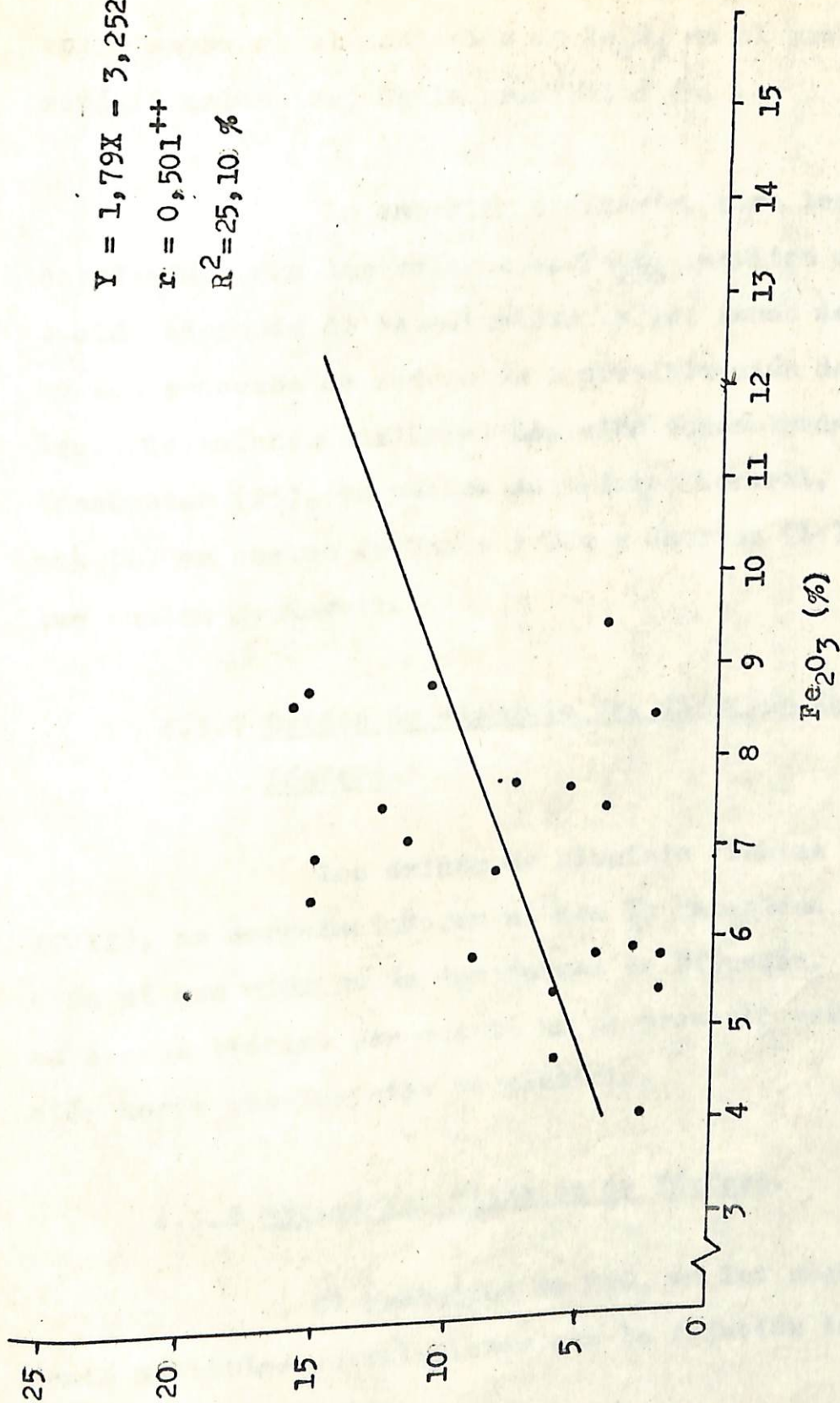


Figura 22. RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE Fe₂O₃ Y FIJACION POR PRECIPITACION HACIA P-Ca NO APATITICO.

entre mayor es el contenido de Fe_2O_3 en el suelo, mayor será la intensidad de la precipitación.

Lo anterior indicaría, para los suelos estudiados, que los valores de Fe_2O_3 permiten una estimación adecuada de la actividad de los iones de hierro en los procesos de retención o precipitación de fosfatos. Relaciones similares han sido encontradas por Fassbender (23), en suelos de América Central, Ahenkorah (1) en suelos de Ghana y Chu y Sherman (14), en los suelos de Hawaii.

4.3.7 Oxidos de aluminio Vs. fijación de fósforo.

Los óxidos de aluminio (Tablas XXVI y XXVII), no correlacionaron ni con la capacidad de fijación ni con ninguna de las formas de fijación. Esto es apenas lógico por cuanto no se presentó precipitación hacia los fosfatos de aluminio.

4.3.8 Sílice Vs. fijación de fósforo.

El contenido de SiO_2 en los suelos presentó múltiples correlaciones con la fijación total y sus diferentes formas.

FRACCIONES DE FOSFORO EN LOS SUELOS DESPUES DE LA ADICION DE 100 ppm DE P.

SUELO	Horizonto	P.		P-Al ppm	P-Po ppm	P-Ca		P-Ca		Orgánico ppm	Total ppm	P.	
		Fec.Reem ppm				No.Apst. ppm	Apst. ppm		Inerte ppm				
PURACE I	0 - 90	157,98	116,98	293,05	122,05	23,31	158,53	1.195,84	324,44				
	90 - 140	90,01	195,33	334,69	93,31	39,30	141,46	1.115,50	221,50				
	140 - I	93,86	195,02	380,81	68,38	30,38	112,20	1.029,79	149,21				
PURACE II	0 - 80	100,21	192,22	326,94	62,76	12,15	138,27	1.047,63	215,08				
	80 - 125	142,82	102,89	460,67	81,94	11,37	107,56	1.080,66	193,41				
	125 - 190	83,78	64,84	379,70	84,59	73,78	146,48	981,01	147,82				
	190 - I	87,88	141,22	329,10	33,88	35,41	65,97	231,90	925,36				
GALERAS I	0 - 190	88,59	149,75	307,80	60,24	185,54	109,96	918,84	16,96				
	190 - 230	81,21	129,32	496,19	60,01	42,14	81,21	980,64	90,56				
	230 - 270	115,07	171,47	213,70	44,26	147,95	95,09	850,94	63,40				
	270 - I	65,13	47,50	110,70	77,62	204,47	35,29	652,23	111,53				
GALERAS II	0 - 70	60,24	212,88	373,04	33,04	30,41	37,03	950,56	202,97				
	70 - 120	82,58	142,86	240,64	14,69	11,39	95,24	1.063,86	476,46				
	120 - I	130,15	123,29	177,59	38,82	24,36	98,94	920,23	327,78				

T A B L A XXV

FRACCIONES DE FOSFORO EN LOS SUELOS DESPUES DE LA ADICION DE 100 ppm DE P

SUELO	Horizonte	P Pac. Recm. ppm.	P-Al ppm.	P-Fe ppm.	P-Ca No. Apat. ppm.	P-Cn Apat. ppm.	P. Orgánico ppm.	P. Total ppm	P. Inerte ppm.
CUMBAL I	0 - 160	106,11	167,89	191,72	35,46	20,78	284,36	978,54	172,22
	160 - 220	84,15	107,17	362,41	99,38	8,52	122,35	996,94	214,96
CUMBAL II	0 - 230	124,62	129,74	200,27	101,24	21,74	141,51	957,35	238,24
	230 - 270	118,92	209,91	238,60	15,94	322,86	70,24	1.005,42	29,05
	270 - 282	10,82	288,55	319,06	1,37	80,52	151,84	1.183,14	330,99
	282 - I	10,76	146,23	355,72	21,74	15,29	114,28	1.037,59	373,57
D. JUANA I	0 - 10	34,35	202,78	253,62	0,82	43,41	185,75	1.340,90	620,17
	10 - 40	25,62	95,44	170,28	62,19	245,55	157,15	976,85	220,62
	40 - I	49,23	187,02	322,41	30,89	258,68	42,72	937,03	46,08
D. JUANA II	0 - 20	14,24	209,94	288,15	1,27	99,96	90,13	740,09	29,60
	20 - 100	83,27	110,48	204,19	47,54	395,75	62,66	950,18	46,29
	100 - I	43,04	50,68	180,44	6,15	280,99	48,12	684,35	74,93

Tal como se puede verificar en la Figura 23, un incremento en el contenido de SiO_2 en el suelo tiende a atenuar significativamente ($r = -0,382^+$) la capacidad de fijación.

De la misma manera, un incremento en el contenido de SiO_2 del suelo provoca una disminución en la precipitación de fosfatos. Así lo indica la correlación significativa y negativa ($r = -0,429^+$) encontrada entre estas dos variables y que se presenta en la Figura 24. No obstante, las diferentes formas de precipitación no relacionaron igualmente con el contenido de sílice.

Así, la precipitación hacia los fosfatos de hierro disminuyó al aumentar el contenido de SiO_2 . La correlación fue altamente significativa ($r = -0,558^{++}$) y se presenta en la Figura 25. La ecuación de regresión para esta relación indica que por cada 10,0 % de incremento en el contenido de SiO_2 la fijación hacia los fosfatos de hierro disminuye en un 11,20 %.

Igualmente, un incremento del contenido de SiO_2 conduce a una disminución de la precipitación del fósforo hacia los fosfatos de calcio no apatíticos. Esta correlación fue significativa ($r = -0,286^+$) y se puede observar en la Figura 26. La ecuación de regresión

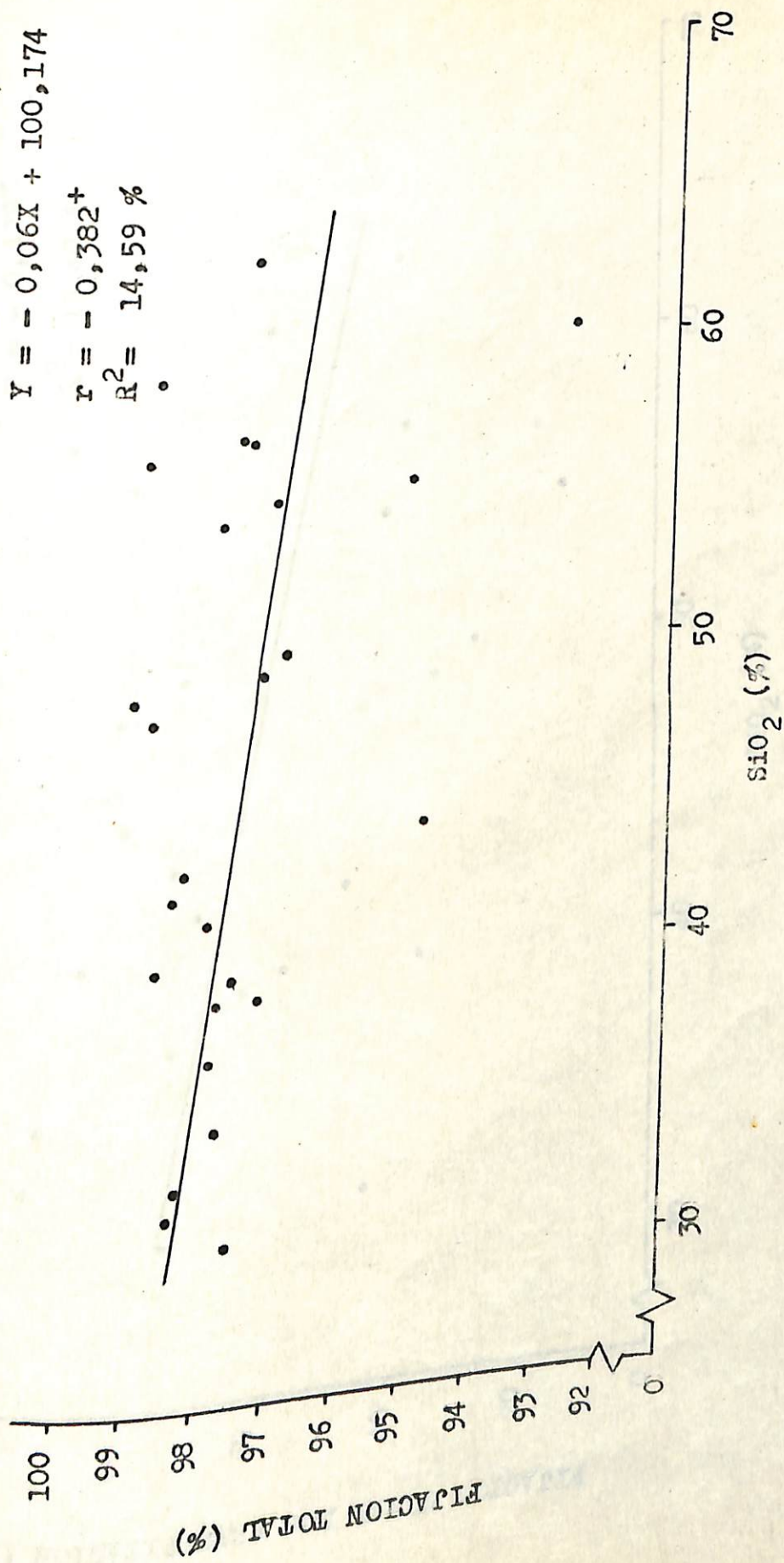


Figura 23. RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE SiO₂ Y LA FIJACION TOTAL.

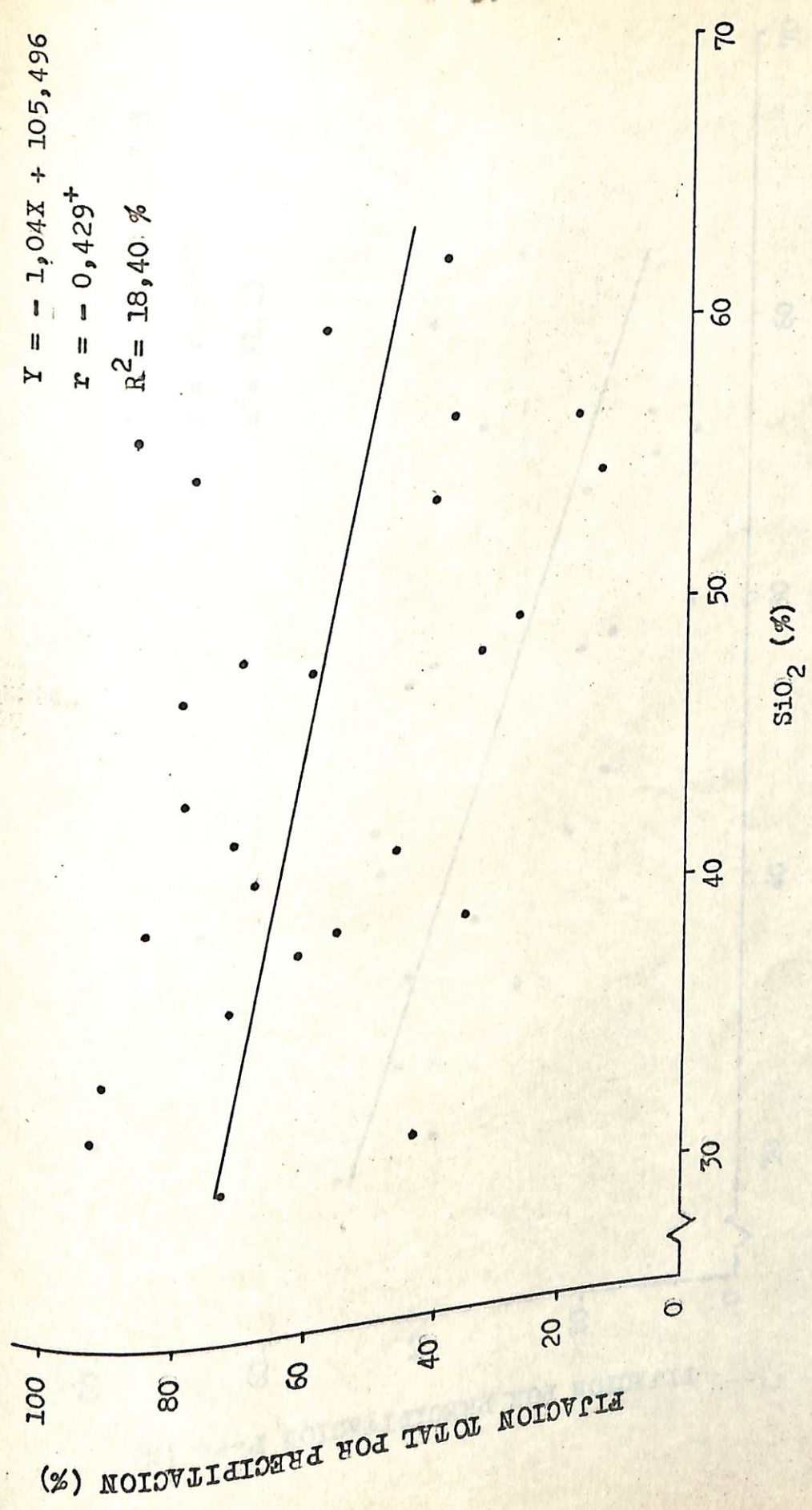


Figura 24. RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE SiO₂ Y FIJACION TOTAL POR PRECIPITACION.

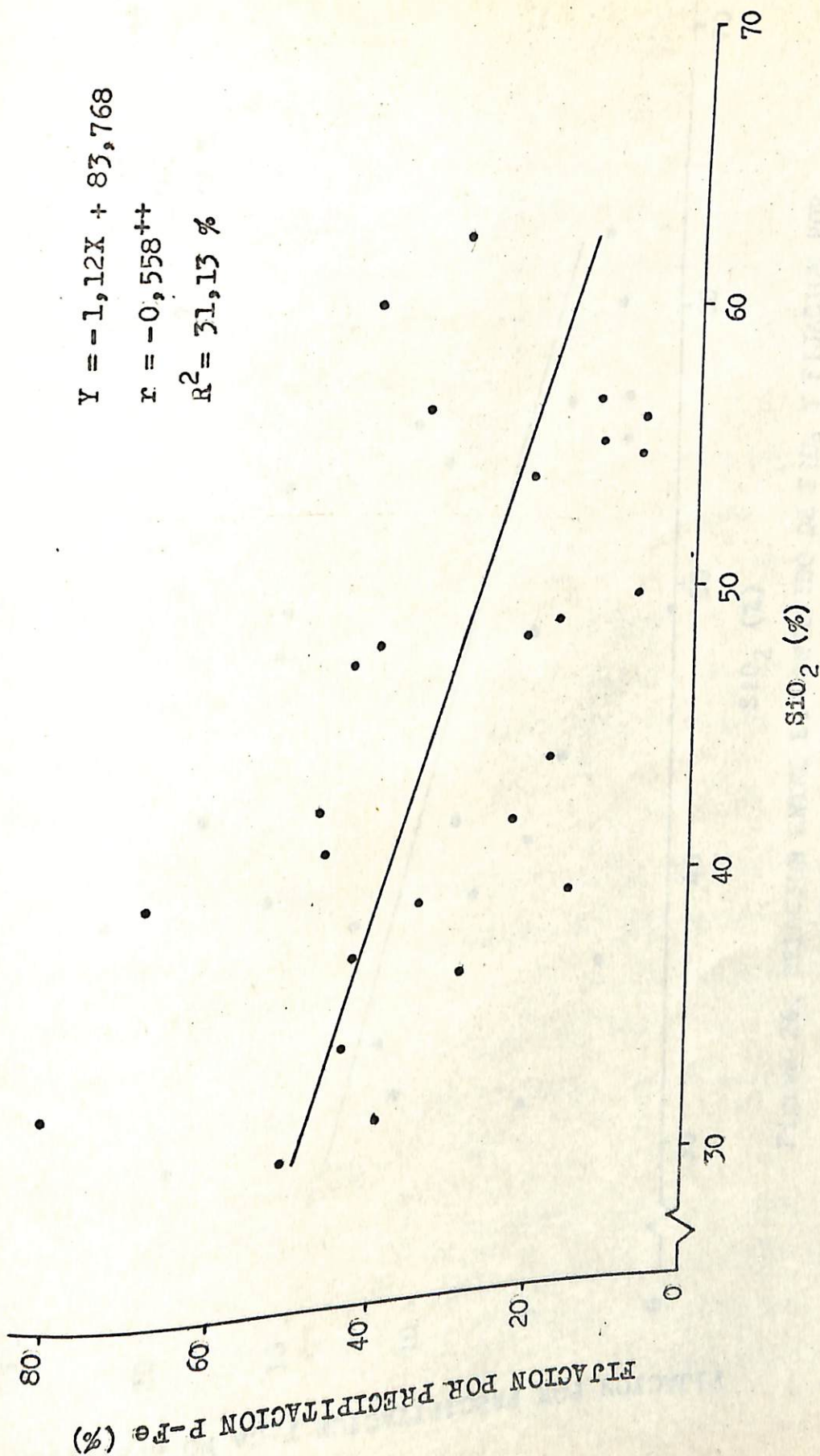


Figura 25. RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE SiO_2 Y FIJACION POR PRECIPITACION HACIA EL P-Fe.

FIJACION POR PRECIPITACION P-Ca NO APATITICO (%)

$$Y = - 0,26X + 21,444$$

$$r = - 0,286^+$$

$$R^2 = 14,89 \%$$

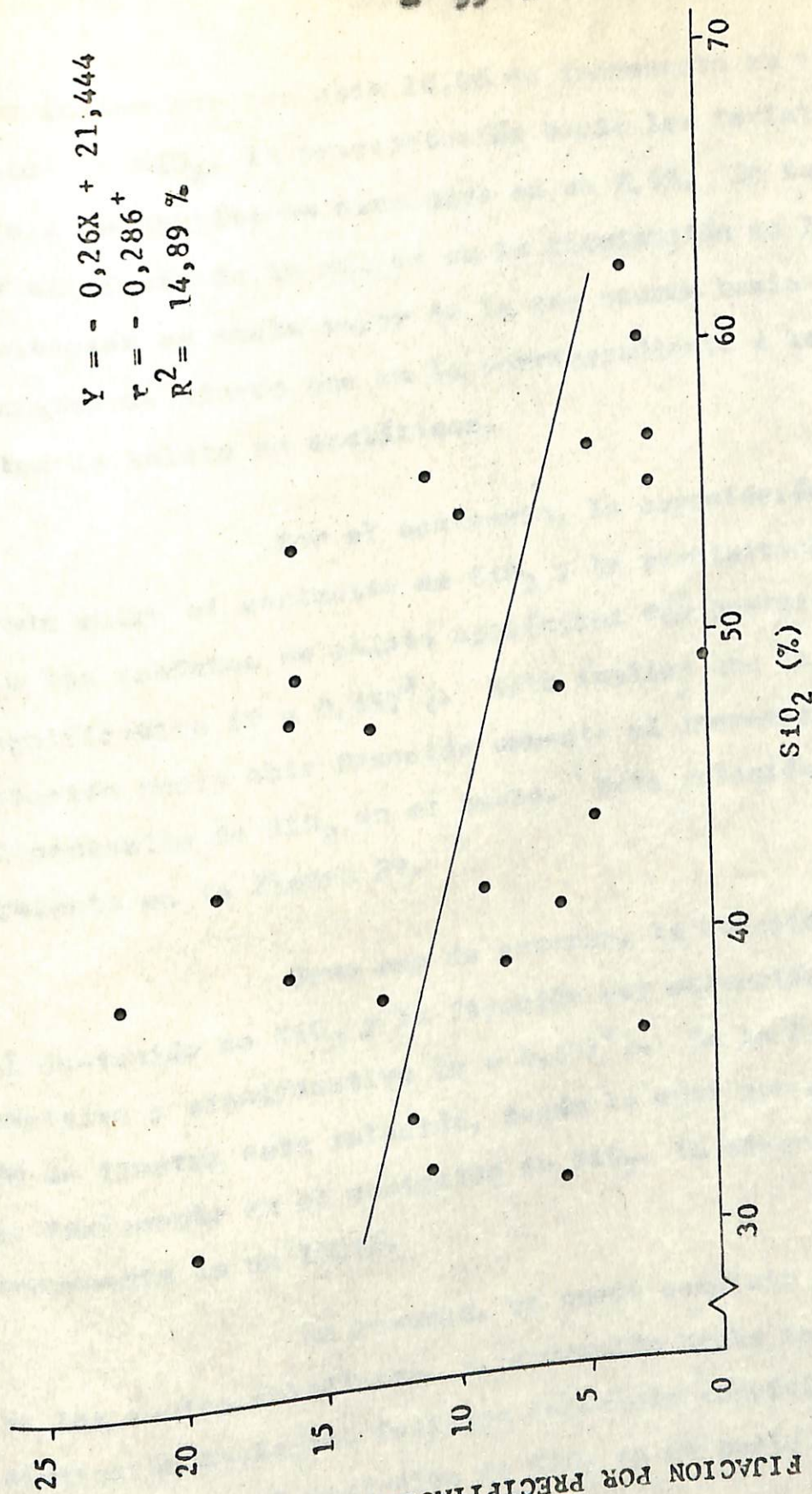


Figura 26. RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE SiO₂ Y FIJACION POR PRECIPITACION HACIA P-Ca NO APATITICO.

sión indica que por cada 10,0% de incremento en el contenido de SiO_2 , la precipitación hacia los fosfatos de calcio no apatíticos disminuye en un 2,6%. De suerte que el efecto de la sílice en la disminución de la precipitación es mucho mayor de la que ocurre hacia los fosfatos de hierro que en la correspondiente a los fosfatos de calcio no apatíticos.

Por el contrario, la correlación encontrada entre el contenido de SiO_2 y la precipitación hacia los fosfatos de calcio apatíticos fue positiva y significativa ($r = 0,437^+$). Esto implica que la precipitación hacia esta fracción aumenta al incrementarse el contenido de SiO_2 en el suelo. Esta relación se presenta en la Figura 27.

Como era de esperar, la relación entre el contenido de SiO_2 y la fijación por adsorción fue positiva y significativa ($r = 0,431^+$). En la Figura 28 se ilustra esta relación, según la cual por cada 10,0% de incremento en el contenido de SiO_2 , la adsorción se incrementa en un 10,4%.

En resumen, se puede concluir que, para los suelos estudiados, y, excepción hecha de la precipitación hacia los fosfatos de calcio apatíticos, el incremento en el contenido de SiO_2 en el suelo disminuye

$$Y = 2,93X - 91,357$$

$$r = 0,437^+$$

$$R^2 = 19,09 \%$$

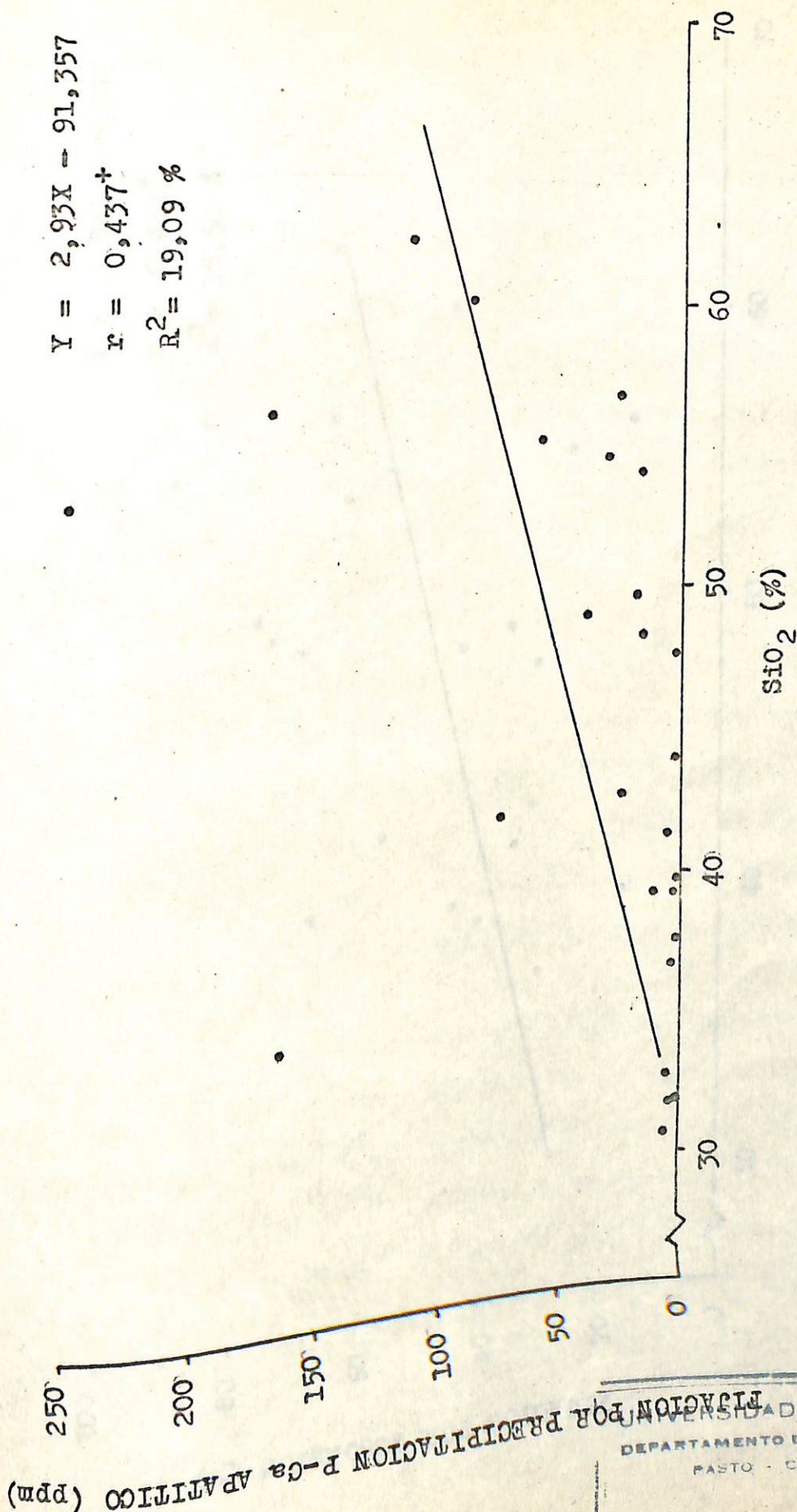


Figura. 27 . RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE SiO₂ Y FIJACION POR PRECIPITACION HACIA P-Ca APATITICO.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECA S
PASTO - COLOMBIA.

BIBLIOTECA ESPECIALIZADA

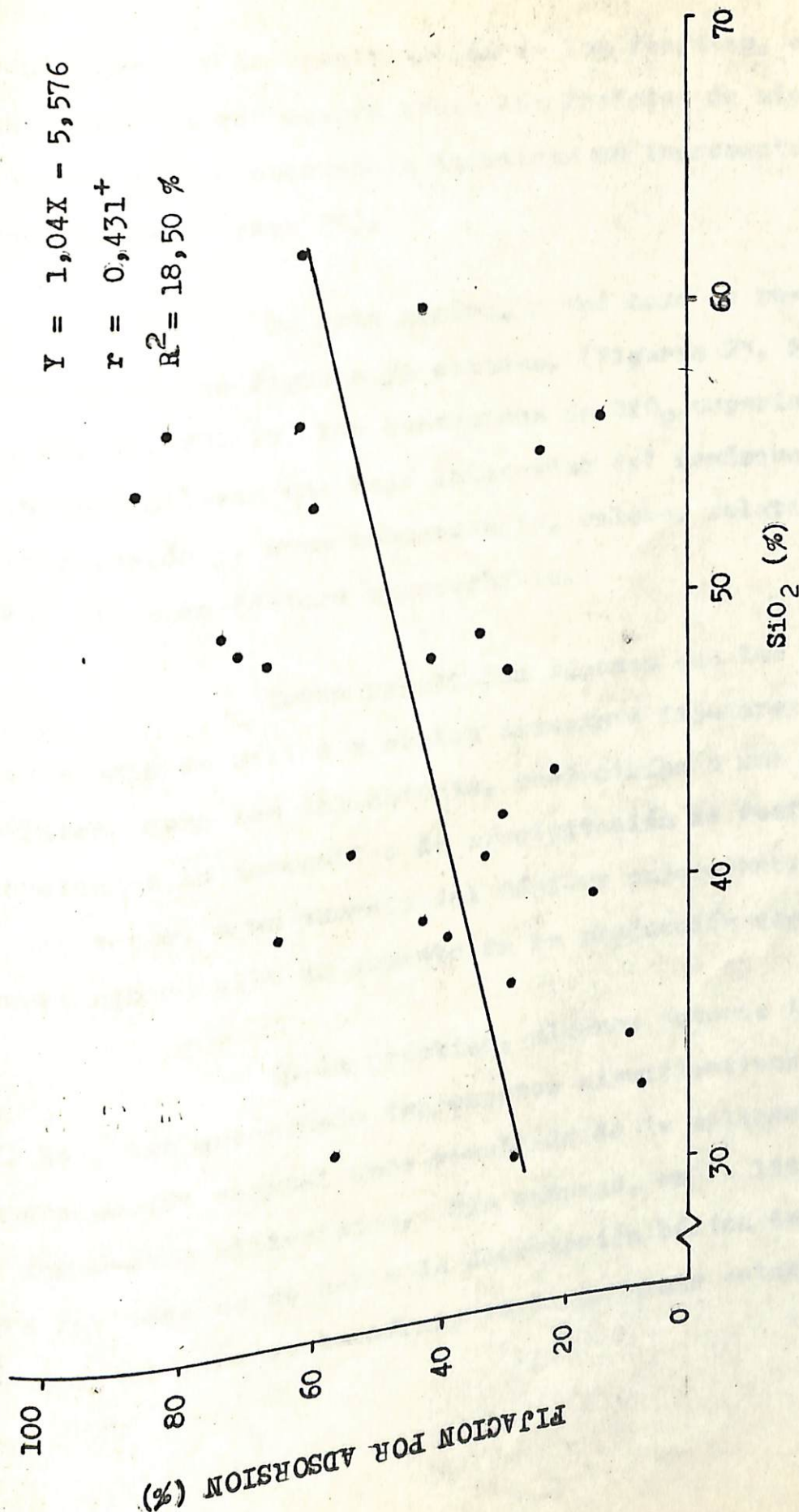


Figura 28 . RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE SiO₂ Y FIJACION POR ADSORCION.

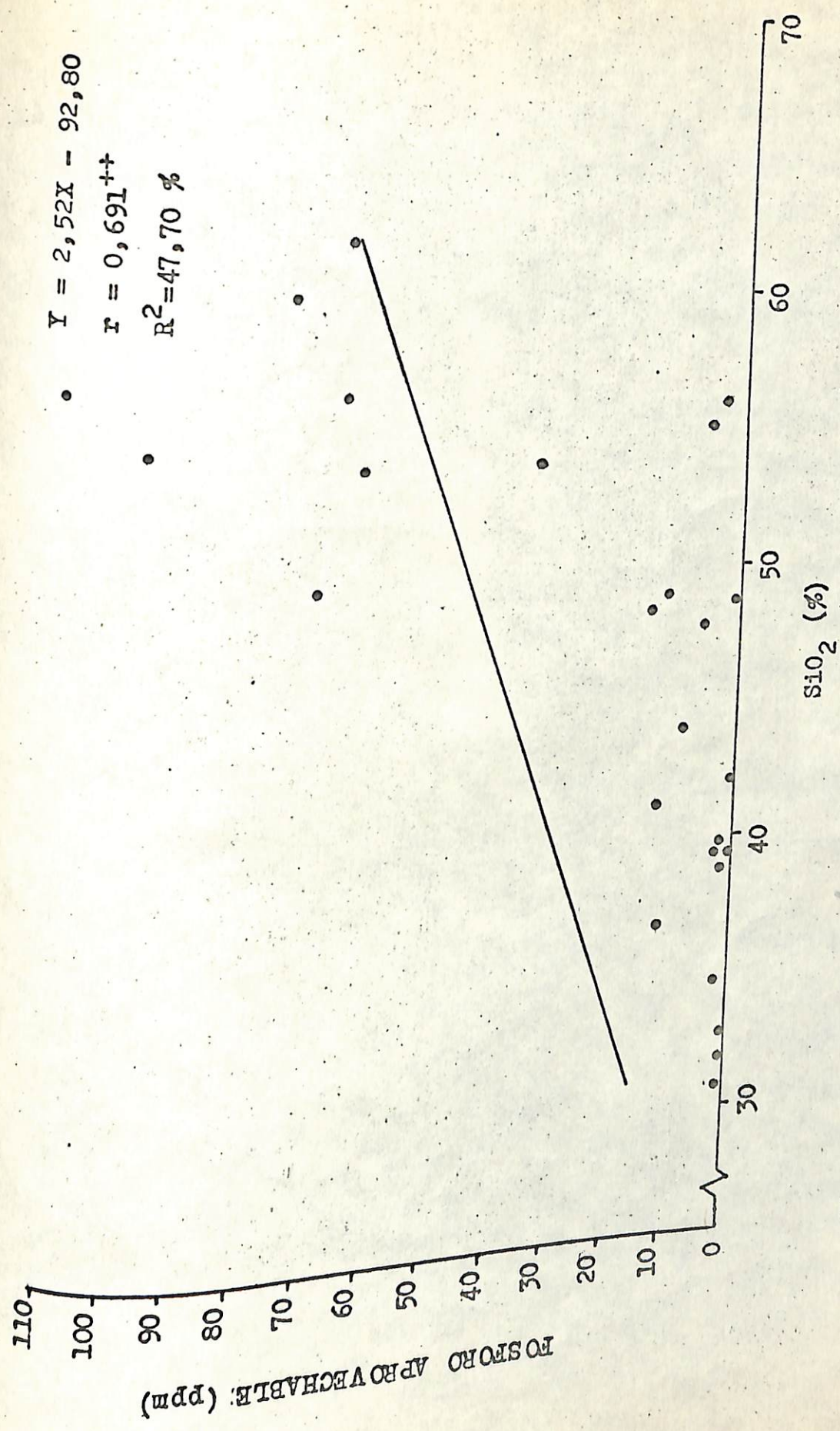


Figura 29 . RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE SiO₂ Y FOSFORO APROVECHABLE.

Por otra parte, las correlaciones antes descritas ofrecen un mayor fundamento en el método utilizado como medida adecuada del fenómeno de precipitación de fosfatos.

4.3.9 Bases cambiables Vs. fijación de Fósforo.

Los niveles de calcio intercambiable no relacionaron con los parámetros de fijación, ni siquiera con la precipitación hacia los fosfatos de calcio. Esto se puede interpretar en el sentido de que la determinación de calcio de cambio no es una buena medida de la actividad del ión Ca^{++} en los procesos de precipitación de fosfatos.

El sodio de cambio presentó una correlación positiva y altamente significativa con la precipitación hacia los fosfatos de calcio no apatíticos ($r = 0.535^{++}$). Esto implicaría que valores altos de sodio intercambiable en el suelo suponen una mayor intensidad de precipitación hacia los fosfatos de calcio no apatíticos. En otras palabras, los niveles de sodio intercambiable describen mejor el fenómeno de precipitación hacia los fosfatos de calcio no apatíticos que el parámetro de calcio intercambiable.

V. CONCLUSIONES

- 1.- Los perfiles estudiados presentaron una acentuada capacidad de retención de fosfatos. En promedio, los suelos retuvieron el 97,52% del fósforo añadido.
- 2.- La fijación por adsorción varió entre límites muy amplios (9,38 % a 81,96 % de la fijación total), pero el promedio obtenido para los suelos (hori - zontes superiores) (45,17 % de la fijación total) es muy superior a los obtenidos en los suelos vol cánicos de otras áreas latinoamericanas.
- 3.- El fenómeno de precipitación respondió del 18,03 al 90,61 % de la fijación total. El promedio obtenido para los suelos fue de 54,81 %.
- 4.- Los fosfatos de hierro constituyeron la forma más importante de precipitación, en tanto que la pre - cipitación hacia los fosfatos de aluminio, contrario a lo encontrado en los suelos volcánicos de otras áreas, fue nula. La contribución de las di - ferentes fracciones a la fijación total tuvo la si - guiente secuencia: P-Fe (30,27%) P-Ca no apatíti - co (9,43%) P-Ca apatítico (6,58%) P-Al (0,0%).

- 5.- La capacidad de retención de fosfatos y sus formas en los suelos estudiados, fueron independientes del contenido de materia orgánica, de la reacción del suelo y del contenido de arcillas.
- 6.- No se encontró una relación significativa entre los contenidos de aluminio cambiables y de Al_2O_3 con la variables de fijación total y fijación precipitación.
- 7.- Los contenidos de P-Al y P-Ca apatíticos originales del suelo, estuvieron asociados significativamente con el fenómeno de precipitación. Altos niveles de P-Al en el suelo, implicaron una acentuada precipitación ($r = 0,514^{++}$), en tanto que con los fosfatos de calcio apatíticos se presentó el fenómeno inverso ($r = - 0,575^{++}$).
- 8.- Los hidróxidos de hierro presentaron una buena asociación con la precipitación de los fosfatos. Entre mayor fue el contenido de Fe_2O_3 en el suelo, más intensa fue la precipitación hacia los fosfatos de hierro ($r = 0,388^+$) y hacia los fosfatos de calcio no apatíticos ($r = 0,501^{++}$).
- 9.- El incremento en el contenido de SiO_2 en el suelo disminuyó acentuadamente y significativamente ($r = -0,429^+$).

La precipitación de los fosfatos, especialmente la producida hacia los fosfatos de hierro ($r = -0,558^{++}$) produciendo, como consecuencia, un incremento altamente significativo del fósforo aprovechable ($r = 0,691^{++}$).

- 10.- Las correlaciones obtenidas entre los niveles de fósforo aprovechable y los parámetros de fijación, indican que la sola determinación de la capacidad de fijación de fósforo, no describe la situación real del fenómeno en relación al suministro del fósforo aprovechable.
- 11.- La fijación por precipitación parece ser un parámetro adecuado para describir el fenómeno de fijación de fósforo en términos relacionados con el suministro de fósforo aprovechable.
- 12.- La fijación por adsorción a la luz de los resultados obtenidos, no puede considerarse como verdadero proceso de fijación de fosfatos.
- 13.- Se justifican nuevas investigaciones para clarificar el significado agronómico real de la fijación de fosfatos y sus formas.

VI. RESUMEN

En los suelos de cuatro áreas volcánicas, correspondientes a los volcanes Galeras, Doña Juana, Cumbal y Puracé se determinó la capacidad de fijación de fosfatos, sus formas y sus relaciones con diferentes características edáficas.

Los resultados indicaron que:

La capacidad de fijación de fosfatos fue muy acentuada. En promedio, los suelos retuvieron el 97,53% del fósforo añadido. De la fijación total, 45,17% correspondió a adsorción y 54,81% se asoció con precipitación.

Los fosfatos de hierro constituyeron la forma más importante de precipitación, mientras que la precipitación hacia los fosfatos de aluminio, contrario a lo encontrado en suelos volcánicos de otras áreas, fue nula. La contribución de las diferentes fracciones a la fijación total tuvo la siguiente secuencia: P-Fe (30,27%) P-Ca no apatítico (9,43%) P-Ca apatítico (6,58%) P-Al (0,0%).

La capacidad de retención de fosfatos y sus diferentes formas, en los suelos estudiados, fueron inde-

pendientes del contenido de materia orgánica, de la reacción del suelo y del contenido de arcillas. No hubo una correlación significativa entre los contenidos de aluminio cambiabile y de Al_2O_3 con la fijación total y por precipitación. Los altos niveles de P-Al en el suelo implicaron una acentuada precipitación ($r = 0,514^+$), en tanto que con los fosfatos de calcio apatíticos se presentó el fenómeno inverso ($r = -0,575^{++}$).

Los hidróxidos de hierro presentaron una buena asociación con la precipitación de los fosfatos. Entre mayor fue el contenido de Fe_2O_3 en el suelo, más intensa fue la precipitación hacia los fosfatos de hierro ($r = 0,388^+$) y los fosfatos de calcio no apatíticos ($r = 0,501^{++}$).

El incremento en el contenido de SiO_2 en el suelo disminuyó acentuada y significativamente ($r = -0,429^+$) la precipitación de los fosfatos, especialmente la producida hacia los fosfatos de hierro ($r = -0,558^{++}$), con un incremento altamente significativo del fósforo aprovechable ($r = 0,691^{++}$).

Las correlaciones obtenidas entre los niveles de fósforo aprovechable y los parámetros de fijación, indican que la sola determinación de la capacidad de fijación de fósforo, no describe la situación real del fenó-

meno en relación al suministro de fósforo aprovechable. Por el contrario, la fijación por precipitación parece ser un parámetro adecuado, ya que relaciona muy bien bien con el fósforo aprovechable.

La fijación por adsorción, a la luz de los resultados obtenidos, no puede considerarse como verdadero proceso de fijación de fosfatos.

Se justifica nuevas investigaciones para clarificar el significado agronómico real de la fijación de fosfatos y sus formas.

SUMMARY

The phosphate fixation capacity, its various forms and relations to different edaphic characteristics were determined from the soils of four volcanic areas; namely, Galeras, Doña Juana, Cumbal and Puracé.

The results show that:

The phosphate fixation capacity was high. On the average, the soils retained 97.53 % of any added phosphorus. Of this total, fixation, 45.17 % was due to adsorption and 51.84 % to precipitation.

Iron phosphates produced the most important form of precipitation, while the precipitation of Al_2PO_3 was nil, contrary to what was found in volcanic soils from other areas. The contribution of the different fractions to the total fixation showed the following sequence: P-Fe (30.27 %) non apatic P-Ca (9.43 %) apatic P-Ca (6.58 %) P-Al (0.0 %).

The phosphate retention capacity and its different forms in the soils studied were independent of the organic material content, of the soil reaction and the clay content. There was no significant correlation

between the contents of changeable aluminium and of Al_2O_3 with the total fixation or that produced by precipitation. The high levels of P-Al in the soil indicate a high precipitation ($r = 0,514^+$), while the reverse phenomenon was shown the apatitic calcium phosphates ($r = - 0.575^{++}$).

Iron hydroxides showed good association with the phosphorus precipitation. The greater the Fe_2O_3 content, the greater was precipitation of iron phosphates ($r = 0,388^+$) and non apatic calcium phosphates ($r = 0.501^{++}$).

The increase in SiO_2 content in the soil decreased considerably and significantly ($r = - 0,429^+$) the phosphate precipitation, especially that producing iron phosphates, with a highly significant increase in useful phosphorus ($r = 0,691^{++}$).

The correlations between the useful phosphorus levels and the parameters of fixation indicate that merely the determination of the phosphorus fixation capacity does not describe the realities of the phenomenon in relation to the administration of useful phosphorus. On the contrary, the fixation by precipitation seems to be an adequate parameter since it relates very well to the useful phosphorus.

In the light of the results obtained, the fixation by adsorption cannot be considered as a true process of phosphorus fixation.

Further research is justified in order to clarify the real agronomic significance of phosphorus fixation and its various forms.

3.- Bastien, E. S. 1966. *Estudio de los elementos P, K en los suelos del Valle de Sibundoy, departamento Nacional del Putumayo. Tesis de grado (no publicada). Universidad de Bogotá, Instituto Tecnológico Agrícola. Bogotá, Colombia. 218 p. 1970.*

4.- Bastien, E. 1966. *Adaptación de algunas plantas nativas al cultivo en suelos de tipo volcánico. Tesis de grado (no publicada). Universidad de Bogotá, Instituto Tecnológico Agrícola. Bogotá, Colombia. 218 p. 1970.*

5.- Bastien, E. 1966. *Estudio de los elementos P, K en los suelos del Valle de Sibundoy, departamento Nacional del Putumayo. Tesis de grado (no publicada). Universidad de Bogotá, Instituto Tecnológico Agrícola. Bogotá, Colombia. 218 p. 1970.*

VII. BIBLIOGRAFIA

- 1.- Ahencorah, J. Phosphorus retention capacities of some cacao growing soils in Ghana and their relationships with soil properties. Soil Science 105 (1): 24-30. 1.968.
- 2.- Alcayaga, A. Urbina de. Relaciones entre algunas características físicas y químicas de suelos derivados de cenizas volvánicas. Agricultura técnica (Chile). 25: 9-17 pp. 1.965.
- 3.- Bastidas, D. G. et.al. Estudio de los elementos N, P, K en los suelos del Valle de Sibundoy. Intendencia Nacional del Putumayo. Tesis de grado (no publicada). Universidad de Nariño. Instituto Tecnológico Agrícola. Pasto, Colombia. 218 p. 1.970.
- 4.- Blanchet, R. Adsorption et dilution isotopique des ions phosphoriques au contact des hydroxides métalliques et des argiles. Am. Agron. 1: 54-74 pp. 1.960.
- 5.- Blasco, M. Curso de Suelos II. Facultad de Agronomía. Palmira. Universidad Nacional. 165-191 (En mimeógrafo). 1.969.

- 6.- Blasco, M. Propiedades químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Mariño, Colombia. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. FAO - IICA. Turrialba, Costa Rica. B.8 1.969.
- 7.- Blasco, M. and N. Bohorquez. Fractionation of phosphorus in tropical soils of Colombia. Agrochimica. 12: 173-178. 1.968.
- 8.- Bray, R. H. and L. T. Kurtz. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39-45. 1.945.
- 9.- Bremner, J. M. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldhal method. Jour. Agric. Sci. 55: 11-13. 1.960.
- 10.- Buckman, H. O. y N. C. Brady. Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. S. Barceló. México. UTEHA. 590p. 1.965.
- 11.- Coleman, R. The mechanism of phosphate fixation by montmorillonitic and caolinitic clays. Soil Sci. Soc. Am Proc. 9: 75-78. 1.944.

- 12.- Chamorro, B y C. Echeverría. Determinación de Cu, Mn, Zn, Co, Al y Fe cambiables en suelos de la Sabana de Túquerres. Trabajo de Tesis (No publicada). Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Narino, Pasto. 60 p. 1.971.
- 13.- Chang, S. C. and M. L. Jackson. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84: 133-137. 1.957.
- 14.- Chu Ada, C. y G. D. Sherman. Differential fixation of phosphate by typical soil of the Hawaiian Great soil groups. Hawaii Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 20 p. 1.952.
- 15.- Dean, L. A. Fixation of soil phosphorus. Advances in agronomy. 1: 391-411. 1.949.
- 16.- Ellis, R. y E. Troog. Phosphate fixation by montmorillonita. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 19: 451-453. 1.955.
- 17.- Fassbender, H. W. Formas ded los fosfatos de algunos suelos de la zona oriental de la Meseta Central y de las Llanuras Atlánticas de Costa Rica. Fitotécnia Latinoamericana. 3: 187-202. 1.966.

- 18.- Fassbender, H. W. La adsorción de fosfatos en sue
los fuertemente ácidos. Su evaluación usando
la isoterma de Langmuir. Pitotecnia Latinoame
ricana. 3: 210-216. 1.966.
- 19.- Fassbender, H. W. e Igue, K. Comparación de méto
dos radiométricos y colorimétricos en estudios
sobre retención y transformación de fosfatos en
suelos. Turrialba. 17 (3): 284-287. 1.967.
- 20.- Fassbender, H. W. Phosphate retention and its di
fferent chemicals forms under laboratory condi
tions for 14 Costa Rica Soils. Agrochimica.
12: 512-521. 1.968.
- 21.- _____ . Deficiencia y fijación del fós
foro en suelos derivados de cenizas volcánicas
en América Central. In Panel sobre suelos de
rivados de cenizas volcánicas de América Lati
na. Turrialba, Costa Rica. FAO - IICA. p. irr.
1.969.
- 22.- _____ . Retención y transformaciones de
fosfatos en 8 latosoles de la Amazonía del Bra
sil. Pitotecnia Latinoamericana. 6: 1-10.
1.969.

- 23.- _____ . Estudio del fósforo en suelos de América Central IV. Capacidad de fijación y su relación con características edáficas. Separado de Turrialba. 19 (4): 497-505. Trimestre Octubre-Diciembre. 1.969.
- 24.- Fassbender, H.W. Phosphorus fixation in tropical soils. Agric. Digest. 18: 20-28. 1.969.
- 25.- Fassbender, H. W. y L. Muller. Uso de enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfatos. II. Efecto de fertilizantes silico-fosfatados. Separado de Turrialba. 19 (3): 368-374. 1.969.
- 26.- Feuillet, G. E. y Feuillet, A. D. Fraccionamiento de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos de la Sabana de Túquerres. Tesis de grado. (No publicada). Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. 102 p. 1.971.
- 27.- Fox, R. L. et al. Soil and plant silicon and silicate response by sugarcane. Proceedings, Soil Science Society of América. 31 (6): 775-779. 1.967.
- 28.- Hemmewell, J. B. The fixation of phosphorus by soils. Advances in agronomy. 9: 95-112. 1.957.

- 29.- Huertas, G. y Lozano, G. Estudio comparativo de tres fuentes y cuatro niveles de P_2O_5 en relación a fijación de fósforo y eficiencia del fertilizante en un suelo del Altiplano de Pasto. Tesis de grado (No publicada). Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto, Colombia. 74 p. 1.971.
- 30.- Hsu, P. H. and M. L. Jackson. Inorganic phosphate transformation by chemical weathering of soils as influenced by pH. Soil. Sci. 90: 16-32. 1.960.
- 31.- Hsu, P. H. Adsorption of phosphate by aluminum and iron in soils. Soil Science Society of América Proceedings. 21: 144-149. 1.964.
- 32.- Jackson, M. L. and G. D. Sherman. Chemical weathering of minerals in soils. Advances in Agronomy. 5: 296-297. 1.963.
- 33.- Jackson, M. L. Soil Chemical analysis. 3a. Ed. Prentice Hall Inc. New York. 498 p. 1.964.
- 34.- _____ . Análisis químico de suelos. Trad. J. B. Martínez. Barcelona. Omega. 662p. 1.964.
- 35.- Jiménez, J. y M. Ocampo. El aluminio como factor de acidez en varios suelos del Departamento de

Nariño, Tesis de grado (No publicada). Universidad de Nariño. I.T.A. Pasto, Colombia. 90p. 1.970.

- 36.- Juo, A. S. y Ellis, B. G. Chemical and physical properties of iron and aluminum phosphates and their relation to phosphorus availability. Soil Soc. Am. Proc. 32: 216-221. 1.968.
- 37.- León, A. Interpretación de análisis de suelos y recomendaciones de fertilizantes. Programa de suelos y programa de educación continuada. Ic.C.A. 1.971.
- 38.- _____. Estudios químicos y mineralógicos de seis suelos de Colombia. Agric. Tropical. 20 (8): 442-451. 1.964.
- 39.- León, A. y N. T. Coleman. Características químicas de algunos suelos ácidos de Colombia en relación a la fijación de fosfatos. Contribución a la IV Conferencia Latinoamericana de la FAO. Bogotá, Colombia. (Sin paginación). 1.968.
- 40.- López, T. y A. Rodríguez. Algunas consideraciones sobre la meteorización, el deslave y la edad de los suelos en cuatro regiones volcánicas del Sur de Colombia. Tesis de Grado (No publicada) U. de Nariño. Pasto, Colombia. Pag. 110. 1.970.

- 47.- Ramírez, Y. E. Los volcanes de Colombia; siete tienen historia de grandes erupciones. El Espectador. Magazine dominical. Bogotá. Abril 14. 16p. 1.968.
- 48.- Rodríguez, I. Estudios geográficos sobre el Departamento de Nariño. Imprenta Departamental. Pasto. 388p. 1.959.
- 49.- Roeder, M. y Bornemisza, E. Algunas propiedades de suelos de la región Amazónica del Estado de Maranhão, Brasil. Turrialba 18 (4): 319-332. 1.968.
- 50.- Santaella, G. y A. Gonzalez. Influencia del CaCO_3 en las propiedades químicas de un suelo de la terraza de Villarica (Cauca). Acta agronómica. 15 (14): 33-53. 1.965.
- 51.- Sanguino, E. L. 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). Julio-Diciembre. 1.961.
- 52.- Sen Gupta, M. B. and A. H. Cornfield. Phosphorus in calcareous soils. I. The inorganic phospho-

rus fractions and their relations to the amount of calcium carbonate present. Jour. Sci. Food. Agric. 13: 652-655. 1.962.

53.- Schollenberger, G. J. and M. Simon. Determination of cation exchange properties of soil by ammonium acetate method. Soil Sci. 59: 14. 1.945.

54.- Suehisa, R. H. Younge. O. R. y Sherman, G. D. Effects of silicates on phosphorus availability to Sudan grass grown soils Agricultural Experiment Station Of Hawaii, Technical Bulletin 51. 40p. 1.963.

55.- Tafur, V. W. Principales características químicas de la región algodonera. Valledupar (Cesar) Tesis de grado. Fac. de Agronomía. Palmira. Universidad Nacional. 75p. 1.968.

56.- Thompson, L. M. et al. Occurrence and mineralization of organic phosphorus in soils with particular reference to association with nitrogen, carbon and pH. Soil Sci. 77: 185-196. 1.964.

57.- Uezkill, H. and A. Jacob. Fertilización. Trad. de López Martínez de Alba. Hannover. 2a. Ed. Países Bajos. 5-9p. 1.964.

58.- Walkley, A. and I. A. Black. An examination of the degtjarev method for determining soil organic mater and proposed modification of the cromis acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38. 1.934.

59.- Zambrano, D. H. et. al. Atlas agrológico del Departamento de Nariño. Tesis de grado. (No publicada). I.T.A. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. 257p. 1.969.

TABLE XXV

ESTIMATED 1937 OUTPUT AND NUMBER OF LOW POWER INVESTIGATIONS (a)

Country	Investigation	1937	1938	1939
		Output	Output	Output
Canada	0 - 100	10.00	10.00	12.00
	100 - 200	12.00	12.00	12.00
	200 - 300	12.00	12.00	12.00
U.S.A.	0 - 100	10.00	10.00	12.00
	100 - 200	12.00	12.00	12.00
	200 - 300	12.00	12.00	12.00
U.K.	0 - 100	10.00	10.00	12.00
	100 - 200	12.00	12.00	12.00
	200 - 300	12.00	12.00	12.00
France	0 - 100	10.00	10.00	12.00
	100 - 200	12.00	12.00	12.00
	200 - 300	12.00	12.00	12.00
Germany	0 - 100	10.00	10.00	12.00
	100 - 200	12.00	12.00	12.00
	200 - 300	12.00	12.00	12.00
Italy	0 - 100	10.00	10.00	12.00
	100 - 200	12.00	12.00	12.00
	200 - 300	12.00	12.00	12.00
Japan	0 - 100	10.00	10.00	12.00
	100 - 200	12.00	12.00	12.00
	200 - 300	12.00	12.00	12.00

A P P E N D I C E

Canada	0 - 100	10.00	10.00	12.00
	100 - 200	12.00	12.00	12.00
	200 - 300	12.00	12.00	12.00
U.S.A.	0 - 100	10.00	10.00	12.00
	100 - 200	12.00	12.00	12.00
	200 - 300	12.00	12.00	12.00
U.K.	0 - 100	10.00	10.00	12.00
	100 - 200	12.00	12.00	12.00
	200 - 300	12.00	12.00	12.00
France	0 - 100	10.00	10.00	12.00
	100 - 200	12.00	12.00	12.00
	200 - 300	12.00	12.00	12.00
Germany	0 - 100	10.00	10.00	12.00
	100 - 200	12.00	12.00	12.00
	200 - 300	12.00	12.00	12.00
Italy	0 - 100	10.00	10.00	12.00
	100 - 200	12.00	12.00	12.00
	200 - 300	12.00	12.00	12.00
Japan	0 - 100	10.00	10.00	12.00
	100 - 200	12.00	12.00	12.00
	200 - 300	12.00	12.00	12.00

TABLA XXVI

ANALISIS DE OXIDOS DEL PERFIL DE LOS SUELOS ESTUDIADOS (+)

Suelo	Horizonte	SiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %
PURAGE I	0 - 90	39,36	17,23	12,29
	90 - 140	42,82	4,35	7,41
	140 - X	47,72	21,17	7,50
PURAGE II	0 - 80	38,70	10,33	7,41
	80 - 125	39,71	11,09	8,61
	125 - 190	48,42	14,44	8,81
	190 - X	31,72	9,24	5,41
GALERAS I	0 - 190	34,55	19,49	7,14
	190 - 230	32,63	5,35	8,87
	230 - 270	42,07	7,05	6,80
	270 - X	49,80	14,57	6,52
	0 - 70	41,25	9,83	4,75
GALERAS II	70 - 120	36,82	11,55	4,06
	120 - X	39,33	11,72	5,99

TABLA XXVII

ANÁLISIS DE ÓXIDOS DEL PERFIL DE LOS SUELOS ESTUDIADOS (+)
(Continuación)

Suelo	Horizonte	SiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %
CUMBAL I	0 - 160	48,71	5,73	7,71
	160 - 220	30,67	10,68	8,46
CUMBAL II	0 - 230	53,98	13,70	5,56
	230 - 270	62,41	17,19	6,98
	270 - 282	55,23	23,14	5,89
	282 - X	44,10	17,34	9,43
D. JUANA I	0 - 10	49,05	7,80	7,43
	10 - 40	55,99	6,33	6,85
	40 - X	60,31	11,94	8,42
D. JUANA II	0 - 20	56,70	12,42	5,42
	20 - 100	56,66	17,37	5,30
	100 - X	54,70	13,06	5,83

(+) Tomada de la investigación de tesis de López y Rodríguez (40).

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

SUELO	Horizonte	pH	MC	SN	C/M	CIC mg/100 gr	BASES CAMBIABLES ppm				Al		P. ppm
							K	Ca	Na	Mg	ppm	ppm	
CUMBAL	0 - 160	4,50	5,21	0,40	13,03	29,98	20,78	38,23	11,75	16,17	36,93	0,04	
	I 160 - 220	4,70	1,30	0,13	10,00	25,24	561,42	557,55	113,16	2,82	45,76	0,04	
CUMBAL	0 - 230	4,40	7,62	0,52	14,65	47,09	52,27	2,80	8,80	53,84	48,31	33,98	
	230 - 270	5,10	0,11	0,03	3,67	3,67	21,25	22,27	8,35	32,61	44,68	66,05	
	II 270 - 282	4,50	1,08	0,11	9,82	23,33	257,44	460,11	50,39	13,99	48,37	5,61	
	282 - I	4,70	3,35	0,24	13,96	22,65	229,31	485,42	56,89	119,89	44,82	8,87	
D. JUANA	0 - 10	4,30	869	0,72	12,07	40,06	84,36	61,55	14,39	120,29	48,52	12,34	
	10 - 40	4,60	3,14	0,29	10,83	18,36	46,71	2,14	12,81	61,66	47,04	2,81	
	I 40 -	5,20	0,17	0,01	17,00	3,33	51,59	300,92	11,28	108,79	47,04	73,91	
D. JUANA	0 - 20	4,20	0,67	0,11	7,91	8,49	31,03	156,66	10,78	49,78	45,08	65,50	
	20 - 100	4,20	0,29	0,03	9,67	3,96	38,48	17,59	8,68	3,68	48,44	109,16	
	II 100 - I	4,30	0,14	0,02	7,00	3,20	30,74	23,52	8,55	2,93	47,12	96,50	

T A B L A XXX

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

SUELO	Horizonto	pH	pH	C/N	CIC mg/100 gr	BASES CAMBIABLES Ppm.			Al		P. ppm	
						K	Ca	Na	ppm	ppm		
FORAJE I	0 - 90	4,40	6,39	0,16	43,06	23,31	64,18	12,07	1.119,04	160,08	41,31	2,69
	90 - 140	4,70	4,47	0,30	14,90	31,54	1,27	1,07	1.105,48	8,63	35,99	0,99
	140 - I	4,80	0,83	0,08	10,36	5,79	54,98	31,11	1.158,52	277,19	43,25	6,29
FORAJE II	0 - 85	4,40	7,41	0,45	16,46	25,00	50,61	12,65	830,00	190,78	44,60	0,14
	85 - 125	4,50	5,45	0,29	18,99	32,12	19,03	2,03	156,76	129,56	33,81	1,32
	125 - 190	4,20	0,58	0,06	9,66	13,46	47,29	59,46	1.167,48	203,46	47,64	14,53
GALERIAS I	190 - I	5,20	4,60	0,24	19,77	39,53	21,65	28,53	845,69	44,60	44,73	0,04
	0 - 190	4,90	6,33	0,46	13,76	32,40	53,16	45,06	202,50	52,33	44,65	0,18
	190 - 230	5,40	4,75	0,29	16,38	31,62	40,86	185,91	1.084,33	136,64	44,84	0,04
GALERIAS II	230 - 270	5,50	1,32	0,15	8,80	16,99	42,99	91,04	1.274,62	147,61	44,41	0,04
	270 - I	5,60	0,81	0,02	40,50	1,15	29,95	79,70	1.374,57	199,54	45,99	69,28
	0 - 70	4,40	6,11	0,48	12,73	33,32	33,16	45,32	11,61	3,02	48,79	12,41
GALERIAS II	70 - 120	5,00	3,33	0,26	12,81	29,99	21,53	450,87	16,72	41,27	44,73	11,38
	120 - I	5,20	1,63	0,14	11,64	26,69	54,55	284,14	37,04	41,96	44,53	0,28

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

**T
631.4
B946c
Ej.1**

Inventario: 10567

Autor: Jaime E. Burbano H. y otro

Título: Capacidad de fijación de



**T
631.4
B946c
Ej.1**

10567

**Universidad de Nariño
Pasto (Nariño)**

1 0 5 6 7

Universidad de Nariño
BIBLIOTECA
ALBERTO QUIJANO GUEPRERO