

18.25
0965

EFFECTO DE LA ADICION DE CARBONATO DE CALCIO Y SUPERFOSFATO TRIPLE
EN LA MINERALIZACION DEL FOSFORO EN SUELOS VOLCANICOS DE LA SABANA DE
TUQUERRES, NARIÑO, COLOMBIA

Por

GABRIEL CUELLAR SILVA

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

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PASTO - COLOMBIA

No.	1232
Vol.	1
Fecha	23-1-88
Fol.	1
Libro	1

Presidente de Tesis

JOAQUIN GAMBOA JAINES I.A. M.Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PASTO - COLOMBIA

1.973

7
F-631.85
C965
Ej. 7

- II -

" Las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de grado, son de responsabilidad exclusiva de su autor ".

Artículo 1º del Acuerdo N° 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

A MIS PADRES

A MI ABUELA

A MIS HERMANAS

A SARA L. GARCIA G.

A MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

DEDICO

GABRIEL CUELLAR SILVA

AGRADECIMIENTOS A :

JOAQUIN GAMBOA JAINES I.A. M.Sc.

MARIO BLASCO LAMENCA I.A. Ph.D.

RICARDO GUERRERO RIASCOS I.A. M.Sc.

LUCIO LEGARDA BURBANO I.A. M.Sc.

VICTOR MONTENEGRO GALVEZ I.A. M.Sc.

HOMERO BENAVIDES GUERRERO I.A.

JORGE ORTEGA ENRIQUEZ I.A.

ALFREDO BRAVO ROJAS I.A.

PEDRO ERASO MARVAEZ I.A.

FRANCISCO CORTES DE LA ESPRIELLA

MYREYA Y CONSUELO MELO ESCOBAR

HERNANDO PABON SILVA

RITHA ARELLANO ROJAS

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

Personal del laboratorio de suelos de la
Facultad de Ciencias Agrícolas.

Todas las personas que en una u otra forma
colaboraron en el desarrollo de la presen-
te investigación.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Mineralización del fósforo . .	3
2.1.1 Microorganismos que in- tervienen en la minerali- zación del fósforo . . .	5
2.2 Fósforo orgánico	6
2.3 Fósforo aprovechable	8
III. MATERIALES Y METODOS	10
3.1 Materiales	10
3.1.1 Muestras	10
3.2 Métodos	10
3.2.1 Incubación	10
3.2.2 Evaluación cuantitativa de la mineralización . .	11
3.2.2.1 Determinación del fósforo or- gánico	11
3.2.2.2 Determinación del fósforo apro- vechable . . .	12

	Pág.
3.2.3 Fraccionamiento de fósforo	12
3.2.4 Diseño experimental. . . .	12
3.2.5 Análisis estadístico . . .	12
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	13
4.1 Estado de la mineralización origi nal	13
4.2 Mineralización del fósforo en el suelo testigo	14
4.3 Mineralización del fósforo con adiciones de carbonato de calcio al 1%	19
4.4 Mineralización del fósforo con adición de carbonato de calcio al 0,5%	22
4.5 Mineralización del fósforo con adi ción de P al 0,1%	24
4.6 Mineralización del fósforo con adi ción de P al 0,05%	27
V. CONCLUSIONES	52
VI. RESUMEN	54

	Pág.
SUMMARY	55
VII. BIBLIOGRAFIA	56
APENDICE	63
Table II. Studies conducted in Mexico on the effects of the various feeding habits on the development of the	11
Table III. Studies conducted in Mexico on the effects of the various feeding habits on the development of the	12
Table IV. Studies conducted in Mexico on the effects of the various feeding habits on the development of the	13
Table V. Studies conducted in Mexico on the effects of the various feeding habits on the development of the	14
Table VI. Studies conducted in Mexico on the effects of the various feeding habits on the development of the	15

TABLAS

	Pág.
Tabla I. Fósforo orgánico y fósforo aprovechable original en los suelos estudiados	30
Tabla II. Fósforo orgánico y fósforo aprovechable en los suelos testigo incubados a diferentes periodos	31
Tabla III. Fósforo orgánico y fósforo aprovechable en los suelos con tratamiento de carbonato de calcio al 1% incubados a diferentes periodos	32
Tabla IV. Fósforo orgánico y fósforo aprovechable en los suelos con tratamiento de carbonato de calcio al 0,5% incubados a diferentes periodos	33
Tabla V. Fósforo orgánico y fósforo aprovechable en los suelos con tratamiento de fósforo al 0,1% incubados a diferentes periodos	34

Tabla VI. Fósforo orgánico y fósforo aprovechable en los suelos con tratamiento de fósforo al 0,05% incubados a diferentes períodos	35
Tabla VII. Mineralización en los diferentes suelos estudiados expresado en porcentaje del fósforo orgánico inicial	36
Tabla VIII. Relación C/P-orgánico promedio para los suelos estudiados	37
Tabla IX. Prueba de Tukey para el promedio de fósforo aprovechable en los distintos tratamientos (4a Semana).	38
Tabla X. Prueba de Tukey para el promedio de fósforo aprovechable en los distintos tratamientos (8a. Semana)	39
Tabla XI. Fracciones de fósforo de los suelos en estudio	40

ILUSTRACIONES

	Pág.
Figura 1 Mineralización del fósforo orgánico en los suelos estudiados tratamiento testigo	41
Figura 2 Mineralización del fósforo orgánico en los suelos estudiados tratamiento carbonato de calcio al 1%	42
Figura 3 Mineralización del fósforo orgánico en los suelos estudiados tratamiento carbonato de calcio al 0,5%	43
Figura 4 Mineralización del fósforo orgánico en los suelos estudiados tratamiento con fósforo al 0,1%	44
Figura 5 Mineralización del fósforo orgánico en los suelos estudiados tratamiento con fósforo al 0,05%	45
Figura 6 Fósforo aprovechable en los suelos estudiados tratamiento testigo	46

	Pág.
Figura 7 Fósforo aprovechable en los suelos estudiados tratamiento carbonato de calcio al 1%	47
Figura 8 Fósforo aprovechable en los suelos estudiados tratamiento carbonato de calcio al 0,5%	48
Figura 9 Fósforo aprovechable en los suelos estudiados tratamiento con fósforo al 0,1%	49
Figura 10 Fósforo aprovechable en los suelos estudiados tratamiento con fósforo al 0,05%	50
Figura 11 Tendencia presentada por el fósforo aprovechable para toda la región .	51

ESECTO DE LA ADICION DE CARBONATO DE CALCIO Y SUPERFOSFATO TRIPLE EN LA MINERALIZACION DEL FOSFORO EN SUELOS VOLCANICOS DE LA SABANA DE TUQUERRES, MARIÑO, COLOMBIA (+)

Por

GABRIEL CUELLAR SILVA

I. INTRODUCCION

En Colombia el estudio sobre mineralización del fósforo ha sido escaso, a pesar de la importancia que tiene dentro de la fertilidad del suelo. De ahí el interés de desarrollar investigaciones relacionadas con este aspecto.

La mineralización de varios elementos a sus formas inorgánicas, constituye una importante fuente de nutrientes para las plantas. La cantidad que se mineraliza es muy variable y depende de la forma del compuesto, presencia de microorganismos apropiados, y de factores ambientales como temperatura, aireación, humedad, fuentes de energía y nutrientes.

El fósforo es de gran importancia no solo por ser elemento esencial sino también por los problemas que presenta en asimilación, principalmente en suelos tropicales derivados de cenizas volcánicas.

(+) Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de Joaquín Gamboa Jaimes I.A. M.Sc.

nicas. La mineralización de los compuestos orgánicos trata, en parte, de suplir las deficiencias de disponibilidad del fósforo.

La presente investigación tuvo como objetivos principales, determinar la capacidad de mineralización del fósforo y evaluar el efecto que ofrecen el carbonato de calcio y el superfosfato triple en este importante proceso metabólico.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Mineralización del fósforo.

Una gran parte del fósforo del suelo es aportado en combinaciones orgánicas, las cuales para que sean utilizadas directa y totalmente por las plantas deben sufrir mineralización, con la cual los compuestos orgánicos de fósforo, por el ataque de microorganismos se cambian a formas asimilables por las plantas (17, 43).

Fundamentalmente sobre mineralización del fósforo no se conoce mucho en suelos volcánicos del trópico, Blasco et al (15) trabajaron en suelos con influencias de materiales procedentes del volcán Parícuti, según los resultados, la relación C/P-orgánico no es un índice aceptable para predecir la mineralización. Trabajos similares fueron realizados por Mesías y Hernández (40) y Alcocerado (2).

En términos generales se acepta que se presentará mineralización, cuando la relación C/P-orgánico sea menor de 200/1; mientras que la inmovilización será el efecto dominante, con relaciones de 300/1, o superiores (3, 10).

Igüe y colaboradores (31) encontraron que la mineralización después de periodos largos de incubación, ocurrió de acuerdo con la relación C/P-orgánico, confirmando lo indicado por Barrow (7). Sin embargo, de acuerdo con las observaciones de Blasco et al (15), esto no parece ser aplicable cuando el tiempo de incubación es corto.

Trabajos más recientes de Enwezor (22) demuestran que la mineralización e inmovilización dependen más de la cantidad de fósforo total presente en forma orgánica, que de la relación C/P-orgánico. Además, indican que existe una correlación significativa entre esta fracción y el fósforo disponible.

Barrow (7) indica que la mineralización del fósforo orgánico en algunos casos es mayor o menor que la tasa de mineralización de carbono y nitrógeno.

Black y Goring (10) encontraron que cuando la microflora del suelo descompone el material orgánico suministrado dentro del plazo máximo de un mes, la mineralización del fósforo orgánico ocurría, solo cuando dicho material contenía de 0,15% a 0,78% de fósforo orgánico y que la inmovilización se producía cuando contenía de 0% a 0,21%.

La velocidad de mineralización y sus productos resultantes dependen de varios factores, entre los cuales sobresalen el compuesto orgánico sobre el cual se opere, la temperatura, la relación C/P-orgánico, la humedad, el pH, la aireación y otros (8, 22). En general algunos de estos factores son análogos a la mineralización e inmovilización del nitrógeno (3).

Algunos investigadores consideran que habrá una rápida mineralización del fósforo orgánico cuando en el suelo abundan los ácidos nucleicos, mientras que ésta será muy lenta si predomina la fitina (1, 15).

Avan (6) y Acquaye (1) determinaron la importancia de la fracción orgánica en la nutrición del maíz y cacao respectivamente en suelos tropicales, el segundo autor indica un aumento en la mineralización del fósforo orgánico con aplicación de nitrógeno y fósforo, en experimentos de incubación en laboratorio, e informa la alta correlación encontrada entre producción de cacao y el contenido de fósforo orgánico en suelos superficiales de Ghana. Avan (6), por otra parte, indica el efecto benéfico del encalado en experimentos con maíz. Este investigador observó un decrecimiento en la cantidad de fósforo orgánico en el suelo tratado con cal, en comparación con el tratamiento sin cal; además también indica que la mayor parte del fósforo potencialmente disponible, se encuentra en forma orgánica.

Si en la materia orgánica abundan los residuos de plantas jóvenes, predominará la mineralización, mientras que si el material es maduro habrá predisposición a la inmovilización, debido a que el sustrato es más difícil de atacar (9).

2.1.1 Microorganismos que intervienen en la mineralización del fósforo.

No existe especialización entre los microorganismos que intervienen en las reacciones bioquímicas del fósforo en el suelo. Cualquier microorganismo que produzca hidrolasas de tipo fosfatasa, nucleotidasa y fitasas (Arthrobacter sp., Bacillus sp., Pseudomonas sp., Aspergillus sp., Curvicularia sp., Penicillium sp., Rhizopus sp., Streptomyces sp., etc.) pueden intervenir en las reacciones del fósforo. Uno de los microorganismos que ha recibido mayor atención es el Bacillus megaterium var. phosphaticum, debido a que

está siendo recomendado como inoculante de suelos para mejorar la aprovechabilidad y disponibilidad del fósforo (2, 12).

2.2 Fósforo orgánico.

De acuerdo con Bear (8) y Sánchez (43), el fósforo orgánico proviene de los compuestos fosfóricos que integran los tejidos de las plantas y animales, así como también de los microorganismos. La acumulación de estos residuos constituye la materia orgánica del suelo, de cuya descomposición se genera una serie de compuestos, entre los cuales se encuentra el humus, el cual representa una reserva de nutrientes para las plantas (27).

Kalla (35), Westin y Buntley (48) encontraron que la cantidad más alta de fósforo orgánico se presenta en suelos de mayor precipitación y temperatura anual baja y que su contenido varía principalmente con la profundidad del perfil. Lo anterior es lógico por cuanto Alexander (3) ha demostrado, que suelos ricos en materia orgánica tienen abundante cantidad y aquella también disminuye con la profundidad.

Winshall y Dyer, citados por Dean (21) informan que en suelos turbosos el 75% a 85% del fósforo total está en combinaciones orgánicas y en la misma forma, aproximadamente el 50% en suelos pedregalicos.

Dean (21) ha calculado que el fósforo orgánico en diferentes partes del mundo, está entre 8% y 50% del fósforo total. Black y Goring (10) anotan que el contenido de fósforo orgánico en

suelos varía de 18 a 1.679 ppm.

Investigaciones en Colombia, indican que tanto para suelos, como para subsuelos, el contenido de fósforo orgánico expresado en porcentaje del fósforo total, varía de 20% a 30%, encontrándose que los menores porcentajes corresponden a horizontes inferiores (13, 14, 46).

Algunos investigadores (1, 14, 22, 33) consideran que el fósforo orgánico del suelo está representado en su forma primaria de fitina, ácidos nucleicos, fosfolípidos e inositol y proporcionan las fracciones fosfatadas más importantes del suelo.

Galdwell y Black (18) sostienen que la fitina puede constituir hasta el 50% del fósforo orgánico de los suelos. Alexander (3) afirma que el inositol hexafosfato puede representar de 25% a 90% del fósforo orgánico.

La aprovechabilidad de la fitina y sus derivados está influenciada por la reacción del suelo, en suelos ácidos reacciona con el hierro y el aluminio, los cuales son resistentes a la desfosforilación (30).

Alexander (3) indica que los ácidos nucleicos, las nucleoproteínas y nucleótidos, pueden representar entre 20% y 60% del fósforo orgánico, y que los ácidos nucleicos al morir las células son rápidamente mineralizados.

Anderson y Hance (4) encontraron de 0,31 a 0,70 mgr. de fósforo por 100 gr. de suelo, estimados en 0,6% a 0,9% del fósforo total orgánico, predominando los glicerofosatos y fosfatidilcolina, lo cual indica que en los suelos las lecitinas se hidrolizan desdebiéndose principalmente en glicerinas y colina.

Pierre (41) anota que muchos suelos ricos en fósforo orgánico son deficientes en fósforo asimilable, sin embargo, la fitina y la lecitina, compuestos orgánicos presentes en el suelo, son diferentemente tomados.

2.3 Fósforo aprovechable.

Fassbender, citado por Garbón (26) considera que el fósforo aprovechable es aquel que se encuentra retenido en la superficie de los coloides del suelo y puede ser aprovechado por las plantas.

Arambarri y Madrid (5) afirman que el fósforo más fácilmente cambiabile se encuentra ligado a la fracción arcillosa de los suelos.

En aquellos suelos donde predominan los sesquióxidos de hierro, aluminio y alopana; esta fracción es pequeña debido a la fijación que sufre el ión PO_4 (11 y 30). Fassbender (23), Logarda y Mora (36), a su vez, consideran que la poca disponibilidad del fósforo en suelos volcánicos es un hecho muy común y hacen énfasis en que la alopana es la causa principal de la fijación.

Martínez y Lucena (39) observan una marcada relación del fósforo aprovechable con el pH del suelo. En los suelos con pH menores de 6,9, el fósforo presente en esta forma es muy bajo, este aumenta con el pH y tiene un valor medio de 1,5%.

Bravo y Eraso (16) indican que en los andesoles del altiplano de Tiquénos, a excepción del fósforo inerte, las demás fracciones presentan cantidades más bajas que las reportadas por otros investigadores en suelos volcánicos de América Central. Estos suelos ofrecen una concentración muy baja de fósforo aprovechable y la consiguiente respuesta a la aplicación de abonos fosfatados.

En general, existe una notable deficiencia en el contenido de fósforo soluble en los suelos colombianos, lo cual es la principal causa del bajo rendimiento de las cosechas (34, 49).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales.

Los suelos de la presente investigación fueron tomados por Bravo y Eraso (16), en la sabana de Tiquerres. Se utilizaron muestras de suelo de cinco regiones: Tiquerres, El Espino, Guachucal, Cumbal y Chiles, localizadas dentro del departamento de Nariño y al sur-occidente de la República de Colombia. Geográficamente esta región se encuentra situada entre los $0^{\circ} 53' 51''$ (Cumbal) y $1^{\circ} 05' 25''$ (Tiquerres) de latitud norte y una longitud de $77^{\circ} 47' 12''$ (Cumbal) y $77^{\circ} 32' 24''$ (Puente de Gualanquisán) al occidente de Greenwich (24).

3.1.1 Muestras.

Las muestras de suelo corresponden a la primera capa, en condiciones de pradera.

Algunas características generales y físico-químicas de estos suelos se presentan en la Tabla I del apéndice (16).

3.2 Métodos.

3.2.1 Incubación.

Se utilizaron 50 tubos de ensayo de 25 ml., correspondiéndole 25 al primer período (4 semanas) y 25 al segundo (8 semanas), se tomaron 5 tubos para cada muestra y en cada uno de ellos

se colocó 10 gr. de suelo previamente secado y tamizado. Los tratamientos fueron :

1. Testigo
2. Tratamiento con carbonato de calcio al 1%
3. Tratamiento con carbonato de calcio al 0,5%
4. Tratamiento de fósforo al 0,1%
5. Tratamiento de fósforo al 0,05%

Se utilizaron las siguientes fuentes: carbonato de calcio del 96% de pureza y superfosfato triple del 21% de fósforo total.

Se trabajó a capacidad de campo y a temperatura ambiente (17 - 18°C).

3.2.2 Evaluación cuantitativa de la mineralización.

Antes de los respectivos periodos de incubación se determinó el fósforo aprovechable y fósforo orgánico. Al término de cada periodo se procedió a sacar el suelo incubado de cada tubo, se secó a temperatura ambiente y se determinó por triplicado el fósforo aprovechable y el fósforo orgánico.

3.2.2.1 Determinación del fósforo orgánico.

Se siguió el método de ignición de Saunders y Williams (44).

3.2.2.2 Determinación del fósforo aprovechable.

Se utilizó el método de Bray I (32).

3.2.3 Fraccionamiento de fósforo.

Se utilizó el método seguido por Chang y Jackson (19), con modificaciones propuestas por Sen Gupta y Cornfield (45).

El fósforo total se determinó por medio del método de fusión con carbonato de sodio descrito por Jackson (32).

El fósforo inerte se calculó por diferencia, restando del fósforo total la suma de las fracciones inorgánicas más el fósforo orgánico.

3.2.4 Diseño experimental.

Se usó un diseño de parcelas divididas con tres replicaciones, a partir de las concentraciones de fósforo aprovechable.

3.2.5 Análisis estadístico.

Comparación de medias a partir de la prueba de Tukey.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos en la presente investigación se presentan en las Tablas I a XI y Figuras 1 a 11.

4.1 Estado de la mineralización original.

La fracción orgánica, base de la conversión del fósforo orgánico a fósforo inorgánico, se presenta en condiciones de campo con un promedio de 872,80 ppm. A su vez, la fracción aprovechable ofrece un promedio de 13,11 ppm. Este último promedio probablemente indica, que dado el alto porcentaje de fósforo orgánico encontrado, la mineralización no se está presentando en forma adecuada (Tabla I).

En cuanto a las zonas propiamente dichas, el proceso de mineralización se ha desarrollado en forma más aceptable en El Espino, siguiéndole en orden de efectividad Guachucal, Tiquerren, Chiles y Cumbal. Esta última región, probablemente presenta condiciones especiales que están inhibiendo este importante proceso, puesto que su fracción orgánica alcanza a 1.005 ppm. siendo el fósforo aprovechable de solo 8,20 ppm. En contraposición a esta región, está la de El Espino que presenta una concentración, en la parte orgánica, de 828,80 ppm., pero la mayor de fósforo aprovechable en toda la zona estudiada (23,43 ppm.). Lo anterior demuestra, que en El Espino hay una mejor mineralización, mientras que en Cumbal deja mucho que desear.

Es probable, que algunas condiciones físicas del suelo están influyendo en este proceso. En efecto, Bravo y Errazo (16)

en su estudio realizado en estos suelos aclaran que, en El Espino aparece un horizonte A, rico en materia orgánica y un B bastante arenoso, mientras que en Cumbal el horizonte B presenta un aspecto azulado, lo que podría indicar condiciones de hidromorfismo. Se sabe que horizontes livianos, ricos en areniscas y vidrios volcánicos proporcionan una textura con buenas condiciones de aireación y humedad (38). Estas pudieron ser aprovechadas por los microorganismos para aumentar en cantidad y por consiguiente atacar con mayor intensidad los compuestos fosforados.

4.2 Mineralización del fósforo en el suelo testigo.

El promedio de fósforo orgánico determinado a las cuatro semanas de incubación (486,49 ppm.), representa una disminución de 44,27% con respecto al original de la Tabla I. Este decrecimiento indica que los compuestos fosforados de más rápida descomposición (ácidos nucleicos, fitatos de calcio) fueron atacados por los microorganismos y convertidos a forma aprovechable o inmovilizados dentro de sus tejidos.

Sin embargo, en la Tabla II al comparar el fósforo aprovechable de las cuatro semanas de incubación y el suelo original (11,83 ppm. vs. 13,11 ppm.), se observa una disminución en promedio de 9,77%. A primera vista se podría pensar que la incubación que conlleva mejoramiento en algunas condiciones físicas, no incidió en el aumento del fósforo aprovechable, sin embargo, si se tiene en cuenta que el fósforo orgánico a las cuatro semanas de incubación disminuyó en promedio 44,27%, es lógico pensar que sí existió mineralización. Además la forma de fósforo aprovechable debió tomar o el camino de

la inmovilización o el de la fijación, quedando solo las 11,83 ppm. que se presentan en la Tabla II. Este resultado confirma los obtenidos por Blasco et al. (15), Mesías y Hernández (40) y Igo, Fuentes y Bornemann (31), quienes también informan que el porcentaje de fósforo orgánico mineralizado pudo tomar estos dos caminos.

Es conocido el hecho de que suelos derivados de cenizas volcánicas, como los de este estudio, tienen la característica de fijar el fósforo aprovechable, ya sea por su alto contenido de compuestos amorfos o por la presencia de aluminio o hierro intercambiable (23).

De acuerdo al fraccionamiento de fósforo de estos suelos (Tabla XI), se observa que existe la siguiente secuencia: fósforo unido al aluminio > fósforo unido al hierro > fósforo unido al calcio apatítico > fósforo unido al calcio no apatítico. Por lo anterior, es probable que la fijación esté representada por el fosfato de aluminio.

Con respecto a las distintas regiones estudiadas, solo se observa un aumento de fósforo aprovechable en Guachucal, El Espino y Chiles, disminuyendo en Tiquerres y Cumbal. Parece ser que, en las regiones que mostraron esta tendencia el mejoramiento de las condiciones físicas incidió directamente. No obstante, llama la atención el decrecimiento notable presentado por la región de Tiquerres (98,03%) y la de Cumbal (97,08%), (Tabla II).

Dada la alta fijación que presentan estos suelos; (de acuerdo a Guerrero (28) de 90,70% en Tiquerres) permite pensar, que

buena cantidad del fósforo mineralizado fué adsorbido o fijado en forma insoluble. Hasta las cuatro semanas de incubación El Napino, Guachucal y Chiles ofrecieron concentraciones que se podrían catalogar como aceptables, principalmente para los dos primeros. Lo anterior indica, que el mejoramiento de la aireación y de la humedad de estos suelos pudo aumentar en cierto modo la cantidad de fósforo aprovechable para las plantas, no así para Tiquerres y Gumbal donde el porcentaje de esta fracción fué definitivamente bajo. Por otra parte, debe recordarse que los suelos tienen, por su heterogeneidad distinto poder de fijación.

Con relación a las ocho semanas de incubación, el fósforo orgánico disminuyó en un 15,93%; esto indica que existió mineralización, aunque en menor proporción (Tabla II). No obstante, el fósforo aprovechable promedio siguió disminuyendo hasta una concentración de 2,27 ppm., lo que representa un decrecimiento de un 80,82 % con respecto al fósforo aprovechable incubado durante cuatro semanas.

Llama la atención el hecho de que entre las cuatro y ocho semanas de incubación el fósforo orgánico permaneció constante para Tiquerres y Chiles, en otras palabras, no hubo ataque microbiano. Para explicar la no mineralización existente en Tiquerres, se puede tener presente el concepto de Halstead (29), quien informa que altas concentraciones de calcio inhibe la acción de la enzima fosfatasa básica para la conversión de fósforo orgánico a fósforo inorgánico. En efecto, se debe tener en cuenta que Bravo y Eraso (16) trabajando en las mismas muestras encontraron que para Tiquerres la concentración de calcio cambiaba fué de 7,45 me/100 gr. de suelo. Si se tiene en cuenta el concepto presentado por Frye (25), un suelo que tie-

ne más de 6 me/100 gr. de suelo de calcio intercambiable, se considera como alto. Por lo anterior, no es raro que esta alta concentración de calcio, haya inhibido la acción de esta importante enzima.

Para cada una de las regiones estudiadas la disminución del fósforo aprovechable toma más importancia. Así vemos que, en El Espino, Guachucal y Chiles, en donde se había detectado una respuesta positiva a las cuatro semanas, a las ocho semanas se convirtió en negativa y en Tiqueros y Cumbal en donde al primer período de incubación era negativa, presentó a las ocho semanas una respuesta positiva. Es factible que en este resultado esté incidiendo la solubilidad del hierro y aluminio en las regiones donde a las cuatro semanas de incubación la respuesta fue positiva estos elementos no tuvieron la suficiente solubilidad, evitándose de esta forma la reacción con el fósforo; pero, al transcurrir el tiempo ésta aumentó, llegando al punto de convertir la forma aprovechable del fósforo a fracciones difícilmente asequibles por la planta.

Sin embargo, en la Tabla II se observa que aumentó el fósforo aprovechable a las cuatro semanas de incubación (0,22 ppm. vs. 4,95 ppm.), este aumento representa un 2.150%. En busca de una posible explicación sobre este particular, se podría tener en cuenta el aspecto de la inmovilización, es muy posible que hasta la cuarta semana un porcentaje de fósforo aprovechable, estuvo retenido en los tejidos microbianos y que con el transcurso del tiempo fue devuelto al suelo en forma asequible.

Otra probable explicación puede estar basada en la materia orgánica, que en estado de humus, ofrece una buena porción de

ácidos orgánicos. De acuerdo a Thompson (47), los ácidos húmicos actúan como aniones. Estos pueden combinarse con los cationes tipo $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ y $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ de tal forma que no precipitan, no pudiendo actuar sobre el H_2PO_4^- .

Como los suelos de Tiqueros y Cumbal son ricos en materia orgánica es posible que con la incubación haya sufrido un fuerte ataque de los microorganismos y que por su rápida descomposición se haya formado una relativa cantidad de ácidos húmicos. Estos pudieron reaccionar en la forma que anteriormente se anotó, evitándose así la fijación del fósforo.

Diversos autores (14, 23) indican además que el aluminio y el hierro, al ocupar las posiciones de cambio pueden reaccionar con el fósforo para convertirlo en formas no asimilables; también hay compuestos amorfos, como la alofana, que puede facilitar esta fijación. Para evitar esta situación, se viene trabajando intensamente buscando elementos que puedan reaccionar con los radicales fijadores, ocupando las posiciones de cambio y permitiendo así, una mayor solubilidad y aprovechabilidad del fósforo; entre estos elementos está el silicio. Sobre el particular Fassbender (23) indica, que dada la semejanza que tiene su molécula con la del fósforo, puede fácilmente reaccionar con el aluminio y el hierro. No es raro, que al alto porcentaje de sílice que tienen los suelos en estudio, se haya presentado este tipo de reacción (42).

De acuerdo a la prueba de Tukey, este tratamiento presentó diferencia altamente significativa con los tratamientos de 1% y 0,5% de carbonato de calcio a las cuatro semanas de incubación, no

así con los que recibieron fósforo al 0,1% y 0,05% (Tabla IX). En el segundo período, solo existió diferencia con el tratamiento al 1% de carbonato de calcio (Tabla X).

En la Figura 6, se observa la tendencia presentada por este tratamiento en cada uno de los suelos estudiados.

4.3 Mineralización del fósforo con adición de carbonato de calcio al 1%.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas de acuerdo a estudios recientes, presentan un alto poder de amortiguación; al respecto López (37) anota que estos suelos tienen una alta capacidad buffer y que adiciones de calcio modifican en un mínimo el pH del suelo. Es por ello que en el presente trabajo se adicionaron 12 toneladas de carbonato de calcio, que equivalen al 1%, teniendo en cuenta que estos suelos presentan una densidad aparente promedio de 0,8 gr./cc., en donde el peso por hectárea equivale a 1.200.00 kg., a una profundidad de 15 cm.

Los resultados de la Tabla III, ofrecen un promedio de fósforo orgánico de 498,79 ppm. Comparada esta concentración con la del suelo original, se observa una disminución en promedio de 42,86%. Nuevamente, el anterior resultado está indicando que el proceso de mineralización se efectuó. El hecho de que la concentración de fósforo orgánico sea similar a la del tratamiento testigo, comprueba el concepto emitido por Aloferado (2), quien concluye que en suelos ácidos el calcio no influye decididamente en la mineralización del fósforo.

Sin embargo, vuelve a presentarse una baja concentración de fósforo aprovechable (10,82 ppm. en promedio) equivalente a una disminución de 17,47% con respecto al fósforo aprovechable original.

Todo indica que la adición de calcio no influyó marcadamente en la mineralización. Este elemento como bien se sabe, puede aumentar la reacción del suelo; parece ser que en la presente investigación, no hubo respuesta alguna sobre este particular y los microorganismos no pudieron tener un pH cercano a la neutralidad, que les permitiera aumentar y demandar más energía.

Por otra parte, se sabe que este elemento puede formar humatos de calcio que son difícilmente atacados por los microorganismos (2).

Los resultados obtenidos por Bravo y Braso (16), al estimar el calcio intercambiable en el altiplano de Tiqueros, muestran datos cuyo promedio sobrepasa a 6 me/100 gr. de suelo que se cataloga como alto (25). Es posible que la adición de calcio no surtió efecto a causa de que las existentes suplieron las necesidades de los microorganismos o que esta fracción aumentó de tal forma que inhibió la acción de la fosfatasa, como anteriormente se anotó.

En lo que respecta a las diferentes regiones estudiadas y en cuanto al fósforo aprovechable, Guachual presentó un aumento considerable de 61,92%, siguiéndole El Espino con 12,63%. Por el contrario Tiqueros ofreció el mayor decrecimiento 96,03%, siguiéndole Cumbal 97,00% y por último Chilea con 49,13%. Estos resultados in-

dicen que en la región de Guachucal la adición de calcio intervino de tal modo que casi dobló la cantidad de fósforo aprovechable. Para El Espino su incidencia fué menor. En las demás regiones la efectividad del tratamiento fué negativa.

Para las ocho semanas de incubación, la mineralización del fósforo orgánico siguió presentándose, en efecto, esta fracción disminuyó en promedio 20,57%. Esta tendencia, como se venía anotando anteriormente, indica un ataque microbiano sobre las fracciones orgánicas de fósforo. No obstante, el promedio de fósforo aprovechable fué muy bajo (1,76 ppm.). Esta última concentración, comparada con la del fósforo aprovechable de la cuarta semana representa un decrecimiento de 83,74%.

Se observa que sigue prevaleciendo una disminución en la cantidad de fósforo aprovechable a medida que transcurre la incubación, siendo esta más acentuada que en el suelo testigo.

Las regiones (Tiquerras y Cumbal), que en el primer período de incubación presentaron un decrecimiento en fósforo aprovechable, al término de la octava semana mostraron un aumento equivalente a 1.259,09% y 641,66% respectivamente. Como sucedió en el suelo testigo, es probable que este aumento se deba al fósforo que estuvo inmovilizado dentro de los microorganismos.

El orden de importancia para la fijación y la inmovilización en las demás regiones fué: Guachucal > El Espino > Chiles.

A las cuatro semanas de incubación, el análisis esta-

distico del fósforo aprovechable, mostró que no existía diferencias significativas entre este tratamiento y los demás (Tabla IX). Respuesta similar se encontró en el segundo período de incubación (Tabla X).

En la Figura 7 se observa la tendencia presentada por este tratamiento en cada uno de los suelos estudiados.

4.4 Mineralización del fósforo con adición de carbonato de calcio al 0,5%.

En efecto el tratamiento con calcio al 0,5%, que equivale a 6 toneladas de carbonato de calcio por hectárea, presentó un resultado muy similar en cuanto a la disminución de fósforo orgánico con el tratamiento con calcio al 1% (Tabla IV). El porcentaje de disminución con relación al fósforo orgánico original del suelo, es también similar.

No obstante, este tratamiento aumentó la fracción aprovechable, aunque levemente, pero con referencia a la del suelo original tuvo un decrecimiento promedio equivalente al 10,71%.

En cuanto a las regiones propiamente dichas, El Espino y Guachucal, mostraron la misma tendencia positiva, aunque en menor proporción en comparación con el tratamiento al 1%. Al mismo tiempo en la región de Chilos en que 12 toneladas de carbonato de calcio ofrecieron respuesta; con la mitad de esta cantidad se detectó también una respuesta positiva, equivalente al 27,47%.

Táquerres y Cumbal presentaron, para el fósforo aprovechable, porcentajes muy similares a los del primer tratamiento con calcio. Lo anterior permite anotar que el tratamiento con 6 toneladas de carbonato de calcio, aumentó la fracción aprovechable en 3 de las 5 regiones, lo que indica que a las cuatro semanas los suelos de estas regiones se pueden beneficiar con este tratamiento en lo que respecta a la fracción aprovechable del fósforo. Para Táquerres y Cumbal siguen prevaleciendo bajas concentraciones de fósforo fácilmente asimilables por la planta, en donde la fijación probablemente sea la causante de este estado.

Para las ocho semanas de incubación, el porcentaje promedio de mineralización disminuyó (18,09%), es una tendencia muy similar a la del primer tratamiento con calcio y a la del suelo testigo. Como se anotó anteriormente, es una respuesta natural, ya que los compuestos orgánicos fosforados de fácil ataque han disminuido.

La fracción aprovechable al finalizar este segundo período de incubación, aumentó levemente con relación a los dos tratamientos anteriormente discutidos; pero sigue la tendencia a disminuir con respecto al suelo original y a medida que transcurre la incubación.

Las regiones de Táquerres y Cumbal, nuevamente se beneficiaron con la adición de calcio. En efecto presenta un aumento de 67,75% y 287,50% respectivamente. No obstante, la concentración final se considera como baja. Las demás regiones tienen disminuciones notables, siendo mayor la de Guachucal seguida por El Espino y Chiles.

En resumen y de acuerdo a los resultados obtenidos, el tratamiento con calcio aumenta por regiones en el primer período de incubación. Sin embargo, al compararlo con el fósforo aprovechable de los suelos este aumento es relativamente pequeño, el cual aunque altamente significativo en relación al tratamiento testigo, comparado con el suelo original, no trae consigo ningún beneficio.

Para las ocho semanas de incubación los resultados de tipo negativo son más categóricos, en cuanto a la ineficiencia de estos tratamientos.

Este tratamiento sólo presentó diferencia altamente significativa en el primer período de incubación con el que recibió carbonato de calcio al 1% (Tabla IX). En el segundo período, la diferencia al nivel del 1% se detectó también con el tratamiento testigo (Tabla X).

En la Figura 8 se observa la tendencia presentada por este tratamiento en cada uno de los suelos estudiados.

4.5 Mineralización del fósforo con adición de P al 0,1%.

La adición de fósforo al 0,1% (Tabla V) dió como resultado que la fracción orgánica disminuyera en menor porcentaje (36,40%) comparada con los tratamientos anteriormente discutidos. Es posible, que los microorganismos al obtener una fuente de fósforo directa y de fácil ataque como el superfosfato triple, decidieron tomar la vía de más rápido acceso. Se sabe por ejemplo que en el caso de la fijación del nitrógeno, cuando se adiciona una fuente nitroge-

nada los microorganismos no trabajan en el sentido de tomar el nitrógeno del aire, sino que lo toman directamente del fertilizante adicionado (12).

En lo que respecta al fósforo aprovechable a las cuatro semanas de incubación, se observa un aumento por medio de 29,51% con una concentración que puede catalogarse como mediana (20). Comparando este tratamiento con los anteriores ya aparece una tendencia distinta, en este caso de tipo positivo. Este resultado es natural por la adición de fósforo. Sin embargo, el aumento comparado con el suelo original, es relativamente pequeño.

Para cada una de las regiones llama la atención la de Gunchusal, con un aumento de 125,83% siguiéndole en su orden la de Gumbal, Tiquorres y Chiles. (Tabla V).

La región de El Espino ofrece una disminución de 36,84%. Este resultado es difícil de explicar, puesto que con los tratamientos anteriores la fracción aprovechable aumentó. Es posible que en este caso se haya presentado una fuerte inmovilización.

Para las ocho semanas de incubación el ataque microbiano no aumentó, cosa que no había sucedido en los tratamientos anteriores, en efecto el porcentaje de disminución de la fracción orgánica, comparada con la del primer período fue de 30,65 en promedio. Parece ser que las adiciones de fósforo aumentaron la microvida y lógicamente incidió en una mayor demanda de nutrientes y energía.

El fósforo aprovechable en este período aumentó en un 18,96%, con un promedio de 20,20 ppm. que se considera como mediano (20).

La región de Chiles sigue mostrando la misma tendencia observada en base a los anteriores tratamientos discutidos (21,66% de disminución). Sin embargo, El Espino, Guachusal y Tiqueros aumentaron la concentración de fósforo aprovechable, a un nivel que se puede considerar como alto, principalmente para las dos primeras regiones. Cumbal que venía mostrando un aumento, en este caso disminuyó.

Es llamativo el aumento presentado por la región de El Espino 134,18%, este resultado da mayor fuerza al concepto emitido con respecto a la concentración de fósforo aprovechable detectado a las cuatro semanas de incubación. Anteriormente se expresó que en esta región, era posible que a las cuatro semanas, se estuviera presentando una inmovilización del fósforo, parece ser que en el transcurso del segundo período de incubación, los microorganismos soltaron ese fósforo, aumentando el porcentaje anteriormente anotado, a la fracción aprovechable.

Las regiones de Cumbal y Chiles no ofrecieron respuesta a la adición de fósforo, al terminar el segundo período de incubación; aunque en el primero presentaron un porcentaje de aumento de tipo mediano.

A las cuatro semanas de incubación se encontró una respuesta altamente significativa respecto a los demás tratamientos (Ta-

bla IX). Para las ocho semanas de incubación esta misma respuesta siguió imperando (Tabla X). El anterior resultado indica, que este tratamiento fué el que mejor respuesta ofreció. En la Figura 9 se observa la tendencia presentada por este tratamiento en los suelos estudiados.

4.6 Mineralización del fósforo con adición de P al 0,05%

En la Tabla VI se observa que la adición del fósforo al 0,05%, permitió que la fracción de fósforo orgánico disminuyera en mayor proporción (44,69%) comparada con la que recibió este mismo elemento al 0,1%. Al disminuir la adición de la fuente fosforada, posiblemente los microorganismos tuvieron que atacar los compuestos orgánicos, y de allí este resultado.

Las regiones de Guachucal y Cumbal presentaron el mayor ataque, siendo menor la de El Espino.

Al término del primer período de incubación, se presentó un aumento promedio de 20,82%, comparado con el fósforo aprovechable original, aunque con el tratamiento de 0,1% de fósforo la diferencia fue pequeña.

Las regiones de Cumbal, Guachucal y Tâquerres presentaron un aumento considerable, pero siguió presentando una respuesta negativa El Espino, con un decrecimiento de 31,03%. Chiles que con el tratamiento de 0,1% de fósforo había aumentado, aunque en pequeña proporción, con el presente, su decrecimiento fué de 67,63%. Es posi

ble que haya prevalecido en esta región la inmovilización.

gato tratamiento en las zonas estudiadas.

Al finalizar el segundo período de incubación se observa para toda la zona, que el ataque microbiano a la fracción orgánica sigue la misma tendencia observada en los tratamientos con calcio y en el testigo (-17,04%).

tratamiento con calcio y el testigo (-17,04%) sigue una tendencia, presentando

Para cada una de las regiones, Cumbal fué la que presentó el menor ataque, con un decrecimiento de 7,68%, siguiéndole El Espino, Chiles, Guachucal y Táquerres.

Para el fósforo aprovechable, en contraposición al tratamiento de fósforo al 0,1%, la respuesta fué negativa, en el presente caso se presentó una disminución promedio de 24,12% comparada con la detectada a las cuatro semanas de incubación. Solamente Táquerres presentó un aumento de 78,66% y Chiles uno de 33,68%. Es muy posible, que en esta última región en el primer período, se haya presentado como se dijo la inmovilización y que al transcurrir el tiempo los microorganismos hayan liberado dicho fósforo y aumentado la fracción aprovechable. No obstante, únicamente Táquerres presenta una concentración catalogada como buena de 34,75 ppm., los demás ofrecen concentraciones bajas.

La prueba de Tukey demostró que, a las cuatro semanas de incubación este tratamiento ofrecía diferencias altamente significativas con el testigo y los que recibieron carbonato de calcio (Tabla IX). En el segundo período de incubación, el tipo de significancia fué similar (Tabla X).

En la Figura 10 se observa la tendencia presentada por este tratamiento en los suelos estudiados.

La relación C/P-orgánico promedio (Tabla VIII), demuestra que todas las relaciones son menores a 200. De acuerdo a los porcentajes promedio de mineralización de la Tabla VII, se ve que el concepto emitido por Blasco (12) tiene aceptación, puesto que efectivamente se encontró mineralización en estos suelos, el citado investigador anota que, relaciones menores de 200 indican un buen proceso de mineralización.

TABLA I

POSFORO ORGANICO Y POSFORO APROVECHABLE ORIGINAL EN LOS SUELOS ESTUDIADOS

LUGAR	P-ORGANICO	P.P.E.	
		P-APROVECHABLE	
TUQUERES	760,53	11,12	
EL ESPINO	826,80	23,43	
CHACHUCAL	830,10	14,13	
CUMBAL	1.005,00	8,20	
CHILLES	939,58	8,71	
PROMEDIO	872,80	13,11	

TABLA II

FOSFORO ORGANICO Y FOSFORO APROVECHABLE EN LOS SUELOS TESTIGO INCUBADOS A DIFERENTES PERIODOS

LUGAR	CUATRO SEMANAS				OCHO SEMANAS			
	P-ORGANICO		P-APROVECHABLE		P-ORGANICO		P-APROVECHABLE	
	p.p.m.	% ⁺	p.p.m.	% ⁺	p.p.m.	% ⁺⁺	p.p.m.	% ⁺⁺
TUQUERRES	350,11	-53,97	0,22	-98,03	350,11	0,00	4,95	+2.150,00
EL ESPINO	587,06	-29,17	29,20	+24,62	526,28	-10,36	0,61	-97,91
GUACHUAL	455,71	-45,11	20,25	+43,23	403,27	-11,51	4,52	-77,68
GENERAL	649,76	-35,35	0,24	-97,08	375,73	-42,18	0,42	+75,00
CHILES	389,85	-58,51	9,26	+6,31	389,85	0,00	0,89	-90,39
PROMEDIO	486,49	-44,27	11,83	-9,77	409,04	-15,93	2,27	-80,82

De disminución o aumento con respecto al P-orgánico y P-aprovechable original (Tabla I)

De disminución o aumento con respecto al P-orgánico y P-aprovechable de las cuatro semanas

TABLA III

FOSFORO ORGANICO Y FOSFORO APROVECHABLE EN LOS SUELOS CON TRATAMIENTO DE CARBONATO DE CALCIO AL 1%
INCUBADOS A DIFERENTES PERIODOS

LUGAR	CUATRO SEMANAS				OCHO SEMANAS			
	P.O.P.M.	% +	P.A.P.M.	P-APROVECHABLE	P.O.P.M.	% ++	P.O.P.M.	P-APROVECHABLE
TUQUERES	364,53	-52,07	0,22	-98,03	342,89	-5,94	2,99	+1.259,09
EL ESPINO	637,62	-23,07	26,39	+12,63	468,27	-26,56	2,51	-90,49
GUACHICAL	461,32	-44,43	22,88	+61,92	438,89	-4,87	0,70	-97,95
CUMAL	640,65	-36,26	0,24	-97,08	428,11	-33,18	1,78	+641,66
CHILES	389,85	-58,51	4,41	-49,37	302,91	-22,31	0,82	-81,41
PROMEDIO	498,79	-42,86	10,82	-17,47	396,21	-20,57	1,76	-83,74

+ % De disminución o aumento con respecto al P-orgánico y P-emprovable original (Tabla I.)

++ % De disminución o aumento con respecto al P-orgánico y P-emprovable de las cuatro semanas

TABLA IV
FOSFORO ORGANICO Y FOSFORO APROVECHABLE EN LOS SUELOS CON TRATAMIENTO DE CARBONATO DE CALCIO AL 0,5%
INCUBADOS A DIFERENTES PERIODOS

LUGAR	CUATRO SEMANAS				OCHO SEMANAS			
	P-ORGANICO		P-APROVECHABLE		P-ORGANICO		P-APROVECHABLE	
	P.P.M.	% ⁺	P.P.M.	% ⁺	P.P.M.	% ⁺	P.P.M.	% ⁺⁺
TUQUES	367,15	-51,73	1,83	-83,55	357,32	-2,68	3,07	+67,75
EL ESPINO	559,71	-32,47	25,64	+9,43	526,28	-5,98	6,09	-76,25
GUACHUCAL	575,18	-30,71	19,72	+39,56	304,55	-47,06	2,94	-85,04
GUINAL	596,62	-40,64	0,24	-97,08	495,80	-18,58	0,93	+287,50
CHILES	396,86	-55,77	11,19	+28,47	370,22	-5,72	3,63	-67,57
PROMEDIO	499,10	-42,82	11,72	-10,71	408,83	-10,09	3,33	-71,59

+ % De disminución o aumento con respecto al P-orgánico y P-aprovechable original (Tabla I)

++ % De disminución o aumento con respecto al P-orgánico y P-aprovechable de las cuatro semanas

TABLE V

POSPORO ORGANICO Y POSPORO APROVECHABLE EN LOS SUELOS CON TRATAMIENTO DE FOSFORO AL 0,1%

INCURADOS A DIFERENTES PERIODOS

LUGAR	CUATRO SEMANAS				OCHO SEMANAS			
	P-ORGANICO	P-APROVECHABLE	P-ORGANICO	P-APROVECHABLE	P-ORGANICO	P-APROVECHABLE	P-ORGANICO	P-APROVECHABLE
	P.P.M.	% +	P.P.M.	% +	P.P.M.	% +	P.P.M.	% ++
TUJERES	364,53	-52,07	15,71	+43,27	346,17	-5,04	20,70	+57,22
EL ESPINO	627,12	-24,34	14,80	-36,84	461,36	-26,44	34,66	+134,18
GUACHICAL	647,25	-22,03	31,91	+125,83	298,95	-93,82	33,27	+4,26
CUMBAL	478,21	-52,42	12,86	+56,82	412,93	-13,66	0,81	-93,71
CHILES	658,55	-29,92	9,65	+10,79	495,56	-38,42	7,56	-21,66
PROMEDIO	555,13	-36,40	16,98	+29,51	384,99	-30,65	20,20	+18,96

* % De disminución o aumento con respecto al P-orgánico y P-aprovechable original (Tabla I)

++ % De disminución o aumento con respecto al P-orgánico y P-aprovechable de los cuatro semanas

TABLA VI

FOSFORO ORGANICO Y FOSFORO APROVECHABLE EN LOS SUELOS CON TRATAMIENTO DE FOSFORO AL 0,05%
INCUBADOS A DIFERENTES PERIODOS

LUGAR	CUATRO SEMANAS				OCHO SEMANAS			
	P-ORGANICO		P-A PROVECHABLE		P-ORGANICO		P-A PROVECHABLE	
	p.p.m.	% ⁺	p.p.m.	% ⁺	p.p.m.	% ⁺⁺	p.p.m.	% ⁺⁺
TUQUERES	426,16	-43,97	19,45	+74,91	307,88	-27,76	34,75	+78,66
EL ESPINO	637,62	-23,07	16,16	-31,03	555,29	-12,92	9,15	-43,38
GUACHICAL	357,56	-56,93	24,93	+76,43	276,51	-22,67	11,60	-53,47
CUMBAL	439,04	-56,32	15,80	+93,65	405,34	-7,68	0,85	-94,65
CHILES	553,40	-41,10	2,82	-67,63	457,73	-17,31	3,77	+33,68
PROBIO	482,77	-44,69	15,84	+20,82	400,55	-17,04	12,02	-24,12

+ $\frac{1}{2}\%$ De disminución o aumento con respecto al P-orgánico y P-aprovechable original (Tabla I)

++ $\frac{1}{2}\%$ De disminución o aumento con respecto al P-orgánico y P-aprovechable de las cuatro semanas

TABLA VII

MINERALIZACION EN LOS DIFERENTES SUELOS ESTUDIADOS EXPRESADO EN % DEL FOSFORO ORGANICO INICIAL

TRATAMIENTO	SUELO					PROMEDIO
	Tóqueres	El Espino	Quachual	Cumbel	Chiles	
	%					
TESTIGO	53,97	29,17	45,11	35,35	58,51	44,42
CaCO_3 al 1%	52,07	23,07	44,43	36,26	58,51	42,86
CaCO_3 al 0,5%	51,73	32,47	30,71	40,64	57,77	42,66
POSFORO al 0,1%	52,07	24,34	22,03	52,42	29,92	36,15
POSFORO al 0,05%	43,97	23,07	56,93	56,32	41,10	44,27
TESTIGO	53,97	36,51	51,42	62,62	58,51	52,60
CaCO_3 al 1%	54,92	43,51	47,13	57,41	67,77	54,14
CaCO_3 al 0,5%	53,02	36,51	63,32	51,67	60,60	53,02
POSFORO al 0,1%	54,49	44,34	63,99	58,92	56,84	55,71
POSFORO al 0,05%	59,52	33,11	66,79	59,67	51,29	54,07

TABLA VIII

RELACION C/P-ORGANICO PROMEDIO PARA LOS SUELOS ESTUDIADOS

TRATAMIENTO	CUATRO SEMANAS	OCHO SEMANAS
TESTIGO	132,99	158,17
CARBONATO DE CALCIO AL 1%	129,71	163,29
CARBONATO DE CALCIO AL 0,5%	129,63	158,25
FOSFORO AL 0,1%	116,54	168,05
FOSFORO AL 0,05%	134,01	161,52

SUELO ORIGINAL = 74,12

TABLA IX

PRUEBA DE TUKEY PARA EL PROMEDIO DE FOSFORO APROVECHABLE EN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS

(4a. Semana)

Tratamiento	Fósforo al 0,1%	Fósforo al 0,05%	Testigo	CaCO ₃ al 0,5%	CaCO ₃ al 1%
CaCO ₃ al 1%	6,16 ⁺⁺	5,02 ⁺⁺	1,01 ⁺⁺	0,90 ⁺⁺	-
CaCO ₃ al 0,5%	5,26	4,12 ⁺⁺	0,11 ⁺⁺	-	-
TESTIGO	5,15 ⁺⁺	4,01 ⁺⁺	-	-	-
FOSFORO al 0,05%	1,14 ⁺⁺	-	-	-	-
FOSFORO al 0,1%	-	-	-	-	-

COMPARADOR :

$$\triangle (1\%) = 0,0838$$

$$\triangle (5\%) = 0,0686$$

++ Altamente significativo

TABLA XI

FRACCIONES DE FOSFORO DE LOS SUELOS EN ESTUDIO

Lugar	P-Moilm. Reemplaz.	P-Ga no Apatiti- co	P-Ga Apatiti- co	Unido al Alumino	Unido al Hierro	Orgánico	Inerte	Total
				P. P. R.				
TUQUERES	6,92	18,45	32,51	67,65	119,92	760,53	18,75	1.044,72
EL ESPINO	5,23	17,64	47,03	155,73	77,80	826,80	173,49	1.305,72
GUACHUCAL	12,18	23,26	66,13	218,63	53,80	830,10	301,11	1.505,23
CUMBAL	17,24	21,61	30,56	79,19	74,46	1.005,00	61,45	1.289,51
CHILLES	9,41	11,70	44,33	302,01	39,77	939,59	47,96	1.394,76
PROMEDIO	10,19	18,53	44,11	168,64	73,15	872,80	120,55	1.107,98

Figura 1. Distribución del Fosforo en los suelos estudiados

Investigación Científica

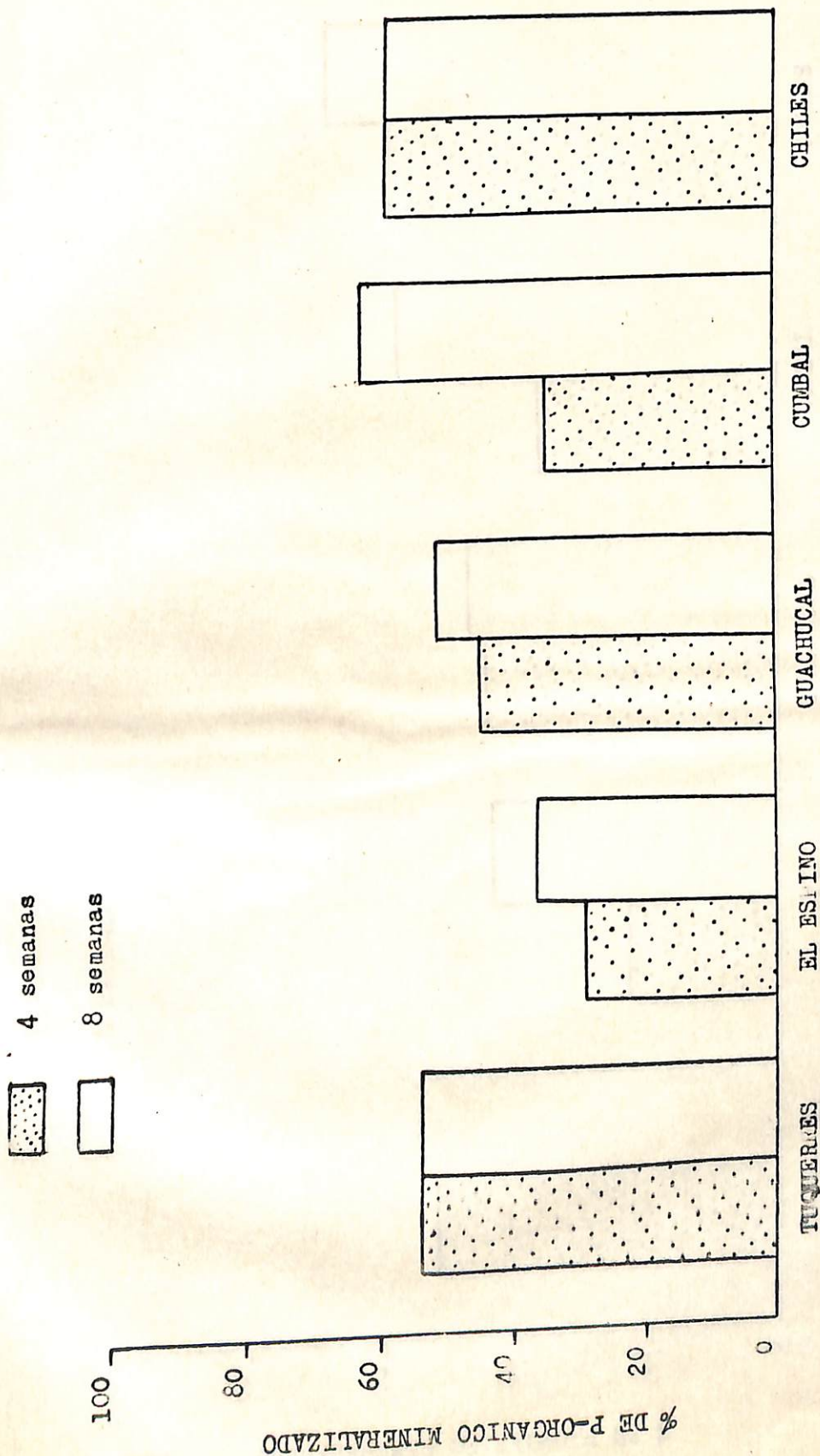


Figura 1. Mineralización del P-orgánico en los suelos estudiados
Tratamiento testigo.

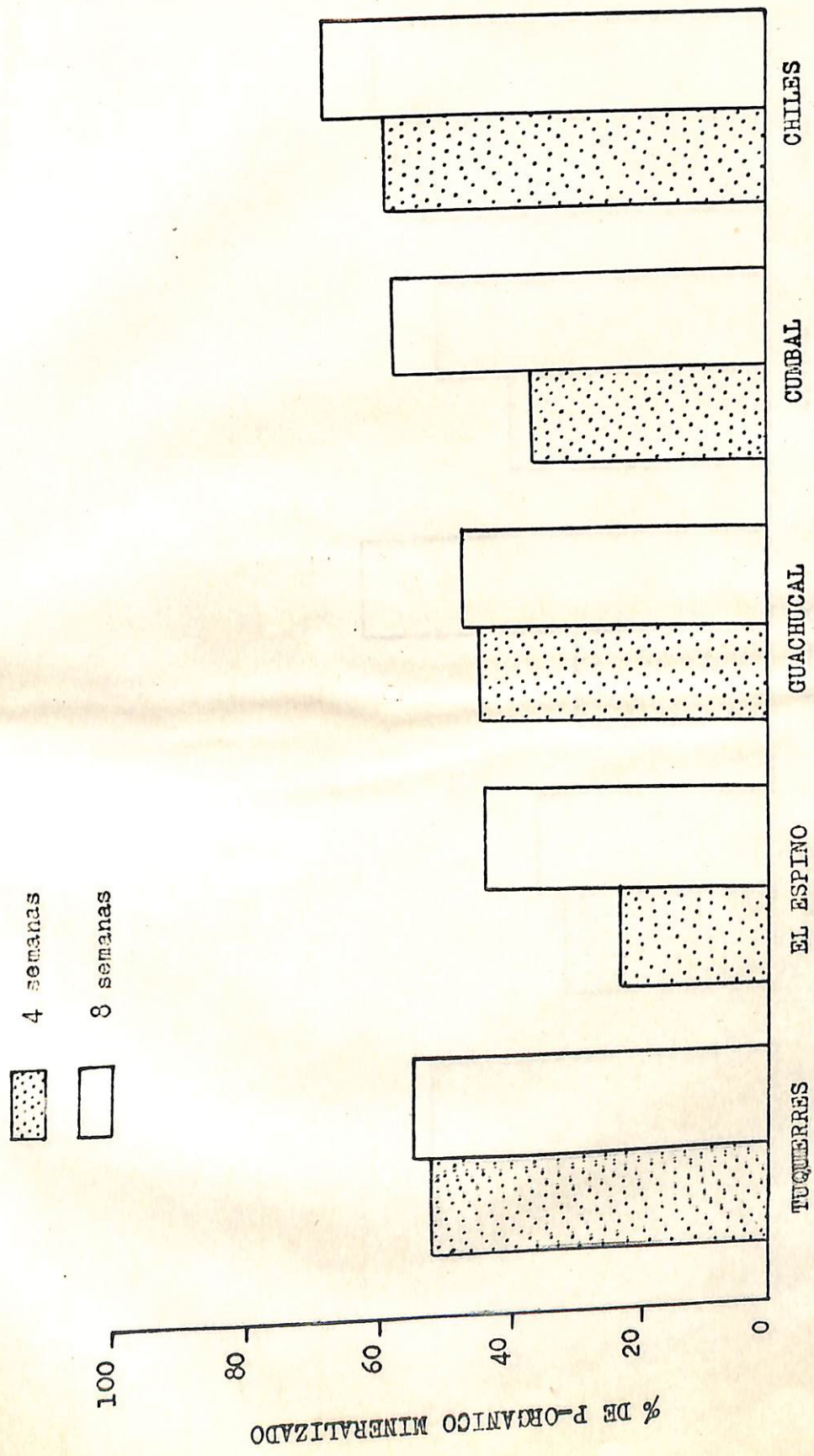


Figura 2. Mineralización del P-orgánico en los suelos estudiados
Tratamiento carbonato de calcio al 1%.

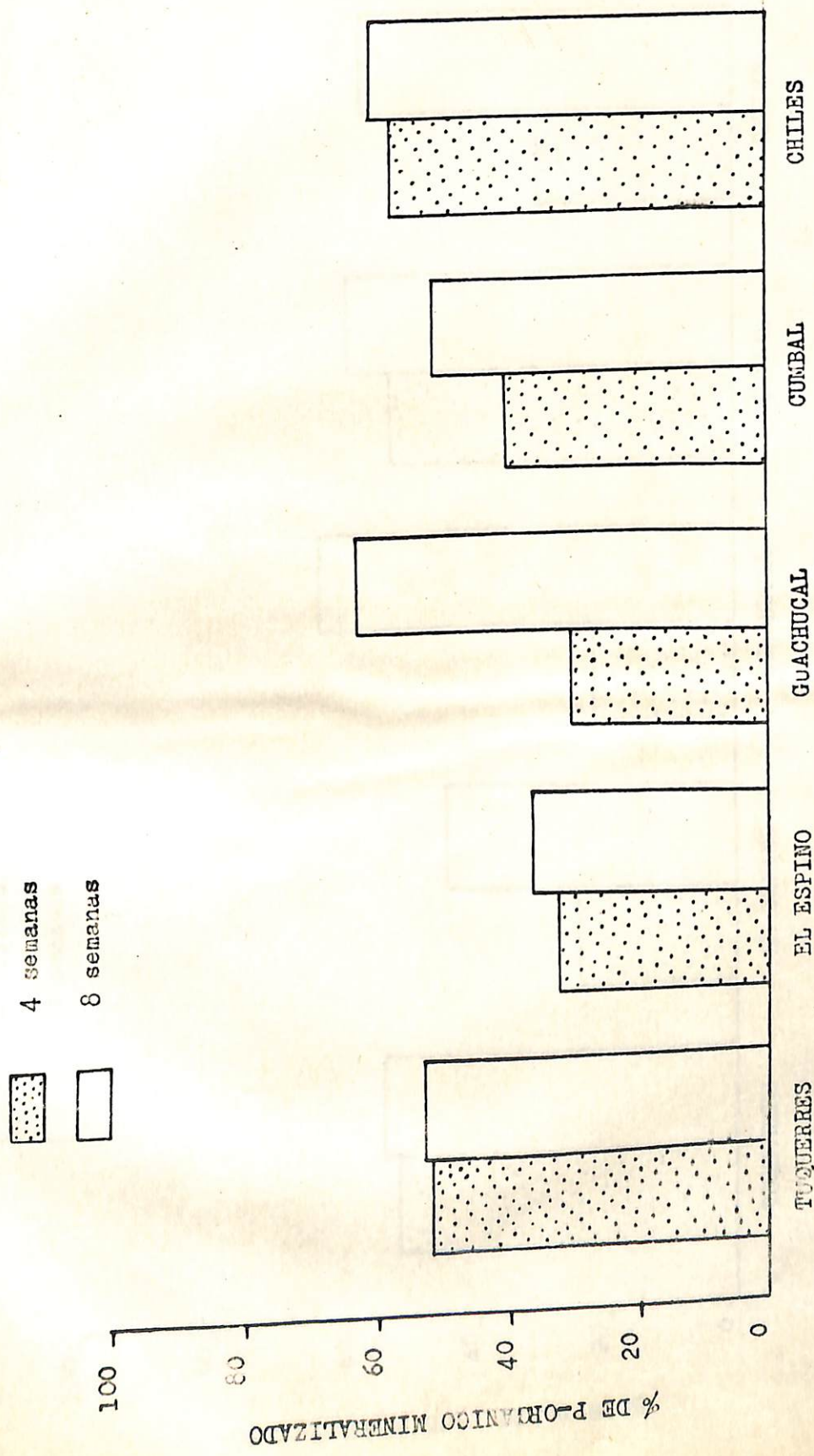


Figura 3. Mineralización del P-orgánico en los suelos estudiados
Tratamiento carbonato de calcio al 0,5%.

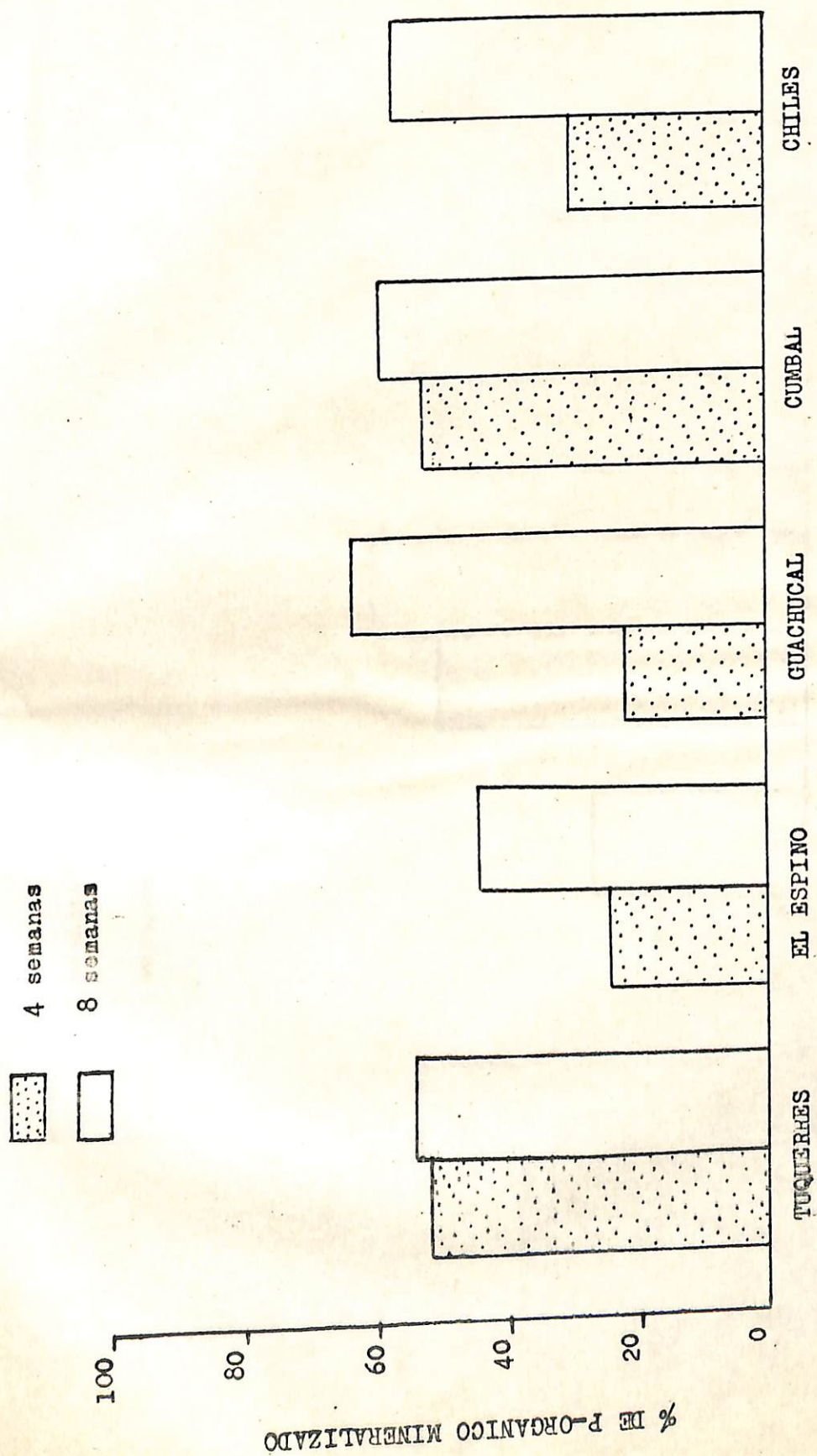


Figura 4. Mineralización del P-orgánico en los suelos estudiados
Tratamiento con fósforo al 0,1%.

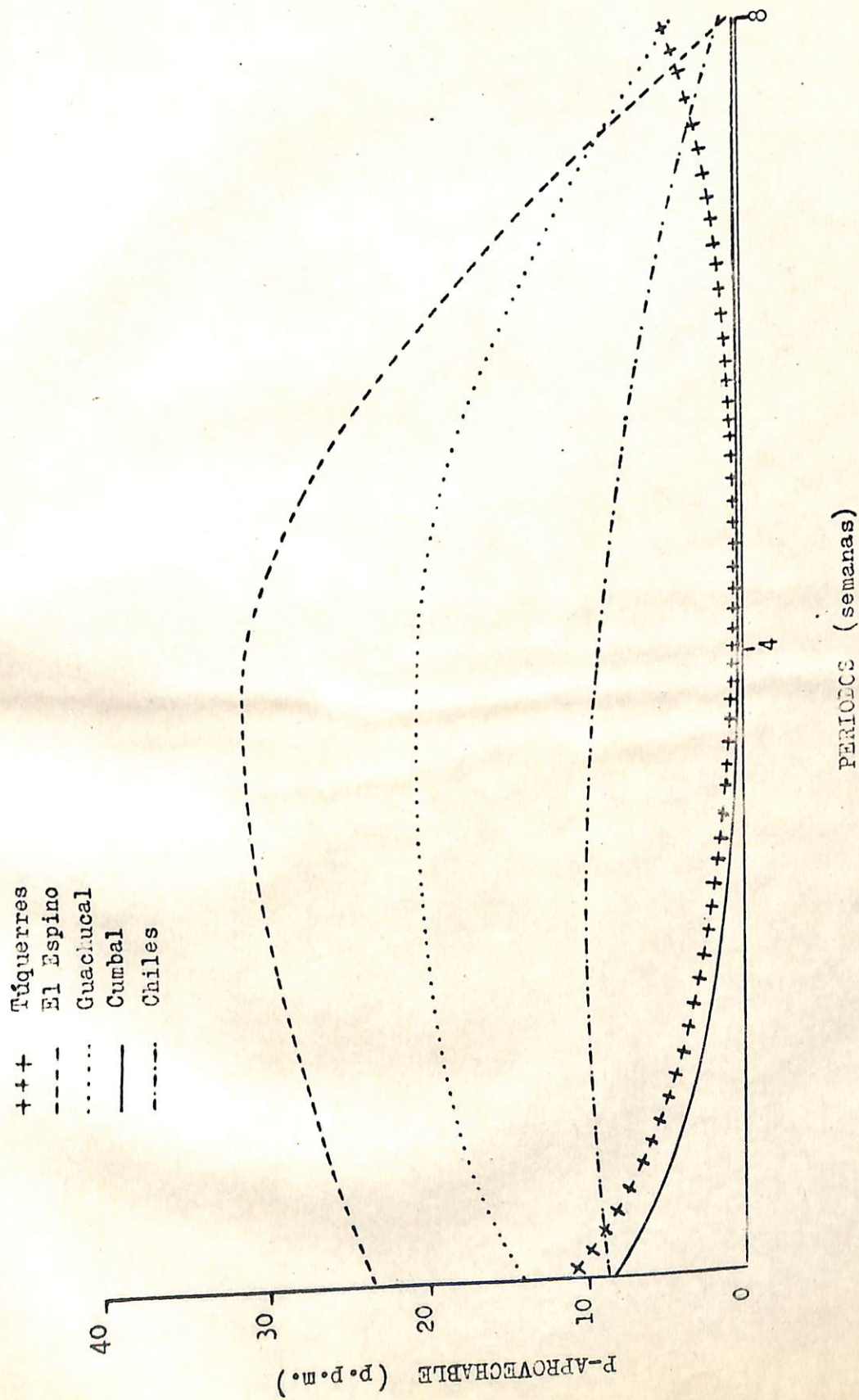


Figura 6. P-aprovechable en los suelos estudiados
Tratamiento testigo.

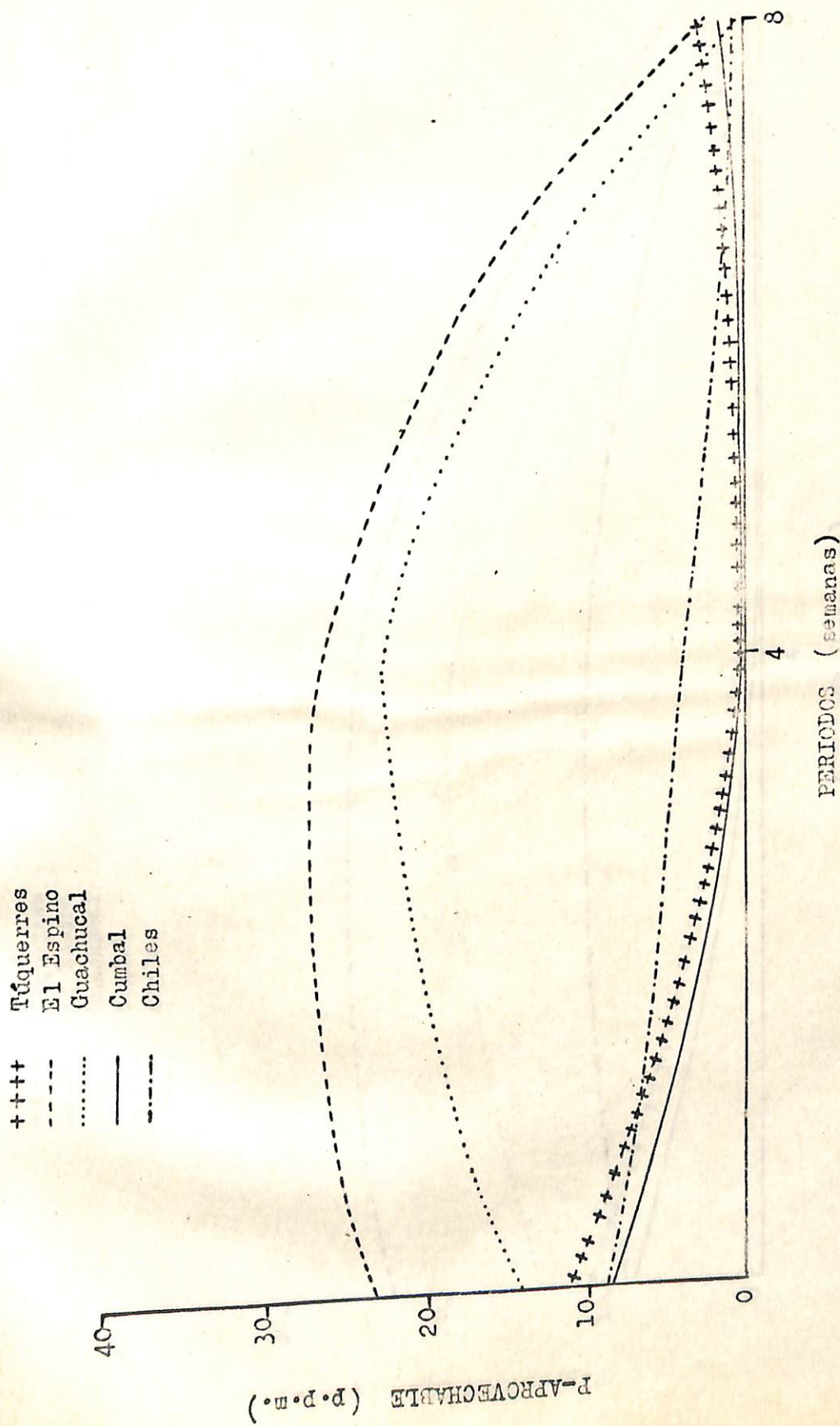


Figura 7. P-aprovechable en los suelos estudiados
Tratamiento carbonato de calcio al 1%.

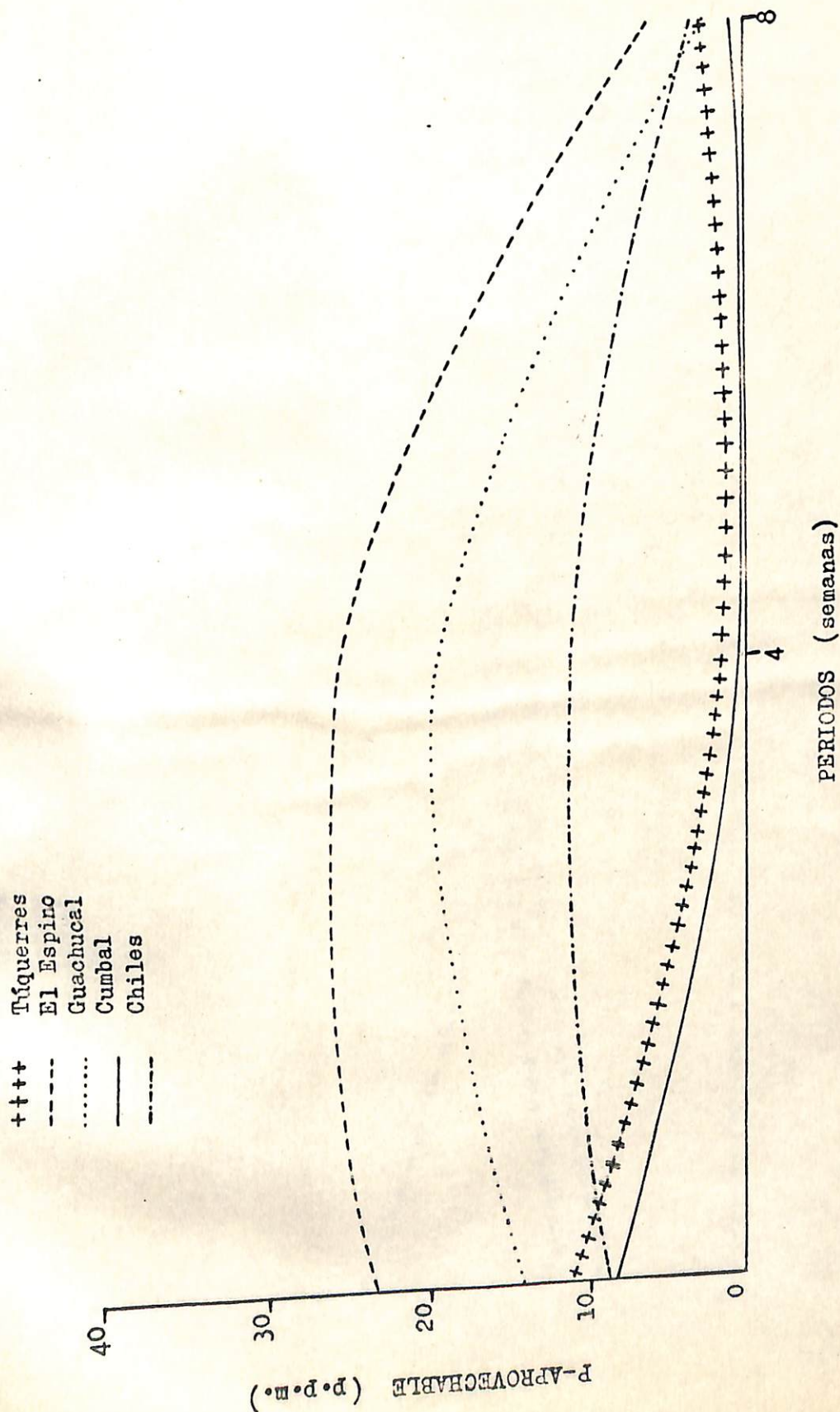


Figura 8. P-aprovechable en los suelos estudiados
Tratamiento carbonato de calcio al 0,5%.

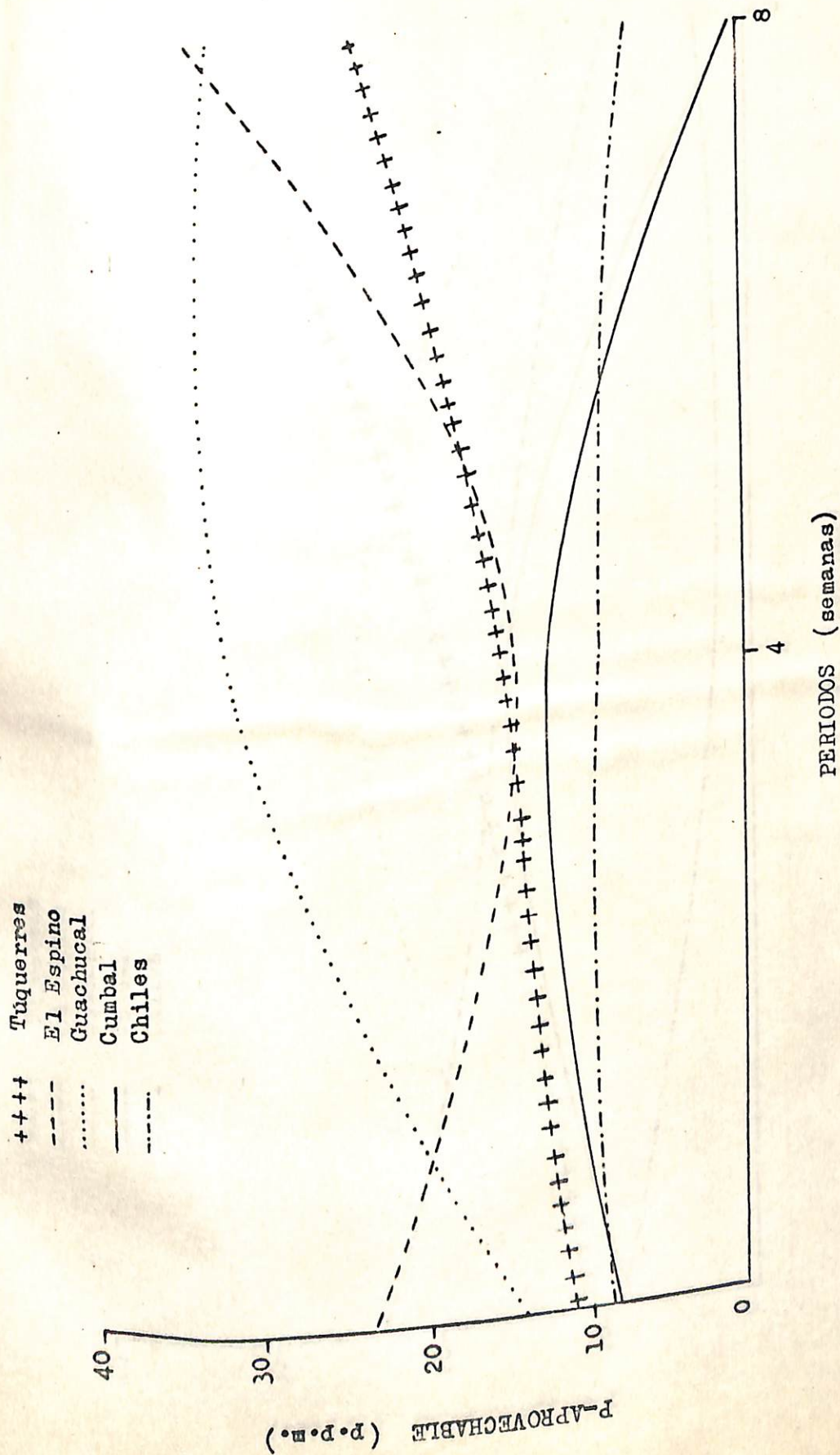


Figura 9. P-aprovechable en los suelos estudiados
Tratamiento con fósforo al 0,1%.

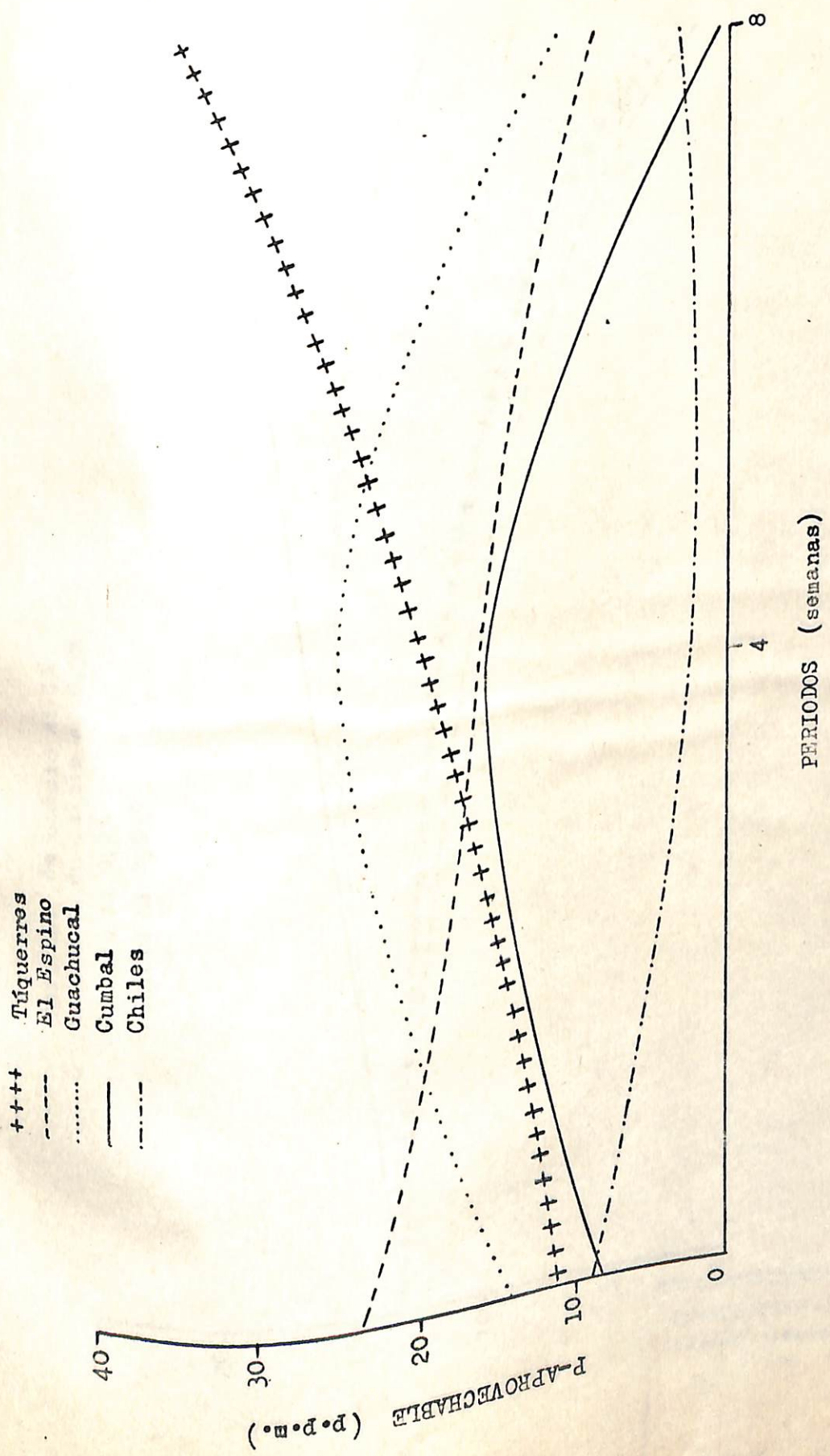


Figura 10. P-aprovechable en los suelos estudiados
Tratamiento con fósforo al 0,05%

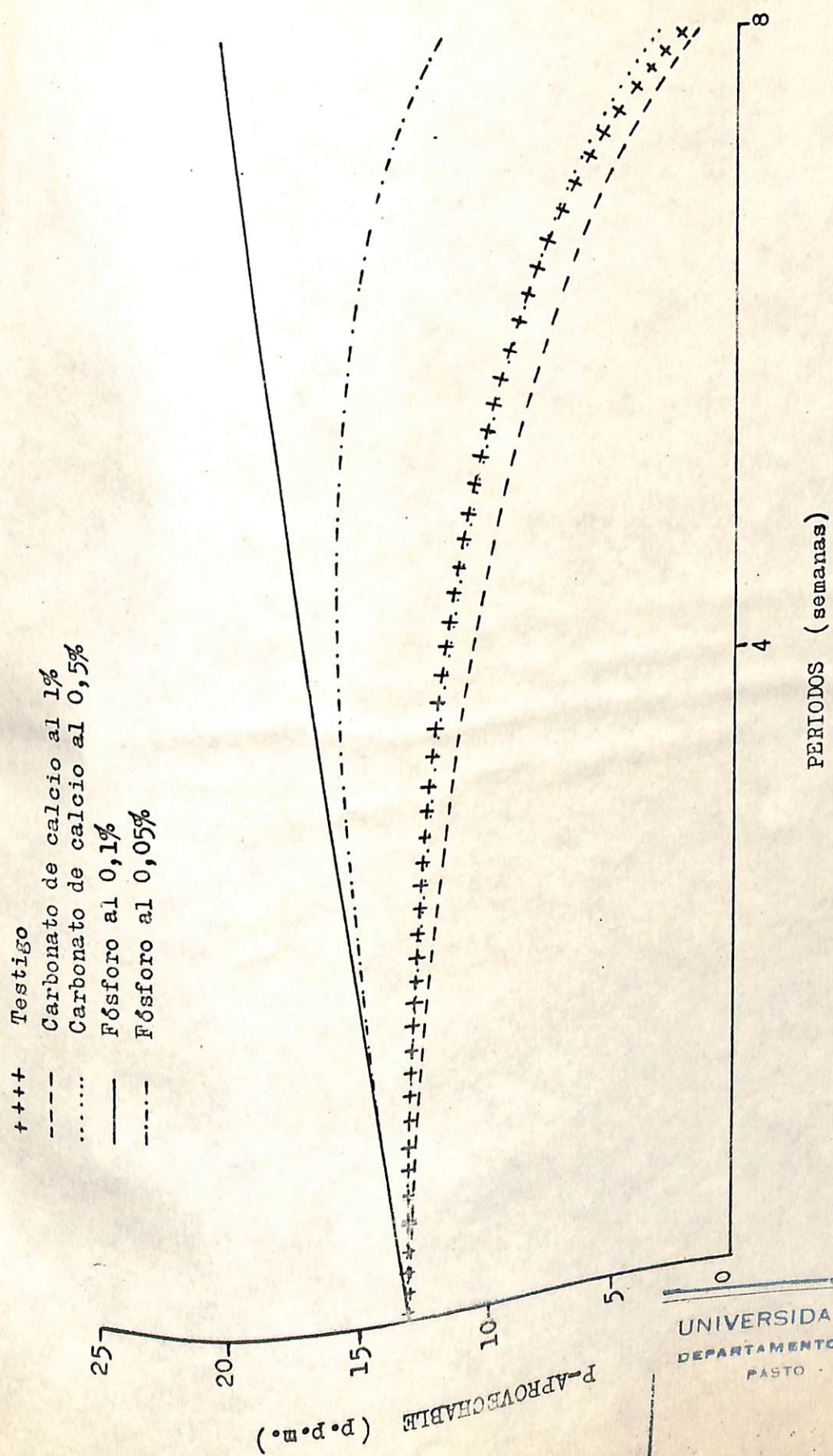


Figura III. Tendencia presentada por el P-aprovechable para toda la región.

V. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en la presente investigación se concluye lo siguiente:

1. El fósforo orgánico representa el más alto porcentaje del fósforo total (78,77%). Sin embargo, su fracción aprovechable es baja.
2. La fracción orgánica disminuyó en los dos periodos de incubación, no obstante en el primer periodo el aumento del fósforo aprovechable fue regular, siendo bajo a las ocho semanas de incubación.
3. Se observó un predominio de la inmovilización sobre la mineralización, siendo de importancia el proceso de fijación.
4. La fijación e inmovilización fueron directamente proporcionales al tiempo de incubación.
5. En El Espino y Guachuco, adiciones de carbonato de calcio al 0,5% un mes antes de la siembra y un mes antes de la fructificación pueden beneficiar la aprovechabilidad del fósforo.
6. Aunque el tratamiento con fósforo al 0,1% fue estadísticamente significativo para su recomendación se debe tener en cuenta el factor costos de producción.

7. Se hace necesario estudiar hacia qué forma se fija el fósforo y qué método y materiales son los más adecuados para evitar la fijación.

8. Es importante efectuar incubaciones con períodos más largos, para conocer el efecto de la inmovilización.

VI. RESUMEN

Se estudió la mineralización del fósforo de algunos suelos de la sabana de Téquerres, Cumbal, Chilos, El Espino, Quachucal y Téquerres. Se usaron los siguientes tratamientos: testigo, carbonato de calcio al 1% y 0,5%, fósforo al 0,1% y 0,05% a partir de incubaciones en periodos de cuatro y ocho semanas.

Los resultados obtenidos, indican que la mineralización a las cuatro semanas de incubación fué regular, siendo para las ocho semanas baja; existiendo un predominio de la inmovilización sobre la mineralización.

Para las regiones de El Espino y Quachucal se aconseja adiciones de carbonato de calcio al 0,5% un mes antes de la siembra y un mes antes de la fructificación, para aumentar la cantidad de fósforo aprovechable y así obtener mejores cosechas.

Se recomienda hacer estudios de fijación antes y después de cada periodo de incubación y usar periodos más largos, para ver el efecto de la inmovilización.

SUMMARY

A phosphorus mineralization of some soils of the Tiquerres savanna, in Colombia, were studied.

The Tiquerres savanna is made out by Cumbal, Chiles, El Espino, Gunchucal and Tiquerres regions. Treatments that were used: a testifier, Calcium carbonate to the 1% and 0,5% phosphorus to the 0,1% and 0,05%, by means of incubating periods of four and eight weeks.

The results obtained indicated that the mineralization at four weeks of incubation were normal; the mineralization at eight weeks were low; and it was a dominion of the immobilization on the mineralization.

It is suggested to add calcium carbonate in the range of 0,5% a month before sowing and a month after fructification, to the El Espino and Gunchucal regions; this, to improve the amount of available phosphorus and to get the best crops.

It is suggested to make studies of the fixation before and after each incubating periods more long, to observe the immobilization effect.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. ACQUAYE, D.K. 1.963. Some significance of soil organic phosphorus mineralization in the phosphorus nutrition of cocoa in Ghana. *Plant and Soil*. 19: 65-80.
2. ALCOFORADO, B.C. 1.972. Mineralización de fósforo en suelos de Pacífico de Costa Rica. Tese de grau de "Magister Scientiae" IICA. Turrialba, Costa Rica. 76p. Mimeografiada.
3. ALEXANDER, M. 1.964. Introduction to soil microbiology. 2a ed. New York, Wiley. 472p.
4. ANDERSON, G. y R.J. HANSE. 1.963. Extraction and estimation of soil phospholipids. *Soil Sci*. 96: 94-98.
5. ARAMBARRI, P. y L. MADRID. 1.965. Relación entre el fósforo total y el fósforo lábil de cuatro suelos característicos andaluces. *An. Edafol. Agrobiol*. 24: 683-692.
6. AWAN, A.B. 1.963. Effect of lime on availability of phosphorus in Zamorano Soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 28: 672-673.
7. BARRON, N.J. 1.961. Phosphorus in soil organic matter. *Soils and Fertilizers*. 24: 169-173.
8. BEAR, E.F. 1.963. Suelos y fertilizantes. 3a ed. Trad. por J. Rosal. Barcelona, Omega. 458p.

9. BIRCH, H.F. 1.961. Phosphorus transformation during plant decomposition. Plant and Soil. 15: 347-366.
10. BLACK, C.A. y C. GORING. 1.953. Organic phosphorus in soils. In: Pierre, W.H. y A.G. Norman., eds. Soil and fertilizers phosphorus in crop production. Academic Press, New York. pp. 132-152.
11. BLANCHET, R. 1.960. Absorption et dilution isotopique des ions phosphoriques au contact des hydroxides métalliques et des argiles. Ann. Agr. 1: 55-74.
12. BLASCO, M. 1.970. Curso de Microbiología de Suelos. IICA, CIREI. 247p- Mimeografiado.
13. BLASCO, M. 1.968. Sinopsis edafología del Amazonas colombiano. IV Conf. Latinoamericana Fert. Suelos. FAO, Bogotá. 21p. Mimeografiado.
14. BLASCO, M. y N. BOHOREQUEZ. 1.968. Fractionation of phosphorus in tropical soils of Colombia. Agrochimica. 12: 173-178.
15. BLASCO, M. et al. 1.968. Transformaciones microbiológicas del fósforo en suelos volcánicos del Puracé. Acta Agronómica, Palmira (Colombia).
16. BRAVO, A. y P. ERASO. 1.972. Estudio de fertilidad en suelos del altiplano de Tiquarres. Tesis de Ing. Agr. Universidad de Narino, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto. 115p- Mimeografiada.

17. BUCKMAN, H.O. y H.C. BRADY. 1.968. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Trad. por R.S. Barceló. México, UTEHA. 590p-
18. CALDWELL, A.G. y C.A. BLACK. 1.958. Inositol hexaphosphate. Content in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 22: 296-298.
19. CHANG, S.C. y M.L. JACKSON. 1.957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 64: 133-144.
20. COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. (I.C.A.) 1.971. Generalidades sobre la fertilidad de los suelos colombianos. *Bol. Téc. No. 11*. 24p.
21. DEAN, L.A. 1.957. Fixation of soil phosphorus. *Advances in Agronomy.* 1: 391-411.
22. EMEZOR, W.O. 1.967. Significance of the C: Organic P ratio in the mineralization of soil organic phosphorus. *Soil Sci.* 103: 62-66.
23. FASSBENDER, H.W. 1.969. Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas en América Central. *Informe sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. FAO - IICA. Turrialba, Costa Rica.* 1-4: 1-10.
24. FEUILLET, C. y A. FEUILLET. 1.971. Fraccionamiento de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos de la Sabana de Tiquerres bajo condiciones de pradera. Tesis de Ing. Agr. Universidad de

- Marifio, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto. 109p. Mimeo-
grafada.
25. FRYE, A. 1.972. El análisis de suelos en la evaluación de su
fertilidad para la aplicación de fertilizantes y correctores.
III Ciclo de conferencias sobre fertilidad de Suelos y Ferti-
lización de cultivos. Universidad del Tolima, Ibagué. pp.
1-29.
26. GAMBOA, J. 1.971. Dinámica del NPK en el suelo después de cin-
co fertilizaciones consecutivas. Tesis de grado Magister
Scientiae IICA. Turrialba, Costa Rica. 71p. Mimeo-
da.
27. GARCIA, R. y A. NOYOS. 1.963. Distribución de las distintas
formas de fósforo en las fracciones de algunos suelos natura-
les. An. Edafol. Agrobiol. 22: 414-451.
28. GUERRERO, R.R. 1.971. Estudio de la capacidad de fijación de
fósforo y sus formas, en suelos volcánicos de cuatro regio-
nes andinas de Marifio. Tesis de promoción. Universidad de
Marifio, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto. 38p. Mimeo-
grafada.
29. HALSTEAD, R.L. 1.964. Phosphates activity of soil as influen-
ced by lime and other treatment. Canadian Journal of Soil
Science. 44: 137-144.
30. HENRIWALL, J.B. 1.957. The fixation of phosphorus by soils. Ad-
vances in Agronomy. 2: 95-112.

31. IGUE, E., R. FUENTES y E. BORNEMISZA. 1.972. Mineralización de P-orgánico en suelos volcánicos de Costa Rica. Fitotecnia Latinoamericana. Caracas, Venezuela. 8 (1): 71-76.
32. JACKSON, M.L. 1.964. Análisis químico de suelos. Trad. por José Beltrán Martínez. Barcelona, Omega. 662p.
33. JENCKS, E.M., J.T. RANSE y C.D. REESE. 1.964. Organic phosphorus content of some west soil Bull. West Virginia U. Agric. Exp. Sta. 16p.
34. JENNY, H. et al. 1.953. Estudio sobre la fertilidad de ocho suelos colombianos. Federación Nacional de cafeteros. Chinchiná (Colombia). Conicafe. 1 (9): 1-15.
35. KAILA, A. 1.963. Phosphorus conditions at various depths in some mineral soils. Jour. Sci. Agric. Soc. Finland. 35: 69-79.
36. LEGARDA, L. y E. MORA. 1.969. Estudio de ciertas características de algunos suelos de Nariño, relacionadas con las formaciones ecológicas. Tesis de Ing. Agr. Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícolas, Pasto. 166p. Mimeografiada.
37. LOPEZ, H. 1.971. Respuestas al encalado de un suelo derivado de cenizas volcánicas. Cambio en el pH y la nitrificación. In: Ácidos y encalamiento en el trópico. Suelos ecuatoriales. Primer coloquio de suelos. Medellín. 1 (1): 156-169.

38. LUZURIAGA, G.T. 1.970. Propiedades morfológicas, físicas y químicas de seis andosoles de Costa Rica. Tesis de grado "Magister Scientifico". IICA. OEA. Turrialba, Costa Rica. 159p- Mimeografiada.
39. MARTINEZ, A. y F. LUCENA. 1.960. Determinación y formas de fósforo en la Provincia de Salamanca. Nota II. Formas de fósforo. An. Edafol. Agrobiol. 12: 59-68.
40. MESIAS, J. y A. HERNANDEZ. 1.972. Mineralización del fósforo orgánico en algunos suelos de la Intendencia Nacional del Putumayo. Tesis de Ing. Agr. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto. 44p. Mecanografiada.
41. PIERRE, W.H. 1.948. The phosphorus cycle and soil fertility. Jour. Amer. Soc. Agron. 40: 1-14
42. LOPEZ, T. y A. RODRIGUEZ. 1.970. Algunas consideraciones sobre la meteorización, el deslave y la edad de los suelos en cuatro regiones volcánicas del sur de Colombia. Tesis de Ing. Agr. Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola, Pasto. 120p. Mecanografiada.
43. SANCHEZ, T.L. 1.956. Contenido de fósforo orgánico y mineral de algunos suelos del Valle del Cauca, Colombia, Acta Agronómica, Palmira (Colombia). 6: 99-115.
44. SAUNDERS, W.H. y E.G. WILLIAMS. 1.955. Determination of total organic phosphorus in soils. Jour. Soil. Sci. 6: 254-260.

45. SEN GUPTA, M.B. y A.H. CORNFIELD. 1.962. Phosphorus in calcareous soils. I. The organic phosphate fractions and their relations to the amount of calcium carbonate present. Jour. Sci. Food Agric. 13: 652-655.
46. TAFUR, N. 1.968. Principales características químicas de los suelos de la región algodonera de Valledupar. Universidad Nacional, Facultad de Agronomía, Palmira. 135p.
47. THOMPSON, L. 1.965. El suelo y su fertilidad. 3ed. Trad. por R.C. Clard. Barcelona, Reverte. 409p.
48. WESTIN, P.C. y G.J. DUNTLEY. 1.966. Soil phosphorus in South Dakota. Phosphorus fractions of some horcils and ustolls. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 31: 521-528.
49. WILLITS, N. y A. POSADA. 1.954. Observaciones sobre fertilidad y otros problemas de los suelos de la región central del Valle del Cauca. Acta Agronómica, Palmira (Colombia) 4: 259-252.

APPENDICE

TABLA I
 CARACTERIZACION QUIMICA DE LOS SUELOS ESTUDIADOS (+)

Localidad	pH	C Orgánico	N Inter.	%	M.O.	P Aprox. ppm (°)	C.I.C. m.e./ 100g.	Bases Cambiables en ppm.		
								K	Ca	Mg
TOQUEPES	6,25	3,18	0,03	5,49	19,32	24,12	423,48	1.489,58	81,29	260,21
EL ESPINO	5,50	6,40	0,02	11,04	2,61	28,28	207,18	414,37	151,36	100,77
GUACHUCAL	6,00	5,73	0,02	9,88	29,91	33,09	210,31	1.682,55	47,22	361,45
CUMBAL	5,90	10,72	0,04	18,49	10,65	43,47	103,35	1.797,46	86,22	457,81
CHILES	5,75	6,35	0,02	10,95	3,54	41,05	143,02	631,01	55,75	55,92

(°) Método Bray II

(+) Tomada de la investigación de tesis de Bravo y Bravo (16)

T631.85

C965

Ej. 7

Autor:

Inventario 15124

Cuellar, Silva, Gabriel

Título: Efectos de la Adición de

carbonato de calcio

Fecha Devol.	NOMBRE	Carnet
	Adición Bior	092
	Revisión Corroba.	364.

X

T

E-631.85

C965

Ej. 1

15124

X

0