

**INFLUENCIA DEL ENCALADO
EN LAS FORMAS, FIJACION Y DISPONIBILIDAD
DE FOSFORO EN SUELOS DE LA REGION
CACAOTERA DE BAHIA, BRASIL**

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Percy Cabala Rosand

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Departamento de Fitotecnia y Suelos
Turrialba, Costa Rica
Julio, 1970

INFLUENCIA DEL ENCALADO EN LAS FORMAS, FIJACION Y
DISPONIBILIDAD DE FOSFORO EN SUELOS DE LA
REGION CACAOTERA DE BAHIA, BRASIL

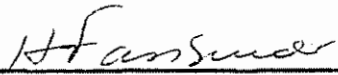
Tesis


Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar al grado de

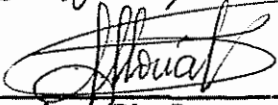
Magister Scientiae


en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:  Consejero
Hans W. Fassbender, Dr. Sci. Agr.

 Comité
Kozen Igue, Ph.D.

 Comité
Jorge Soria, Ph.D.

 Comité
Adalberto Gorbitz, Ing. Agr.

Julio, 1970

A mi esposa Maria Victoria

A mi hija Angela

A mi hijo Guillermo

AGRADECIMIENTO

A los componentes del comité consejero Dr. Hans Fassbender, Dr. Kozen Igue, Dr. Jorge Soria e Ingeniero Adalberto Gorbitz, por la ayuda y orientación prestada durante la realización de la presente investigación.

A la Dirección de la CEPLAC en las personas del Secretario Geral Sr. Jose Haroldo Castro Vieira y del Superintendente Técnico Dr. Paulo de Tarso Alvim por haber hecho posible realizar estudios de postgrado en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.

A los Ingenieros Agrónomos Luiz Ferreira da Silva y Antonio Cadima Zevallos por proporcionar las muestras de suelos y resultados analíticos para el presente trabajo.

Al Dr. Gilberto Páez por la ayuda en la interpretación estadística y a la Dirección del NEP por permitir usar los laboratorios de ese programa.

A los demás profesores, compañeros y amigos que de diferentes formas contribuyeron a la realización de este trabajo.

BIOGRAFIA

El autor nació en Arequipa, Perú, el 22 de enero de 1936.

Cursó estudios superiores en la Escola Nacional de Agronomia de la Universidade Rural do Brasil, graduándose de Ingeniero Agrónomo el 17 de diciembre de 1960.

En enero de 1961 ingresó al cuerpo técnico de la CEPLAC, organismo del Gobierno Brasileño que cuida de los asuntos de cacao y donde hasta el presente desempeña funciones en el Setor de Fertilidade del Centro de Pesquisas do Cacau.

Realizó estudios de postgrado en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica de 1968 a 1970.

CONTENIDO

	página
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	4
2.1 Región Cacaotera de Bahia, Brasil	4
2.1.1 El cultivo de cacao	4
2.1.2 Suelos de la región cacaotera de Bahia y su fertilidad	5
2.2 El Fósforo en el Suelo.	7
2.2.1 Contenido de fósforo total.	7
2.2.2 Contenido de fósforo orgánico	7
2.2.3 El contenido de fósforo inorgánico.	10
2.3 Disponibilidad de Fósforo	16
2.4 Fijación de Fósforo por el Suelo.	20
2.5 Influencia del Encalado en las Formas y Fijación de Fósforo	25
2.5.1 El encalado y las formas de fósforo	26
2.5.2 El encalado y la disponibilidad de fósforo	27
2.5.3 El encalado y la fijación de fósforo.	28
3. MATERIALES Y METODOS	31
3.1 Suelos.	31
3.2 Determinación del Fósforo Total y de las Fracciones Inorgánicas.	32
3.3 Determinación de las Necesidades de Cal y Encalado de los Suelos.	34
3.4 Determinación de la Disponibilidad de Fósforo	35
3.4.1 Extractores químicos.	35
3.4.2 Ensayos biológicos.	36
3.5 Determinación de la Capacidad de Fijación de Fósforo.	39
3.6 Análises e Interpretación Estadística.	39
4. RESULTADOS Y DISCUSION	42
4.1 Características Generales de los Perfiles de Suelos	42
4.2 Fósforo Total, Fósforo Orgánico y Formas Inorgánicas en los Ocho Perfiles de Suelos.	47
4.3 Influencia del Encalado en las Formas de Fósforo y en Algunas Características de los Suelos Superficiales.	54

4.4	Influencia del Encalado en la Disponibilidad de Fósforo	60
4.5	Influencia del Encalado en la Fijación de Fósforo.	74
5.	CONCLUSIONES.	79
6.	RESUMEN	82
7.	SUMMARY	85
8.	LITERATURA CITADA	88
	APENDICE.	98

LISTA DE CUADROS

Cuadro no.		página
1	Fósforo total, orgánico, inorgánico, por ciento del fósforo total presente como orgánico y contribución del fósforo inorgánico en las fracciones respectivas	48
2	Coeficientes de las correlaciones lineales existentes entre el contenido total de fósforo, las fracciones inorgánicas y la diferencia considerada como orgánica	55
3	Influencia en encalado en los contenidos de fósforo total, orgánico, inorgánico y en el por ciento de fósforo total presente en la forma orgánica en los suelos superficiales (0-20 cm)	59
4	Influencia del encalado en las cantidades de fósforo extraídas por los métodos de Olsen, Truog, Egner-Riehm y Mehlich en dos formas	61
5	Coeficientes de correlación entre las variables de respuesta de las pruebas biológicas, fósforo extraído por cuatro extractores químicos y diferentes fracciones de ese elemento en los suelos superficiales (0-20 cm)	70
6	Influencia del encalado en las cantidades y porcentajes de fósforo fijado en las muestras superficiales de suelos (0-20 cm)	75

LISTA DE FIGURAS

Figura no.		página
1	Vistas de las pruebas biológicas realizadas con los suelos superficiales y aspecto del sistema radical de las plantas de sorgo y las capas arena-suelo-arena.	63
2	Respuestas de las plantas de sorgo al encajado y cuatro niveles de fósforo en los suelos Valença, Nazaré, Itabuna e Itamirim	64
3	Respuestas de las plantas de sorgo al encajado y cuatro niveles de fósforo en los suelos Rio Branco, Hidromórfico, Cepec y Colônia	65
4	Ecuaciones de respuesta promedio coeficientes de correlación cuadrática y curvas de respuesta de las plantas de sorgo a los diferentes niveles de fósforo considerando las variables masa seca y contenido de fósforo (parte aérea)	68
5	Nivel crítico de respuesta al fósforo para el extractor de Olsen utilizando la técnica de Cate y Nelson	72
6	Nivel crítico de respuesta al fósforo para el extractor Truog utilizando la técnica de Cate y Nelson	76

1. INTRODUCCION

Desde los inicios de la entonces denominada Química Agrícola y también en los comienzos del funcionamiento de los primeros campos experimentales en regiones templadas, se ha demostrado en gran número de trabajos el efecto benéfico de la adición de fósforo a diferentes cultivos. En las regiones de clima tropical, donde la dinámica de los procesos de evolución y envejecimiento de los suelos se suceden con bastante rapidez, la importancia de este elemento para la agricultura parece ser aún mayor, pudiendo asegurarse de manera general que la deficiencia de este elemento asola grandes superficies del globo terrestre (25, 50).

Concurren para el hecho antes señalado, no solamente la situación de ser el fósforo un componente extremadamente escaso de la corteza terrestre (26), sino también, que apenas una fracción muy pequeña del contenido total que existe en los suelos se encuentra en forma disponible. Esto sería según diversos autores (13, 88) consecuencia del poco aprovechamiento por las plantas de los fosfatos naturales y de procesos físico-químicos que reducen considerablemente las formas solubles existentes en la solución edáfica. Además, es interesante notar que cuando se aplican fertilizantes al suelo en forma de fosfatos solubles en agua estos se convierten rápidamente en formas menos solubles, fenómeno ese, denominado corrientemente de fijación o retención y que reviste de gran importancia en suelos alcalinos y ácidos (13, 33, 46, 49, 103).

Debido a la importancia de este elemento para la obtención de mayores producciones en diversos cultivos, se han ideado una serie de procedimientos y metodologías para su caracterización en el suelo y, lo que es más importante, para predecir respuestas biológicas con miras al abonamiento. Primeramente se pretendió usar los contenidos totales en el suelo pero sin mayor éxito, a no ser para fines de caracterización pedológica del suelo.

Posteriormente, al descubrirse que las raíces de las plantas excretaban ácido cítrico, se usó el mismo como extractor de una fracción inorgánica de fósforo que pasó a denominarse de 'disponible'. En el transcurso del tiempo, se ha evolucionado a una serie de extractores de uso actualmente frecuente y en forma estandarizada, pero que antes de su utilización requieren una calibración con pruebas biológicas.

También desde hace relativamente bastante tiempo, se ha intentado usar métodos de fraccionamiento de las diferentes formas de fósforo en el suelo; que auxiliarían a caracterizar el grado de evolución de los suelos y también permitirían estimar la disponibilidad de ese elemento.

Para dar una explicación más exacta de las relaciones existentes en el sistema suelo-planta en condiciones naturales, se han ideado nuevos métodos basados en conceptos físico-químicos que toman en cuenta los factores intensidad, velocidad y capacidad. Con la misma finalidad se vienen usando técnicas de intercambio isotópico y resinas de intercambio.

En la región sur del Estado de Bahía, responsable por más del 95% de la producción de cacao de Brasil, se ha realizado recientemente una serie de trabajos de investigación para evaluar el estado nutricional de los suelos encontrándose una deficiencia bastante generalizada de fósforo que seguramente limita la producción de cacao y de otros cultivos (3, 14).

En el presente trabajo se traen nuevos subsidios para la caracterización del fósforo en los principales tipos de suelos que ocurren en la región sur del Estado de Bahía, siendo de manera general los objetivos de la presente investigación los siguientes:

- a) Determinación de los contenidos totales de fósforo, de las fracciones inorgánicas y contenido orgánico en ocho perfiles de suelos de la región cacaotera de Bahía, Brasil.
- b) Evaluar la influencia del encalado en las formas inorgánicas de fósforo, en la fijación y disponibilidad de ese elemento utilizando ocho muestras compuestas de suelos retiradas en la profundidad de 0 - 20 cm y en los mismos locales de los perfiles citados.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Región Cacaotera de Bahia, Brasil

La región cacaotera de Bahia, Brasil se localiza en el área comprendida por la línea de la costa atlántica, el meridiano 40° 15' de longitud oeste y los paralelos 13° y 19° 40' de latitud sur, totalizando aproximadamente 80.000 km².

En esta área se pueden distinguir de manera general, dos regiones climáticas marcadas: la húmeda, cerca de la faja litoral, con precipitaciones anuales superiores a 1000 mm, la segunda, en el interior y más seca, con precipitaciones de 600 mm. Según los mapas climáticos elaborados por Andrea y señalados por Olmos (74), en esta región ocurrirían los tipos climáticos Af, Am y Aw de la clasificación de Köppen.

2.1.1 El cultivo de cacao

Dentro del área delimitada anteriormente, se estima que la superficie ocupada por el cultivo de cacao es 450.000 hectáreas (22), cuya distribución (98), están estrechamente relacionada con la fertilidad natural de los suelos. Se ha calculado que aproximadamente 90% de los suelos apropiados para ese cultivo ya están ocupados por el mismo, quedando por lo tanto un área relativamente pequeña para cualquier programa de expansión con la utilización de técnicas tradicionales.

Los métodos de cultivo empleados en los cacaotales de Bahia se pueden considerar como extremadamente rudimentarios; actualmente ya se sienten reflejos de cambio como consecuencia

de los trabajos que se vienen desarrollando en los campos de la investigación, extensión y asistencia crediticia por parte del gobierno brasileño, a través de CEPLAC (Comissão Executiva do Plano de Recuperação Económico-Rural da Lavoura Cacaueira).

Como consecuencia del mal manejo de las plantaciones, los rendimientos por unidad de área son extremadamente bajos, aunque en algunas fincas se vienen consiguiendo aumentos considerables mediante la aplicación de enmiendas calcáreas, fertilizantes, raleo de la sombra y el control racional de insectos y enfermedades.

2.1.2 Suelos de la región cacaotera de Bahía y su fertilidad

Se puede considerar que los trabajos de investigación de suelos en esta región comenzaron en 1949 cuando Bondar (8) llevó a cabo un inventario bastante generalizado de los recursos naturales de la región cacaotera de Bahía. Posteriormente, Sampaio (89) después de analizar un cierto número de muestras de suelos llamó la atención sobre una deficiencia de fósforo.

Aún con los precedentes señalados, los trabajos básicos de relevamiento y los estudios de diagnóstico de la fertilidad de los suelos, sólo se iniciaron después de 1963 obedeciendo a un plano integral. Después de 4 años, Olmos (74), presentó un informe preliminar sobre los principales tipos de suelos que ocurrían en esa región, situándolos, de acuerdo a la

vieja clasificación americana, en los siguientes órdenes: suelos con horizonte B latosólico, suelos con horizonte B textural, suelos con horizonte B podzólico, suelos con horizonte B incipiente, suelos con perfil poco desarrollado, suelos halomórficos, agrupamientos indiscriminados y diversas asociaciones.

Posteriormente, Silva y otros (96, 97) presentaron en un trabajo las características físico-químicas de los principales tipos de suelos. Silva y Leão (99), en un trabajo más específico, realizaron una evaluación de la aptitud o capacidad del uso de los suelos de las cuencas inferiores de los ríos Almada y Cachoeira; en este último trabajo se utilizaron fotografías aéreas en escala de 1:25000.

Paralelamente, se realizaron una serie de trabajos de investigación para evaluar el estado nutricional de los suelos. Con esta finalidad fueron instalados más de 200 experimentos de microparcels de maíz (Zea mays), una serie de ensayos en invernadero con frijol (Phaseolus vulgaris L.), encontrándose al final de estos trabajos una respuesta casi generalizada a la aplicación de fósforo (3, 14).

Asociando los resultados de las pruebas biológicas antes citadas, con el fósforo extraído por los métodos de Mehlich y Bray y Kurtz, se encontraron correlaciones bastante estrechas (40). Por otro lado, al evaluar la influencia de la humedad del suelo en el aprovechamiento de dos fuentes fosfatadas por el cacao (Theobroma cacao) en un oxisol, se llegó a la conclusión de que a 75% de humedad tenía lugar la mejor absorción de fósforo y

que además no habían diferencias detectables entre la roca fosfatada y el superfosfato triple objeto de comparación (67).

También es interesante señalar que en plantaciones adultas de cacao de Bahía, se han conseguido aumentos considerables de producción cuando se asociaron la eliminación de la sombra y la aplicación de abonos. La fórmula fertilizante fue calculada con base en los resultados obtenidos al evaluar el estado nutricional de los suelos (3, 14, 15).

2.2 El Fósforo en el Suelo

2.2.1 Contenido de fósforo total

En promedio se ha encontrado para la mayoría de los suelos que el contenido de fósforo variaba entre 0,02 y 0,5% con un valor promedio de 0,05% (52). Sin embargo, es interesante registrar que en suelos de Brasil se han encontrado valores más elevados y que se situarían fuera del rango presentado (97).

La determinación del fósforo total fue una de las primeras tentativas realizadas con el objetivo de caracterizar la disponibilidad de ese elemento en los suelos; con todo, no fue coronada de éxito por no haberse encontrado ninguna correlación con respuestas biológicas. En la actualidad, esta determinación se restringe a los trabajos con carácter pedológico o a los estudios de fraccionamiento.

2.2.2 Contenido de fósforo orgánico

Los fosfatos orgánicos provienen de los residuos de plantas superiores, hongos, bacterias y también de animales,

acumulándose principalmente en la forma de fitina y derivados, gluco-fosfatos, ácidos nucleicos y derivados, nucleo-proteínas, pigmentos y fosfolípidos, existiendo además de los compuestos citados un número aún no identificado (66).

Recientemente se ha demostrado que la materia orgánica constituye una reserva importante de fósforo en los suelos y aparentemente su valor es mucho más preponderante en los suelos tropicales (88).

En relación a su utilización, existe una corriente de autores que no creen en el aprovechamiento directo de los fosfatos orgánicos por las plantas sin antes mineralizarse; pero en cambio en ciertos trabajos como el de Rogers y colaboradores (87) se ha comprobado la absorción directa de fitina y lecitina utilizando soluciones nutritivas.

Es de esperar sin embargo que la absorción de los diferentes compuestos orgánicos fosfatados no se realice de la misma forma, y aparentemente su aprovechamiento crecería en el siguiente orden*:

Fitina < Fosfolípidos < Fosfoazúcares < Ácidos Nucleicos

Según Bower, citado por Buckman y Brady (13), la fitina se comportaría en el suelo al igual que los fosfatos inorgánicos bastante solubles, es decir, formaría fitatos de hierro y aluminio bajo condiciones ácidas y fitatos de calcio en condiciones alcalinas. Los ácidos nucleicos serían fuertemente adsorbidos en condiciones principalmente ácidas por determinadas arcillas

* Comunicación personal de M. L. Blasco, IICA, Turrialba.

como la montmorilonita.

Los métodos analíticos para determinar el fósforo orgánico, se dividen en dos grupos. De un lado, están aquellos en que se llega a los resultados en forma indirecta, se determina en primer lugar el fósforo total, después la fracción inorgánica, hallándose por diferencia la fracción deseada (12). Por otro lado, están los métodos basados en la extracción directa pero que presentan resultados no mayormente aceptados (88).

En gran número de trabajos, se ha encontrado que la fracción de fósforo orgánico en los suelos puede ser predominante. Así, Fassbender, Müller y Balerdi (38) al analizar 110 muestras de América Central, verificaron que en suelos donde predominaban fosfatos de aluminio y hierro, la fracción orgánica contribuía con 25% del total, en cuanto que en suelos con predominancia de fosfato de calcio, alcanzaba un promedio de 41%. En suelos de la Amazonía en Brasil, Vieira y Bornemisza (112) han registrado que en el 74% de los casos, 20% del fósforo total estaba en la forma orgánica. Se ha encontrado también, que los fosfatos orgánicos comprenden una parte preponderante del contenido total en suelos de las regiones cafetaleras de Colombia (7, 61). Resultados similares han sido encontrados en Estados Unidos (77) y en Nueva Zelanda (113).

Sen Gupta y Cornfield (93) al estudiar el contenido de fósforo orgánico en suelos calcáreos encontraron que en promedio, esa fracción comprendía 14,5 y 15,6% a través de dos métodos de evaluación química. En suelos similares de Arizona (43), la

fracción orgánica de fósforo oscilaba de 25 a 35%, siendo que en suelos vírgenes ese porcentaje es aún más elevado.

En la distribución de la fracción orgánica de fósforo en el perfil de suelos, se notan algunas contradicciones que aparentemente son consecuencia de la metodología usada en uno u otro caso para evaluar la fracción citada. En trabajo realizado con suelos de Estados Unidos (77) se encontraron reducciones de los contenidos de fósforo orgánico con el aumento de la profundidad. También en Nueva Zelandia se obtuvieron resultados similares aunque no de manera general (113).

Contrariamente, en varios trabajos y en el caso particular de algunos suelos, no se encontraron variaciones significantes entre el contenido de fósforo orgánico de los diferentes horizontes del perfil (35, 112, 115).

2.2.3 El contenido de fósforo inorgánico

El fósforo inorgánico de los suelos es formado por dos grupos compuestos, los que tienen en su constitución calcio y los que tienen hierro y aluminio. En el primer grupo se tiene una secuencia de compuestos que van desde el monocálcico, más soluble, hasta el fluorapatito insoluble y que se caracteriza por tener cierta resistencia al intemperismo (26), se tiene conocimiento que ese mineral ha sido encontrado en la fracción limo de los suelos (80).

Los fosfatos del segundo grupo, menos conocidos, ocurren como fracción preponderante en suelos ácidos y se caracterizan por ser bastante estables e insolubles.

Williams (117) señala que prácticamente todo el fósforo inorgánico se encuentra como ortofosfato y que en su mayor parte se combina para formar series complejas con hierro, aluminio y calcio, aunque probablemente es posible encontrar pequeñas cantidades de fosfatos de magnesio y de manganeso en los suelos; este mismo autor también afirma que la distribución de los fosfatos inorgánicos en el perfil del suelo es influido por el pH, material parental, lixiviación, drenaje, intensidad del intemperismo, edad y prácticas de cultivo.

Debido a la gran importancia de la fracción inorgánica, ésta ha recibido mayor atención por parte de los investigadores bajo diferentes aspectos y que comprenden principalmente los estudios de fraccionamiento.

El fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos ha sido un tópico bastante explorado desde hace mucho tiempo. Aparentemente Dean (24) fue el primero en proponer una metodología de fraccionamiento que contemplaba tres partes : compuestos orgánicos solubles en hidróxido de sodio, compuestos inorgánicos disueltos por la extracción ácida realizada después de la básica y finalmente los compuestos insolubles por los tratamientos anteriores y que naturalmente eran determinados por diferencia. Como se puede ver en esta metodología se incluye todavía a la fracción orgánica.

Patel y Mehta (76), indican que Ghani fue el siguiente investigador a elaborar una metodología constituida de cinco fracciones, con la variación sobre la anterior al contemplar una

primera extracción con ácido acético 0,5 N para remover el fosfato cálcico no apatítico. Estos mismos autores presentan a otros investigadores que propusieron diferentes metodologías con la misma finalidad, pero en todas ellas se verifica que la fracción orgánica era tomada en cuenta.

Una metodología más específica en relación a los fosfatos inorgánicos es la propuesta por Chang y Jackson (19) que es en realidad la más aceptada y con la cual se han realizado una infinidad de trabajos en diferentes regiones y países.

Al hacer un análisis de las metodologías usadas en el fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos Mattingly y Talibudeen (66) señalan que generalmente se emplean soluciones extractoras simples y en reacciones de una o dos fases; la reacción de una fase comprende apenas la transformación química e inmediata extracción del compuesto de fósforo deseado. Las reacciones que demandan dos fases se caracterizarían por que la transformación es precedida de una reacción química para facilitar la extracción del compuesto deseado; el caso más corriente es la reducción previa del ión férrico y la quelación de los sesquióxidos metálicos para retirar posteriormente los fosfatos con una solución alcalina.

Russel y Russel por su parte (88) señalan que la base química de los métodos de fraccionamiento sería bastante discutidos e indican que de manera general los métodos de fraccionamiento usados corrientemente se basarían en las siguientes suposiciones:

- a. Los ácidos diluidos disolverían todos los fosfatos existentes, excepto las apatitas.
- b. Las soluciones concentradas de ácidos disolverían las apatitas.
- c. Los fluoruros desplazarían el fósforo de la superficie de los óxidos de aluminio hidratados y que un subsecuente tratamiento con solución alcalina retiraría el fósforo de los óxidos hidratados de hierro.
- d. Las soluciones reductoras que contienen un agente complejante de hierro disolverían la capa de óxido de hierro liberando así el fosfato de hierro que se encuentra en forma ocluída para su posterior extracción con solución alcalina. El hidrógeno naciente se utilizaría como reductor y como agentes complejantes, tartaratos, citratos u oxalatos.

El método de fraccionamiento desarrollado por Chang y Jackson (19), utiliza una serie de soluciones extractoras obedeciendo a una determinada secuencia en que las extracciones fluorhídricas y alcalinas preceden a la extracción ácida. Este método se basa en las siguientes premisas: a) el fluoruro de amonio neutro disuelve todos los fosfatos de aluminio, una pequeña parte de los de hierro y una cantidad insignificante de apatita; b) el hidróxido de sodio, disolvería completamente tanto los fosfatos de hierro como los de aluminio pero no toda la apatita; finalmente, c) el ácido sulfúrico, disolvería la apatita en forma integral. Las reacciones posteriores se fundamentarían en el último de los presupuestos presentados anteriormente (88). En estos trabajos la relación suelo y solución extractora desempeña un papel importante.

Además de evaluar la magnitud de las fracciones inorgánicas, el método de Chang y Jackson serviría también para verificar el grado de evolución del suelo y para predecir la disponibilidad de fósforo. Esos autores pudieron posteriormente comprobar sus premisas al utilizar suelos condiferentes grados de desarrollo (20). Encontraron que en suelos jóvenes, la fracción predominante era la cálcica, disminuyendo las demás en forma exponencial en el siguiente orden: P-Al, P-Fe y P-ocluído. En latosoles, la fracción que predominaba era la ocluída, habiendo también en este caso una reducción exponencial de las fracciones restantes pero en orden inversa a la presentada. Finalmente en suelos podzólicos, la curva era de naturaleza sigmoideal sin haber con todo gran predominancia de fosfatos de hierro y ocluídos.

Es interesante indicar, que aún siendo el método de Chang y Jackson el de uso más frecuente, ha despertado una serie de dudas y críticas. El primer punto discutible se refiere a la separación imprecisa de las fracciones alumínicas y férricas, este aspecto en realidad fue reconocido por los propios autores quienes sugirieron dos alternativas para corregir esa anomalía. Posteriormente se ha comprobado que la solución de fluoruro de amonio de igual concentración pero con pH 8,5 sería más específica en extraer los fosfatos de aluminio, evitando así la disolución de cierta cantidad de fosfatos férricos (39).

Smith (100), al hacer un análisis detenido de los logros conseguidos con la aplicación de la metodología propuesta por

Chang y Jackson, señala que no hay manera de delimitar exactamente las fracciones férricas y aluminicas pero que al introducir ciertas modificaciones se podría subsanar parcialmente esa deficiencia; este autor también indica que la fracción cálcica es la que se determinaría con menor precisión.

A pesar de todas las interrogantes presentadas, con ese método se han realizado un sinnúmero de trabajos en los suelos más variados del mundo. En algunos casos, se ha usado la metodología tal como propuesta, en otros se han introducido modificaciones en el pH de la solución de fluoruro de amonio o realizado una extracción más para determinar la fracción cálcica no apatítica (7, 92), siendo inclusive en algunos casos adaptado el método para trabajos de rutina (78).

La metodología original ha sido usada en condiciones tropicales. En América Central, Fassbender y colaboradores (38), al caracterizar las formas de fósforo en 110 muestras de suelos, clasificaron los mismos en dos grupos, uno compuesto de 80 muestras donde predominaba el fosfato de calcio; en las 30 restantes había predominancia de las formas aluminicas y férricas. En 17 perfiles de El Salvador (23) se verificó que en los suelos jóvenes había un contenido mayor de fosfatos aluminicos y cálcicos que en los suelos viejos. Estudios parecidos han sido ejecutados con suelos de Honduras (70) y Costa Rica (28).

Vieira y Bornemisza (112) al determinar los fosfatos inorgánicos en 12 perfiles de suelos de la Amazonía de Brasil, verificaron que la mayor parte de los fosfatos se encontraban en las

formas solubles en reductantes u ocluídos, siendo esos suelos altamente meteorizados. Recientemente, en suelos de otra región del Brasil (35), encontraron una predominancia acentuada de fosfatos inertes sobre los fosfatos solubles en agua, alumínicos, férricos y cálcicos.

En suelos tropicales de Colombia (7), se encontró que las formas de fósforo expresadas en porciento del contenido total decrecían en el siguiente orden: P-inerte>P-orgánico>P-Fe>P-Al>P-Ca (no apatita)>P-Ca (apatita)>P-fácilmente reemplazable; como se puede verificar en ese caso, se usó la metodología de Chang y Jackson modificada. En Venezuela (115) y Perú (107) también han sido realizados estudios similares.

En el continente Africano (Nigeria) se destaca el trabajo llevado a cabo por Enwezor y Moore (27) quienes evaluaron el estado del fósforo en suelos de sabana y de floresta.

Los resultados obtenidos en el fraccionamiento de los fosfatos han sido correlacionados con relativo éxito con las cantidades de fósforo extraídas por las plantas y también por extractores químicos (38, 44, 58, 76, 82, 83, 94).

2.3 Disponibilidad de Fósforo

Para la evaluación de la fracción de fósforo en suelo considerada como disponible para las plantas, se usan métodos químicos y pruebas biológicas; frecuentemente se asocian estos dos métodos. Las pruebas biológicas pueden ser realizadas en el laboratorio con determinados microorganismos, en invernadero usando ensayos en macetas o en el propio campo utilizando plantas indicadoras o

el propio cultivo de interés. Los métodos químicos comprenden los que determinan los contenidos de nutrimentos en los tejidos de la planta y los que evalúan determinada fracción de un elemento en el propio suelo.

La aplicación de los métodos químicos se remonta hasta los principios de la llamada química agrícola, cuando se trató de aplicar los fundamentos de la química en el análisis de suelos. Se comenzó por determinar los contenidos totales con el objetivo de predecir respuestas de los cultivos a la aplicación de abonos específicos naturalmente con fines de fertilización; infelizmente, en el caso particular del fósforo y también de otros nutrimentos este primer procedimiento no tuvo éxito.

El paso siguiente en la evolución de los métodos químicos resultó del descubrimiento que las raíces de las plantas excretaban ácido cítrico, el cual tendría cierta capacidad de solubilizar los fosfatos naturales, entonces se pasó a extraer ese elemento usando como solución extractora el ácido cítrico pero como en el caso anterior, sin llegar al éxito deseado.

Desde aquel entonces y hasta el presente han sido y son utilizadas una infinidad de soluciones extractoras, tanto ácidas como alcalinas. Algunos de estos métodos químicos son bastante generalizados como sucede en el caso de los extractores de Mehlich, Bray y Kurtz, Olsen, Truog, Egner-Riehm y otros. De manera general todas estas soluciones extractoras requieren una calibración mediante pruebas biológicas casi siempre de invernadero, además se deben estandarizar la relación suelo:solución y también

el tiempo de contacto. En los trabajos de calibración se han conseguido correlaciones bastante elevadas y en la mayoría de los casos se puede predecir con cierta seguridad la respuesta de la planta en un determinado nivel de fósforo en el suelo.

Sin embargo, todos esos métodos además de presentar el inconveniente de disturbar el suelo, son técnicas relativamente empíricas pues en realidad la fracción de fósforo que extraen y que es denominada como disponible no es un compuesto definido y debe provenir indistintamente de las diferentes fracciones que se presentan en el suelo, es decir provendría de la reserva existente.

Innegablemente, es un hecho reconocido que diferentes soluciones extractoras vienen siendo usadas con éxito. Hay inclusive programas de alcance internacional que las utilizan en gran escala (114).

Recientemente, tratando de dar una explicación más cabal a las relaciones que se manifiestan en el sistema suelo-planta, y en ausencia de disturbación, se han propuesto métodos basados en conceptos físico-químicos que consideran los factores Intensidad, Velocidad y Capacidad, los cuales se deducen a partir de los productos de solubilidad y que en última instancia permiten el cálculo de los denominados potenciales químicos de los fosfatos (91).

El concepto de intensidad, se refiere a la actividad iónica, en el caso particular el ión fosfato en la solución edáfica y en un momento dado (34). El concepto capacidad engloba las

reservas de fósforo en el suelo que alimentan en un determinado flujo a la solución edáfica, finalmente el concepto cinético se referiría a la velocidad con que se repone a la solución del suelo los iones absorbidos por las raíces.

El concepto potencial fosfato, se refiere a la fuerza o energía con que el suelo retiene a ese elemento, de la misma manera que el agua cuando se le mide en la escala de pF (88).

Con la aparición de la energía atómica, que permitió elaborar una gama de radioisótopos, el fósforo 32 ha venido siendo usado mediante la técnica de intercambio isotópico, en una tentativa de elucidar más claramente las relaciones suelo-planta. La medición del fósforo isotópicamente cambiante se fundamenta en el principio de dilución isotópica.

La dilución isotópica se refiere al hecho de que si se agrega fósforo radiactivo ^{32}P a un sistema con ^{31}P , el primer elemento se distribuye en toda el área donde se produce la difusión (60, 88). Las técnicas de intercambio isotópico de uso más corriente son las relacionadas, al valor 'E', 'L' y 'A', de las tres solamente la primera no involucra el uso de plantas.

El valor 'E' ha sido definido como la cantidad de fósforo en la superficie del suelo que es intercambiable con el ortofosfato agregado en solución y que se mide bajo condiciones de laboratorio (42). Este valor ha sido usado como una aproximación para estimar la disponibilidad de fósforo en los suelos.

El valor 'L' se define como la cantidad de fósforo en el suelo y en la solución edáfica que es intercambiable con iones

ortofosfato agregados y que se mide en una planta creciendo en el sistema. Este método tiene la ventaja de que las condiciones bajo las cuales se mide son idénticas a las que somete la planta, realzando de esta manera en mayor grado las relaciones sue-
lo-planta.

Mientras que los valores presentados son específicos para el fósforo, el valor 'A' puede ser usado como cualquier nutrimento y se refiere a la cantidad disponible existente en el suelo que se mide en términos de un estandar de fertilizantes (42, 105).

Ultimamente se han venido usando en el estudio de la disponibilidad de fósforo, las resinas de intercambio aniónico, con-
siguiendose correlaciones bien elevadas entre el fósforo adsor-
bido por las resinas y el fósforo absorbido por las plantas (75).

2.4 Fijación de Fósforo por el Suelo

Según Hemwall (46), el fenómeno de fijación de fósforo por los suelos fue observado por primera vez en Europa alrededor de 1850 cuando se verificó que los suelos tenían la propiedad de re- tener este elemento; hace referencia además, que en los Estados Unidos llegaron a conclusiones semejantes poco después de 1900, pero sin embargo, los mayores progresos para el entendimiento de este fenómeno se remonta a los últimos 25 años. Este proceso es también denominado de retención o adsorción aunque implican o se refieren a fenómenos diferentes.

Adsorción se refiere en forma específica a las fuerzas elec- trostáticas de la superficie de los coloides minerales y orgánicos

que atraerían al ión ortofosfato. Retención puede ser considerada como consecuencia de reacciones químicas del mismo ión con Al^{+++} , Fe^{+++} y Ca^{++} que tendrían lugar bajo condiciones ácidas o alcalinas (31, 33, 56, 95, 103, 105, 118).

Hibbard (47), en 1935 al estudiar el fenómeno llegó a conclusión de que los factores que lo influían eran por orden de importancia: el pH, el Ca^{++} y las relaciones SiO_2/R_2O_3 de los coloides del suelo. Este autor indica además que para controlar la retención era necesario adicionar NH_4^+ , sales de sodio o soluciones de silicio, seguramente estas aseveraciones fueron consecuencia de haber trabajado en suelos donde predominaba el ión calcio.

Karin y Khan (57), señalan que la adsorción de fosfatos aumento con la elevación del pH de 4,0 a 5,3, a partir de este valor tendría lugar una disminución; además, habría una relación entre el pH y los sesquióxidos de fósforo.

Tisdale y Nelson (105), señalan que los factores que influyen en la retención de fosfatos serían:

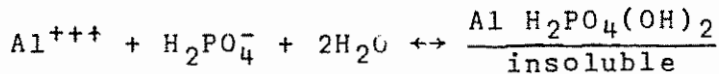
- a. Tipo de mineral arcilloso, los del tipo 1:1 serían más activos para adsorber este elemento.
- b. Tiempo de reacción.
- c. pH del suelo o reacción del medio.
- d. Temperatura.
- e. Materia orgánica y
- f. El estado del fósforo en un determinado momento, la relación R_2O_3/P_2O_5 ha demostrado tener también gran importancia.

Para condiciones ácidas, Hemwall (46) señala que la retención se debería a la formación de compuestos insolubles de hierro y aluminio, provenientes de los minerales primarios o de los minerales arcillosos y aparentemente esta reacción tendría lugar en períodos relativamente cortos (88).

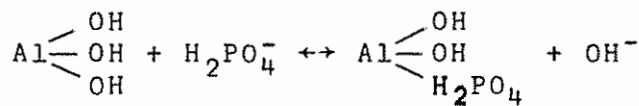
Buckman y Brady (13), al referirse al aprovechamiento de fósforo en suelos ácidos y alcalinos, aseguran que la disponibilidad de este elemento estaría acondicionado por el siguiente tipo de reacciones químicas:

a. En condiciones ácidas:

a.1 Precipitación (retención)

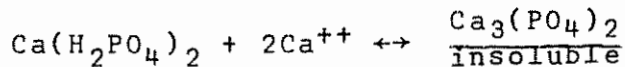


a.2 Fijación por óxidos hidratados (adsorción)

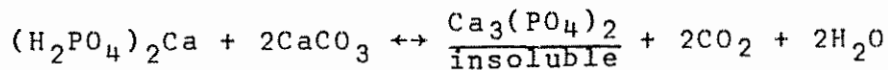


b. En suelos encalados o alcalinos

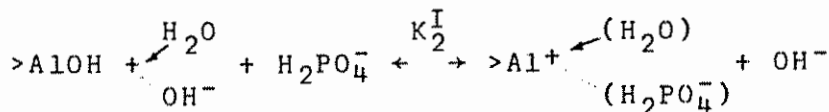
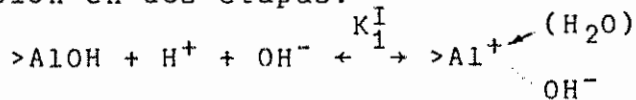
b.1 Reacción con el ión Ca^{++}



b.2 Reacción con el carbonato de calcio



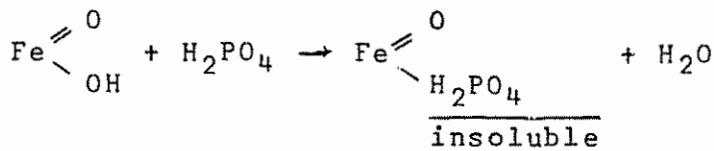
En la adsorción de fosfatos se ha señalado (71) la siguiente reacción en dos etapas:



donde K_1^I sería la constante de equilibrio para la hidrólisis del

OH y K_2^I es la constante de equilibrio para la reacción de intercambio. El símbolo \swarrow representa el enlace coordinado y el enlace electrovalente.

Malavolta (63), presupone que en suelos ácidos tendría lugar la siguiente reacción entre el óxido hidratado de hierro y el fósforo soluble de la solución edáfica.



La evaluación de la capacidad de fijación de fósforo por los suelos ha sido un tópico extensamente explorado, principalmente a base de trabajo de laboratorio. Se han sugerido varios métodos inclusive algunos estandarizados como el de Waugh y Fitts (114), que consisten básicamente en la incubación de muestras de suelos con cantidades crecientes de fósforo, siendo calculada la magnitud de la fijación por diferencia entre lo aplicado y extraído por un método químico determinado. Según los autores, al representar gráficamente los resultados obtenidos es posible calcular un valor determinado de 'X' que sería una aproximación de la cantidad que se debe sobrepasar para satisfacer la capacidad fijadora del suelo y contar con una fracción disponible para las plantas.

Fassbender e Igue (36), comparando métodos radiométricos y colorimétricos para determinar la capacidad de retención en tres suelos de Costa Rica encontraron una correlación bastante estrecha y significativa entre ambos métodos. Machado Gracio (62), en un

estudio parecido comparó un método radioquímico con un método biológico (extracción biológica) encontrando también una buena correlación entre ambos métodos, con la particularidad que el primero evidenciaba cantidades fijadas más elevadas; además, encontró que la retención en los suelos estudiados era función de las cantidades de óxidos libres de hierro y de las relaciones P/Fe_2O_3 y SiO_2/Fe_2O_3 .

En estudios relativos a la adsorción de fosfatos por los coloides del suelo, Fassbender (29), y Woodruff y Kamprath (120), han usado con cierto éxito la isoterma de Langmuir; sin embargo, el primer autor encontró que la capacidad de desorción no correspondía a la real y solo representaba una fracción del fósforo retenido, concluyendo que en los suelos estudiados, la retención o precipitación del fósforo sería mucho más importante que la adsorción (29).

A través de la evaluación de la capacidad de fijación de fósforo con métodos de laboratorio, diversos investigadores (16, 30, 33, 36, 62) han concluido que las cantidades fijadas de este nutriente eran de manera general bastante elevadas. Realmente son pocos los trabajos donde la parte de laboratorio haya sido comprobada o comparada con resultados de pruebas biológicas (62, 120). También es interesante señalar que en pocos trabajos se distingue o se determina el punto 'X' de inflexión que demuestra una saturación de la capacidad fijadora (114).

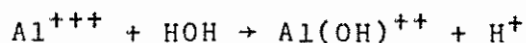
2.5 Influencia del Encalado en las Formas y Fijación de Fósforo

El encalado es una de las prácticas más antiguas (88) y con utilización más frecuente en las zonas templadas; en suelos de las regiones tropicales su uso además de ser restringido ha sido un aspecto menos estudiado y presenta en el momento cierta desconfianza por parte de algunos investigadores. Ignatieff y Page (51) afirman que hay una diferencia entre la cantidad de enmienda para corregir la acidez de suelos tropicales y suelos de las regiones templadas.

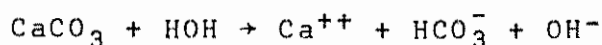
Los conocimientos relativos a la acidez del suelo han sufrido últimamente cambios sustanciales como lo ha demostrado Bornemisza (9), sobre el encalado en suelos tropicales, Martini (65), hace especial referencia a los informes de Bennema sobre las deficiencias de potasio, magnesio, fósforo y elementos menores que habían sido provocadas por el encalado seguramente excesivo.

Kamprath (55), y Bornemisza (9), han llamado la atención sobre la importancia del aluminio cambiante en la acidez de los suelos, presentando el primer autor las tres siguientes reacciones que tendrían lugar en la neutralización de la acidez del suelo:

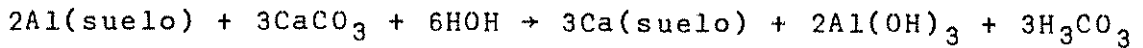
- a. Reemplazo del aluminio intercambiable y su hidrolización en la solución edáfica



- b. Adición de carbonato de calcio



c. Neutralización de un suelo ácido por la cal



Estudios parecidos sobre la influencia del encalado en la reducción del aluminio y hierro cambiabile y en la elevación del pH del suelo han sido realizados en nueve perfiles de Panamá por Ríos, Martini y Tejeira (85). Además han sido realizados estudios semejantes por Bornemisza, Laroche y Fassbender (11), Piñeres (79) y Plucknett (81).

Específicamente en relación a la influencia del aluminio en la disponibilidad de fósforo en un trabajo de Foy citado por Kamprath (55) y realizado en soluciones nutritivas se verificó que era necesaria una mayor concentración de fósforo para conseguir un desarrollo normal de las plantas cuando el aluminio estaba presente.

2.5.1 El encalado y las formas de fósforo

Sobre este particular aparentemente la literatura es bastante limitada. Kaila (53, 54) al incubar suelos minerales con diferentes cantidades de cal y en un caso combinado la aplicación de fósforo, llegó a la conclusión que el encalado tendió a aumentar la fracción inorgánica de fósforo soluble en NH_4Cl , aumentando también las fracciones solubles en ácidos decreciendo en cambio la fracción soluble en alcalí. Awar (4), en suelos de Honduras verificó que la aplicación de cal liberó fósforo orgánico aumentando también la eficiencia de los fertilizantes fosfatados.

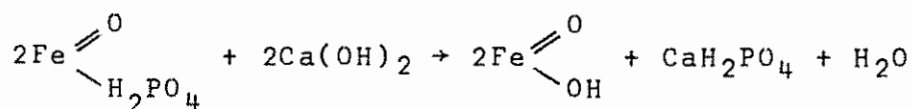
En suelos de Costa Rica se verificó que el encalado no tenía influencia acentuada en las formas inorgánicas de fósforo (37).

2.5.2 El encalado y la disponibilidad de fósforo

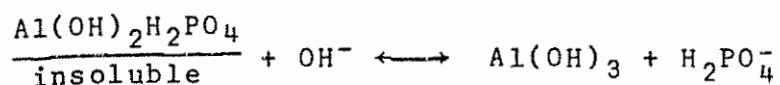
Según Fassbender y Molina (37), a través del uso de enmiendas calcáreas se debe mejorar la disponibilidad de fósforo para las plantas por:

- a. Redistribución de los fosfatos inorgánicos debido a la hidrólisis de los fosfatos de hierro y aluminio con la consecuente formación de fosfatos de calcio de mayor grado de solubilidad.
- b. Activación en la mineralización de los fosfatos orgánicos
- c. Reducción de los procesos de fijación
- d. Aumento de la actividad iónica del fósforo en la solución del suelo.

Sobre el mismo aspecto, Malavolta (63) al realizar estudios sobre el efecto del encalado en el aumento de la disponibilidad del fósforo por medio del valor 'A' en suelos de sabana del Brasil, encontró que la disponibilidad de este elemento aumentaba como consecuencia de un pretratamiento con cal y señala que la liberación del fósforo se procesaría por la siguiente reacción:



Buckman y Brady (13) presentan la reacción que sigue y que concurriría positivamente para aumentar la disponibilidad de fósforo:



2.5.3 El encalado y la fijación de fósforo

Uno de los primeros pensamientos que surgen a raíz de la importancia que desempeña el pH en el fenómeno de la fijación del fósforo, se relaciona a enmiendas que reduzcan la intensidad del fenómeno. En el caso particular de los suelos ácidos, la aplicación de cal jugaría un papel preponderante, pero sin embargo no todas las investigaciones realizadas llevan a los resultados esperados.

Woodruff y Kamprath (120) verificaron que cuando se encaló a un suelo con alto contenido de aluminio cambiante solo se necesitaba añadir la mitad del fósforo para obtener el máximo de desarrollo de plantas de sorgo. Trigo (107), después de realizar trabajos de laboratorio con suelos de la selva peruana, llegó a la conclusión que el encalado reducía la fijación y aumentaba la disponibilidad de fósforo.

A iguales resultados llegaron Toth y Bear (106), con la particularidad que la fijación determinada en laboratorio se reducía a un 50% por el encalado, pero aun en esta situación la cantidad denominada de fijada era todavía elevada.

Fox, Dadata y Wang (41), informan que pequeñas aplicaciones de Ca(OH)_2 en suelos extremadamente ácidos de Hawaii y con bastante aluminio cambiante tuvieron como resultado una gran

absorción de fósforo por diferentes plantas indicadoras, observándose al mismo tiempo una reducción en la absorción de aluminio. Sin embargo, cuando se elevó el pH a valores alrededor de 7 se manifestó una drástica reducción en la absorción de fósforo.

Fassbender y Molina (37), señalan que la capacidad de fijación disminuye con el encalado hasta pH 5,8 pero a partir de este valor aumentaba nuevamente la magnitud de la retención. Estos mismos autores también indican que la solubilidad de fosfatos evaluada a través de parámetros físico-químicos sufrió un aumento debido al encalado.

Sin embargo, es interesante hacer notar que no todos los trabajos realizados con la finalidad de medir la influencia del encalado en la disponibilidad y fijación de fósforo son uniformes y concordantes con los citados anteriormente. Así, Murman y Peech (73), señalan que el encalado provocaría una reducción en la solubilización del fósforo, habiendo en estos casos formación de fluorapatita, mineral este que sería el producto final de la reacción o reacciones cuando se aplica superfosfato al suelo.

Hortenstine (48), encontró que, la producción de avena aumentó linealmente cuando se aplicaron aproximadamente de 1500 a 4500 kg/ha de cal y al mismo tiempo de 25 a 125 kg/ha de fósforo, pero su absorción decrecía considerablemente conforme aumentaba el encalado. Este hecho demuestra la importancia de tener o tomar las precauciones necesarias en lo que respecta a la cantidad aplicada cuando se pretende aplicar enmiendas calcáreas en suelos ácidos.

Mare (64), en experimento realizado en macetas, obtuvo un rápido crecimiento de sorgo debido a la aplicación de fósforo, pero en cambio, el encalado realizado en la capa arable no modificó la respuesta y la forma de la curva y más aún cuando se aplicaron dosis elevadas hubo una reducción en la producción de las plantas.

Barrows (6), al mezclar calcita en suelos ácidos que contenían cantidades elevadas de fósforo, aluminio y hierro e incubando las mismas por 12 meses, concluyó que las partículas de enmienda reaccionaban con el fósforo de la solución edáfica, resultando como consecuencia un recubrimiento en la superficie de estas partículas que reducía la eficiencia de la enmienda por la reducción de la velocidad de disolución.

3. MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó en los laboratorios y umbráculo del Departamento de Fitotecnia y suelos del CEI, Turrialba, Costa Rica y se utilizaron los materiales y métodos descritos a seguir.

3.1 Suelos

Se utilizaron muestras de suelos de ocho perfiles representativos de la región cacaotera de Bahía, caracterizados para fines de relevamiento bajo la denominación provisoria de Cepec, Itabuna, Hidromórfico, Rio Branco, Itamirim, Nazaré, Valença y Colônia (96, 97). En la nueva clasificación de suelos (110), estos perfiles se encuentran distribuidos en las órdenes: Alfisol (Cepec e Itabuna), Ultisol (Nazaré), Inceptisol (Rio Branco), Vertisol (Itamirim), Oxisol (Valença y Colônia) y el suelo Hidromórfico, todavía no encuadrado.

Los ocho perfiles de suelos fueron muestreados por técnicos del Sector de Pedología del Centro de Pesquisas do Cacau (CEPLAC) y cedidos para la presente investigación. Pueden obtenerse mayores informaciones en los trabajos de Olmos (74) y Silva et al. (97), y en el transcurso del trabajo se usará con mayor frecuencia la denominación provisoria.

Los perfiles de suelos utilizados en el corriente estudio, además de ser representativos, son de suma importancia para el cultivo de cacao en Brasil pues en cuatro de ellos se encuentran la mayoría de las plantaciones de ese cultivo (Cepec, Itabuna, Rio Branco e Hidromórfico).

En la segunda parte de la investigación, se utilizaron muestras compuestas de suelos retiradas en la profundidad de 0 - 20 cm y de los mismos locales donde habían sido muestreados los ocho perfiles.

Los perfiles de suelos habían sido caracterizados con anterioridad en el propio Brasil, utilizando la técnica propuesta y desarrollada por Vettori (111) que comprende: análisis de tamaño de partículas, determinación de la humedad equivalente, evaluación de los contenidos totales de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 con sus respectivas relaciones, contemplando además, la determinación del pH, relación C/N, suma de bases, acidez cambiante, capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases.

3.2 Determinación del Fósforo Total y de las Fracciones Inorgánicas

El fósforo total, fue determinado por duplicado, siguiendo el método de Ulrich, Hempler y Benzler (109), basado en el ataque de 100 mg de suelo con una mezcla de ácidos nítrico, clorhídrico, sulfúrico y perclórico, siendo determinado el fósforo por colorimetría en solución ácido sulfomolibdico y cloruro estañoso como reductor, realizándose las lecturas a 660 m μ (λ).

Para la caracterización de los diferentes fosfatos inorgánicos, se siguió la metodología propuesta por Chang y Jackson (19), con las modificaciones realizadas por Chang, Chu y Erh (21), que facilitan considerablemente la determinación de la fracción soluble en reductante y los fosfatos ocluidos.

El método de Chang y Jackson (19), se basa en la extracción sucesiva de los fosfatos inorgánicos, a saber: los fosfatos solubles en agua, extraídos con NH_4Cl 1 N, los fosfatos aluminicos con NH_4F 0,5 neutro, los fosfatos férricos, con NaOH 0,1 N y los fosfatos cálcicos con H_2SO_4 0,5 N. Para la extracción de los fosfatos solubles en reductante, se utilizaron $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ 0,3 M, NaHCO_3 M, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ en forma sólida, FeCl_3 0,5 M y NaOH 1 N para precipitar el exceso de hierro; siendo extraídos posteriormente las formas ocluidas con NaOH 0,1 Normal.

Se utilizó 0,5 g de suelo y 25 ml de solución extractora por duplicado, permaneciendo siempre constante la relación suelo-solución. A partir de la extracción de los fosfatos de aluminio, se usaron entre cada extracción, lavados con 25 ml de solución saturada de NaCl para retirar el exceso de solución extractora.

El fósforo orgánico fue calculado por diferencia entre el contenido de fósforo total y la suma de las fracciones inorgánicas.

Todos los valores encontrados para el fósforo total y las diferentes fracciones fueron objeto de corrección de acuerdo a la humedad gravimétrica y utilizando la siguiente fórmula:

$$M_p = \frac{M}{1 + \frac{H_g}{100}}$$

donde:

M_p = Masa de suelo seca a $105^\circ\text{-}110^\circ\text{C}$.

M = Masa de suelo seco al aire

H_g = Humedad gravimétrica

3.3 Determinación de las Necesidades de Cal y Encalado de los Suelos

Para el cálculo de la cantidad de enmienda requerida para cada suelo, se siguió el método de las curvas de titulación según la técnica desarrollada por Abruña y Chandler (1). Básicamente, este método consiste en adicionar a cantidades constantes de suelo, alicuotas crecientes de una solución de Ca(OH)_2 de concentración conocida, la equilibración es acelerada por la ebullición del sistema suelo-solución, siendo controlado el pH con un potenciómetro.

Previamente a los trabajos realizados con las muestras superficiales (0 - 20 cm) aproximadamente la mitad de cada una de ellas recibió una mezcla conteniendo óxidos de calcio y magnesio en la proporción 4:1 (59), de acuerdo a las curvas de titulación respectivas y donde se escogió arbitrariamente el pH 7 como punto de referencia. Posteriormente las muestras encaladas y sin encalar fueron humedecidas e incubadas por el espacio de 40 días. Completado este espacio de tiempo las muestras fueron secadas a la sombra, siendo posteriormente molidas y pasadas por tamiz con 2 mm de abertura de malla.

En la totalidad de las muestras superficiales, se determinaron el fósforo total y las fracciones inorgánicas utilizando la misma metodología usada en los ocho perfiles de suelos. Además se determinaron el contenido de nitrógeno, de carbono, la capacidad de intercambio catiónico, la suma de bases y sus partes, el aluminio extraíble, obteniéndose por diferencia el hidrógeno en

el complejo; el pH fue medido en agua y en solución de CaCl_2 0,01 M. De manera general, en todos estas determinaciones fueron seguidos los métodos adoptados por Müller et al. (72).

3.4 Determinación de la Disponibilidad de Fósforo

Para la evaluación de la disponibilidad de fósforo en los ocho suelos superficiales en presencia y ausencia de encalado se utilizaron diferentes extractores químicos y también la absorción de ese elemento por plantas de sorgo (Sorghum vulgare) considerándose también la producción de masa, como variable de respuesta.

3.4.1 Extractores químicos

Los extractores químicos escogidos para determinar la fracción de fósforo disponible fueron los de Olsen, Truog, Egner-Riehm, y Mehlich en dos modalidades. Procediéndose de la siguiente manera:

Olsen: a 1 g de suelo se agregaron 20 ml de una solución NaHCO_3 0,5 M con pH 8,5 y 200 mg de carbón activado libre de fósforo, se agitó por 30 minutos, se filtró y determinó en el extracto el fósforo por el método del azul sulfomolibdico.

Truog: 1 g de suelo se agitó por 30 minutos con 200 ml de H_2SO_4 0,002 N que contenía 3 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ /litro, determinándose el fósforo de la misma forma que en el caso anterior.

Egner-Riehm: se agitaron 0,5 g de suelo con 25 ml de lactato de calcio 0,02 N con pH 3,8 durante 90 minutos, se centrifugó y en el extracto se evaluó el fósforo de la misma manera.

Mehlich ó de Carolina del Norte: fue utilizado de dos maneras, en la primera la relación suelo extractora fue 1:4 (5) y en la segunda la relación fue de 1:10; en esta segunda modalidad su uso es más generalizado principalmente en el Brasil (111). En los dos casos se usó como solución extractora el HCl 0,05 N y H₂SO₄ 0,025 N, el tiempo de agitación 5 minutos siendo determinado el fósforo de forma idéntica a los casos anteriores. La mayoría de estos métodos son descritos en el trabajo de Müller y colaboradores (72).

3.4.2 Ensayos biológicos

En la prueba biológica realizada para evaluar la disponibilidad y las respuestas de las plantas a dosis crecientes de fósforo se siguió la técnica propuesta por Stanford y Dement (102) aunque modificada en algunos aspectos. Esta técnica mediante el uso de pequeñas cantidades de suelo permite obtener respuestas biológicas en cortos períodos de tiempo.

La primera modificación introducida consistía en usar un sólo recipiente plástico en lugar de los dos propuestos, en segundo lugar fue dilatado el tiempo de duración del experimento a fin de permitir respuestas en términos de masa seca, en tercer lugar la capa de suelo fue localizada entre dos capas horizontales de arena lavada para aumentar el volúmen de aprovechamiento de las raíces y para evitar la pérdida de agua; finalmente la irrigación fue realizada por infiltración a partir de la parte inferior del recipiente.

Previamente a la adopción de esta técnica y de las modificaciones presentadas, fue realizada una prueba con suelo de Costa Rica y con dos plantas indicadoras a saber, el tomate (Lycopersicon esculentum) y el sorgo (Sorghum vulgare). Los resultados de esta prueba permitieron escoger la planta de sorgo por producir mayor cantidad de masa y además se comprobó que la capa superior de arena funcionaba como 'mulching' evitando de esa manera la pérdida de agua, lo que realmente es importante en ensayos de invernaderos. La variedad de sorgo usada era el híbrido 'C-147' producido en Kansas-Illinois y que presentó un índice de germinación y pureza superior a 95%.

Por cada suelo fue usado el diseño de tratamientos factorial 2 x 4 en arreglo irrestrictamente al azar con 2 repeticiones. Los tratamientos resultaron de la combinación de las variables cal en dos niveles y fósforo en cuatro niveles, a saber: 0, 75, 150 y 225 ppm de fósforo (0, 343, 686, y 1029 kg/ha de P_2O_5 , respectivamente), aplicados en la forma de $NH_4H_2PO_4$ p.a.

Cada unidad experimental constaba de una maceta con 180 g de suelo con 5 plantas de sorgo. El suelo se encontraba localizado entre dos capas de arena lavada y fue humedecido antes de recibir los nutrientes.

En la totalidad de las parcelas se aplicaron dosis de nitrógeno y potasio a razón de 200 y 140 kg/ha respectivamente. Oligoelementos a razón de 7 kg/ha de $ZnCl_2$, 5 kg/ha de $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, 5 kg/ha de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 10 kg/ha de $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, 1 kg/ha de $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ y 10 kg/ha de $FeC_6H_5O_7 \cdot 3H_2O$. La dosis media aplicada

de potasio fue calculada teniendo en cuenta los contenidos en bases divalentes y de manera a tener una relación $Ca^{++} + Mg^{++}/K^{+}$ de aproximadamente 30. Todos los elementos nutritivos fueron aplicados en solución. Como el fósforo, fue utilizado en la forma de fosfato dehidrogenado de amonio, hubo necesidad de hacer un cálculo compensatorio en relación al nitrógeno para tener dosis idénticas de ese elemento en todos los tratamientos. Se consideró una semana de equilibración antes del transplante de las cinco semillas germinadas.

Durante el desarrollo las plantas de sorgo fueron regadas con agua desionizada y se hicieron rotaciones semanales en la localización de experimentos y macetas con la finalidad de controlar cualquier efecto de local.

A los 25 días del transplante, se cosecharon las partes aéreas de las plantas. Enseguida, se lavaron con agua desionizada, posteriormente fueron colocadas a secar a la temperatura de 50-55°C por 48 horas, se registraron las masas respectivas en balanza analítica, se molieron en un molino Wiley y se almacenó el material en frascos de vidrio.

La determinación de la concentración de fósforo en las partes aéreas fue realizado después del ataque nitroperclórico en 200 mg de muestra siendo evaluado ese nutrimento en una alícuota por el método del azul sulfomolibdico. El contenido de fósforo se obtuvo multiplicando el porcentaje por la masa seca de la parte aérea.

Para efecto de interpretación estadística, fueron considerados la masa seca de las partes aéreas y los contenidos de fósforo en las mismas.

3.5 Determinación de la Capacidad de Fijación de Fósforo

Para la evaluación de la capacidad de fijación de fósforo en las muestras superficiales (0-20 cm) se siguió la metodología utilizada por Fassbender e Igue (36) que consiste en agitar por espacio de seis horas, 0,5 g de suelo con 25 ml de una solución conteniendo 100 ppm de P/ml. Después, se centrifuga para separar las fases sólida y líquida; siendo el fósforo determinado en el sobrenadante con solución ácida de sulfomolibdico y cloruro estannoso como reductor. El fósforo fijado es calculado por diferencia entre lo aplicado y lo encontrado en el sobrenadante. Fue utilizado como fuente, el fosfato monopotásico p. a. (KH_2PO_4).

Con fines de interpretación, los resultados aquí obtenidos fueron comparados con el análisis de tendencia para las diferentes dosis de fósforo aplicado en el ensayo biológico.

3.6 Análisis e Interpretación Estadística

Los análisis de correlación lineal y cuadrática, así como los análisis de variancia del ensayo biológico fueron procesados en el Centro de Cálculo Electrónico de la Universidad de Costa Rica con el auxilio de una computadora IBM, modelo 1620.

En el análisis de variancia por suelo, fue utilizado el modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \xi_{ijk}, \text{ donde:}$$

Y_{ijk} = variable de respuesta
 μ = media general
 α_i = efecto del nivel 'i' de fósforo
 β_j = efecto del nivel 'j' de cal
 $(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto conjunto de α y β .
 ξ_{ijk} = componente aleatório
 i = 1, 2, 3, 4
 j = 1, 2
 k = 1, 2

En el análisis de variancia conjunta de los ocho ensayos, se obedeció al siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \xi_{ijkl},$$

donde:

Y_{ijkl} = variable de respuesta
 μ = media general
 α_i = efecto debido a suelos 'i'
 β_j = efecto del nivel 'j' de fósforo
 γ_k = efecto del nivel 'k' de cal
 $(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto conjunto de $\alpha\beta$
 $(\beta\gamma)_{jk}$ = efecto conjunto de $\beta\gamma$
 $(\alpha\gamma)_{ik}$ = efecto conjunto de $\alpha\gamma$
 $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = efecto conjunto de $\alpha\beta\gamma$
 ξ_{ijkl} = componente aleatório
 i = ocho suelos
 j = 1, 2, 3, 4,
 k = 1, 2
 l = 1, 2

Posteriormente al análisis de variancia de los experimentos, fueron realizadas comparaciones de clases, utilizando la prueba de Tukey en el caso de los suelos y también comparaciones de tendencias para las dosis de fósforo.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Características Generales de los Perfiles de Suelos

En el Cuadro 1 del apéndice están presentadas las características físico-químicas de los suelos utilizados en la presente investigación. Estos suelos habían sido descritos y caracterizados con anterioridad para fines de relevamiento por Olmos (74) y Silva et al. (96, 97) siendo denominados conjuntamente tanto por su nombre corriente o en función a las órdenes a que pertenecen según la última clasificación de suelos (110).

El número de horizontes por perfil oscila entre seis y siete en la totalidad de los casos; la profundidad descrita varía desde 75 cm en suelo de la Unidad Rio Branco (Inceptisol) hasta más de 200 cm en uno de los oxisoles.

La humedad equivalente varía en el rango 15,3% a 46,2% con un promedio global de 28,2% y con promedios para los horizontes A, B, y C de 23,6%, 37,0% y 30,3%, respectivamente. La textura promedio de todas las muestras es franca arcillosa, habiendo una clara distinción entre horizontes, comenzando como franco arcillo-arenoso en el horizonte A, arcilla en el B y franco arcilloso en el horizonte C.

Los contenidos totales de óxidos de silicio, aluminio y hierro, demuestran que el primero participa en mayor porcentaje en la composición de estos suelos (15,90%), siendo seguido del óxido de aluminio (14,60%) en cuanto que el óxido de hierro se presenta en menor proporción (11,30%). Aparentemente los contenidos de óxidos por horizontes guardan cierta relación con la textura y en

promedio las relaciones K_i , K_r y Al_2O_3/Fe_2O_3 dieron valores de 2,1; 1,35 y 1,68.

El pH en agua presenta un rango de variación que oscila en tre 4,5 a 6,9 con un promedio general para todas las muestras de 5,6. Se verifica en forma bastante clara una reducción de los valores de pH con la profundidad, el promedio de los horizontes A presenta un pH de 6, el B de 5,4 y el C de 5,2 pero aún con es tos antecedentes los suelos poseen una acidez media (108). El pH medido en solución normal de cloruro de potasio presentó un promedio general de 4,7 mostrando condiciones de fuerte acidez (90). También en este caso se verifica un aumento de la acidez con la profundidad; los valores de pH encontrados fueron en pro medio 5,00; 4,60 y 4,20 para los horizontes A, B y C, respectivamente.

El carbono se presentó en promedio con un porcentaje de 0,8 y con un rango de variación de 4,22% a 0,11% no existiendo predo minancia de suelos orgánicos en el grupo de muestras estudiadas. Al igual que las variaciones de los valores de pH con la profundidad se nota una disminución esperada del porcentaje de carbono en los horizontes inferiores. El nitrógeno se presenta con un valor promedio de 0,099% y con valores promedio por horizonte de 0,166% para el A, 0,070% para los B y 0,042 para los C; verificándose también una disminución que acompaña en tendencia a la materia orgánica.

La relación C/N se presentó con un valor promedio de 8,5 habiendo sido encontrada también una variación por horizontes en

los diferentes perfiles. Se puede considerar que en promedio la relación C/N en los horizontes A es satisfactoria, tomando en cuenta las aseveraciones de Hardy (45). Fassbender (34) ha señalado que esta relación debe tener determinados reflejos sobre la descomposición de la materia orgánica y en la mineralización de nutrimentos.

La suma de bases (valor S) totaliza en promedio 6,62 meq/100 g, notándose una variación amplia entre muestras, los valores oscilan entre 20,09 meq/100 g en el suelo Cepec (alfisol) a 0,42 meq/100 g en el suelo Colonia (Oxisol). De manera general los horizontes A presentan mayores valores de suma bases en cuanto que en los horizontes restantes presenta valores promedios prácticamente iguales. Los valores encontrados para este parámetro en promedio son superiores a los encontrados por Roeder y Bornemisza (86) en suelos del Estado de Maranhão en Brasil, pero en cambio inferiores a los estudiados por Morillo en Honduras (69).

Para la totalidad de las muestras el promedio de calcio intercambiable es de 2,37 meq/100 g de suelo, con valores de 3,95 meq/100 g para los horizontes A, 1,46 para los B y 1,55 para los horizontes C. Los suelos de las unidades Cepec y Rio Branco presentaron los mayores valores justamente en los horizontes superiores, contrariamente los suelos Colônia y Valença (Oxisoles) presentaron los menores contenidos. Considerando los límites de adecuación de Hardy y presentados por Smith (101), solamente los horizontes superficiales de los suelos Cepec y Rio Branco tendrían contenidos de calcio intercambiable satisfactorios.

El magnesio se presentó con un promedio general de 3,96 meq/100 g, habiéndolo sido encontrados en promedios pequeñas variaciones por horizonte, del orden de 3,96, 3,94, y 3,97 meq para los horizontes A, B y C, respectivamente. La relación Ca^{++}/Mg^{++} presentó los promedios 1,00 para los horizontes A, 0,36 para los B y 0,39 para los C.

Estos datos demuestran que el magnesio cambiáble se encuentra en mayores cantidades que el calcio cambiáble y probablemente esta anomalía deberá ser tomada en cuenta en la aplicación de enmiendas calcáreas, pues, seguramente deberán preferirse materiales con predominancia de carbonato de calcio sobre el carbonato de magnesio.

Considerando los niveles provisionales de Hardy, juntamente con todos los datos presentados en el trabajo de compilación de Smith (101), se verifica que solamente los oxisoles estarían abajo del límite de adecuación de magnesio cambiáble y aparentemente la predominancia de esta base sobre el calcio no ocurre en los suelos para cacao en Africa (101).

En promedio el potasio cambiáble se presentó con valores de 0,09 meq/100 g de suelo, siendo en este caso el rango de variación extremadamente grande, se encontraron valores de 0,54 meq/100 g en el suelo Cepec (Alfisol) y opuestamente 0,01 meq/100 g en el suelo Colônia. También en este caso se verificó una reducción de las cantidades de potasio cambiáble con el aumento de la profundidad, se encontró en promedio 0,13 meq para los horizontes A, 0,06 para los B y 0,07 meq/100 g para los C. Tomando en cuenta los niveles

provisorios de Cate (17), se puede considerar que en el horizonte A el potasio cambiabile se sitúa en el área media, habiendo obviamente casos en que este elemento se encontraría con valores denominados de altos. Por otro lado, se puede considerar en forma bastante generalizada que las cantidades cambiabiles de este nutri^umento son ligeramente menores que las encontradas en suelos de las regiones cacaoteras de Africa (101).

El aluminio cambiabile se presenta en promedio con 0,80 meq/100 g para todas las muestras de los ocho perfiles; al promediar valores por horizonte se verifica en forma contraria al pH un aumento de las cantidades de aluminio con la profundidad. Se encontró 0,37 meq/100 g de este elemento en los horizontes A, 0,79 meq/100 g en los horizontes B y 1,66 meq/100 g en los horizontes C. Se comprobó además que los suelos Cepec, Hidromórfico, Rio Branco, e Itamirim poseen cantidades pequeñas o moderadas de aluminio cambiabile presentando los suelos restantes valores más elevados. Según Cate (17) es deseable que el aluminio se encuentre en el complejo de cambio en valores mínimos o ausente. Cabala et al. (14) encontraron que los suelos de las plantaciones de cacao decadentes en el Estado de Bahía, las cantidades de aluminio eran mayores que en los suelos de plantaciones de cacao donde ese cultivo vegetaba satisfactoriamente.

Los valores elevados de hidrógeno en el complejo de cambio son altos y aparentemente no concuerdan con la realidad, deben ser consecuencia de valores no exactos de capacidad de intercambio catiónico, que resultan del uso de soluciones extractoras

con pH más elevado que el del suelo (34). Además posiblemente el uso del acetato de amonio normal y pH 7 lleva a valores todavía más elevados como consecuencia de factores aún poco esclarecidos (84).

En promedio la capacidad de intercambio catiónico para todas las muestras es de 10,96 meq/100 g verificándose también en este caso una variación entre horizontes pero aún así, la variación entre suelos es de gran importancia, pues, justamente en los suelos de mayor uso con el cultivo del cacao en Bahía, se sitúan arriba del límite señalado por Smith (101) y que corresponde a 12 o 13 meq/100 g de suelo.

El porcentaje de saturación de bases se presentó con un promedio de 48%, habiendo sido encontrado 61% en los horizontes A y 42% en los horizontes restantes. Los suelos Cepec, Itabuna, Hidromórfico, Rio Branco e Itamirim presentaron mayores porcentajes de saturación de bases, siendo que estudios realizados por Silva et al. (96, 97) demuestran que justamente los 4 primeros son los más indicados para la explotación del cultivo del cacao, el suelo Itamirim presenta limitaciones de profundidad y localización geográfica en áreas con menores precipitaciones (74).

4.2 Fósforo Total, Fósforo Orgánico y Formas Inorgánicas en los Ocho Perfiles de Suelos

En el Cuadro 1 constan las cantidades totales de fósforo encontradas para los diferentes horizontes de los ocho perfiles de la región cacaotera de Bahía utilizados en el presente estudio. En promedio se encontraron 983 ppm, notándose un aumento de las

CUADRO 1. Fósforo total, orgánico, inorgánico, porciento del fósforo total presente como orgánico y contribución porcentual del fósforo inorgánico en las fracciones respectivas en los ocho perfiles de suelos estudiados.

SUELO	Horizonte	P NH ₄ Cl	F ó s f o r o e n p p m								P-Org como % P-total	% de los Fosfatos Inorgánicos				
			P-Al	P-Fe	P-Ca	P-Red	P-Oclui	P-Inol	P-total	P-Org		P-Al	P-Fe	P-Ca	P-Red	P-Oclui
CEPEC (Alfisol)	A ₁	0	85	217	244	650	362	1558	3306	1748	53	5,4	13,9	15,7	41,7	23,3
	A ₃	0	87	139	169	554	464	1413	3050	1637	54	6,2	9,8	12,0	39,2	32,8
	B ₁	0	72	1214	162	592	459	2499	3583	1084	30	2,9	48,6	6,5	23,7	18,3
	B ₂	0	46	1094	130	693	448	2411	3692	1281	35	1,9	45,4	5,4	28,7	18,6
	B ₃	0	44	1102	105	818	480	2549	3409	860	25	1,7	43,2	4,1	32,0	19,0
	C ₁	0	84	1100	150	853	571	2758	5636	2878	51	3,0	39,9	5,4	30,9	20,8
	C ₂	0	118	1527	164	873	665	3347	6873	3526	51	3,5	45,6	4,9	26,0	20,0
ITABUNA (Alfisol)	A ₁	0	3	29	19	90	22	163	360	197	55	1,8	17,8	11,6	55,2	13,6
	A ₂	0	0	25	9	64	24	122	270	148	55	0,0	20,5	7,4	52,4	19,7
	A ₃	0	0	19	9	77	28	133	219	86	39	0,0	14,3	6,8	57,8	21,1
	B ₁	0	0	7	2	0	22	31	234	203	87	0,0	22,6	6,4	0,0	71,0
	B ₂	0	0	18	1	39	20	78	250	172	69	0,0	23,1	1,3	50,0	25,6
	C ₁	0	0	31	3	0	8	42	404	362	90	0,0	73,8	7,1	0,0	19,1
	C ₂	0	0	21	3	0	10	34	188	154	82	0,0	61,7	8,8	0,0	29,5
NAZARE (Ultisol)	A ₁	0	0	21	4	103	11	139	257	118	46	0,0	15,1	2,9	74,1	7,9
	A ₃	0	0	18	2	77	14	111	122	11	9	0,0	16,4	1,0	69,3	12,5
	B ₁	0	0	12	2	129	15	158	290	132	45	0,0	7,6	1,3	81,6	9,5
	B ₂	0	0	12	6	40	13	71	274	203	74	0,0	16,9	8,4	56,3	18,4
	B ₃	0	0	11	4	79	14	108	171	63	37	0,0	10,2	3,7	73,1	13,0
	C ₁	0	0	9	6	131	16	162	171	9	5	0,0	5,6	3,7	80,8	9,9
	C ₂	0	0	4	10	252	17	283	313	30	9	0,0	1,4	3,5	89,0	6,1
HIDROMORFICO	A ₁₁	2	10	32	6	0	15	65	409	344	84	15,3	49,2	9,2	0,0	26,3
	A ₁₂	2	8	33	16	0	13	72	504	432	86	11,1	45,8	22,2	0,0	20,9
	A _{1G}	0	0	24	9	0	18	51	301	250	83	0,0	47,0	17,6	0,0	35,4
	B _{2G}	0	0	26	8	0	32	66	489	423	86	0,0	39,4	12,1	0,0	48,5
	B _{3G}	0	0	24	17	0	31	72	388	316	81	0,0	33,3	23,6	0,0	43,1
	C _{1G}	0	0	31	126	0	37	194	639	445	71	0,0	16,0	64,9	0,0	19,1
	C ₂	0	6	116	380	206	47	755	1025	270	26	0,8	15,4	50,3	27,3	6,2
RIO BRANCO (Inceptisol)	A ₁	0	0	123	35	121	148	427	1560	1133	73	0,0	28,8	8,2	28,3	34,7
	A ₃	0	0	40	21	133	205	399	1487	1088	73	0,0	10,0	5,3	33,3	51,4
	B ₁	0	11	36	26	172	213	458	1660	1202	72	2,4	7,9	5,7	37,5	46,5
	B ₂	0	27	46	28	186	228	515	1766	1251	71	5,2	8,9	5,4	36,1	44,4
	B _{3-C}	0	48	53	42	159	242	544	1329	785	59	8,8	9,7	7,7	29,2	44,6
	C-D	0	115	46	46	159	276	642	2528	1886	75	17,9	7,2	7,2	24,7	43,0
ITAMIRIM (Vertisol)	A ₁₁	0	4	18	13	90	20	145	307	162	53	2,8	12,4	9,0	62,0	13,8
	A ₁₂	0	0	16	5	10	27	58	198	140	71	0,0	27,6	8,6	17,2	46,6
	A ₃	0	0	18	4	10	29	61	226	165	73	0,0	29,5	6,5	16,4	47,6
	B ₁	0	0	25	7	64	27	123	234	111	47	0,0	20,3	5,7	52,0	22,0
	B ₂	0	0	46	10	93	32	181	233	52	22	0,0	25,4	5,5	51,4	17,7
	B ₃	0	0	89	12	66	40	207	301	94	31	0,0	43,0	5,8	31,9	19,3
VALENÇA (Oxisol)	A ₁	0	0	5	14	163	18	200	514	314	61	0,0	2,5	7,0	81,5	9,0
	A ₃	0	0	4	9	196	28	237	307	70	23	0,0	1,7	3,8	82,7	11,8
	B ₁	0	0	2	8	136	36	182	320	138	43	0,0	1,1	4,4	74,7	19,8
	B ₂₁	0	0	3	11	214	35	263	348	85	24	0,0	1,1	4,2	81,3	13,4
	B ₂₂	0	0	2	8	250	33	293	388	95	24	0,0	0,7	2,7	85,3	11,3
	B ₃	0	0	0	7	172	40	219	518	299	58	0,0	0,0	3,2	78,5	18,3
COLONIA (Oxisol)	A ₁₁	0	5	11	3	10	4	33	90	57	63	15,1	33,3	9,1	30,3	12,2
	A ₁₂	0	0	12	3	0	5	20	140	120	86	0,0	60,0	15,0	0,0	25,0
	B ₁	0	0	11	3	10	6	30	81	51	63	0,0	36,6	10,0	33,3	20,1
	B ₂₁	0	0	15	4	25	9	53	158	105	66	0,0	28,3	7,5	47,1	17,1
	B ₂₂	0	0	18	4	10	10	42	357	315	88	0,0	42,8	9,5	23,8	23,9
	B ₃	0	0	18	7	76	8	109	127	18	14	0,0	16,5	6,4	69,7	7,4
	C	0	0	13	3	0	6	22	101	79	78	0,0	59,1	13,6	0,0	27,3
PROMEDIO GENERAL		0,0	14,6	143,1	39,6	166,9	105,7	470	983	513	55	2,0	24,8	9,5	39,5	24,0
Promedio	A	0,2	10,6	42,3	31,3	123,6	76,6	285	713	432	60	3,0	24,0	9,4	39,0	24,5
Promedio	B	0,0	10,3	161,8	25,6	167,6	103,9	469	858	389	44	0,9	22,2	6,5	44,9	25,4
Promedio	C	0,0	32,3	289,8	89,1	247,4	165,3	823	1787	964	53	2,5	32,6	16,9	27,9	20,1

cantidades de fósforo con la profundidad, correspondiendo 713 ppm para los horizontes A, 858 ppm para los B y 1787 ppm para los C. Los suelos Cepec y Rio Branco presentaron los mayores contenidos totales, en el primer caso se encontraron en promedio más de 4000 ppm en todo el perfil, en el segundo las cantidades fueron mayores a 1700 ppm; pudiéndose considerar al suelo Hidromórfico con cantidades intermedias de fósforo (+500 ppm) en relación a los demás.

Los cinco perfiles restantes presentaron contenidos de fósforo total inferiores a 500 ppm pero aún así nótase una secuencia decreciente en el siguiente orden: Valença (399 ppm)>Itabuna (275 ppm)>Itamirim (249 ppm)>Nazaré (228 ppm)>Colonia (150 ppm).

Sin tomar en cuenta la metodología empleada se puede considerar que las cantidades de fósforo total son mayores que las encontradas por Vieira y Bornemisza (112) en algunos suelos de la Amazonía del Brasil. Sin duda, en esta diferenciación influyeron grandemente los altos contenidos encontrados en los suelos Cepec, Rio Branco y en menor grado el Hidromórfico. Al tomar en cuenta los suelos con menores cantidades de fósforo total el panorama cambia, siendo en este caso menores diferencias con los suelos estudiados por los autores antes citados. Al realizar comparaciones con suelos del Estado de Maranhão en el mismo país (40) se podrían considerar las diferencias como menos acentuadas.

En algunos de los suelos de Nigeria usados con cacao, fue determinado el contenido de fósforo por Bates y Baker conforme lo señala Smith (101), encontrándose niveles inferiores a los suelos

Cepec y Rio Branco, pero en cambio superiores a los suelos Hidromórfico, Valença, Itabuna, Itamirim, Nazaré y Colônia. Enwezor y Moore (27), estudiando suelos de sabana y de floresta en Nigeria verificaron que el contenido de fósforo total oscilaba de 211 a 170 ppm, lo que realmente es un valor total bajo y comparable con los suelos de Nazaré y Colônia de la región cacaotera de Bahia. En igual situación se encontraron los suelos estudiados por Williams y Walker (119) en Nueva Zelanda y también con una sola excepción los suelos investigados por Westin y Brito (115) en Venezuela.

Contrariamente, en algunos suelos de Costa Rica (30), fueron encontrados altos contenidos de fósforo total que podrían ser comparados perfectamente a los suelos Cepec y Rio Branco. En tres de los 17 perfiles de suelos de El Salvador estudiados por Dahnke y colaboradores (23), se encontraron contenidos de fósforo total superiores a la mayoría de los suelos del presente trabajo; en menor grado podría decirse lo mismo de algunos perfiles de Nebraska usados en su trabajo por Allaway y Rhoades (2).

Al tomar en cuenta los contenidos de fosfatos considerados como orgánicos en el presente trabajo, se debe señalar, que esa fracción en promedio comprendía 55% del contenido total. También en este caso, se deja notar una ligera reducción de esa fracción con la profundidad, en los horizontes 'A' totalizaba 60%, en el horizonte 'B' 44% y en el horizonte 'C' 53%. Tomando en cuenta cada suelo en forma individual, la reducción del contenido de fósforo orgánico

Cepec y Rio Branco, pero en cambio superiores a los suelos Hidromórfico, Valença, Itabuna, Itamirim, Nazaré y Colônia. Enwezor y Moore (27), estudiando suelos de sabana y de floresta en Nigeria verificaron que el contenido de fósforo total oscilaba de 211 a 170 ppm, lo que realmente es un valor total bajo y comparable con los suelos de Nazaré y Colônia de la región cacaotera de Bahia. En igual situación se encontraron los suelos estudiados por Williams y Walker (119) en Nueva Zelanda y también con una sola excepción los suelos investigados por Westin y Brito (115) en Venezuela.

Contrariamente, en algunos suelos de Costa Rica (30), fueron encontrados altos contenidos de fósforo total que podrían ser comparados perfectamente a los suelos Cepec y Rio Branco. En tres de los 17 perfiles de suelos de El Salvador estudiados por Dahnke y colaboradores (23), se encontraron contenidos de fósforo total superiores a la mayoría de los suelos del presente trabajo; en menor grado podría decirse lo mismo de algunos perfiles de Nebraska usados en su trabajo por Allaway y Rhoades (2).

Al tomar en cuenta los contenidos de fosfatos considerados como orgánicos en el presente trabajo, se debe señalar, que esa fracción en promedio comprendía 55% del contenido total. También en este caso, se deja notar una ligera reducción de esa fracción con la profundidad, en los horizontes 'A' totalizaba 60%, en el horizonte 'B' 44% y en el horizonte 'C' 53%. Tomando en cuenta cada suelo en forma individual, la reducción del contenido de fósforo orgánico

en los horizontes no es palpable siendo inclusive en algunos casos contradictorio como sucede en suelo Itabuna donde esa fracción aumenta con la profundidad.

Los resultados presentados no concuerdan con los encontrados por Pearson y Simonson (77) en siete perfiles de suelos de Iowa quienes al determinar el fósforo orgánico por un método específico verificaron que el contenido de esa fracción sufría una reducción con la profundidad, sucediendo lo mismo con los contenidos de carbono y nitrógeno. Resultados similares se pueden apreciar en un trabajo realizado con 17 perfiles de suelos de El Salvador (23).

En algunos de los suelos estudiados por Fassbender y Díaz (35), Westin y Brito (115) y Vieira y Bornemisza (112) no se encontraron también reducciones de la fracción fosfatada orgánica con la profundidad.

No se encontró correlación entre el contenido de fósforo orgánico y el porcentaje de carbono, pero al correlacionar con la relación C/N se encontró un coeficiente de la siguiente magnitud $r = 0,5284$. Aparentemente, la anomalía presentada es originada por la metodología usada para calcular la fracción orgánica la cual como se sabe fue encontrada por diferencia entre el contenido total y la suma de las fracciones inorgánicas. Posiblemente, el método de Chang y Jackson (19) no extraería la totalidad de los fosfatos inorgánicos, principalmente, las formas resistentes como el fluorapatito y otras que pueden ocurrir en los horizontes inferiores de suelos aún bastante meteorizados, como consecuencia,

estos fosfatos inorgánicos no extraídos serían automáticamente sumados a la fracción orgánica.

Es interesante señalar además, que en los ocho perfiles estudiados fueron encontradas correlaciones cuadráticas entre el contenido total de fósforo y las fracciones inorgánicas y orgánicas, teniéndose los coeficientes y ecuaciones presentadas a seguir:

$$R^2 = 0,9179 \quad Y = 147,02 + 183X - 0,000032X^2$$

$$R^2 = 0,9015 \quad Y = 26,89 + 1,819X + 0,000029X^2$$

En esta primera ecuación se verifica una interdependencia entre el contenido de fósforo total y la fracción orgánica, habiendo una tasa de incremento hasta llegar a un máximo a partir del cual hay efectos deprimentes. La segunda ecuación se caracteriza por tener dos incrementos pero de magnitudes diferentes.

Los fosfatos extraídos por el método de Chang y Jackson(19), constan también en el cuadro 1. Solamente en los horizontes A_{11} y A_{12} del suelo Hidromórfico se encontraron pequeñas cantidades de fósforo soluble en NH_4Cl . El suelo Cepec se destaca de los demás por tener cantidades elevadas de todas las fracciones inorgánicas restantes; aparentemente en este suelo, hay un equilibrio entre la suma de los fosfatos de aluminio, de hierro y calcio con los fosfatos solubles en reductante y ocluidos. El fosfato de calcio en el suelo Cepec presenta en promedio 160 ppm, sin embargo la predominancia del fosfato de hierro es mucho más acentuada.

El perfil Río Branco, ya manifiesta una predominancia de

cierto grado de los fosfatos solubles en reductante y ocluidos sobre los fosfatos de aluminio, hierro y calcio. El suelo Hidro mórfo sólo presenta la fracción soluble en reductante en el último horizonte y justamente donde no hay gleización, por lo que las cuatro primeras fracciones son superiores a las últimas.

En los demás perfiles se nota en forma clara una predominancia de los fosfatos inactivos es decir los fosfatos solubles en reductante y ocluidos.

Al considerar la contribución de cada una de las fracciones en el contenido inorgánico se tiene en promedio los siguientes porcentajes en orden creciente:

$\underline{P}\text{-Al}(2\%) < \underline{P}\text{-Ca}(9,5\%) < \underline{P}\text{-Oclui}(24\%) < \underline{P}\text{-Fe}(24,8\%) < \underline{P}\text{-Red}(39,5\%)$

Fassbender y Diaz(35) y Vieira y Bornemisza(112), llegaron a resultados similares en algunos suelos del Brasil. También Westin y Brito(115), pudieron comprobar lo mismo en algunos suelos de Venezuela. En este caso podrían ser consideradas como válidas las premisas de los autores del método de fraccionamiento, es decir que en suelos bastante desarrollados predominaría la fracción ocluida. Sin embargo, en el caso del Inceptisol(Rio Branco) no se nota la predominancia de los fosfatos de calcio como sería de esperar.

De los resultados presentados se puede aseverar que la deficiencia generalizada de fósforo encontrada en los suelos de la región cacaotera de Bahía(3 y 14) debe estar asociada a

la predominancia de fosfatos de hierro, solubles en reductante y ocluidos, con excepción del suelo Cepec que presenta una acntuada riqueza en fracciones activas.

En el Cuadro 2 se presenta la matriz de correlaciones con los respectivos coeficientes. Se puede notar una fuerte asociación de caracter lineal entre el contenido total de fósforo, los contenidos de fósforo orgánico y diversas fracciones inorgánicas. Algunos de los coeficientes pueden ser considerados como poco satisfactorios debido al pequeño índice de asociación que presentan.

Mejores resultados se consiguieron mediante el cálculo de las correlaciones curvilíneas entre la fracción cálcica y las fraccio-
nes aluminicas y férricas obteniéndose en forma respectiva los si-
guientes coeficientes y ecuaciones.

$$R^2 = 0,6731 \quad \text{y} \quad Y = -4,1927 + 0,8352X - 0,002096X^2$$

$$R^2 = 0,5962 \quad \text{y} \quad Y = -56,71 + 9,083X - 0,0234X^2$$

Se nota en la primera ecuación una interdependencia entre los fosfatos de calcio y aluminio; primeramente existe una tasa de in-
cremento hasta llegar a un máximo a partir del cual se notan efec-
tos deprimentes. Igual situación ocurre en la segunda ecuación.
Los máximos para las dos ecuaciones presentan valores próximos

4.3 Influencia del Encalado en las Formas de Fósforo y en Algunas Características de los Suelos Superficiales

En las curvas de titulación de los diferentes suelos (ver Apén-
dice), se pueden apreciar la existencia de tres agrupamientos, el
primero constituido por los suelos Colônia, Valença y Rio Branco que

CUADRO 2. Coeficientes de las correlaciones lineales existentes entre el contenido total de fósforo, las fracciones inorgánicas y la diferencia considerada como orgánica en los ocho perfiles estudiados

	P-total	P-org.	P-inorg.	P-ocluído	P-sol.red.	P-Ca	P-Fe	P-Al
P-Al	0,887	0,883	0,813	0,890	0,780	0,590	0,683	1,000
P-Fe	0,880	0,713	0,954	0,856	0,867	0,530	1,000	
P-Ca	0,643	0,551	0,670	0,615	0,649	1,000		
P-sol.red.	0,913	0,770	0,962	0,919	1,000			
P-ocluídos	0,975	0,907	0,952	1,000				
P-inorg.	0,958	0,819	1,000					Significancia al 1% 0,389
P-organ.	0,949	1,000						Significancia al 5% 0,301
P-total	1,000							

requirieron mayores cantidades de enmienda, presentando el último mayor poder amortiguador. El segundo agrupamiento es constituido por los suelos Nazaré, Itabuna e Hidromórfico que requieren prácticamente las mismas cantidades de enmienda. Finalmente el último agrupamiento constituido por los suelos Itamirim y Cepec que presentaron menores necesidades de cal aunque la forma de las curvas es diferente para ambos casos. Las cantidades de cal aplicadas variaron de 745 a 5.038 kg/ha en la forma de carbonatos de calcio y magnesio (ver Apéndice).

Algunas características de los suelos superficiales encalados y no encalados constan en el apéndice. Como era de esperar y a excepción del suelo Cepec los valores de pH en las submuestras encaladas fueron superiores al de las submuestras no encaladas, siendo en todos los casos el pH medido en CaCl_2 0,01 M inferior al pH determinado en agua.

La relación C/N presentó un rango de variación que va de 13,0 en el suelo Valença sin cal a 6,2 en el suelo Itabuna con cal, siendo solamente en los suelos Cepec y Valença superior al límite considerado por Hardy (47) para los buenos suelos de cacao. En el primer caso realmente es aceptable pues se le considera al suelo Cepec como el mejor para ese cultivo (74, 96, 97) no sucediendo lo mismo con el segundo, por ser poco indicado y no utilizado con cacaotales. Por otro lado, suelos de las unidades Río Branco e Itabuna con relaciones C/N bajas son de gran importancia, pues juntamente con el Cepec es donde se encuentran la mayoría de las plantaciones de cacao de Bahía, Brasil.

En la mayoría de los suelos las cantidades de calcio y magnesio cambiables aumentan con el encalado, en mayor grado en los suelos que requieren grandes cantidades de enmienda y en menor grado en los suelos Cepec e Itamirim que recibieron cantidades pequeñas de cal. Esta práctica no ocasionó cambios en las cantidades de potasio y sodio cambiables y obviamente, hubo un cambio en la suma de bases, aunque el suelo Itamirim no mostró alteración.

El aluminio extraíble y el hidrógeno en el complejo, sufrieron una reducción que se dejó sentir en mayor grado en los suelos Valença y Colônia (oxisoles), además, es interesante señalar que la capacidad de intercambio sufrió una reducción por el encalado, seguramente por causa de la mayor descomposición y mineralización de la materia orgánica (88).

A excepción del suelo Hidromórfico, el encalado redujo los contenidos de óxidos libres de aluminio en diferentes magnitudes para cada caso; en los suelos Cepec, Itabuna, Nazaré, Rio Branco e Itamirim también hubieron reducciones en los contenidos de óxidos libres de hierro; no se verificó cambio en los suelos Hidromórfico y Colônia, habiendo contrariamente un aumento en el suelo Valença. Se puede considerar, que de manera general el encalado redujo los contenidos de sesquióxidos libres.

Los suelos que evidenciaron mayores cantidades de óxidos libres, fueron por orden de importancia: Rio Branco, Valença y Cepec, en cuanto que los restantes no llegaron a presentar más de 10%, siendo los contenidos encontrados inferiores a los señalados

por Bornemisza e Igue (10) para suelos de diversos países, sucediendo lo mismo con los suelos estudiados por Fassbender (30).

En el Cuadro 3, constan las cantidades de fósforo total, fósforo orgánico y las diferentes fracciones inorgánicas encontradas en las muestras superficiales. Aunque en promedio se nota un aumento pequeño de los fosfatos orgánicos por el encalado, en los suelos Cepec y Colonia hubo en realidad una reducción.

El encalado no ocasionó ningún cambio en las fracciones de fósforo solubles en agua; sucediendo prácticamente lo mismo en los fosfatos de aluminio a excepción del suelo Cepec, donde hubo una reducción (7 ppm).

En los suelos Cepec, Itabuna, Hidromórfico, Rio Branco e Itamirim se verificó una reducción en la fracción férrica, sucediendo lo contrario en los demás suelos. En las muestras encaladas de los suelos Cepec, Itamirim, Valença y C^olonia, se encontró mayores cantidades de la fracción cálcica; no se verificó cambio en los suelos Rio Branco y Nazaré habiendo disminución en los suelos Itabuna e Hidromórfico.

Los fosfatos solubles en reductante muestran una disminución debido al encalado en los suelos Cepec, Itabuna, Nazaré, Itamirim y Valença no habiendo cambio en los suelos Hidromórfico y Col^onia y contrariamente se nota un aumento en el suelo Rio Branco.

En cinco de los suelos encalados se nota un aumento de la fracción ocluida, no habiendo cambio en dos, habiendo una disminución en uno de los suelos.

CUADRO 2. Influencia del encalado en los contenidos de fósforo total, orgánico, inorgánico y en el porcentaje de fósforo total presente en la forma orgánica en los suelos superficiales (0 - 20 cm).

Suelo	P-NH ₄ Cl		P-Al		P-Fe		P-Ca		P-Red		P-Ocl		P-inorg		P-total		P-Org		P-Org com. % de P-total	
	ppm	sc	ppm	sc	ppm	sc	ppm	sc	ppm	sc	ppm	sc	ppm	sc	ppm	sc	ppm	sc		
CEPEC (Alfisol)	1	103	96	863	848	243	241	243	575	573	257	296	2040	2057	3613	3613	1573	1556	43,5	43,1
ITABUNA (Alfisol)	0	0	3	36	35	19	16	103	86	86	29	29	190	169	338	338	148	169	43,8	50,0
MAZARÉ (Ultisol)	0	0	4	18	26	9	9	102	85	85	8	8	141	133	168	168	27	35	16,0	20,8
HIDROMORFICO	0	0	41	67	60	24	23	58	58	58	20	24	210	205	515	515	305	310	59,3	60,2
RIO BRANCO (Inceptisol)	0	0	25	257	230	38	38	164	174	174	202	209	686	676	1467	1467	781	791	53,2	53,9
ITAMIRIM (Vertisol)	0	0	5	37	34	14	17	92	85	85	15	12	163	153	258	258	95	105	36,8	40,7
VALINÇA (Oxisol)	0	0	3	5	9	8	10	137	120	120	33	37	186	179	512	512	326	333	63,7	65,0
COLOMIA (Oxisol)	0	0	4	14	15	6	9	57	57	57	3	4	89	92	120	120	31	28	25,8	23,3
TOTAL	1	193	184	1297	1257	359	365	1288	1238	567	619	3705	3664	6991	6991	3296	3327	342,1	357,0	
PERCENTIC	-	24,1	23,0	162,1	157,1	44,9	45,6	161,0	154,7	70,9	77,4	463,1	458,0	873,9	873,0	410,7	415,9	42,8	44,6	

* sc = sin cal; cc = con cal.

Con base en los resultados presentados, se puede verificar en la mayoría de los casos, que los cambios en las muestras enca-ladas son bastante pequeños y no podría generalizarse ninguna ten-dencia ni aseveración. Probablemente, la poca diferenciación en-contrada entre muestras encaladas y no encaladas se deba al poco tiempo de incubación.

Molina (68) y Fassbender y Molina (37), al estudiar la influen-cia del encalado en las formas de fósforo en algunos suelos de Costa Rica llegaron a resultados semejantes; los efectos encontrados por estos autores fueron variables tanto en las seis fracciones in-orgánicas como en los diferentes suelos. Aún así, señalan que la solubilidad de los fosfatos fue incrementada hacia la solubilidad de la apatita hidroxidada.

Contrariamente, Kaïla (54) al incubar por ocho meses suelos minerales con diferentes cantidades de cal, llegó a la conclusión de que el encalado tendía a aumentar las fracciones solubles en agua, la alumínica y la cálcica, disminuyendo en cambio la frac-ción soluble en solución alcalina.

4.4 Influencia del Encalado en la Disponibilidad de Fósforo

En el Cuadro 4, constan las cantidades de fósforo denominadas de disponibles que fueron extraídas por los métodos de Olsen, Truog, Egner-Riehm y por el método de Mehlich, en dos formas.

En promedio se verificó pequeños aumentos debido al encalado; los métodos de Olsen y Egner-Riehm extrayeron más fósforo, no hubo prácticamente cambio en las dos formas del método de Mehlich, con-trariamente hubo una disminución ligera en el método de Truog.

CUADRO 4. Influencia del encalado en las cantidades de fósforo extraídas por los métodos de Olsen, Truog, Eger-Riehm y Mehlich (Carolina del Norte) en dos formas.

Suelo	OLSEN ppm		TRUOG ppm		EGNER-RIEHM ppm		MEHLICH-1* ppm		MEHLICH-2** ppm	
	sin cal	con cal	sin cal	con cal	sin cal	con cal	sin cal	con cal	sin cal	con cal
CEPEC (Alfisol)	62	73	73	75	40	37	7	7	34	37
ITABUNA (Alfisol)	1	2	11	9	0	0	1	1	2	2
NAZARÉ (Ultisol)	1	1	4	6	0	0	1	1	2	2
HIDROMORFICO	16	18	41	27	23	26	7	7	37	32
RIO BRANCO (Inceptisol)	5	5	8	6	0	0	1	6	4	4
ITAMIRIM (Vertisol)	4	4	11	11	0	0	1	1	4	3
VALENÇA (Oxisol)	2	1	4	4	0	0	0	0	1	1
COLONIA (Oxisol)	2	2	3	5	1	1	2	2	2	3
PROMEDIO	11,6	13,2	19,3	17,8	8,0	9,2	2,5	3,1	10,7	10,5

* Relación suelo solución extractora 1:4

** Relación suelo solución extractora 1:10

Los métodos que extrajeron mayor cantidad de fósforo fueron los de Truog, Olsen y Mehlich-2. El método de Mehlich-1 fue el que retiró en promedio menores cantidades; el método Egner-Riehm por su parte sólo extrajo fósforo de los suelos Cepec, Hidromórfico y Colônia.

Estos resultados demuestran que, de manera general el fósforo disponible por los métodos químicos fue influenciado por el encalado ligeramente y en forma indistinta.

En la Figura 1, que engloba varias fotografías de los ensayos biológicos, se puede notar la respuesta de sorgo a los diferentes niveles de fósforo, solamente en el suelo Valença se verifica visualmente respuestas para el encalado. Una de las fotografías de la misma Figura muestra el desarrollo del sistema radical y la distribución de las capas arena-suelo-arena.

En las Figuras 2 y 3 constan las respuestas de los ocho suelos a los diferentes tratamientos cuando fue considerada como variable de respuesta la producción de masa seca de las partes aéreas de las plantas. El suelo Cepec no muestra diferencias estadísticamente detectables para ningún tratamiento. Los suelos Hidromórficos, Itabuna, Nazaré e Itamirim presentaron respuestas diferenciales al nivel del 1% de probabilidad para la aplicación de fósforo. Los suelos Rio Branco, Valença y Colônia por su parte, evidenciaron respuestas estadísticamente detectables al mismo grado de significancia tanto para la adición de fósforo como para la aplicación de cal. Es interesante hacer notar que solamente en los suelos Itamirim e Hidromórfico hubo un efecto deprimente debido al encalado.

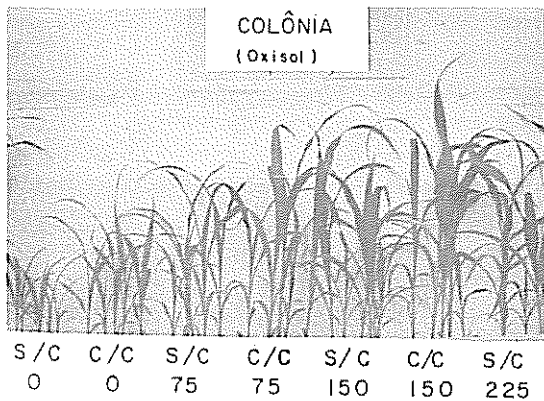
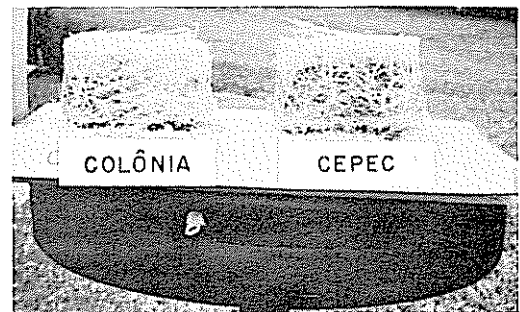
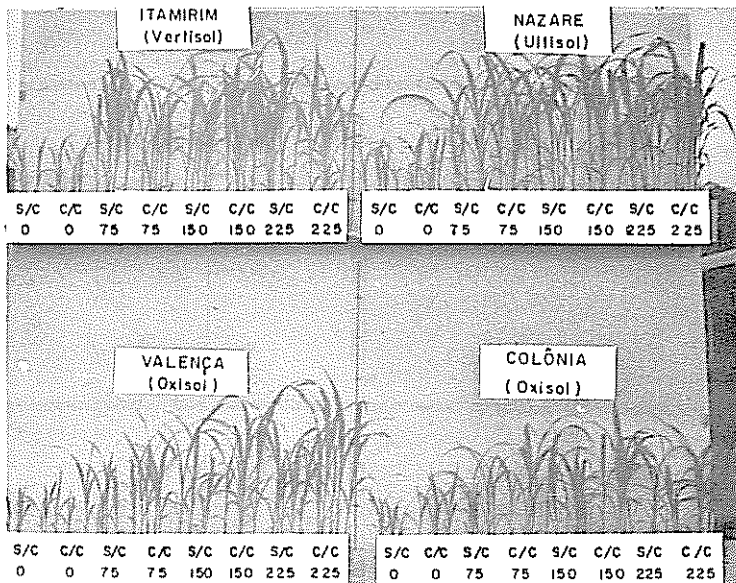
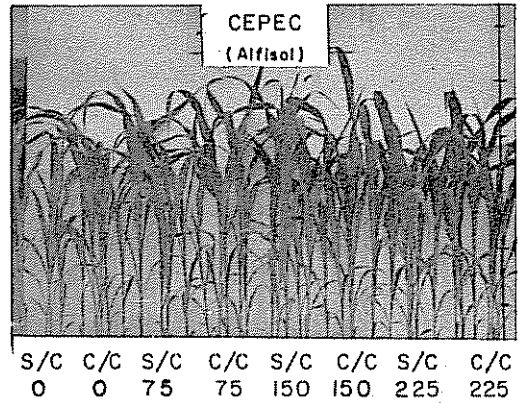
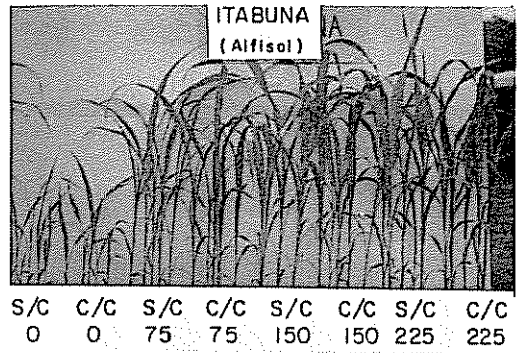
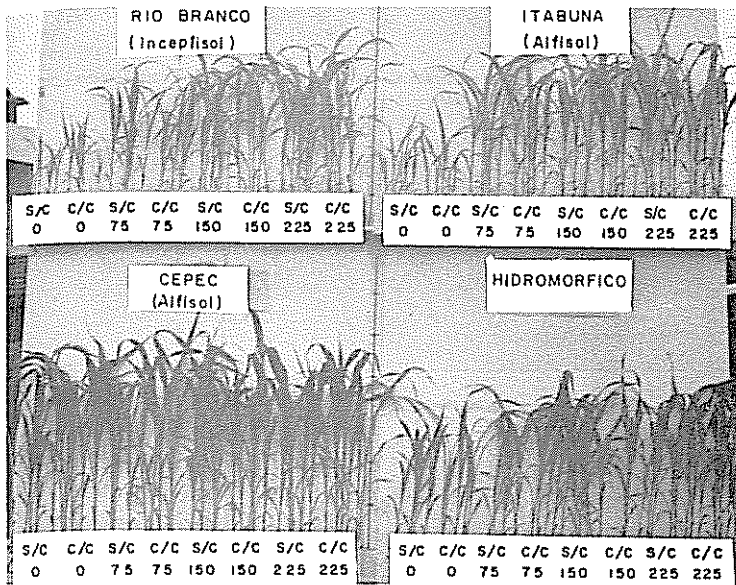


Fig. 1 Vistas de las pruebas biológicas realizadas con los suelos superficiales y aspecto del sistema radical de las plantas de sorgo y las capas arena-suelo-arena.

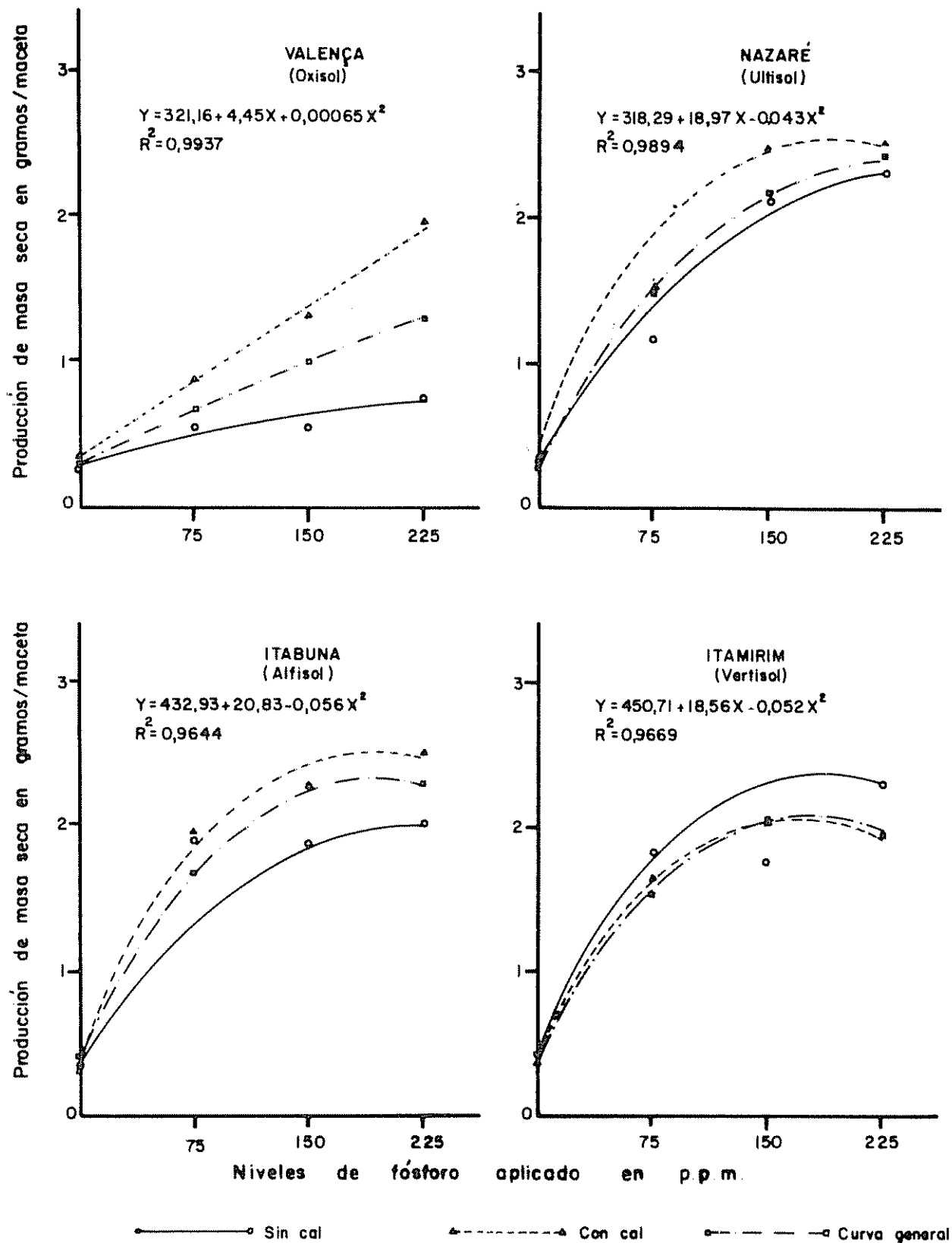
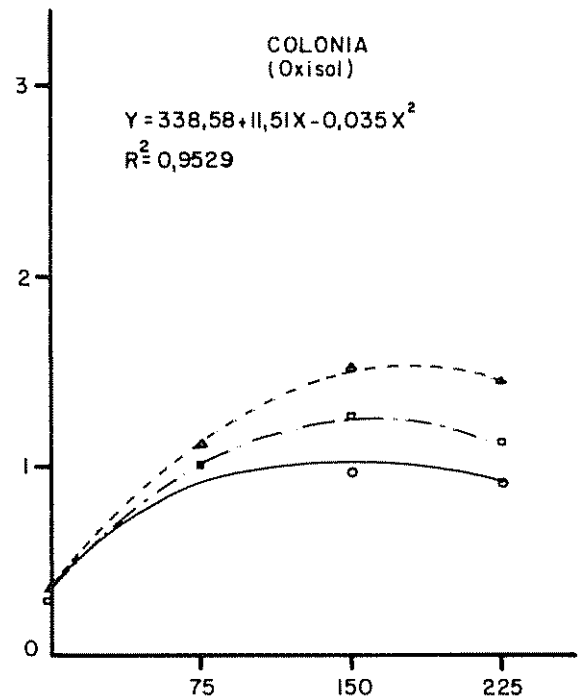
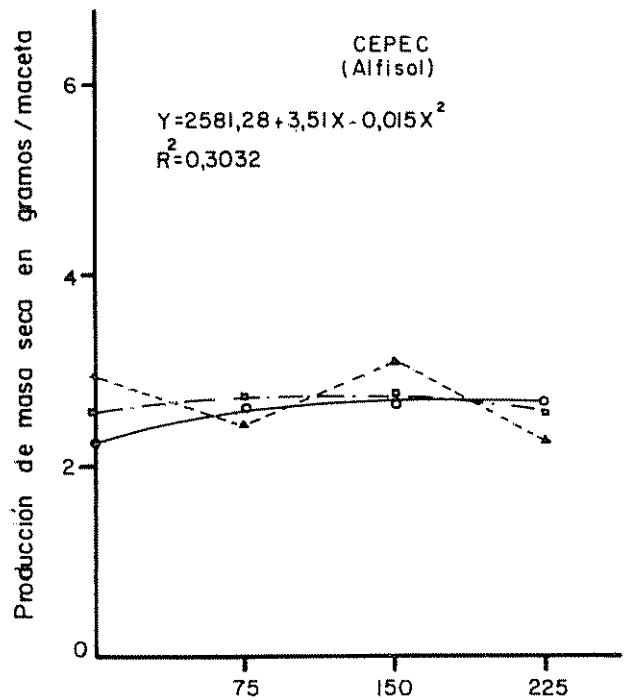
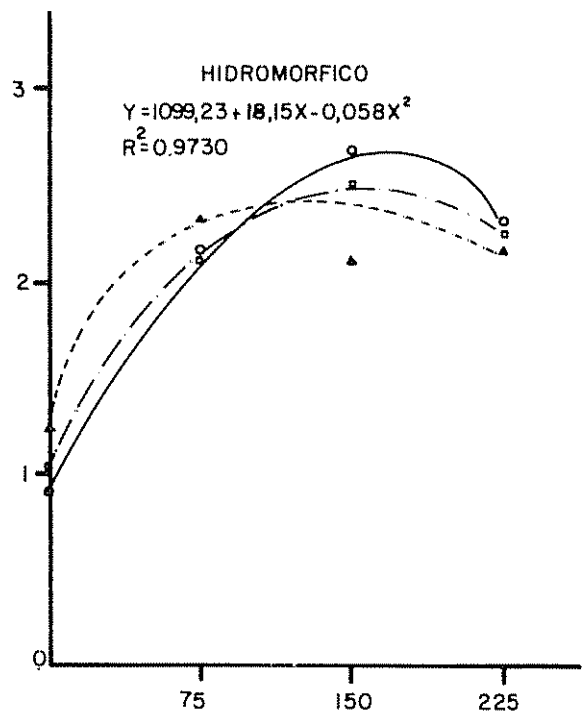
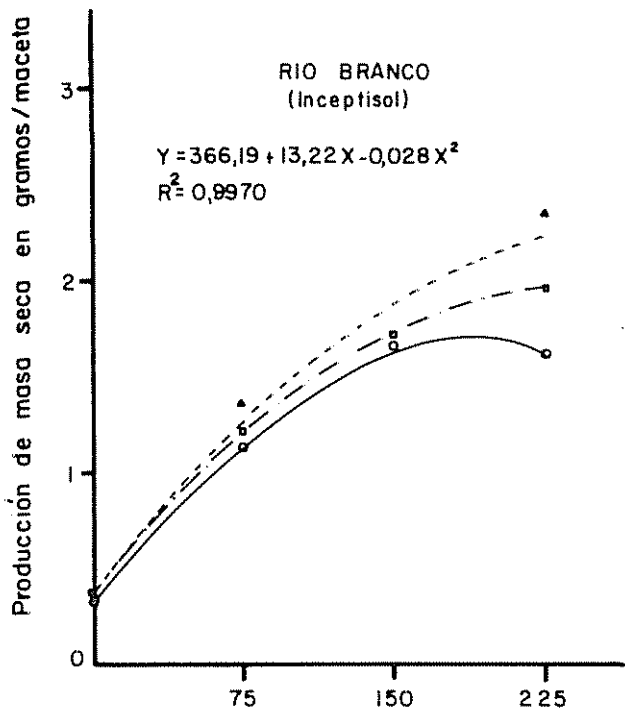


Fig. 2 Respuestas de las plantas de sorgo al encalado y cuatro niveles de fósforo en los suelos Valença, Nazaré, Itabuna e Itamirim.



Niveles de fósforo aplicado en p.p.m.

○—○ Sin cal ▲- - - -▲ Con cal ◻ ···· ◻ Curva general

Fig. 3 Respuestas de las plantas de sorgo al encalado y cuatro niveles de fósforo en los suelos Rio Branco, Hidromórfico, Cepec y Colônia

En el análisis de variancia de los ocho suelos se detectaron respuestas estadísticamente diferenciales para los variables suelos, niveles de fósforo, la interacción suelos niveles y la aplicación de cal, siendo en todos los casos el nivel de significancia al 1% de probabilidad (ver Apéndice).

La comparación entre medias de los diferentes suelos por la prueba de Tukey, muestra en primer lugar que el suelo Cepec tiene una mayor capacidad productiva ($P < .01$) a juzgar por la producción de materia seca. En segundo lugar también el suelo Hidromórfico difiere en el mismo grado de los suelos Valença, Colônia y en menor grado ($P < .05$) del suelo Rio Branco; sin embargo, no se diferenció estadísticamente ($P > .05$) de los suelos Itamirim, Nazaré e Itabuna, estos últimos se diferenciaron estadísticamente ($P < .01$) de los suelos Colônia y Nazaré y finalmente no se encontraron diferencias entre los dos oxisoles es decir los suelos Colônia y Valença. Esta comparación es mejor visualizasa en la siguiente secuencia de producciones promedio de masa seca en gramos.

Cepec	Hidromórfico	Itabuna	Nazaré	Itamirim	Rio Branco	Colônia	Valença
<u>2,67</u>	1,90	1,66	1,60	1,52	1,37	0,94	0,83

Al considerar la variable de respuesta contenido de fósforo en la parte aérea, se verifica en los análisis de variancia individuales, que solamente el suelo Cepec no mostró respuestas para la aplicación de fósforo (ver Apéndice). En los suelos Valença, Nazaré, Itabuna, Rio Branco y Colônia, a pesar de ser el promedio de las parcelas con cal superior a las parcelas sin cal no se encontró respuesta significativa para ese tratamiento; se cree que

esto se deba al pequeño número de grados de libertad del error experimental. Contrariamente, los suelos Cepec, Hidromórfico e Itamirim muestran un efecto deprimente debido al encalado.

El análisis de variancia conjunta para el contenido de fósforo, muestra efectos diferenciales para las variables suelos, niveles de fósforo y la interacción suelos niveles ($P < .01$). Para el encalado sólo se encontró significancia al 10% de probabilidad, siendo no obstante en promedio mayor la magnitud de las parcelas con cal.

Sin embargo, es interesante hacer notar que en los ensayos biológicos, no se podría evaluar claramente los efectos de la cal como fuente de elementos nutritivos (Ca y Mg), ni el papel de éstos en la absorción mayor o menor de fósforo.

En la Figura 4, constan para la totalidad de los suelos las ecuaciones de respuesta, los coeficientes de correlación cuadrática y las curvas que satisfacen las respuestas a los diferentes niveles de fósforo.

Para la variable masa seca, la ecuación es cuadrática y produce un máximo en la dosis 190 ppm, habiendo un decaimiento en la producción a partir de este punto. La tasa de incremento para la primera parte de la curva corresponde a 13,5 $\mu\text{g/ppm}$ hasta llegar al máximo, la tasa de decaimiento corresponde a 0,036 $\mu\text{g/ppm}$.

La ecuación de respuesta para el contenido de fósforo también es cuadrática, con la particularidad que el máximo se obtiene con la dosis de 487 ppm de fósforo. Esto demuestra la absorción excesiva fósforo por la planta y, que en dosis elevadas no corresponde ningún aumento de masa, teniendo lugar el denominado

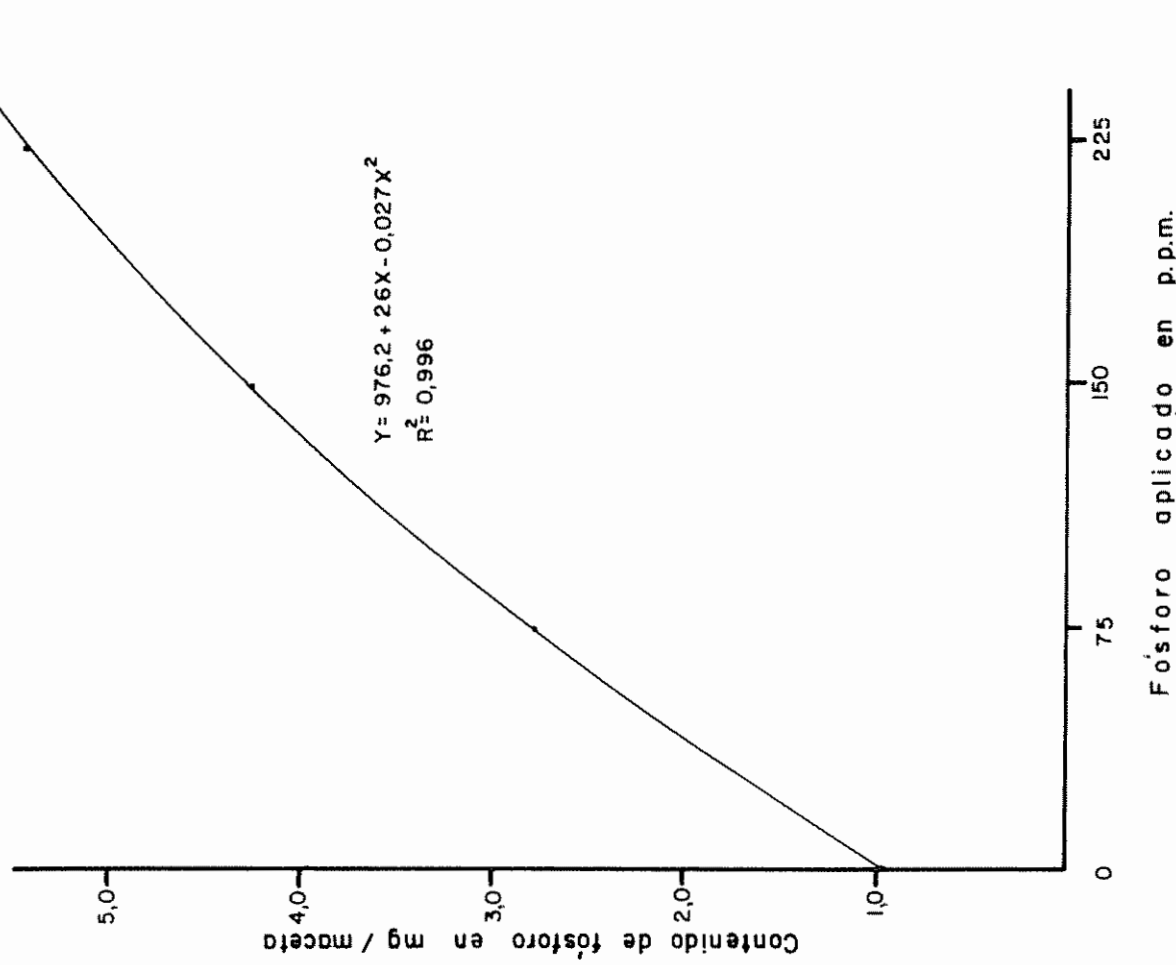
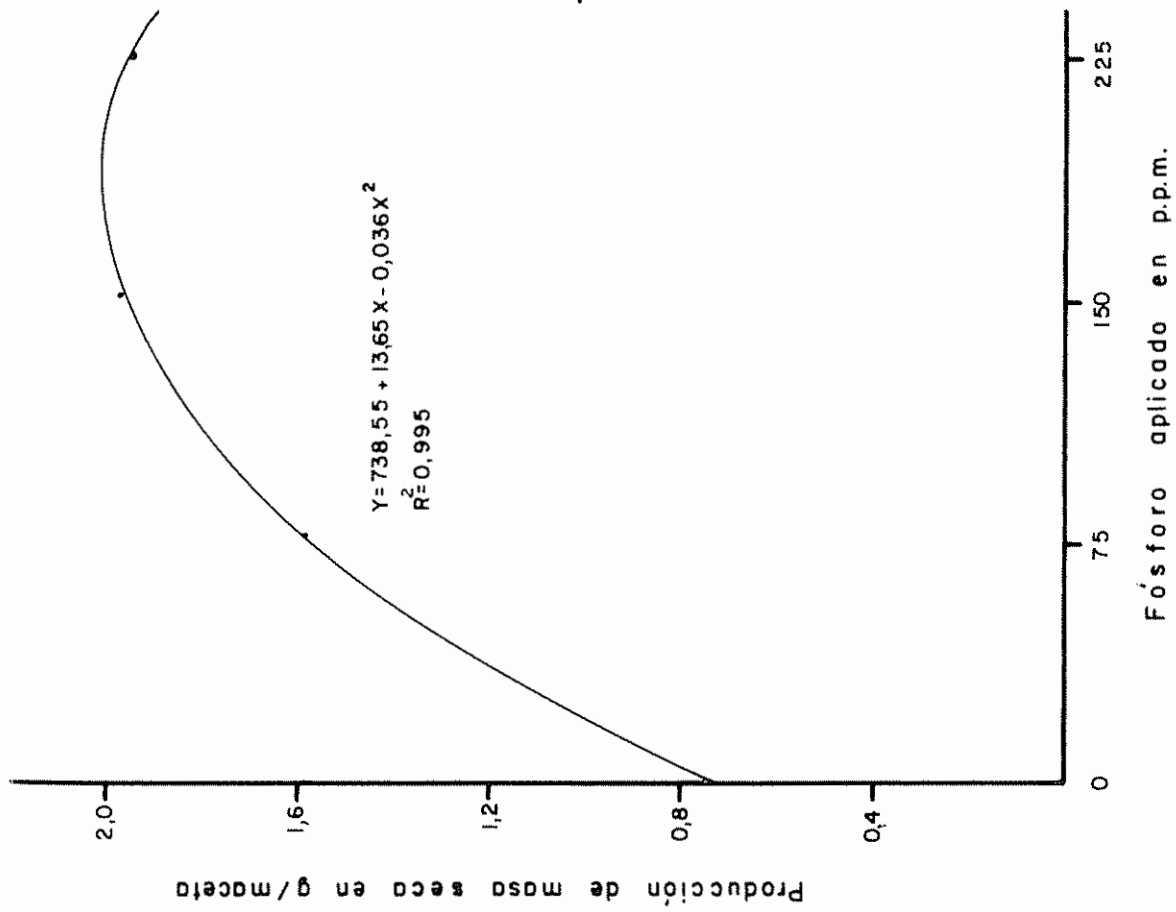


Fig. 4 Ecuaciones de respuesta promedio coeficientes de correlación cuadrática y curvas de respuesta de las plantas de sorgo a los diferentes niveles de fósforo considerando las variables masa seca y contenido de fósforo (parte aérea).

consumo de lujo señalado en el caso específico del potasio por Tisdale y Nelson (105).

Las correlaciones de las variables de respuesta consideradas con algunas características de los suelos y la extracción de fósforo disponible por los métodos de Olsen, Truog, Egner-Riehm y las dos formas del método de Mehlich constan en la matriz del Cuadro 5.

La variable de respuesta masa seca para el nivel cero de fósforo, presentó las mejores correlaciones con los fosfatos solubles en NH_4Cl , con los aluminicos y con los cálcicos. Esta misma variable presentó mejor índice de asociación con el fósforo disponible extraído por los métodos de Olsen y Truog. Además, la producción de masa seca para el nivel cero, se correlacionó en mayor grado con el contenido de fósforo de las partes aéreas de las plantas en los mismos tratamientos.

Cuando se considera el contenido de fósforo para el nivel cero, se notan correlaciones aún más estrechas con las siguientes fracciones inorgánicas por orden de importancia: $\text{NH}_4\text{Cl} = \text{P-Ca} > \text{P-Al} > \text{P-Fe} = \text{P-sol.red}$. Las correlaciones de esta misma variable con las cantidades de fósforo extraídas por los métodos de Olsen y Truog, evidenció también coeficientes bastante elevados (Olsen $r=0,997$ y Truog $r=0,96$).

Los coeficientes de correlación de las variables masa seca contenido de fósforo y las cantidades de ese elemento extraídas por los métodos Egner-Riehm y las dos formas de Mehlich, fueron también elevadas pero menores que los de Olsen y Truog. Se distingue

CUADRO 5. Coeficientes de correlación entre los variables de respuesta de las pruebas biológicas, fósforo retañadas por cuatro extractores químicos y diferentes fracciones de ese elemento en los suelos superficiales (0 - 20 cm).

	Fosfatos orgánicos	Fosfatos ocultos	Fosfato soluble reductor	Fosfato de calcio	Fosfato de hierro	Fosfato de aluminio	Fracción NH_4Cl soluble	Fósforo disponible Mehlich-2	Fósforo disponible Mehlich-1	Fósforo disponible Egner-Riehm	Fósforo disponible Trueg	Fósforo disponible Olsen	Concentración Olsen	Contenido alto	Masa Secca Tratamiento
Masa secca Tratamiento 0 P	0,842	0,712	0,887	0,943	0,906	0,955	0,938	0,850	0,747	0,904	0,968	0,991	0,925	0,985	1,000
Contenido P Tratamiento 0 P	0,874	0,750	0,940	0,979	0,946	0,954	0,980	0,788	0,682	0,846	0,965	0,997	0,949	1,000	
Concentración P Tratamiento 0 P	0,830	0,675	0,868	0,916	0,884	0,944	0,911	0,847	0,696	0,860	0,971	0,945	1,000		
Fósforo disponible Olsen	0,884	0,764	0,931	0,974	0,947	0,968	0,969	0,813	0,720	0,870	0,968	1,000			
Fósforo disponible Trueg	0,820	0,673	0,851	0,920	0,883	0,962	0,959	0,901	0,778	0,913	1,000				
Fósforo disponible Egner-Riehm	0,691	0,520	0,671	0,765	0,726	0,905	0,752	0,963	0,862	1,000					
Fósforo disponible Mehlich-1	0,640	0,560	0,530	0,626	0,632	0,822	0,580	0,894	1,000						
Fósforo disponible Mehlich-2	0,633	0,470	0,580	0,689	0,656	0,867	0,665	1,000							
Fracción NH_4Cl soluble	0,884	0,775	0,976	0,992	0,964	0,915	1,000								
Fosfato de aluminio	0,910	0,801	0,890	0,941	0,939	1,000									
Fosfato de hierro	0,962	0,906	0,980	0,987	1,000										
Fosfato de calcio	0,927	0,837	0,983	1,000											
Fosfato soluble solución reductora	0,941	0,868	1,000												
Fosfatos Ocultos	0,961	1,000													
Fosfatos Orgánicos	1,000														

Significancia al 1% 0,623
Significancia al 5% 0,407

claramente el siguiente orden por la magnitud de los coeficientes de correlación:

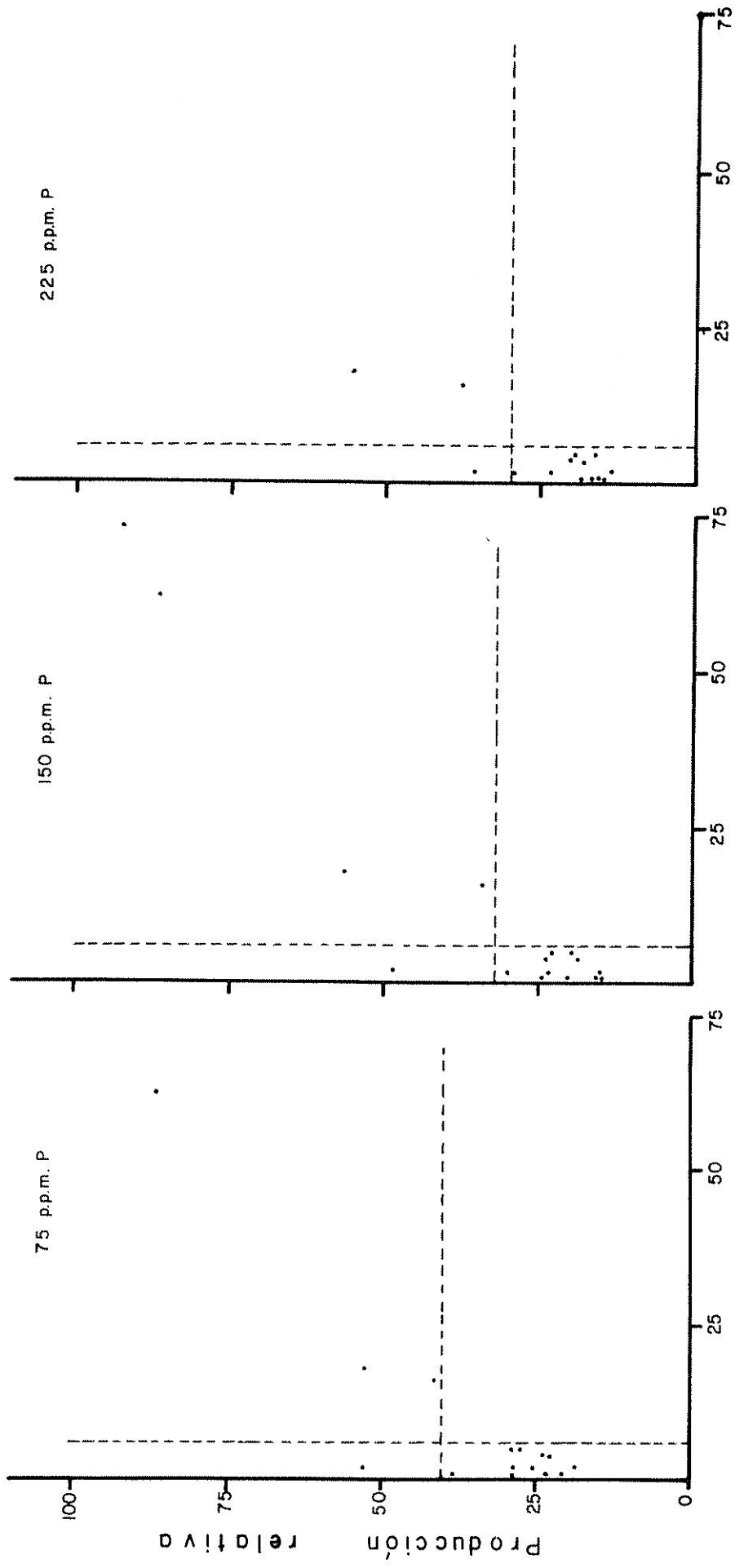
Olsen>Truog>Egner-Riehm>Mehlich-2>Mehlich-1

En una primera tentativa de identificar niveles críticos de respuesta para el fósforo según la técnica de Cate y Nelson (18) y para los dos métodos que se correlacionaron en mayor grado con las dos variables de respuesta, se encontraron los puntos 6 ppm para el método de Olsen y 12 ppm para el método de Truog conforme se puede ver en las Figuras 5 y 6. En los dos casos fueron consideradas las producciones relativas para los niveles 75, 150 y 225 ppm de fósforo.

El nivel encontrado para el método de Olsen es menor que el presentado por Waugh y Fitts (114) para suelos de la Costa y Selva peruana. Pero en cambio, un poco superiores a los del propio Olsen señalados por Balerdi y colaboradores (5).

Es interesante señalar sin embargo, que, antes de adoptar uno de los extractores que mejores resultados haya dado en el presente trabajo, sería necesaria una comprobación final con mayor número de muestras de la misma región.

Grigg (44), al correlacionar los resultados obtenidos en el fraccionamiento de fósforo con las cantidades extraídas por cinco métodos, encontró que el método de Truog extrajo en su mayor parte la fracción cálcica; los métodos Bray-2 y Egner-Riehm extrajeron las fracciones P-Ca y P-Al, el de Olsen y Bray-1 extrajeron en mayor grado la fracción aluminica. Según este autor, ninguno de los métodos extrajo cantidades significativas de la fracción férrica.



Fósforo en p.p.m. (Olsen)

Fig. 5 Nivel crítico de respuesta al fósforo para el extractor de Olsen utilizando la técnica de Cate y Nelson

$$\left(\text{Producción relativa} = \frac{\text{Masa ausencia de P}}{\text{Masa completo (75, 150 ó 225)}} \times 100 \right)$$

Igual procedimiento fue usado por Khana (58), quien no encontró correlación entre el método Bray-2 y las fracciones solubles en agua, aluminicas y férricas, pero en cambio encontró una correlación positiva con la fracción cálcica; con el método Bray-1 verificó correlaciones positivas con las fracciones solubles en agua y férricas, negativa con la cálcica, no habiendo correlación con la fracción aluminica.

Pratt y Garber (82), por su parte, encontraron correlaciones entre las cuatro primeras fracciones inorgánicas y las cantidades de fósforo extraídas por los métodos de Olsen y Bray-1, señalan además estos autores, que la fracción aluminica es la más importante en el abastecimiento de la solución edáfica.

En suelos de Italia (83), se verificó una correlación de cierto grado entre la fracción cálcica, el fósforo disponible por varios métodos y la absorción de ese elemento por el método de Neubauer, o sea que fue usado un procedimiento similar al del presente estudio.

En 18 suelos de Ohio, fueron comparados por Thompson y Pratt (104), el valor 'A', las cantidades de fósforo extraídas por cinco métodos químicos y la cantidad retirada de ese elemento por el maíz. Estos autores notaron que el método Bray-1 y el de Olsen permitían estimar con precisión la disponibilidad de fósforo, pero en cambio, no ocurría lo mismo en la totalidad de los casos para el ácido cítrico, el extractor de Truog y método Bray-2.

En suelos del sur de Australia (116), se encontraron correlaciones estrechas entre el porcentaje de fósforo en la planta y las

cantidades extraídas por el ácido acético 2,5% y 1% 8-hidroxiquinolina, ocurriendo lo mismo con las cantidades retiradas por el NaOH 0,1 Normal. Estos autores llegan a indicar que el método de fraccionamiento por ellos usado sería un buen índice para la fertilidad de los suelos.

4.5 Influencia del Encalado en la Fijación de Fósforo

En el Cuadro 6, constan los valores de fijación de fósforo que fueron obtenidos bajo condiciones de laboratorio utilizando la técnica desarrollada por Fassbender e Igue (36).

Las muestras sin cal, en promedio fijaron 13,6% (707 ppm) del fósforo aplicado, las encaladas fijaron 10,73% (517,5 ppm). Los suelos que presentaron mayor capacidad fijadora en ausencia de cal fueron los siguientes por orden de importancia: Cepec>Rio Branco>Valença.

Al considerar la capacidad fijadora de los suelos estudiados con algunos suelos de Costa Rica y del Brasil (30, 32, 33, 36), se verifica que poseen menor capacidad de retención de fósforo.

De manera general se nota que el encalado disminuyó la fijación de fósforo, solamente en los suelos Nazaré e Itabuna se verifica un aumento de los valores de fijación debido al encalado; posiblemente esto se deba a la precipitación de fosfatos de calcio de menor solubilidad.

A resultados semejantes llegó Trigo (107) con suelos de la Selva peruana. En suelos de Costa Rica (37), también se consiguió disminuir la retención con el encalado hasta el valor de pH 5,8, a partir del cual aumentaba nuevamente la magnitud de la fijación.

CUADRO 6. Influencia del encalado en las cantidades y porcentajes de fósforo fijado en las muestras superficiales de suelos (0 - 20 cm).

Suelo	Fósforo aplicado en ppm	Fósforo fijado ppm		Fósforo fijado en porcentaje	
		sin cal	con cal	sin cal	con cal
CEPEC (Alfisol)	5000	1030	830	22,06	17,73
ITABUNA (Alfisol)	5000	530	650	10,92	13,38
NAZARÉ (Ultisol)	5000	530	600	10,85	12,29
HIDROMORFICO	5000	500	350	10,20	7,17
RIO BRANCO (Inceptisol)	5000	980	780	20,54	16,29
ITAMIRIM (Vertisol)	5000	350	180	7,15	3,68
VALENÇA (Oxisol)	5000	780	450	16,07	9,26
COLONIA (Oxisol)	5000	550	300	11,13	6,07
Promedio	5000	707,0	517,5	13,61	10,73

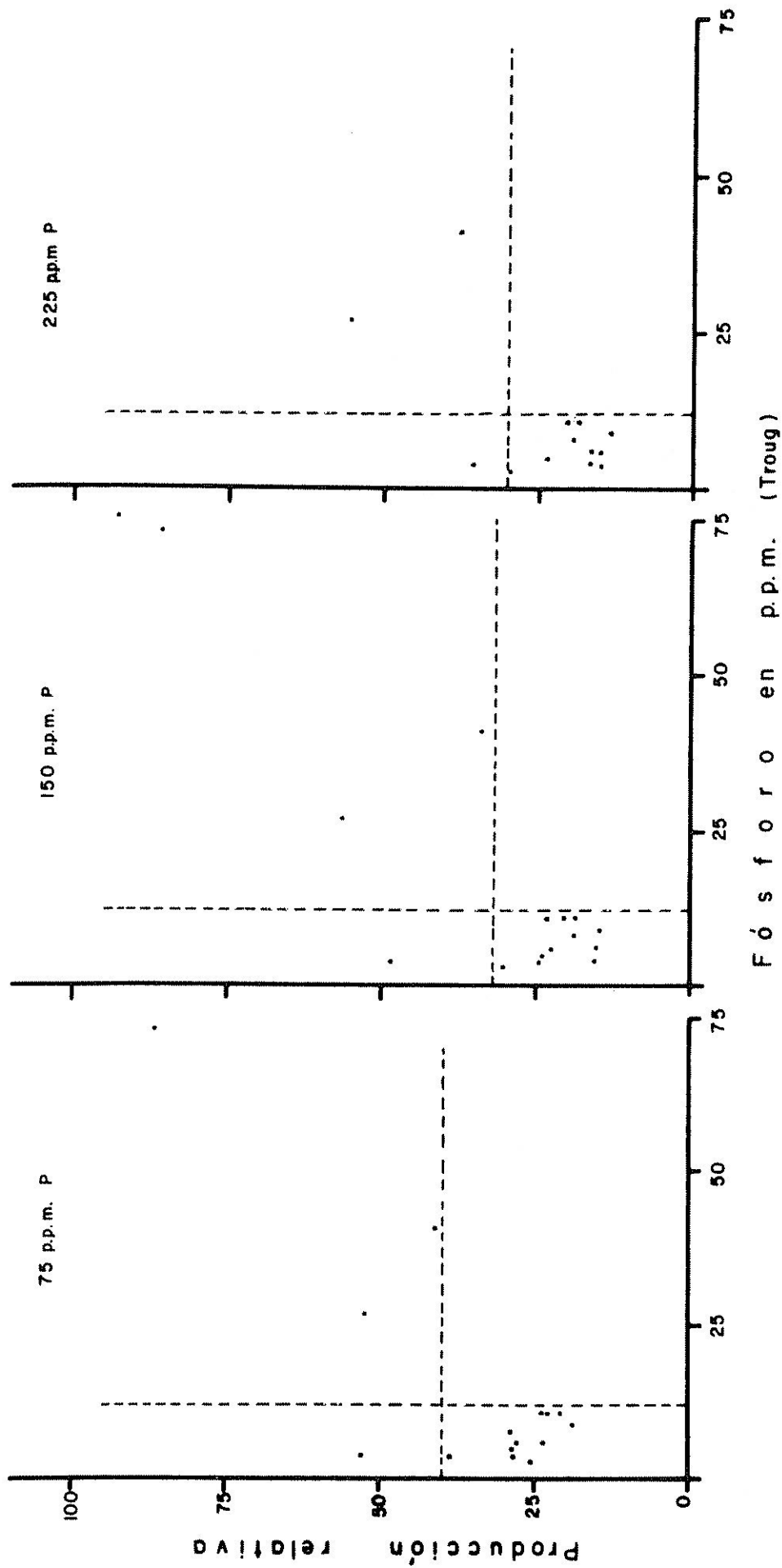


Fig. 6 Nivel crítico de respuesta al fósforo para el extractor de Truog utilizando la técnica de Cate y Nelson

$$\text{(Producción relativa = } \frac{\text{Masa ausencia de P}}{\text{Masa completo (75, 150 ó 225)}} \times 100 \text{)}$$

En suelos de Nueva Jersey (106), el encalado disminuyó también la capacidad fijadora de los suelos hasta en un 50%, pero aún así, la cantidad fijada era todavía elevada.

Teniendo en cuenta los resultados del presente trabajo, es interesante hacer notar que en los valores obtenidos como fijados, no es posible hacer una separación entre la parte adsorbida y la precipitada, ni tampoco señalar la predominancia de una sobre la otra.

Fueron encontradas correlaciones satisfactorias entre la capacidad de fijación de fósforo en porcentaje y los contenidos de óxidos libres de hierro y aluminio con los coeficientes $r=0,6016$ y $r=0,6415$, respectivamente; también se encontró una asociación un poco más estrecha entre la capacidad fijadora y los contenidos fósforo orgánico ($r=0,7672$). Resultados similares han sido encontrados en suelos de Costa Rica por Fassbender (30), este mismo autor trabajando con suelos de ese país y del Brasil (32 y 33) pudo comprobar una vez más la influencia que desempeñan los óxidos libres en la magnitud de la fijación.

Machado Gracio (62), afirma aunque no en forma consistente que la capacidad de fijación de los suelos por él estudiados se relacionaba con el contenido de óxidos libres de hierro y con el valor de las relaciones P/F_2O_3 y SiO_2/Fe_2O_3 .

Excluyendo al suelo Cepec por su riqueza extraordinaria en fósforo y al comparar el valor de la fijación en laboratorio con las respuestas de las plantas a los diferentes niveles de ese elemento, se verifica que solamente en el suelo Valença (oxisol) la

fijación debe constituir problema pues la magnitud de las respuestas es menor que en los demás casos; además este suelo presentó altos contenidos de óxidos libres y también las mayores reacciones al encalado.

En los suelos Hidromórfico, Rio Branco, Nazaré, Itabuna, Itamirim y Colônia las respuestas fueron cuadráticas con intervalos crecientes hasta llegar a un máximo, lo que permite pensar aunque en forma indirecta, que la fijación de fósforo en estos suelos no aparenta constituir limitación importante. Estos resultados se pueden considerar como similares a los obtenidos por Machado Gracioso (62) en suelos portugueses.

5. CONCLUSIONES

La determinación de los contenidos totales de fósforo y de las fracciones inorgánicas en los ocho perfiles de suelos de la región cacaotera de Bahía, Brasil juntamente con los trabajos realizados para evaluar la influencia del encalado en las formas, fijación y disponibilidad de ese elemento en muestras superficiales de los mismos perfiles permiten llegar a las siguientes conclusiones:

1. Existe una amplia variación en los contenidos de fósforo total, dos de los perfiles presentaron en promedio más de 1700 ppm, los restantes abajo de 550 ppm, pudiendose considerar que la mayoría de los suelos contienen pequeñas cantidades de este elemento.
2. En promedio 55% del fósforo total correspondió a la fracción orgánica. No existen variaciones con la profundidad ni correlación con el contenido de carbono. Se cree que el cálculo de los fosfatos orgánicos por diferencia entre el contenido total y la suma de las fracciones inorgánicas no sea el procedimiento más indicado de análisis, pues es difícil asegurar que por un fraccionamiento se extraigan todos los fosfatos inorgánicos y principalmente las formas más resistentes.
3. El suelo Cepec de extrema riqueza en fósforo posee cantidades apreciables de las formas alumínicas y cálcicas y aún en mayor grado las demás fracciones; en los suelos restantes predominan los fosfatos ocluidos, solubles en reductante y fosfatos

férricos. Este hecho debe ser la causa de la deficiencia generalizada de fósforo que ha sido encontrada en los suelos de la región cacaotera de Bahía.

4. El encalado ocasionó cambios pequeños en las formas inorgánicas de fósforo, pero tuvo influencia en el pH, aluminio extraíble, capacidad de intercambio catiónico, suma de bases y contenidos de óxidos libres de hierro y aluminio.
5. El fósforo considerado como disponible por métodos químicos fue influido ligeramente y en forma indistinta por el encalado; los métodos de Olsen y Egner-Riehm extrajeron un poco más de fósforo, el de Truog menos, siendo muy pequeños los cambios en las dos formas del método de Mehlich. Los métodos de Olsen y Truog presentaron mayores cantidades de fósforo en cuando que el de Egner-Riehm sólo extrajo ese elemento en tres de los suelos estudiados.
6. El encalado tuvo un efecto acentuado en la producción de masa seca de la parte aérea de las plantas de sorgo y en menor grado en el contenido de fósforo de las mismas.
7. Las variables de respuesta masa seca y contenido de fósforo presentaron entre sí una correlación bien elevada ($r=0,985$), pero a pesar de eso son diferentes los máximos obtenidos en las ecuaciones de respuesta de los análisis de variancia conjuntos, siendo para la masa seca una dosis menor, habiendo por lo tanto un consumo de fósforo al cual no corresponde ningún aumento de masa.
8. El contenido de fósforo en las plantas y la producción de masa seca en ausencia de ese elemento, se correlacionaron en mayor

grado con los métodos de Olsen y Truog; las variables de respuesta citadas también presentaron mayores asociaciones con las fracciones solubles en NH_4Cl y con los fosfatos cálcicos y aluminicos.

9. Utilizando la técnica de Cate y Nelson para determinar niveles críticos de respuesta, se encontró el límite de 6 ppm para el método de Olsen y 12 ppm para el de Truog.
10. En 6 de las 8 muestras estudiadas, el encalado redujo la capacidad fijadora de fósforo evaluada bajo condiciones de laboratorio, pero aún así, las cantidades consideradas como fijadas son excesivas si se toma en cuenta que la mayoría de los suelos respondieron a la aplicación de 75 ppm de fósforo en los ensayos biológicos.
11. Existe una correlación bastante satisfactoria entre la retención de fósforo y el contenido de sesquióxidos libres.
12. El suelo Cepec no muestra respuesta a ninguno de los niveles de fósforo como consecuencia de su riqueza en ese elemento; hubo en cambio respuestas en los demás suelos, aunque de menor magnitud en el suelo Valença (oxisol) donde aparentemente la fijación constituye una limitación importante.

6. RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizado en los laboratorios y unbráculo del Departamento de Fitotecnia y Suelos del Centro de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica.

Se utilizaron ocho perfiles de suelos representativos de la región cacaotera de Bahía, Brasil para la determinación de los contenidos totales de fósforo, de las fracciones inorgánicas por el método de Chang y Jackson, obteniéndose por diferencia la fracción orgánica.

Suelos superficiales de los mismos perfiles fueron incubados con una mezcla de óxidos de calcio y magnesio en la proporción 4:1 por el espacio de 40 días; se utilizaron curvas de titulación para el cálculo de la cantidad de enmienda. Después de la incubación los suelos fueron secados a la sombra y tamizados, pasándose enseguida a evaluar la influencia del encalado en las formas, fijación, disponibilidad de fósforo y en otras características.

El contenido de fósforo total en los ocho perfiles presentó un rango amplio de variación, dos tenían en promedio más de 1700 ppm, los restantes cantidades inferiores a 550 ppm que pueden ser consideradas bien pequeñas.

La fracción orgánica presenta en promedio cierta predominancia (55%), no existiendo variación con la profundidad ni correlación con el contenido de carbono; se cree que esto sea consecuencia de su evaluación por diferencia entre el contenido total y las fracciones inorgánicas, posiblemente el método de fraccionamiento no

extrajo la totalidad de los fosfatos inorgánicos.

A excepción del suelo Cepec extremadamente rico en todas las formas de fósforo, se verifica en los demás y de manera general una predominancia acentuada de los fosfatos solubles en reductante, ocluidos y férricos. Este hecho explica la deficiencia de fósforo encontrada en los suelos de la región cacaotera de Bahía.

El encalado de los suelos superficiales no tuvo efecto en las formas inorgánicas de fósforo, ocasionó sin embargo cambios en el pH, aluminio extraíble, capacidad de intercambio y en las cantidades de óxidos libres de hierro y aluminio.

El fósforo considerando como disponible por métodos químicos fue ligeramente influenciado por el encalado, ocasionó aumento en promedio en los métodos de Olsen y Egner-Riehm, reducción en el de Truog y cambios más reducidos en las dos formas del método de Mehlich.

En los ensayos biológicos las variables de respuesta masa seca y contenido de fósforo en las partes aéreas evidenciaron efectos notables a la aplicación de fósforo. La masa seca también muestra efectos debido al encalado, pero al considerar los contenidos de fósforo las respuestas solo fueron significativas al 10% de probabilidad.

Los métodos de Olsen y Truog presentan valores de fósforo extraído que se correlacionan en mayor grado con las variables de respuesta antes citadas, estas a su vez se asociaron más estrechamente con las fracciones inorgánicas solubles en NH_4Cl , cálcicas y aluminicas. Las correlaciones con los demás métodos también

fueron altas pero de magnitud inferior a las de Olsen y Truog.

Los límites de 6 ppm y 12 ppm de fósforo extraído, se presentaron como niveles críticos de respuesta a ese elemento en los métodos de Olsen y Truog, respectivamente.

La fijación medida en laboratorio es relativamente pequeña en los suelos estudiados y de manera general el encalado tuvo un efecto deprimente en la magnitud de ese fenómeno; la retención de fósforo se correlacionó satisfactoriamente con los contenidos de sesquióxidos libres. Al comparar el valor de la retención con las respuestas al fósforo en los ensayos biológicos se verifica que las cantidades obtenidas en laboratorio son excesivas si se toma en cuenta que la mayoría de los suelos respondieron a la aplicación de 75 ppm de fósforo.

7. SUMMARY

This research was carried out in the laboratories and greenhouse of the Department of Plant Science and Soils of the Inter-American Institute of Agricultural Sciences, Turrialba, Costa Rica.

Eight soil profiles representing the cacao area of Bahia, Brazil, were used to determine the total phosphorus content and inorganic fractions by the method of Chang and Jackson, and the organic fraction by difference.

The top soil samples from these profiles were incubated with a mixture of calcium and magnesium oxides at a proportion of 4:1 for a period of 40 days. Titration curves were made to determine the lime requirement. After incubation, the soils were dried under shade and sieved. Then the effect of liming upon phosphorus forms, fixation and availability, as well as other features, was assessed.

The total phosphorus exhibited a very wide range of variation in its contents. Two profiles averaged over 1700 ppm, and the rest had amounts lower than 550 ppm, which can be considered as very low. There is some predominance (55%) of the organic fraction; it does not vary with depth nor does it have any correlation with the carbon content. This may be due to its assessment by difference between total contents and inorganic fractions. Possibly the fractionating method did not extract the whole amount of inorganic phosphates.

With the exception of the Cepec soil, which is extremely rich in all forms of phosphorus, the others showed a marked predominance of

reductant soluble phosphate, occluded and ferric forms. This seems to explain the phosphorus deficiency found in the soils of the cacao area of Bahia.

The liming of the top soils did not have any effect on the inorganic forms of phosphorus. However, it caused changes in pH, extractable aluminum, cation exchange capacity and amounts of iron and aluminum free oxides.

The phosphorus considered as available by chemical methods was slightly influenced by liming, which brought about an increase in the Olsen and Egner-Riehm methods, a reduction in the Truog method, and smaller changes in the two forms of the Mehlich method.

In the bio-assays method the response variables - dry matter and phosphorus content of the aerial parts - showed a conspicuous effect to the application of phosphorus. Liming also affected dry matter, but the responses were only significant at a 10% probability when considered on the basis of phosphorus content of the plant material.

Phosphorus extracted with the Olsen and Truog methods showed higher correlation in the plant response. These responses were more closely associated with the calcium and aluminum fractions, inorganic, and with soluble P in NH_4Cl . The correlations with the other methods were also high, but their magnitude was lower than the Olsen and Truog methods.

The 6 and 12 ppm limits of extracted phosphorus appeared as critical response levels in the Olsen and Truog methods, respectively.

Fixation, as measured in the laboratory, is relatively small, and, in general, liming had a depressive effect on it. Phosphorus retention showed a satisfactory correlation with the free sesquioxides content. When the retention value is compared with the responses to phosphorus in the bio-assays it is observed that the amounts obtained in the laboratory were excessively large if one considers that most of the soils responded to applications of 75 ppm of phosphorus.

8. LITERATURA CITADA

1. ABRUÑA, F. y VICENTE, C. J. Refinement of a quantitative method for determining the lime requirements of soils. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 39(1):41-55. 1955.
2. ALLAWAY, W. H. y RHOADES, H. F. Forms and distribution of phosphorus in the horizons of some Nebraska soils in relation to profile development. *Soil Science* 72: 119-128. 1951.
3. ALVIM, P. T. y FONSECA, R. Soil fertility survey of the cacao region of Bahía by maize of microplot test. In *Reunión Grupo Técnico Trabajo, FAO Producción de Cacao, 1a., Roma, Sept. 7-11, 1964. Roma, FAO, 1964. 1 v.*
4. AWAR, A. B. Effect of lime on availability of phosphorus in Zamorano. *Soil Science Society of America Proceedings* 28:672-673. 1964.
5. BALERDI, F., MÜLLER, L. y FASSBENDER, H. W. Estudio del fósforo en suelos de América Central. III. Comparación de 5 métodos químicos de análisis de fósforo disponible. *Turrialba* 18(4):348-360. 1968.
6. BARROWS, H. L. Effect of surface coating on the dissolution of limestone particles. *Soil Science Society of America Proceedings* 30:603-606. 1966.
7. BLASCO, M. L. y BOHORQUEZ, N. A. Fractionation of phosphorus in tropical soil of Colombia. *Agrochimica* 12(2-3): 173-178. 1968.
8. BONDAR, G. Solos do Estado da Bahia. In *Boletim Geográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* no. 78. Rio de Janeiro. 1949 pp. 601-609.
9. BORNEMISZA, E. Conceptos modernos de acidez del suelo. *Turrialba* 15(1):20-24. 1965.
10. _____ e IGUE, K. Óxidos libres de hierro y aluminio en suelos tropicales. *Turrialba* 17(1):23-30. 1967.
11. _____, LAROCHE, F. H. y FASSBENDER, H. W. Effect of liming on some chemical characteristics of a Costa Rica latosol. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings* 27:219-226. 1967.

12. BORNEMISZA, E., VIEIRA, L. S. e IGUE, K. The method of Mehta *et al.* modified for determination of organic phosphorus in soils high in extractable iron. Soil Science Society of America Proceedings 31(4):576-577. 1967.
13. BUCKMAN, H. C. y BRADY, N. C. Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. del inglés por R. Solord Barceló. México, D. F., UTHEA, 1966. 590 p.
14. CABALA, F.P.R. *et al.* Deficiencias minerais e efeitos da adubação na região cacauieira da Bahia. In Conferencia Internacional de Pesquisas em Cacao, 2a., Salvador e Itabuna, Bahia, Novembro 19-26, 1967. Memórias. São Paulo, CEPLAC, 1969. pp. 436-442.
15. _____, MIRANDA, E. R. De y PRADO, E. P. Do. Efeitos da remoção de sombra e da aplicação de fertilizantes sobre a produção do cacauieiro na Bahia. Cacao IICA, Turrialba 15(2):1-10. 1970.
16. CATANI, R. A. y PELEGRINO, D. Avaliação da capacidade de fixação de fósforo pelo solo. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz 17:19-28. 1957.
17. CATE, R. Sugestões para adubação na base de análise de solos. Primeira aproximação. Recife, Pernambuco, North Carolina State University, International Soil Testing Project, 1966. 16 p.
18. _____ y NELSON, L. A. A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data. North Carolina State University and International Soil Testing. Boletín Técnico no. 1. 1965. 13 p.
19. CHANG, S. C. y JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. Soil Science 84:133-144. 1957.
20. _____ y JACKSON, M. L. Soil phosphorus fractions in some representative soils. Journal of Soil Science 9:109-119. 1958.
21. _____, CHU, W. K. y ERH, K. T. Determination of reductant soluble phosphate in soils. Soil Science 102(1):44-45. 1966.
22. COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DE RECUPERAÇÃO ECONOMICO-RURAL DA LAVOURA CACAUEIRA. Orçamento-Programa 1970. Rio de Janeiro, 1969. 266 p.
23. DAHNKE, W. C., MALCOLM, J. L. y MENENDEZ, M. E. Phosphorus fractions in selected soil profiles of El Salvador as related to their development. Soil Science 98:33-38. 1963.

24. DEAN, L. A. An attempted fractionation of the soil phosphorus. *Journal of Agricultural Science* 28:234-244. 1938.
25. DEMOLON, A. Crecimiento de los vegetales cultivados. 5a. ed. Trad. del francés por José Pérez Malla. Barcelona, Omega, 1966. 587 p.
26. DENNEN, W. H. Principles of mineralogy. New York, Ronald Press, 1960. 453 p.
27. ENWEZOR, W. O. y MOORE, A. W. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science* 102(5):322-328. 1965.
28. FASSBENDER, H. W. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de la Meseta Central y de las llanuras atlánticas de Costa Rica. *Fitotecnia Latinoamericana* 3(1-2): 187-202. 1966.
29. _____. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. *Fitotecnia Latinoamericana* 3(1-2):203-216. 1966.
30. _____. Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rica soils. *Agrochimica* 12(6):513-521. 1968.
31. _____. Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas de Centroamérica. In *Panel de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina*, Turrialba, Julio 6-13, 1969. Turrialba, IICA, 1969, 1 v.
32. _____. Retención y transformación de fosfatos en ocho latosoles de la Amazonía del Brasil. *Fitotecnia Latinoamericana* 6(1):1-10. 1969.
33. _____. Phosphorus fixation in tropical soils. *Agri Digest* 18:20-28. 1969.
34. _____. Fósforo. In _____. *Química de suelos*. Turrialba, IICA, 1968. pp. 221-252. (mimeo)
35. _____ y DIAZ, N. Contenido y formas de fósforo en algunos suelos de la región amazónica del Estado de Maranhão, Brasil. Turrialba (en prensa).
36. _____ e IGUE, K. Comparación de métodos radiométricos y colorimétricos en estudios sobre retención y transformación de fosfatos en el suelo. *Turrialba* 17(3):248-287. 1967.
37. _____ y MOLINA, R. Influencia de enmiendas calcáreas y silicatadas sobre el efecto de fertilizantes fosfatados en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica. In *Panel de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina*, Turrialba, Julio 6-13, 1969. Turrialba, IICA, 1969. 1 v.

38. FASSBENDER, H. W., MÜLLER, L. y BALERDI, F. Estudio del fósforo en suelos de América Central II. Formas y su relación con las plantas. Turrialba 18(4):333-347. 1968.
39. FIFE, C. V. An evaluation of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminum-bound soil phosphate. II. Preliminary studies on soils. Soil Science 87:83-88. 1959.
40. FONSECA, R. *et al.* Correlações dos teores de fósforo nos solos com respostas de microparcelas de milho, na zona caçueira da Bahia. In Conferencia Internacional de Pesquisas em Cacao, 2a., Salvador e Itabuna, Bahia; Novembro 19-26, 1967. Memórias. São Paulo, CEPLAC, 1969. pp. 487-497.
41. FOX, R. L., DEDATA, S. K. y WANG, J. M. Phosphorus and aluminum uptake by plants from latosols in relation to liming. In International Congress of Soil Science, 8th., Bucharest, 1964. Transactions, Bucharest, Academy of the Socialist Republic of Romania, 1964. v. 4 pp. 595-603.
42. FRIED, M. 'E', 'L' and 'A' values. In International Congress of Soil Science, 8th, Bucharest, 1964. Transactions, Bucharest, Academy of the Socialist Republic of Romania, 1964. v. 4, pp. 29-38.
43. FULLER, W. H. y McGEORGE, W. T. Phosphates in calcareous Arizona soils. II. Organic phosphorus content. Soil Science 71:45-50. 1951.
44. GRIGG, J. L. Inorganic phosphorus fractions in south island soils and their solubility in commonly used extracting solutions. New Zealand Journal of Agricultural Research 8: 313-326. 1965.
45. HARDY, F. La relación carbono:nitrógeno en los suelos de cacao. Turrialba 9(1):4-11. 1959.
46. HEMWALL, J. B. The fixation of phosphorus by soils. Advances in Agronomy 9:95-111. 1957.
47. HIBBARD, P. L. Factors influencing phosphate fixation in soils. Soil Science 39:337-358. 1935.
48. HORTENSTINE, C. C. The effect of lime and phosphorus fertilization on oats and soils phosphorus in Lakeland fine sand in small lysimeters. Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings 24:35-42. 1965.
49. HSU, P. H. Fixation of phosphate by aluminum and iron in acid soils. Soil Science 99(6):398-402. 1965.
50. HUNTER, A. S. Fertilidade dos solos. Recife, Pernambuco. Instituto de Pesquisas IRI, USAID/Ministerio de Agricultura do Brasil. 1966 150 p. (mimeo)

51. IGNATIEFF, V. y PAGE, H. I. El uso eficaz de fertilizantes. FAO. Estudios Agropecuários no. 4. 1959. 379 p.
52. JACKSON, M. L. Chemical composition of soils. In Bear, F. E. ed. Chemistry of the soil. 2nd. ed. New York, Reinhold, 1964. pp. 71-144.
53. KAILA, A. Effect of liming on the mobilization of soil phosphorus. Maataloust Aikakaust 37:243-254. 1965.
54. _____. Effect of liming on the fate of applied superphosphate phosphorus in some mineral soils. Maataloust Aikakaust 39:13. 1967.
55. KAMPRATH, E. J. Acidez del suelo y su respuesta al encalado. North Carolina State University and International Soil Testing. Boletín Técnico no. 4. 1967. 25 p.
56. KARDOS, L. T. Soil fixation of plant nutrients. In Bear, F. E. ed. Chemistry of the soil. 2a. ed. New York, Reinhold, 1964. pp. 369-394.
57. KARIM, A. y KHAN, D. H. Relationship between pH and different forms of phosphorus in some soils of east Pakistan. Soil Science 80:229-233. 1955.
58. KHANNA, P. K. Inorganic soil phosphate fractions as related to soil-test values by common methods. Plant and Soil 26:277-284. 1967.
59. LAROCHE, F. A. Efeitos da calagem sobre o complexo de troca de um latosol tropical e os teores de cations absorvidos pelo tomate. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1966. 76 p.
60. LARSEN, S. The use of P³² in studies on the uptake of phosphorus by plants. Plant and Soil 4:1-10. 1952.
61. LOPEZ ARANA. Valoración de las formas de fósforo, orgánica e inorgánicas, de un suelo de la zona cafetera de Colombia. CENICAFE 11(7):189-204. 1960.
62. MACHADO GRACIO, J. T. Phosphorus fixation in acid soils. 1. Identification of the phosphorus fixing soils. Agronomia Lusitana 23(2):103-116. 1961.
63. MALAVOLTA, E. et al. Estudos sobre a fertilidade dos solos do cerrado. I. Efeito de calagem na disponibilidade do fósforo (nota prévia). Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz 22:131-139. 1965.
64. MARE, P. H. Le. Experiment on the effect of phosphate applied to a Buganda soil. 1. Pot experiment on the response curve. Journal of Agricultural Science 70(3):265-270. 1968.

65. MARTINI, J. A. Algunas notas sobre el problema del encalado en el trópico. *Turrialba* 18(3):249-256. 1968.
66. MATTINGLY, G.E.G. y TALIBUDEEN, O. Progress in the chemistry in fertilizer and soil phosphorus. In Grayson, M. y Griffith, E. J., eds. *Topics in phosphorus chemistry*. New York, Interscience, 1967. v. 4, pp. 157-290.
67. MIRANDA, E. R. De y PRADO, E: P. Do. Influencia da umidade disponível sobre o aproveitamento de duas fontes de fósforo por plantulas de cacau. In Conferencia Internacional de Cacau, 2a., Salvador e Itabuna, Bahia, Novembro 19-26, 1967. *Memórias*. São Paulo, CEPLAC, 1969. pp. 476-479.
68. MOLINA, R. C. Efecto del encalado sobre las formas y disponibilidad de fósforo en seis suelos de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1969. 97 p.
69. MORILLO, M.R.Z. Evaluación de los recursos edafológicos de la cuenca baja del río Choluteca, Honduras. IICA: Publicación Miscelánea no. 52. 1968. 23 p.
70. _____ y FASSBENDER, H. W. Formas y disponibilidad de fosfatos en suelos de la cuenca baja del río Choluteca, Honduras. *Turrialba* 18(1):23-26. 1968.
71. MULJADI, D., POSNER, A. M. y QUIRK, J. P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboemite. 1. The isotherms and the effect of pH on adsorption. *Journal of Soil Science* 17(2):212-228. 1966.
72. MÜLLER, I. *et al.* Estudio del fósforo en suelos de América Central. I. Ubicación, características físicas y químicas de los suelos estudiados. *Turrialba* 18(4):319-332. 1968.
73. MURMAN, R. P. y PEECH, Reaction products of applied in limed soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 33(4): 493-496. 1968. 32
74. OLMOS, J. *et al.* Solos da região cacaueira da Bahia e do Espírito Santo. In Conferencia Internacional de Pesquisas em Cacau, 2a., Salvador e Itabuna, Bahia, Novembro 19-26, 1967. *Memórias*. São Paulo, CEPLAC, 1969. pp. 393-403.
75. PALMA, G. V. Uso de resinas de intercambio iónico para evaluar la disponibilidad de fósforo en los suelos. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1970. 78 p.
76. PATEL, J. M. y MEHTA, B. V. Soil phosphorus fractionation studies. *Soil Science Society of America Proceedings* 25:190-192. 1961.

77. PEARSON, R. W. y SIMONSON, R. W. Soil phosphorus and soil organic matter. Organic phosphorus in seven Iowa soil profiles: distribution and amounts as compared to organic carbon and nitrogen. Soil Science Society of America Proceedings 4:162-167. 1939.
78. PETERSEN, G. W. y COREY, R. B. A modified Chang and Jackson procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphates. Soil Science Society of America Proceedings 30:563-565. 1966.
79. PIÑERES, E. R. Efecto del encalado sobre el pH, las bases cambiables y el aluminio extraíble en seis suelos de Costa Rica. Tesis Licen. Químico. San José, Universidad de Costa Rica, 1969. 33 p. (mimeo)
80. PLAISANCE, G. y CAILLEUX, A. Dictionaire des sols. Paris, Maison Rustique, 1958. 604 p.
81. PLUCKNETT, D. L. y SHERMAN, G. D. Extractable aluminum in some Hawaiian soils. Soil Science Society of America Proceedings 27:39-41. 1963.
82. PRATT, P. F. y GARBER, M. J. Correlations of phosphorus availability by chemical tests with inorganic phosphorus fractions. Soil Science Society of America Proceedings 28:23-26. 1964.
83. RAMUNI, A. Ricerche sul fósforo assimilabile di alcuni terreni tipici italiano mediante el frazionamento dei fosfati. Agrochimica 12(2-3):179-190. 1968.
84. RICH, C. I. Removal of excess salt in cation exchange capacity determinations. Soil Science 93(2):87-94. 1962.
85. RIOS, V., MARTINI, J. A. y TEJEIRA, R. Efecto del encalado sobre la acidez y el contenido de aluminio y hierro extraíble en nueve suelos de Panamá. Turrialba 18(2):139-146. 1968.
86. ROEDER, M. y BORNEMISZA, E. Algunas propiedades de suelos de la región amazónica del Estado de Maranhão, Brasil. Turrialba 18(1):39-44. 1968.
87. ROGERS, H. T., PEARSON, R. W. y PIERRE, W. H. Absorption of organic phosphorus by corn and tomato plants and the mineralizing action of exo-enzyme systems of growing roots. Soil Science Society of America Proceedings 5:285-291. 1940.
88. RUSSEL, J. E. y RUSSEL, W. E. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Trad. della 9a. ed. inglés, por Gaspar González y González. Madrid, Aguilar, 1968. 801 p.
89. SAMPAIO, J. V. Disponibilidades em nutrientes dos solos de cacau de Bahia. In Reuniao do Comite Técnico Interamericano de Cacau, 6a., Bahia, Brasil, 1956. Informe. Bahia, Brasil, Instituto de Cacau da Bahia, 1957. pp. 243-251.

90. SCHEFFER, F. y SCHACHSCHABEL, P. Lehrbuch den Bodenkunde. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag, 1966. 473 p.
91. SCHOFIELD, R. R. Can a precise meaning be given to 'available' soil phosphorus. Soil and Fertilizer 18:373-375. 1955.
92. SEN GUPTA, M. B. y CORNFIELD, A. H. Phosphorus in calcareous soils. I. The inorganic phosphate fractions and their relation to the amount of calcium carbonate present, Journal of the Science of Food and Agriculture 13:652-665. 1962.
93. _____ y CORNFIELD, A. H. Phosphorus in calcareous soils. II. Determination of the organic phosphorus content of calcareous soils and its relation to soil calcium carbonate content. Journal of the Science of Food and Agriculture 13:655-658. 1962.
94. _____ y CORNFIELD, A. H. Phosphorus in calcareous soils. III. Available phosphate in calcareous soils as measured by five chemical methods and phosphate uptake by rye-grass in a pot test. Journal of the Science of Food and Agriculture 14:563-567. 1963.
95. _____ y CORNFIELD, A. H. Phosphorus in calcareous soils. IV. Nature of and factors influencing the fixation of added phosphate. Journal of the Science of Food and Agriculture 14:873-877. 1963.
96. SILVA, L. F. Da et al. Características dos principais solos de cacau da Bahia. In Conferencia Internacional de Pesquisas em Cacau, 2a., Salvador e Itabuna, Bahia, Novembro 19-26, 1967. Memórias. São Paulo, CEPLAC, 1969. pp. 412-416.
97. _____ et al. Solos das bacias inferiores dos rios Almada e Cachoeira da Bahia. Bahia. CEPLAC Boletim Técnico. 1969 55 p.
98. _____ y CABALA, F.P.R. Possible expansión del área cacaotera de Bahia y Espirito Santo con el empleo de fertilizantes. In Reunión del Grupo Técnico de Trabajo de la FAO sobre Producción y Protección del Cacao, 2a., Roma, Septiembre 19-23, 1966. Roma, FAO, 1966. pp. 1-11, tema no. 7.
99. _____ y LEO, A. C. Aptidão cultural dos solos das bacias inferiores dos rios Almada e Cachoeira (Bahia). In Conferencia Internacional de Pesquisas em Cacau, 2a., Salvador e Itabuna, Bahia, Novembro 19-26, 1967. Memórias, Sao Paulo, CEPLAC, 1969. pp. 444-450.
100. SMITH, A. N. Fractionation of inorganic phosphorus in soils, the Chang and Jackson fractionation procedure: its limitation and uses. Agri Digest 17:10-18. 1969.

101. SMITH, J. A. La selección de suelos para el cultivo del cacao. FAO. Boletín sobre Suelos no. 5. 1967. 77 p.
102. STANFORD, G. y DEMENT, J. D. A method for measuring short-term nutrient absorption by plants. 1. Phosphorus. Soil Science Society of America Proceedings 21:612-617. 1957.
103. TAYLOR, A. W. y GURNEY, E. L. Precipitation of phosphate by iron oxide and aluminum hydroxide from solutions containing calcium and potassium. Soil Science Society of America, Proceedings 29:18-22. 1965.
104. THOMPSON, L. F. y PRATT, P. F. Solubility of phosphorus in chemical extractants as indexes to available phosphorus in Ohio soils. Soil Science Society of America Proceedings 18:467-470. 1954.
105. TISDALE, L. S. y NELSON, W. L. Soil fertility and fertilizer. 2a. ed. New York, McMillan, 1967. 694 p.
106. TOTH, J. S. y Bear, F. E. Phosphorus adsorbing capacities of some New Jersey soils. Soil Science 64:199-211. 1947.
107. TRIGOSO, H. R. Fijación y disponibilidad de fósforo aplicado bajo condiciones de concentración de fósforo, reacción del suelo, enclamiento en 16 suelos de costa y selva. Tesis Ing. Agr. Lima, Universidad Agraria La Molina, 1966. 140 p. (mimeo)
108. TRUOG, E. Soil as a medium for plant growth. In _____ ed. Mineral nutrition of plants. Madison, University of Wisconsin Press, 1951. pp. 23-55.
109. ULRICH, B., HEMPLER, K. y BENZLER, J. H. Zur analytischen Bestimmung von Gesamtphosphorsäure und laktatlöslicher Phosphorsäure in Bodenproben. Die Phosphorsäure 20:344-347. 1960.
110. U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. SOIL SURVEY STAFF. Supplement to soil classification system (7th Approximation). Washington, D. C., U. S. Government Printing Office, 1967. 207 p.
111. VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Rio de Janeiro. Ministerio da Agricultura. Boletim Técnico no. 7. 1969. 24 p.
112. VIEIRA, L. S. y BORNEMISZA, E. Categorías de fósforo en los principales grandes grupos de suelos en la amazonía del Brasil. Turrialba 18(3):242-248. 1968.
113. WALKER, T. W. y ADAMS, F. R. Studies on soil organic matter. I. Influence of phosphorus content of parent materials on accumulations of carbon, nitrogen, sulfur and organic phosphorus in Grassland soils. Soil Science 85:307-318. 1958.

114. WAUGH, D. L. y FITTS, J. W. Estudos para interpretação de análises de solo: de laboratorio e em vasos. North Carolina State University and International Soil Testing. Boletim Técnico no. 3. 1966. 33 p.
115. WESTIN, F. C. y BRITO, J. G. De. Phosphorus fractions of some Venezuelan soils as related to their stage of weathering. Soil Science 107(3):194-202. 1970.
116. WILLIAMS, C. H. Studies on soil phosphorus. III. Phosphorus fractionation as a fertility index in south Australian soils. Journal of Agricultural Science 40:257-262. 1950.
117. _____. Nitrogen, sulfur and phosphorus, their interactions and availability. In Jacks, G. V., ed. Soil chemistry and fertility. Aberdeen, University Press, 1967. pp.93-111.
118. WILLIAMS, E. G. Some aspects of phosphate retention and availability in soils. In International Congress of Soil Science, 7th., Madison, Wisconsin, 1960. Transactions. Amsterdam, Elsevier, 1961. v.4, pp. 604-611.
119. WILLIAMS, J.D.H. y WALKER, T. W. Fractionation of phosphate in a maturity sequence of New Zealand basaltic soil profiles: 2. Soil Science 107(3):213-219. 1969.
120. WOODRUFF, J. R. y KAMPRATH, E. J. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationships to phosphorus availability. Soil Science Society of America Proceedings 29:148-150. 1965.

APENDICE

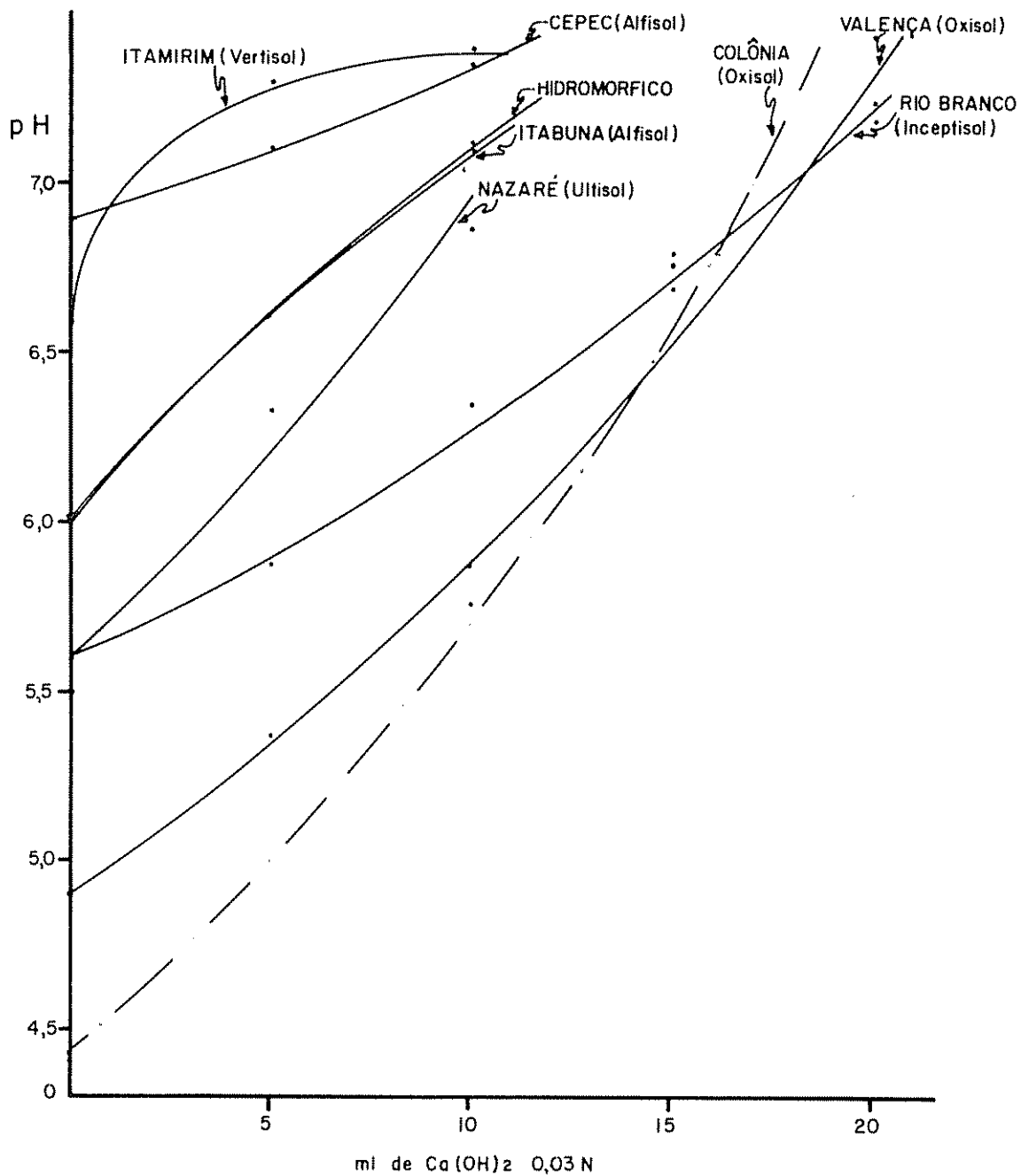


Fig. 1 Curvas de titulación de los ocho suelos superficiales

CUADRO 2. Equivalente miligramos de calcio y magnesio adicionados a los suelos superficiales (0 - 20 cm) juntamente con sus respectivas equivalencias en carbonatos.

Suelo	<u>meq Ca⁺⁺</u>		<u>meq Mg⁺⁺</u>		Factor CaCO ₃	Factor MgCO ₃	CaCO ₃ Kg/ha	MgCO ₃ Kg/ha	Total Kg/ha
	100 g	100 g	100 g	100 g					
CEPEC (Alfisol)	0,61	0,16	1000	844	610	135	745		
ITABUNA (Alfisol)	2,20	0,55	1000	844	2200	464	2664		
NAZARÉ (Ultisol)	2,45	0,61	1000	844	2450	515	2965		
HIDROMORFICO	2,20	0,55	1000	844	2200	464	2664		
RIO BRANCO (Inceptisol)	4,16	1,04	1000	844	4160	878	5038		
ITAMIRIM (Vertisol)	0,69	0,17	1000	844	690	143	833		
VALENÇA (Oxisol)	4,16	1,04	1000	844	4160	878	5038		
COLONIA (Oxisol)	4,21	1,05	1000	844	4210	878	5038		

CUADRO 3. Influencia del encalado en algunas de las características químicas de los suelos superficiales estudiados (0-20 cm).

Suelos	pH	H ₂ O 1:1	CaCl ₂ 1:2	C %	N %	C/N	Bases cambiabiles meq/100 g TS 105°C			Suma de bases S, S ⁺ meq/100g	Acidez cambiable meq/100 g		Capaci- dad de intercam- bio cati- nico (T) meq/100 g	Satura- ción de bases V %	Oxidos libres en %			
							Ca++	Mg++	K ⁺		Na ⁺	Al+++			H ⁺	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Total
CEPEC (Alfisol)	sin cal	6,5	6,2	3,36	0,353	9,5	13,44	6,54	1,09	0,95	22,02	0,08	18,73	40,83	53,9	4,23	7,47	11,70
	con cal	6,6	6,2	3,24	0,342	9,5	13,88	6,53	0,98	0,94	22,33	0,09	17,76	40,18	55,6	4,25	7,64	11,89
ITABUNA (Alfisol)	sin cal	6,3	5,8	1,26	0,196	6,4	5,30	3,52	0,09	0,36	9,27	0,26	11,84	21,37	43,4	3,84	5,89	9,73
	con cal	6,7	6,3	1,22	0,196	6,2	6,35	3,76	0,09	0,34	10,54	0,24	9,80	20,58	51,2	3,46	5,88	9,34
MAZARÉ (Ultisol)	sin cal	6,2	5,4	1,59	0,205	7,7	2,76	2,39	0,12	0,39	5,66	0,45	11,87	17,92	31,6	3,82	5,86	8,68
	con cal	5,6	5,1	1,61	0,194	8,3	4,01	2,84	0,12	0,38	7,35	0,40	8,97	16,76	43,8	3,70	5,49	8,19
HIDROMORFICO	sin cal	6,6	6,0	1,66	0,194	8,5	5,56	2,83	0,11	0,43	8,93	0,22	10,64	19,89	44,9	1,53	0,65	2,18
	con cal	7,0	6,5	1,75	0,194	9,0	6,50	4,88	0,10	0,42	11,90	0,20	7,36	19,46	61,1	1,78	0,65	2,43
RIO BRANCO (Inceptisol)	sin cal	5,8	5,2	2,05	0,241	8,5	3,72	2,53	0,15	0,36	6,76	0,38	17,61	24,75	27,3	9,27	8,06	17,33
	con cal	6,0	5,7	1,97	0,219	9,0	5,58	3,26	0,14	0,35	9,33	0,30	14,25	23,88	39,1	7,83	7,54	15,37
ITAMIRIM (Vertisol)	sin cal	6,6	6,1	1,19	0,174	6,8	5,03	3,36	0,20	0,33	8,92	0,19	10,79	19,80	45,0	2,40	5,37	7,77
	con cal	6,9	6,3	1,39	0,174	8,0	5,03	3,11	0,20	0,33	8,67	0,20	9,27	18,14	47,8	1,82	4,82	6,64
VALENÇA (Oxisol)	sin cal	5,9	4,8	2,56	0,196	13,0	1,51	1,50	0,18	0,39	3,58	1,29	13,67	18,54	19,3	8,15	8,18	16,33
	con cal	6,5	5,8	2,40	0,190	12,6	3,70	2,37	0,17	0,40	6,64	0,36	10,57	17,57	37,8	6,94	8,53	15,47
COLONIA (Oxisol)	sin cal	5,5	4,4	1,06	0,126	8,4	0,91	0,40	0,08	0,31	1,70	0,95	9,87	12,52	13,6	3,31	1,08	4,39
	con cal	6,4	5,9	1,18	0,121	9,7	3,79	1,45	0,09	0,32	5,65	0,63	4,09	10,37	54,5	2,84	1,08	3,92

CUADRO 4. Análisis de variancias conjuntas para la producción de masa seca y contenido de fósforo.

M A S A S E C A - P A R T E A E R E A				
F.V.	GL	SC	CM	F
Suelos	7	37,171678	5,310240	62,60 **
Niveles P	3	33,227741	11,075914	130,57 **
Suelos Niveles	21	10,431221	496725	5,86 **
Cal	1	1,283603	1,283603	15,13 **
Niveles Cal	3	197294	65765	0,77 NS
Suelos x Cal	7	1,841617	263088	3,10 **
Suelos x Niveles x Cal	21	1,948958	92807	1,09 NS
Error	64	5,428271	84817	
Total	127	91,530383		

C O N T E N I D O D E F O S F O R O - P A R T E A E R E A				
F.V.	GL	SC	CM	F
Suelos	7	225,027440	32,147	86,416 **
Encalado	1	1,272101	1,272	3,419 NS
Suelos x Encalado	7	4,129080	0,590	1,586 NS
Niveles P	3	181,630539	60,543	162,750 **
Encalado x Niveles	3	1,376164	0,459	1,234 NS
Suelos x Niveles	21	24,677249	1,175	3,158 **
Error	21	7,810650	0,372	
Total	63	445,923223		

** Significancia a 1% de probabilidad; NS = no significativo

CUADRO 5. Análisis de variancia por suelos para la variable de respuesta masa seca en la parte aérea.

VALENÇA (Oxisol)					RIO BRANCO (Inceptisol)				
F.V.	GL	SC	CM	F	F.V.	GL	SC	CM	F
Niveles P	3	2,388411	796137	26,50 **	Niveles P	3	5,881391	1,960464	85,83 **
Cal	1	1,288793	1,288793	42,9 **	Cal	1	265483	265483	11,62 **
Niveles x Cal	3	695082	231694	7,7 **	Niveles x Cal	3	268872	89624	3,92 NS
Error	8	240289	30036		Error	8	182735	22842	
Total	15	4,612575			Total	15	6,598481		

NAZARÉ (Ultisol)					HIDROMÓRFICO				
F.V.	GL	SC	CM	F	F.V.	GL	SC	CM	F
Niveles P	3	10,630998	3,543666	45,27 **	Niveles P	3	4,730327	1,576775	21,68 **
Cal	1	179988	179988	2,30 NS	Cal	1	14460	14460	0,20 NS
Niveles x Cal	3	63459	21153	0,27 NS	Niveles x Cal	3	369120	123040	1,69 NS
Error	8	626179	78272		Error	8	581859	72732	
Total	15	11,500624			Total	15	5,695766		

ITABUNA (Alfisol)					CEPEC (Alfisol)				
F.V.	GL	SC	CM	F	F.V.	GL	SC	CM	F
Niveles P	3	9,330156	3,110052	26,32 **	Niveles P	3	393141		
Cal	1	271181	271181	2,29 NS	Cal	1	62875		
Niveles x Cal	3	253657	84552	0,71 NS	Niveles x Cal	3	76510		
Error	8	945317	110165		Error	8			
Total	15	10,800311			Total	15	3,174609		

ITAMIRIM (Vertisol)					COLONIA (Oxisol)				
F.V.	GL	SC	CM	F	F.V.	GL	SC	CM	F
Niveles P	3	6,986111	2,328704	104,84 **	Niveles P	3	2,148855	716285	31,38 **
Cal	1	21830	21830	0,98 NS	Cal	1	392189	392189	17,18 **
Niveles x Cal	3	252877	84292	3,79 NS	Niveles x Cal	3	194533	64844	2,84 NS
Error	8	177691	22211		Error	8	182617	22827	
Total	15	7,438509			Total	15	2,918194		

** Significancia a 1% de probabilidad; NS = no significativo

CUADRO 1. Características físico-químicas de los ocho perfiles de suelos estudiados*

SUELOS	Horizontes	Profundidad en (cm)	Humedad equivalente	Distribución Granulométrica			Contenido Totales y Relaciones				pH		C/N	Bases cambiabiles			Suma de bases S	Acidez cambiabie	Valor T	Saturación de bases							
				Arena gruesa fina (%)	Aréna limo (%)	Arcilla (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K _i	K _r	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃		Agua 1:1	MCL 1:2,5	Carbón Nitrógeno %					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	meq/100 g suelo	meq/100 g H ⁺	CIC meq/100 E
CIPEC (Alfisol)	A1	0 - 11	41,6	4,1	39,1	31,5	25,3	14,98	14,80	14,20	1,72	1,06	1,04	6,8	5,8	2,97	0,370	8,0	12,30	7,06	0,54	0,19	20,09	0,0	4,2	24,29	82
	A3	11 - 20	39,4	3,4	22,0	33,4	41,2	24,84	18,80	15,30	2,24	1,47	1,22	6,5	5,3	1,27	0,170	7,5	7,81	4,60	0,28	0,14	12,83	0,0	4,3	17,13	74
	B1	20 - 34	44,9	1,8	27,7	18,1	52,4	16,00	21,10	15,80	1,29	0,87	1,33	5,9	5,0	0,86	0,130	6,6	6,63	3,96	0,27	0,16	11,02	0,0	5,0	16,02	68
	B2	34 - 62	46,2	2,1	26,9	36,7	34,2	00,47	12,20	15,10	0,51	0,03	0,80	5,3	4,6	0,52	0,090	7,0	4,81	4,79	0,12	0,29	9,61	0,11	5,5	15,22	63
	B3	62 - 98	44,4	2,1	42,8	42,8	36,6	00,47	12,50	16,80	0,51	0,03	0,75	5,2	4,4	0,52	0,050	10,4	4,07	4,55	0,10	0,22	8,94	0,37	7,5	16,81	53
	C1	98 - 147	39,9	4,5	28,1	32,2	35,2	16,03	22,70	15,10	1,19	0,84	1,50	5,1	3,9	0,26	0,040	6,5	3,32	6,25	0,06	0,23	9,86	0,90	7,8	18,56	53
	C2	147 - 200	38,6	3,2	37,7	33,6	25,5	24,31	15,20	18,20	2,70	1,54	0,83	5,1	3,6	0,21	0,040	6,2	3,64	7,97	0,04	0,36	12,01	1,50	9,2	22,71	52
ITABUNA (Alfisol)	A1	0 - 7	24,0	24,4	14,0	39,3	22,3	11,91	9,54	5,20	2,21	1,62	1,76	6,0	5,1	1,85	0,210	8,8	4,47	5,41	0,11	0,13	10,12	0,00	3,59	13,71	74
	A2	7 - 16	22,4	26,8	14,6	33,8	24,8	15,20	10,05	5,56	2,27	1,79	1,95	5,3	4,0	1,00	0,130	7,6	1,85	2,68	0,07	0,09	4,69	1,03	3,56	9,28	50
	A3	16 - 27	23,1	24,5	6,6	39,4	28,5	14,56	11,93	6,19	1,87	1,56	1,93	5,1	3,9	0,63	0,100	6,3	0,94	2,29	0,04	0,10	3,37	2,39	2,76	8,52	39
	B1	27 - 36	25,7	19,4	12,0	32,3	36,3	16,21	14,85	6,55	1,85	1,44	2,27	5,1	3,9	0,54	0,090	6,0	1,04	3,02	0,03	0,12	4,21	2,50	2,47	9,18	46
	B2	36 - 64	34,8	13,2	6,7	30,9	49,2	26,33	23,46	8,02	1,91	1,57	2,92	5,2	4,0	0,39	0,090	4,3	0,00	4,60	0,03	0,17	4,80	3,32	3,82	11,94	40
	C1	64 - 78	30,3	17,8	9,5	39,2	33,7	24,72	23,29	5,98	1,80	1,55	3,89	5,1	3,8	0,21	0,060	3,5	0,00	3,15	0,03	0,17	3,35	5,04	2,93	11,32	30
	C2	78 - 100	27,8	18,1	9,9	43,7	28,3	24,05	20,35	5,56	2,00	1,71	3,66	5,1	3,6	0,17	0,060	2,8	0,00	1,99	0,03	0,21	2,23	6,40	3,30	11,93	19
HAZARÉ (Ultisol)	A1	0 - 10	20,2	38,7	19,6	25,4	16,3	9,80	6,60	6,80	2,67	1,60	0,97	6,3	5,6	2,72	0,307	8,9	6,20	3,90	0,27	0,26	10,63	0,00	5,23	15,86	67
	A3	10 - 18	19,2	36,3	22,9	12,4	28,4	12,10	9,38	7,56	2,22	1,43	1,24	5,3	4,4	0,94	0,107	8,8	0,50	2,60	0,08	0,11	3,29	0,40	5,90	9,59	34
	B1	18 - 36	24,7	27,8	20,9	41,1	20,9	17,00	12,58	10,26	2,42	1,61	1,23	5,3	4,1	0,68	0,094	7,2	0,20	1,20	0,05	0,10	1,55	1,30	3,68	6,53	24
	B2	36 - 53	31,7	20,3	15,4	16,2	48,1	20,50	17,12	13,19	2,00	1,36	1,30	5,3	4,1	0,55	0,066	8,3	0,20	1,10	0,04	0,13	1,47	1,70	3,75	6,92	21
	B3	53 - 82	37,7	16,1	11,4	10,7	61,8	25,30	20,42	14,94	2,10	1,45	1,37	5,6	4,2	0,44	0,051	8,6	0,20	1,80	0,04	0,14	2,28	1,90	3,59	7,77	29
	C1	82 - 137	36,4	16,2	13,5	17,0	53,3	27,00	21,52	13,96	2,14	1,50	1,54	5,3	4,3	0,27	0,045	6,0	0,20	1,30	0,03	0,12	1,65	1,90	3,53	7,08	23
	C2	137 - 184	32,0	16,1	18,5	23,3	42,1	27,00	21,82	13,99	2,14	1,50	1,56	5,2	4,2	0,16	0,045	3,6	0,30	1,00	0,02	0,13	1,45	1,90	2,84	5,99	24
HIDROHÓRTECO	A11	0 - 9	20,0	7,3	33,8	46,7	12,2	8,97	2,99	5,96	5,10	2,21	0,50	6,3	5,6	1,73	0,180	9,6	3,06	5,51	0,21	0,21	8,99	0,00	2,26	11,25	79
	A2	9 - 20	22,2	7,3	34,4	43,8	14,5	10,37	3,44	6,24	5,11	2,34	0,50	6,5	5,6	1,22	0,120	10,1	2,19	6,76	0,16	0,18	9,59	0,00	1,86	11,55	83
	B1g	20 - 34	20,0	7,3	33,6	39,5	19,6	11,25	5,90	6,18	3,25	1,97	0,95	6,7	5,5	0,35	0,070	5,0	2,11	6,64	0,13	0,19	9,07	0,00	1,36	10,43	86
	B2g	34 - 56	27,0	6,9	26,6	30,0	36,1	17,81	8,27	6,33	3,65	2,49	1,30	6,0	5,4	0,16	0,030	5,3	5,77	40,25	0,09	0,82	16,93	0,00	1,86	18,29	92
	B3g	56 - 80	28,7	11,0	27,4	29,6	32,0	19,23	9,05	6,54	3,60	2,47	1,38	6,9	5,5	0,13	0,020	6,5	5,77	11,33	0,16	0,62	17,89	0,00	1,18	19,06	93
	C1g	80 - 95	21,5	22,0	26,9	25,7	25,4	14,00	6,49	5,30	3,67	2,38	1,22	6,8	5,4	0,12	0,020	6,0	4,37	10,08	0,14	0,52	15,11	0,00	1,11	16,22	93
	C2	95 - 120	15,3	38,4	24,5	20,7	16,4	9,51	4,28	6,78	3,77	1,89	0,63	6,7	5,0	0,11	0,020	5,5	3,16	6,63	0,33	0,29	10,41	0,00	1,25	11,66	89
RIO BRANCO (Inceptisol)	A1	0 - 8	36,0	22,0	16,0	28,0	34,0	16,50	15,30	15,50	1,63	1,11	1,55	6,9	6,4	4,22	0,440	10,0	17,80	9,10	0,12	0,10	27,10	0,00	1,80	28,90	94
	A3	8 - 17	31,0	16,0	14,0	15,0	55,0	18,90	21,00	16,30	1,53	1,02	2,02	6,0	5,4	1,60	0,190	8,0	5,00	2,90	0,05	0,09	8,00	0,00	3,40	11,40	70
	B1	17 - 30	33,0	17,0	12,0	9,0	62,0	19,70	22,00	16,40	1,52	1,03	2,10	5,4	5,0	1,23	0,160	8,0	2,50	1,70	0,05	0,11	4,40	0,20	4,00	8,60	51
	B2	30 - 55	32,0	15,0	12,0	9,0	64,0	19,70	22,70	16,80	1,47	1,00	2,12	4,9	4,3	0,91	0,100	9,0	1,20	0,30	0,05	0,09	1,60	0,80	4,40	6,80	24
	B3-C	55 - 75	34,0	12,0	12,0	10,0	66,0	21,30	24,20	17,30	1,50	1,03	2,19	4,5	4,1	0,75	0,080	9,0	0,37	0,08	0,05	0,05	0,55	1,60	4,30	6,45	11
	C-D	+75	41,0	23,0	9,0	13,0	55,0	20,60	23,00	16,90	1,52	1,04	2,12	4,6	4,1	0,64	0,070	9,0	0,41	0,11	0,06	0,18	0,76	1,70	4,80	7,26	12
	C																										
ITAPERIH (Vertisol)	A11	0 - 11	16,0	34,0	22,0	30,2	13,8	6,88	3,41	9,37	3,44	1,26	0,36	6,8	6,0	1,43	0,140	10,2	5,10	2,90	0,10	0,05	8,15	0,10	1,70	9,95	82
	A12	11 - 30	18,7	30,9	21,9	28,6	18,6	6,12	5,25	10,30	1,98	0,88	0,51	6,8	5,8	0,45	0,070	6,4	2,80	3,20	0,05	0,05	6,10	0,10	0,80	7,00	87
	A3	30 - 42	27,7	23,9	16,5	29,2	30,4	12,14	10,09	13,05	2,04	1,19	0,77	6,8	5,6	0,41	0,060	6,8	2,00	7,10	0,04	0,07	9,21	0,10	0,90	10,21	90
	B1	42 - 58	37,8	10,9	8,9	27,6	52,6	24,96	16,42	17,32	2,58	1,54	0,95	6,2	5,0	0,66	0,060	8,2	1,20	13,20	0,03	0,18	14,61	0,10	3,00	17,71	82
	B2	58 - 82	40,4	2,7	5,9	29,0	62,4	31,13	21,13	20,16	2,50	1,58	1,05	5,9	4,5	0,61	0,080	7,6	0,40	15,00	0,03	0,29	15,62	0,50	3,80	19,92	78
	B3	82 - 97	39,0	2,5	7,1	35,0	55,4	13,40	11,03	20,42	2,06	0,94	0,54	5,8	4,3	0,46	0,060	7,6	0,00	16,20	0,03	0,32	16,55	0,70	3,60	20,75	80
	C																										
VALENÇA (Oxisol)	A1	0 - 12	16,0	42,8	13,4	19,2	24,6	9,30	12,03	13,51	1,25	0,71	0,89	5,1	4,3	1,08	0,164	6,5	0,20	0,80	0,09	0,32	1,41	0,50	5,37	7,28	19
	A3	12 - 23	16,4	39,5	12,6	20,7	27,2	10,60	13,31	15,12	1,38	0,78	0,88	5,0	4,3												

CUADRO 6. Análisis de variancia por suelos para la variable de respuesta contenido de fósforo en la parte aérea.

VALENÇA (Oxisol)					RIO BRANCO (Inceptisol)				
F.V.	GL	SC	CM	F	F.V.	GL	SC	CM	F
Encalado	1	1,587762	1,588	3,176 NS	Encalado	1	0,414050	0,414	3,23 NS
Niveles P	3	3,143696	1,049	2,090 NS	Niveles P	3	15,791744	5,263	41,12 **
Error	3	1,500686	0,50		Error	3	0,385366	0,128	
Total	7	6,231144			Total	7	16,591160		

NAZARÉ (Ultisol)					HIDROMÓRFICO				
F.V.	GL	SC	CM	F	F.V.	GL	SC	CM	F
Encalado	1	0,7900	0,7900	3,16 NS	Encalado	1	1,118260	1,118	4,74 NS
Niveles P	3	42,5051	14,1684	56,68 **	Niveles P	3	38,200947	12,733	53,95 **
Error	3	0,7509	0,25		Error	3	0,709567	0,236	
Total	7	44,045966			Total	7	40,028774		

ITABUNA (Alfisol)					CEPEC (Alfisol)				
F.V.	GL	SC	CM	F	F.V.	GL	SC	CM	F
Encalado	1	0,713415	0,713	2,71 NS	Encalado	1	0,019208	0,019	0,016 NS
Niveles P	3	35,455627	11,820	41,14 **	Niveles P	3	21,502574	7,17	5,97 NS
Error	3	0,787718	0,263		Error	3	3,591094	1,20	
Total	7	36,956760			Total	7	25,112876		

ITAMIRIM (Vertisol)					COLONIA (Oxisol)				
F.V.	GL	SC	CM	F	F.V.	GL	SC	CM	F
Encalado	1	0,013	0,013	0,075 NS	Encalado	1	0,745460	0,745	2,39 NS
Niveles P	3	32,591	10,863	62,431 **	Niveles P	3	17,116782	5,707	18,29 **
Error	3	0,524	0,174		Error	3	0,937068	0,312	
Total	7	33,128833			Total	7	18,799270		

** Significancia a 1% de probabilidad; NS = no significativo