

DINAMICA DEL NPK EN EL SUELO DESPUES DE CINCO  
FERTILIZACIONES CONSECUTIVAS

Tesis de Grado de Magister Scientiae

José Joaquín Gamboa Jaimes



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA  
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación  
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales  
Turrialba, Costa Rica  
Abril, 1971

DINAMICA DEL N-P-K EN EL SUELO DESPUES DE CINCO  
FERTILIZACIONES CONSECUTIVAS

Tesis

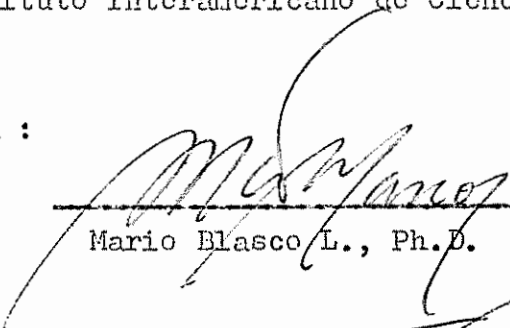
Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados  
como requisito parcial para **optar** al grado de

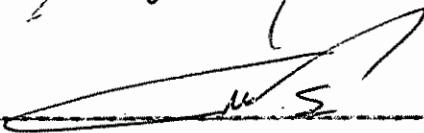
Magister Scientiae

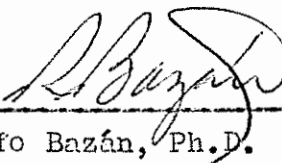
en el


Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA :

  
-----  
Mario Blasco L., Ph.D.                      Consejero

  
-----  
Gilberto Páez, Ph.D.                      Comité

  
-----  
Rufo Bazán, Ph.D.                      Comité

  
-----  
Adalberto Gorbitz, Ing. Agr.              Comité

Abril, 1971

A mis padres

A mi esposa

A mis hijos

El autor desea expresar su agradecimiento al Dr. Mario Blasco L., Consejero Principal, por su valiosa guía, su orientación y apoyo en el planeamiento y desarrollo del presente trabajo de tesis.

Al Dr. Hans W. Fassbender por su valiosa ayuda en el comienzo de éste trabajo y por el estímulo recibido durante el período de estudios.

Al Dr. Gilberto Páez, Rufo Bazán y Adalberto Gorbitz, por el asesoramiento y revisión que hicieron posible este trabajo.

A la Universidad de Mariño (Colombia) Institución que concedió el permiso para efectuar estudios de postgrado.

A la OEA e IICA-CTEI por haber otorgado la beca.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la elaboración de este trabajo.

El autor nació en Pamplona (Colombia) el 16 de agosto de 1934.

Realizó sus estudios primarios y secundarios en el Colegio La Salle de los Hermanos Cristianos, sus estudios universitarios los comenzó en 1956 en la Facultad de Agronomía de Palmira (Valle) Universidad Nacional de Colombia habiéndose graduado como Ingeniero Agrónomo en el año de 1960.

Prestó sus servicios profesionales a la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia entre los años 1961 y 1966. En 1967 se vinculó a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño como profesor asistente de Agrogeología y Suelos.

En septiembre de 1969 ingresó a la Escuela de Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, habiendo obtenido el grado de Magister Scientiae en Abril de 1971.

## CONTENIDO

	página
1. INTRODUCCION . . . . .	1
2. REVISION DE LITERATURA . . . . .	3
2.1. El nitrógeno en el suelo . . . . .	3
2.1.1. Nitrógeno total . . . . .	3
2.1.2. Nitrógeno orgánico . . . . .	3
2.1.3. Nitrógeno inorgánico . . . . .	4
2.1.4. Nitrógeno nativo fijo. . . . .	5
2.1.5. Nitrógeno intercambiable . . . . .	5
2.1.6. Nitrógeno amoniacal . . . . .	5
2.1.7. Nitrógeno nítrico . . . . .	6
2.2. Estudios del nitrógeno en suelos de regio- nos tropicales . . . . .	6
2.3. El fósforo en el suelo . . . . .	6
2.3.1. Fósforo total . . . . .	7
2.3.2. Fósforo orgánico . . . . .	7
2.3.3. Fósforo inorgánico . . . . .	8
2.3.3.1. Fosfatos de Al y de Fe . . . . .	9
2.3.3.2. Fosfatos de Ca . . . . .	10
2.3.3.3. Fósforo aprovechable . . . . .	11
2.3.3.4. Fósforo inerte . . . . .	11
2.4. Estudio del fósforo en suelos de regio- nes tropicales . . . . .	12
2.5. El potasio en el suelo . . . . .	13
2.5.1. Potasio total . . . . .	13
2.5.2. Potasio soluble. . . . .	14
2.5.3. Potasio intercambiable . . . . .	14
2.5.4. Potasio no intercambiable total. . . . .	15
2.5.5. Potasio estructural . . . . .	16
2.6. Estudio del potasio en suelos de regio- nes tropicales . . . . .	17
2.7. Dinámica del NPK . . . . .	17
2.7.1. Nitrógeno . . . . .	17
2.7.2. Fósforo . . . . .	20
2.7.3. Potasio . . . . .	21

3.	MATERIALES Y METODOS . . . . .	24
3.1.	Localización . . . . .	24
3.2.	Características ecológicas . . . . .	24
3.3.	Características edafológicas . . . . .	24
3.4.	Cultivos y fertilización del suelo . . . . .	25
3.5.	Muestreo . . . . .	25
3.6.	Análisis de laboratorio. . . . .	26
3.6.1.	Fraccionamiento del nitrógeno. . . . .	26
3.6.2.	Fraccionamiento del fósforo . . . . .	27
3.6.3.	Fraccionamiento del potasio . . . . .	27
3.6.4.	Otras determinaciones . . . . .	29
3.7.	Análisis estadístico . . . . .	29
4.	RESULTADOS Y DISCUSION . . . . .	31
4.1.	Modelo de la dinámica del N-P-K en el suelo . . . . .	31
4.2.	Estado del N en los suelos estudiados ..	39
4.3.	Estado del P en los suelos estudiados ..	42
4.4.	Estado del K en los suelos estudiados ..	45
4.5.	Comparación de métodos analíticos para determinar fosfatos de Al. . . . .	48
4.6.	Efecto del NPK en la producción de maíz. .	50
4.7.	Efecto del NPK en la reacción del suelo. .	51
4.8.	Similitud de concentración en algunos tratamientos . . . . .	53
5.	CONCLUSIONES . . . . .	56
6.	RESUMEN . . . . .	57
7.	SUMARY . . . . .	59
8.	LITERATURA CITADA . . . . .	61
	APENDICE . . . . .	72

## LISTA DE CUADROS

Cuadro no.		página
1.	Coeficientes de penetrabilidad ( $\beta_1$ ) de las distintas fracciones estudiadas según modelo : $y_i = \beta_0 \beta_1^{x_i}$	32
2.	Concentración superficial ( $\beta_0$ ) de N-P-K detectada según modelo : $y_i = \beta_0 \beta_1^{x_i}$	36
3.	Porcentajes de P-Ca no apatítico comprendidos dentro del P-Al	49
4.	Producción promedio de cinco cosechas de maíz	52
5.	Concentración de Al-intercambiable y pH del suelo al comenzar y finalizar el experimento	54



LISTA DE FIGURAS

Figura no		página
1	Espectro del movimiento de los elementos del suelo, en función de la profundidad	34

## 1. INTRODUCCION

Cuando se aplican fertilizantes al suelo, se realizan una serie de reacciones químicas y procesos físicos que conllevan a la formación de fracciones específicas ya sean orgánicas o inorgánicas que facilitan la nutrición de la planta y el movimiento o la retención del elemento a través del perfil del suelo.

Dentro del número de fracciones que se forman en el suelo, algunas son fáciles y otras difícilmente aprovechables por las plantas. El conocimiento de las formas existentes y su concentración son, sin duda alguna, una herramienta eficaz para que el investigador pueda dar un dictamen acertado de la fertilidad del suelo y la capacidad de respuesta de determinado cultivo a la fertilización.

En los suelos del Trópico y Subtrópico húmedos se presentan una serie de procesos, como lixiviación, volatilización y retención de elementos que pueden incidir en la efectividad de los fertilizantes aplicados. Es por eso que se considera de interés obtener datos que permitan conocer el camino que toman los elementos aplicados a través del perfil del suelo.

Un ensayo de fertilización en maíz llevado por tres años con cinco cosechas consecutivas en las que se aplicaron altos niveles de NPK, sirvió de base para el presente trabajo cuyos objetivos son :

- a) Conocer la concentración

de las distintas fracciones de N-P-K y la tendencia que si guen a través del perfil del suelo.

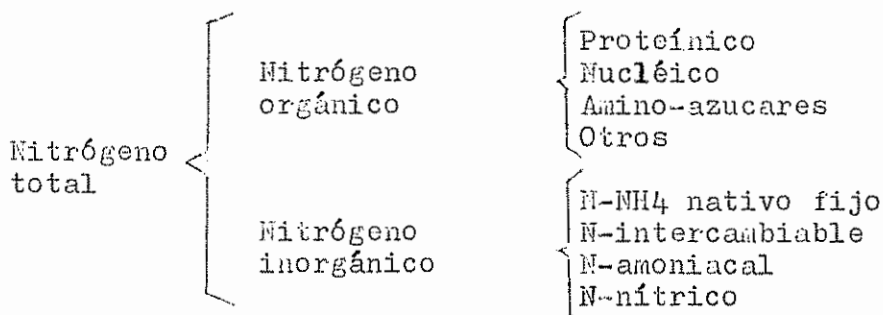
b) Evaluar las posibles p~~er~~ -  
didas de nutrimentos causadas por lixiviación y los proble-  
mas ocasionados por la retención.

c) Obtener algunos conocimien-  
tos que permitan el mejor uso de los fertilizantes en sue-  
los del Trópico y Sub-Trópico húmedo.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. El nitrógeno en el suelo

Las diferentes fracciones del nitrógeno presentes en el suelo se pueden agrupar en la siguiente forma:(21):



2.1.1. Nitrógeno total. El contenido de nitrógeno total en los suelos presenta un rango entre 0,2 - 0,7 por ciento en la capa arable, disminuyendo el porcentaje con la profundidad del perfil (21).

Este porcentaje está relacionado con el contenido de materia orgánica del suelo (28). Por lo general la fracción orgánica representa entre un 85-95 por ciento del nitrógeno total, correspondiéndole a la fracción inorgánica un rango de 15 - 5 por ciento (77).

2.1.2. Nitrógeno orgánico. El nitrógeno orgánico está conformado en un 20 a 50 por ciento, por sustancias de naturaleza proteínica. Bremner (28) afirma que un tercio de ésta fracción se presenta en forma de proteínas, aunque éste porcentaje puede variar de acuerdo con las condiciones del suelo, llegando en ciertos casos a representar hasta un 50 por ciento del nitrógeno orgánico (76).

También tienen importancia en la fracción orgánica, los amino-azúcares (Glucosamina y galactosamina) con un 5-10 por ciento del N-total (30). A pesar de tener una extraordinaria importancia en el substrato nitrogenado, los ácidos nucleicos sólo representan un 1 por ciento del nitrógeno total (2). Además existe otra fracción que se presenta como un complejo ligno-amoniacal y que también representa aproximadamente un 1 por ciento del nitrógeno total (115).

2.1.3. Nitrógeno inorgánico. Rodríguez (106) demostró la existencia de ésta forma de nitrógeno. Los porcentajes en que se encuentra en el suelo varían de 5 a 15 por ciento del nitrógeno total, aunque en algunos casos puede llegar a un 20 por ciento de acuerdo con la metodología analítica usada; por ejemplo el mismo autor encontró que usando HF:H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N como extractor el porcentaje podría ser mayor del 20 por ciento del nitrógeno total.

Las rocas ígneas ( granitos, pegmatitas) pueden ser fuente de ésta fracción, lo mismo que los silicatos primarios ( feldespatos y micas) (3). Las determinaciones efectuadas por Wlotzka (131), en rocas magmáticas y sedimentarias dieron los siguientes resultados, para las primeras contenidos de 5 a 50 gr/tonclada de N-NH<sub>3</sub> y para las segundas 135 gr/tonclada en las areniscas y 580 gr/tonclada en las arcilláceas.

Según Blasco (21) los porcentajes de nitrógeno inorgánico son más altos en regiones áridas o semi-áridas, correspondiéndoles porcentajes más bajos a los suelos volcánicos.

2.1.4. Nitrógeno nativo fijo. La fracción denominada nitrógeno nativo fijo pertenece a la forma inorgánica y se encuentra situada entre las láminas de las arcillas (30). De acuerdo a algunos autores también puede existir una fijación inducida en los suelos ( 14, 20, 106 ). En éste aspecto humedecimientos y secamientos repetidos pueden influir notablemente en este tipo de fijación (13, 125).

El tipo de arcilla juega un papel importante en la fijación. Numerosas investigaciones han demostrado que la caolinita tiene una baja retención, pero que la montmorillonita, illita, vermiculita y micas hidratadas pueden fijar mayores cantidades, las dos últimas aun bajo condiciones de humedad ( 7, 20, 106, 125 ).

2.1.5. Nitrógeno intercambiable. Se denomina nitrógeno intercambiable a aquel que se encuentra retenido en las superficies de las arcillas ( 21). Su determinación se efectúa a partir de extracciones con sales solubles como KCl 1N(13) o con el mismo extractante pero acidificado a pH 1 (106). Otros investigadores como Blasco y Cornfield (20) utilizan  $\text{CaCl}_2$  1N para la extracción.

2.1.6. Nitrógeno amoniacal. Según Alexander (5), el nitrógeno amoniacal se forma por el efecto de la mineralización o amonificación de los compuestos orgánicos nitrogenados. Se sabe que debido a la acción de microorganismos como bacterias, hongos y actinomicetos se libera amoniaco a partir de los compuestos orgánicos; el amoniaco posteriormente pasa a

formas nítricas bajo la acción de organismos especializados.

2.1.7. Nitrógeno nítrico. El  $\text{NO}_3$  es la forma más asequible para las plantas, se forma a partir del proceso de amonificación. El amoniaco en un primer ciclo es atacado por bacterias oxidantes ( Nitrosomonas, nitrosococcus, nissospira ), en donde al presentarse procesos de oxidación-des hidrogenación-oxidación se forma el  $\text{NO}_2$ . Esta forma es oxidada por bacterias del género Nitrobacter, Nitrocystis, formando finalmente el  $\text{NO}_3$  (5). Según Blasco (21), el nitrógeno mineralizado no supera en la mayoría de los casos el 2 por ciento del nitrógeno total.

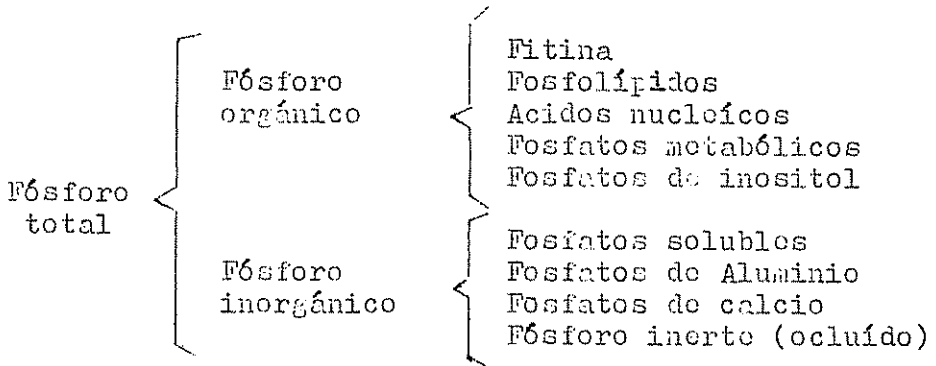
## 2.2. Estudio del nitrógeno en suelos de regiones tropicales

Existen pocos trabajos sobre la naturaleza del nitrógeno en los suelos del trópico. Fuera de América se puede citar la investigación de Moore y Ayeke (89) en Nigeria y la de Mikami y Kanchiro (87) en Hawaii.

En América Tropical existe el estudio de Rodríguez (106) utilizando suelos del área del Caribe ( Trinidad, Honduras Británica, Guyana) y los trabajos realizados en suelos de origen volcánico y regiones tropicales de Colombia por Blasco y colaboradores ( 8,15,19,46,88,117).

## 2.3. El fósforo en el suelo

Las diferentes fracciones de fósforo en el suelo se pueden agrupar de la siguiente forma (51) :



2.3.1. Fósforo total. Jackson (67) informa que el contenido total de fósforo en la mayoría de los suelos minerales varía entre 0,02 y 0,05 por ciento; teniendo los suelos del trópico un promedio de 0,05 por ciento (51). La presencia de éste elemento en el suelo está regulada por diversos factores, como el material parental, grado de desarrollo del suelo, textura y la profundidad del perfil (51).

En suelos de regiones tropicales, los diversos estudios que se han realizado dan a entender que existe una alta variabilidad en su contenido, presentándose datos extremos como 3.000 ppm/ha y en otros solo 150 ppm/ha(24,91).

2.3.2. Fósforo orgánico. Mortensen y Hines (92) indican que el fósforo orgánico está conformado por los siguientes compuestos : fosfolípidos, ácidos nucleicos, fosfatos metabólicos, fosfoproteínas y fosfatos de inositol. La fracción principal está constituida por fitina, la cual incluye los ácidos rínicos y sus sales (71).

Existe una gran variabilidad en la concentración de fósforo orgánico en el suelo. Así, en suelos de regiones tropicales distintos autores, tales como Fassbender (55)



Bornemisza (26) señalan que en suelos de Centro América la fracción oscila entre 3 y 90 por ciento del fósforo total.

En suelos de Nigeria, se encontró que en el primer horizonte el fósforo orgánico se presentaba en promedio en un 43 por ciento, siendo de 28 por ciento la cantidad promedio del subsuelo (47).

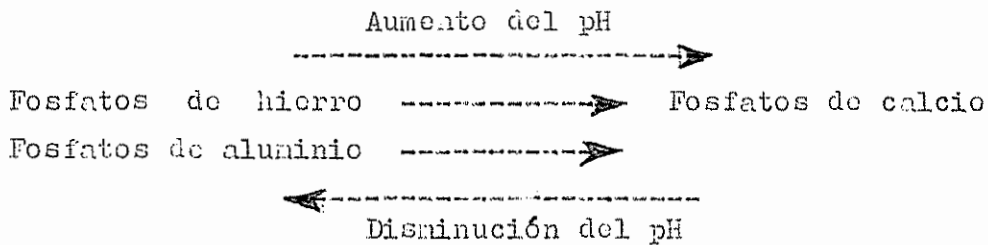
En suelos de la zona templada la variación del fósforo orgánico es más estrecha y se encuentra entre 14 y 35 por ciento del fósforo total (56, 112). En suelos de Iowa, Pearson y Simonson (99) encontraron una disminución del fósforo orgánico con la profundidad del perfil del suelo, resultados similares hallaron Dahuke et al. (43) en suelos de El Salvador y Blasco y colaboradores en varias regiones de Colombia ( 23, 24,98,105). Sin embargo, en otros estudios se ha encontrado que no existe una variación significativa entre el contenido de la fracción orgánica de los diferentes horizontes del perfil del suelo ( 54, 122, 126 ).

Finalmente, en lo que respecta al fósforo orgánico, existe unanimidad de criterio entre los investigadores de suelos de regiones tropicales de que la forma orgánica, debido a la mayor facilidad que ofrece para pasar a formas asequibles para las plantas, pueda ser la reserva principal de fósforo (26, 1, 54, 122 ).

2.3.3. Fósforo inorgánico. Las formas aluminicas, férricas y cálcicas estan representando esta forma inorgánica de fósforo, presentandose en algunos casos formas de mag-

nesio y manganeso (55). De acuerdo a Fassbender (51), el promedio de alguna de éstas formas depende de los factores físicos, químicos y biológicos reinantes en el medio en que se desarrolla un determinado suelo.

Uno de los factores que incide notablemente en la presencia y en el predominio de determinado fosfato es el pH del suelo. El siguiente esquema da una idea más precisa de ésta influencia (55) :



2.3.3.1. Fosfatos de aluminio y hierro. Los fosfatos de aluminio y hierro predominan principalmente en suelos de regiones tropicales, debido a la intensa meteorización que se presenta en estos suelos (39).

Según Hemwall (63), la fracción inorgánica se presenta como ortofosfato, combinándose en su mayor parte para formar: oxi-fluoro-, o hidroxifosfatos de hierro y aluminio. Los principales compuestos de hierro y aluminio de tipo cristalino son : la variscita ( $AlPO_4 \cdot 2H_2O$ ), la strongita ( $FePO_4 \cdot 2H_2O$ ) y la vivianita ( $FePO_4 \cdot 8H_2O$ ) (107), entre los compuestos amorfos se pueden nombrar las taranakitas ( $H_6K_3Al_5(PO_4)_8$ ) (51). La distribución de los fosfatos de aluminio y de hierro en el

perfil del suelo está regulada por el pH, drenaje, intensidad de intemperismo, edad y manejo del suelo (129).

Existe bastante acuerdo entre los investigadores, en que el aluminio fija más rápidamente el fósforo, en comparación con las retenciones que presenta el hierro y el calcio de éste mismo elemento y que además esa forma es la más fácilmente asequible a las plantas en lo que se refiere a suelos de regiones tropicales (1,24, 51). Por lo general para la determinación de éstos fosfatos, se sigue la técnica propuesta por Chang y Jackson (38). Sin embargo algunos investigadores siguen las recomendaciones de Ghani (112, 113) en el sentido de extraer antes del fósforo unido al aluminio, los fosfatos mono y dicálcico con  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$  0,5N.

2.3.3.2. Fosfatos de calcio. En suelos del Trópico la fracción de fósforo unida al calcio (mono-di y tricálcica) se presenta en bajos porcentajes (48). Según Fassbender (51) su distribución depende del grado de meteorización y desarrollo de los suelos, pudiéndose presentar la siguiente secuencia:

Suelos jóvenes > S. medianamente desarrollados > S. maduros

En América Central, Fassbender y colaboradores (55), en un amplio estudio sobre 110 muestras de suelo, encontraron que en 80 de ellas predominaba el fosfato de calcio y en las 30 restantes los fosfatos de aluminio y de hierro.

Los fosfatos de calcio que se conocen son: Monocálcico

( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ); dicálcico hidratado ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ); octofosfato cálcico ( $\text{CaHPO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ); tricálcico ( $\text{Ca}_3\text{PO}_4)_2$  apatita hidroxidada ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) y la apatita fluorada ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}$ ) (78).

2.3.3.3. Fósforo aprovechable. El fósforo aprovechable es aquel que se encuentra retenido en la superficie de los coloides del suelo y puede ser aprovechable por las plantas (51). Se conocen varias técnicas de extracción, predominando las de carácter ácido, debido a que los ácidos diluidos disuelven fácilmente los fosfatos existentes en la parte superficial de los coloides (44).

La concentración de fósforo aprovechable es muy variable, aunque todos los investigadores concuerdan de que ésta fracción muestra una tendencia baja, especialmente en suelos de regiones tropicales (51,23,126).

2.3.3.4. Fósforo inerte. El fósforo inerte se define como aquel que se encuentra en el interior de los minerales del suelo, ya sea como especies mineralógicas muy estables o como formas claramente definidas pero de alta estabilidad, siendo una fracción inactiva que no participa en la dinámica del fósforo (24).

Chang y Jackson (38), lo presentan bajo dos formas: fosfatos solubles en reductantes y fosfatos ocluidos, que son extraídos a partir de agentes reductores como el hidrógeno nascente y agentes acomplejantes como citratos, tartratos y oxalatos.

Según Fassbender (48) en los suelos maduros las formas ocluidas de aluminio y de hierro pueden tener predominancia sobre las otras fracciones. En trabajos efectuados en Costa Rica, el mismo autor encontró que tenían más importancia los fosfatos solubles en reductante que los ocluidos (50).

#### 2.4. Estudios del fósforo en suelos de regiones tropicales.

Si se compara con los otros dos elementos mayores el fósforo ha sido el más estudiado en suelos del Trópico. Fassbender (48) anota que los aportes latinoamericanos con referencia al fraccionamiento del fósforo son pocos, al respecto nombra a Lagos quien en suelos de México correlacionó la distribución de las formas con el grado de meteorización de los suelos. En El Salvador, Dahnk et al (43) trabajaron en 17 perfiles y en Costa Rica, Carvajal y colaboradores (34) y Chaverri efectuaron su caracterización (48). Los primeros, para evaluar la fertilidad de algunos suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar y el segundo en 16 suelos de distinta clase ( aluviales, volcánicos, coluviales).

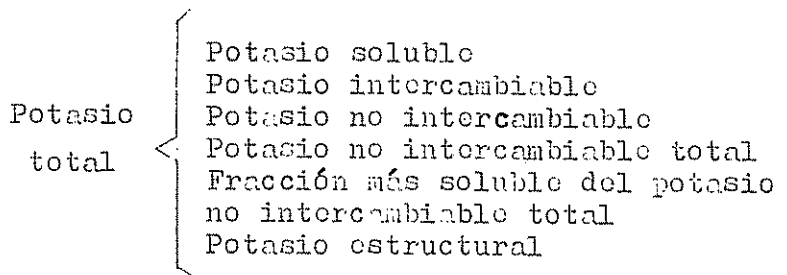
Los mayores aportes han sido proporcionados por Fassbender (48,49,55,50,54,52 ), quien ha estudiado las formas, su relación con las plantas, los problemas de fijación y la respuesta al encalado en suelos de América Central y Brasil.

En Venezuela, Sánchez y Paredes (108) estudiaron el estado del fósforo en cuatro suelos de sabana en el Estado de Monagas. En Colombia, en suelos del departamento de Na-

riño, Valle del Cauca, Putumayo y Amazonas, se han efectuado fraccionamientos por Blasco y colaboradores ( 8,15, 23,- 98,105).

## 2.5. El potasio en el suelo.

Según García (57), las diferentes fracciones del potasio en el suelo se pueden agrupar en la siguiente forma:



2.5.1. Potasio total. El potasio total en los suelos tiene como fuentes principales a las micas (moscovita, biotita) y a los feldspatos ortoclásicos (10). Algunas arcillas en su estructura presentan iones potasio, tal es el caso de la illita, que contiene entre 4 y 5 por ciento de potasio(130).

Los estudios efectuados sobre éste elemento demuestran que los suelos contienen entre 1 y 2 por ciento de potasio total, del cual un alto porcentaje se presenta en forma no intercambiable (12). El contenido de potasio en los suelos de regiones tropicales presenta gran variabilidad, encontrándose porcentajes como 0,11 por ciento en suelos latosólicos y 1,9 por ciento en suelos andosólicos (93). En Colombia en el departamento de la Guajira se encontraron hasta 32.500 ppm y en el Valle del Cauca 5.657 ppm (45,57).

2.5.2. Potasio soluble. Se puede definir el potasio soluble, como la fracción que se disuelve en el agua, bajo condiciones normales de capacidad de campo (11). Junto con el potasio intercambiable es la forma más asequible a las plantas (64).

Aproximadamente un 10 por ciento del potasio aprovechable por las plantas se encuentra en ésta forma(32); su cantidad está regulada por algunos factores como el tipo de mineral o de arcilla presente, la intensidad de meteorización, la lixiviación, cantidad de potasio intercambiable, humedad del suelo y clase y concentración de iones presentes (130).

2.5.3. Potasio intercambiable. El potasio intercambiable es la fracción sostenida electrostáticamente por el exceso de cargas negativas sobre la fracción de arcilla o material orgánico y puede ser remplazada por otros cationes sin alterarse el complejo de cambio (58). Con relación al potasio total representa menos del 1 por ciento y en lo concerniente a la aprovechabilidad, un 90 por ciento del potasio disponible a la planta (32). Se considera que el paso del potasio intercambiable a la solución del suelo es tan rápido que puede considerarse en equilibrio constante (73).

Generalmente se usa el potasio intercambiable como patrón para conocer el estado del potasio en el suelo, debido a que ha mostrado una alta correlación con el potasio extraído por la planta (58).

Respecto a las cantidades del suelo Rojas (105) señala para suelos de Colombia rangos de 0,27 y 1,5 m.e./100 gramos de suelo. Bornemisza (25) informa que en Costa Rica se encontraron valores medios de 200 a 400 kilogramos por hectárea. Se sabe también que el potasio intercambiable disminuye con la profundidad (90,114). De acuerdo con diversos estudios se puede dar como nivel crítico de ésta forma a 0,3 m.e./100 gramos de suelo o sea 130 ppm o 260 kilogramos por hectárea (121,90,105).

2.5.4. Potasio no intercambiable total. Al potasio no intercambiable total se le denomina también como potasio fijo y es aquel que se encuentra retenido en el espacio interlaminar de las arcillas, no entrando en el complejo de cambio de los suelos; tiene gran importancia, ya que de acuerdo al equilibrio dinámico que existe en el suelo puede pasar a potasio intercambiable (12).

El fenómeno de retención se presenta debido a que el potasio tiene un radio iónico grande (  $1,33 \text{ \AA}$  ) y una baja capacidad de hidratación. Al expandirse la arcilla por efecto de la humedad, permite la entrada del potasio, pero al secarse se contrae, quedando atrapado dentro del espacio interlaminar (71). Sobre ésta fracción existen diversos estudios, por ejemplo Martini (84), la subdivide en: potasio no intercambiable fácilmente disponible a las plantas a corto plazo y potasio no intercambiable disponible a las plantas a largo plazo. Mac Lean (82), a su vez



recomienda cuatro extracciones con  $\text{HNO}_3$ -1N y dice que la suma de las dos primeras extracciones, menos la suma de las dos últimas, representa la fracción más soluble del potasio no intercambiable. Sobre éste particular Haylock (62) opina que después de las cuatro extracciones sucesivas, se obtiene un valor constante al que denominó potasio de tasa constante.

La concentración en el suelo es variable, Martini (84) encontró que en suelos aluviales de Panamá las cantidades oscilaban entre 600 y 1.500 kilogramos por hectárea, en suelos de origen volcánico entre 330 y 580 kilogramos por hectárea y para latosoles un rango de 50 y 270 kilogramos por hectárea. Tinkell y López (118) trabajando en suelos de Venezuela determinaron también que la fracción no intercambiable era mayor en suelos aluviales que en los clasificados como latosoles. Ordóñez (96), en suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia encontró que el potasio no intercambiable total varió entre 8 y 12 por ciento del potasio total.

2.5.5. Potasio estructural. El potasio estructural se define como la forma compleja constituyente de la estructura o de las redes cristalinas de ciertos minerales (96). Esta forma es inasequible a las plantas y para poder pasar a formas aprovechables es necesario que se presente una ruptura de las redes cristalinas que permita liberar al potasio (96).

## 2.6. Estudios del potasio en suelos de regiones tropicales.

Existen en América Tropical y América Central varios trabajos sobre el potasio intercambiable, más en lo que se refiere al fraccionamiento son pocos los que se conocen.

Martini (84), en Panamá realizó un amplio estudio del estado del potasio. Investigación similar fue efectuada por Suárez (125) para tres grandes grupos de suelos de Costa Rica. En El Salvador, Rico nombrado por Suárez (125) efectuó algunos estudios sobre el estado del potasio en un gran grupo de latosoles.

Tinkell y López (118) en Venezuela trabajaron sobre algunos aspectos de la fijación del potasio. Es quizá Colombia la que ofrece más datos sobre la caracterización del potasio. De acuerdo con la literatura consultada, se conocen los trabajos de fraccionamiento parcial efectuados por Marin y colaboradores, Rojas, Grisales, Silva, Shaufelberger y Moreno ( 60,83,90,97,105,111). Los fraccionamientos efectuados por Blasco y colaboradores en suelos del departamento de Nariño, Valle del Cauca, Cesar, Guajira, Putumayo, trapezio amazónico, dan un índice claro del estado del potasio en Colombia ( 15,45,57,96).

## 2.7. Dinámica del MPK

2.7.1. Nitrógeno. El nitrógeno es un elemento bastante móvil, en su dinámica se presentan fenómenos de mineralización, fijación, desmineralización, lixiviación y volatilización.

En lo referente a la mineralización, siendo los microrganismos los principales agentes, cualquier condición ya sea química o física que los sea adversa, incidirá en éste proceso. Condiciones anaeróbicas, valores extremos de pH, cambios de temperatura, pueden influir notoriamente para que éste proceso no se presente en las debidas condiciones(21).

En lo que respecta a la fijación, el  $N-NH_3$  puede ser absorbido por los sistemas coloidales, presentándose una unión entre el átomo de oxígeno de la arcillas y el hidrógeno del amoniaco (21).

La fijación del  $N-NH_4$  por las arcillas se presenta cuando éste queda aprisionado dentro de los espacios interlaminares de las arcillas de tipo 2:1 (19). Aomine (9) y Walsh (124) informan que la fijación de ésta forma aumenta con la profundidad del perfil; además se sabe que a medida que aumenta la concentración de hidrógeno en el suelo disminuye la fijación del  $N-NH_4$  (20).

Es importante destacar que de acuerdo con Reitemier (104) solamente el potasio puede interferir esta fijación, ya que al tener un radio iónico similar, puede ocupar el lugar destinado al  $NH_4$  en los espacios interlaminares de las arcillas.

La lixiviación es un fenómeno que se presenta muy a menudo. Allison nombrado por Stevenson (115) informa que los cultivos generalmente toman entre 40-75 por ciento del nitrógeno adicionado y que un 15-20 por ciento se pierde

por lixiviación. En un trabajo en que se aplicaron 150 ppm de nitrógeno por hectárea en un suelo cultivado con maíz el nitrógeno tomado por la planta osciló entre 70 y 80 por ciento y el lixiviado entre 30-20 por ciento (6).

De acuerdo con Jackson (68), el alto contenido de alofana que presentan muchos suelos del trópico, propicia una estructura porosa estable que eleva el índice de permeabilidad y predispone al suelo a sufrir pérdidas por lixiviación. Si a ésto se le añade la alta precipitación tan común en algunas regiones tropicales, el porcentaje de pérdida por lixiviación puede aumentar notablemente.

El nitrógeno perdido por volatilización en forma de amoníaco, óxido o N-elemental, puede ser importante en los casos en que el pH del suelo sea básico y se presenten altas temperaturas (21). Córdoba y colaboradores (42) encontraron que en suelos volcánicos del altiplano de Pasto, (Colombia), las pérdidas por lixiviación y volatilización eran considerables, por lo que recomendaban aplicaciones fraccionadas de nitrógeno, de ser posible enterradas.

Generalmente la forma más fácil de perderse por lixiviación es la de  $H-NO_3$ , le sigue la de  $H-NH_4$ , por lo que algunos investigadores recomiendan revestir el fertilizante para disminuir éstas pérdidas (21). En cuanto a la fuente en sí del nutrimento, ya sea sulfato, nitrato, urea, las experiencias obtenidas en Colombia dan a entender que no tiene mucha importancia ya que no encontraron diferencias significativas (42).

2.7.2. Fósforo. El Fósforo es catalogado como elemento doblemente crítico, debido a las bajas concentraciones en que se presenta en el suelo y a los fenómenos de retención, ya sea por los sesquióxidos de hierro y aluminio, por el calcio o por materiales de tipo amorfo (49,50,52). El mecanismo de la fijación se presenta a partir de precipitaciones en forma de compuestos de hierro y aluminio y a la reacción con arcillas silicatadas y materiales amorfos (51).

De acuerdo con Wada (120), la alofana y la hallowisita al reaccionar con los iones fosfato, forman las llamadas taranakitas; al respecto Lindsay y Stephenson (81) demostraron que cuando se agrega al suelo un fertilizante cuya fuente de fósforo sea superfosfato granulado se forman dos clases de taranakitas  $(H_6K_3Al_5(PO_4)_8)$  y  $H_8K(AlFe)_6 \cdot 6H_2O$ . Lo anterior concuerda con las apreciaciones de León y Coleman, nombradas por Pantoja (98), estos autores encontraron que suelos que contenían alofana retenían mayores cantidades de fósforo que los suelos con altos contenidos de gocheta y hematita y apreciables cantidades de óxidos hidratados de hierro.

En lo que respecta a la distribución de los fosfatos, Fassbender (59) anota que después de haber aplicado 1.660 kilogramos de  $P_2O_5$  por hectárea, a suelos cultivados con cacao, se encontró una predominancia de fosfatos de aluminio en los primeros 7,5 cms. de la capa arable.

Parece que las pérdidas por lixiviación son insigni-  
ficantes, aunque en algunos casos, como en suelos de Flori-  
da EE.UU., cuya textura es bastante arenosa, se han encontra-  
do pérdidas por lixiviación (95).

En resumen se puede decir que la retención es mayor  
en suelos arcillosos ácidos que en suelos arenosos neutros  
o básicos. Otras condiciones que favorecen esta retención  
pueden ser: la concentración de iones fosfato que se apli-  
que al suelo, el método de aplicación y la clase de ferti-  
lizante usado, lo mismo que el tamaño del fertilizante fos-  
fatado (51).

2.7.3. Potasio. El potasio en el suelo en la mayo-  
ría de los casos se presenta en equilibrio constante, lo  
que no sucede con el nitrógeno y el fósforo. Es decir, que  
a medida que va disminuyendo la cantidad de potasio aprove-  
chable para las plantas, una porción de potasio no intercam-  
biable pasa a formas cambiables, compensando de esta manera  
las cantidades perdidas (32).

Por lo anterior, algunos autores recomiendan  
determinar la concentración de potasio intercambiable y a  
su vez la no intercambiable, ya que éste permite conocer la  
fracción de reserva del potasio intercambiable a partir de la  
forma no intercambiable (85). Sobre éste particular Cooke  
(41) anota que la importancia de las reservas no intercam-  
biables está, en que determinan si el suelo puede suminis-  
trar potasio a las plantas durante determinado número de

años o por el contrario en un corto lapso será necesario aplicar fertilizantes potásicos.

El potasio intercambiable tiende a aumentar cuando el suelo se seca; por eso es de esperar que en algunas regiones tropicales donde se presenten humedecimientos y secamientos del suelo, exista la posibilidad de un aumento en los niveles de ésta forma (84).

Arnold y Close (11) explican que el tamaño de las partículas del suelo también tiene importancia en el movimiento de la forma no intercambiable a la intercambiable. Suelos que tengan altas proporciones de arcilla fina liberan más potasio que suelos de arcillas ordinarias. Lo anterior fue confirmado por Pratt (102) y Wiklander(140).<sup>120</sup> No obstante, algunos investigadores como Hoss y Coulter(93) no encontraron ninguna correlación entre el contenido de arcilla y el potasio no intercambiable en suelos de trópico de origen volcánico.

La fijación del potasio es una forma reversible y puede cambiar de la forma intercambiable a la no intercambiable. Algunos factores que intervienen en la fijación o retención son el tipo de arcilla presente, el pH del suelo, el contenido de materia orgánica y de óxidos de hierro y aluminio, los secamientos y humedecimientos del suelo, la concentración de potasio aplicado y la influencia de otros iones (140),

Las condiciones que ofrecen algunos suelos volc-

cánicos, pueden influir también en la fijación. Los trabajos de Reewijk y Villiers (103) y Moss y Coulter (93) ponen de manifiesto la acción que los geles aluminosilicatos amorfos presentan en esa retención. Sin embargo Birell (17) explica que la retención de cationes por ésta clase de geles, requiere un medio alcalino y que como dentro de la variación normal del pH de éstos suelos no hay mecanismo para una conveniente retención del potasio, se requieren frecuentes abonaduras con fertilizantes potásicos.

En suelos ligeros, de alta precipitación el potasio puede lixivarse con facilidad. En experimentos llevados a cabo en Inglaterra, con aplicaciones de 30 toneladas por acre por año, se encontró que después de 16 años el suelo y el subsuelo tenían iguales cantidades de potasio(41). Por lo general suelos eolíníticos, con buen drenaje y alta precipitación, dan oportunidad a que el potasio se lixivie con facilidad (85).



### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Localización

El área donde se tomaron las muestras de suelo para el presente estudio, se encuentra situada en terrenos del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en Turrialba, Costa Rica.

#### 3.2. Características ecológicas.

Según el mapa ecológico de Costa Rica preparado por Holdridge (65) la zona donde se encuentra situada el área base del estudio, corresponde al Bosque Sub-Tropical muy húmedo. Las coordenadas geográficas del CTEI son, latitud Norte  $9^{\circ} 35'$ ; longitud Este  $83^{\circ} 58'$ ; con una altura sobre el nivel del mar de 630 metros. Otros datos meteorológicos correspondientes a los tres años que duró el experimento son:

Año	Temperatura promedio $^{\circ}\text{C}$	Precipitación anual mm.	Humedad relativa % promed.	Evaporación promedio mm.
1968	22,00	3.134,80	86,60	4,18
1969	22,30	2.823,00	86,40	4,41
1970	22,29	2.682,50	87,70	3,81

#### 3.3. Características edafológicas.

Los suelos corresponden a la serie "Instituto", que según Aguirre (4) son suelos aluviales, fluvio lacustres, con influencias de materiales volcánicos, desarrollados en topografía plana. Las principales características descritas por Hazaribgos (86) se presentan en el apéndice.

### 3.4. Cultivos y fertilización del suelo.

El experimento al cual corresponden las muestras de suelo se inicio en el año de 1968, habiendose efectuado cinco cosechas consecutivas de maíz ( *Zea mays* L ), variedad " Rocanex". El diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones, cuyos tratamientos fueron : testigo, N, NP, NK, PK, NPK; las parcelas medían 7 metros de ancho por 15 de largo, con una área efectiva de 98,8 metros cuadrados, siendo el área total del ensayo de 2.205 metros cuadrados.

El suelo además de los residuos vegetales recibio durante las cinco cosechas un total de 1.000 kilogramos de N, 2.000 kilogramos de  $P_2O_5$  y 1.000 kilogramos de  $K_2O$  por hectárea, siendo las fuentes:

Nitrógeno : Nitrato de Amonio (33% de N)  
Fósforo : Superfosfato simple (20% de  $P_2O_5$ )  
Potasio : Cloruro de potasio (60%  $K_2O$ )

### 3.5. Muestreo

Las muestras fueron tomadas con un barrenno tipo holandés. En cada parcela se tomaron cinco muestras a profundidades de 0-15; 15-30; 30-60; 60-100 centímetros; cuatro en las esquinas a 2 metros de cada borde y una en el centro, conformándose una gran muestra integrada por 15 sub-muestras que posteriormente fue debidamente homogeneizada. Las muestras fueron colocadas en bolsas de polietileno secadas al aire, molidas y pasadas por un tamíz de 2 mm.

### 3.6. Análisis de laboratorio.

#### 3.6.1. Fraccionamiento del nitrógeno.

- a. Nitrógeno total. Se siguió el método propuesto por Bremner (29), con las modificaciones señaladas por Muller (94) usando un aparato micro-Kjedahl.
- b. Nitrógeno inorgánico. Se determinó mediante el método de Bremner (29) usando una mezcla extractora de HCl-HF 1N.
- c. Nitrógeno orgánico. Se obtuvo por diferencia entre el nitrógeno total y el nitrógeno inorgánico según Tafur y Elasco (117).
- d. Nitrógeno intercambiable. Se usó la metodología de Elasco y Cornfield (20) usando  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  1N.
- e. Nitrógeno activo fijo. Fue determinado por diferencia entre el nitrógeno intercambiable y el nitrógeno inorgánico (20).
- f. Nitrógeno amoniacal. Se siguió la técnica propuesta por Bremner y Schaw (30) utilizando  $\text{HgO}$  al 12 por ciento. La extracción se realizó con  $\text{ClNa}$  1N, efectuándose la microdifusión en las celdas de Conway.
- g. Nitrógeno nítrico. Se determinó mediante la misma técnica usada en la obtención del nitrógeno amoniacal, con la diferencia de que se le adicionó en la cámara externa de la celda un mililitro de  $\text{SO}_4\text{Ti}$  al 15 por ciento (30).

### 3.6.2. Fraccionamiento de fósforo

a. Fósforo total. Se utilizó el método de Ulrich y colaboradores (119), a partir de una mezcla de  $\text{HNO}_3$  concentrado,  $\text{HCl}$  concentrado,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado y  $\text{HClO}_4$  concentrado.

b. Fósforo inorgánico. Se siguió el método propuesto por Chang y Jackson (38) y el mismo método con las modificaciones propuestas por Sen Gupta y Cornfield (113), en el sentido de extraer los fosfatos mono y dicálcico (no apatíticos) antes de la extracción de los fosfatos de aluminio, lo anterior se hizo para comparar las dos metodologías con respecto a las concentraciones de P-aluminio. Los fosfatos solubles se extrajeron con  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1N, fosfatos cálcicos no apatíticos con  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$  0,5N, fosfatos de aluminio con  $\text{NH}_4\text{F}$  0,5N, fosfatos férricos con  $\text{NaOH}$  1N y los fosfatos cálcicos apatíticos con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5N.

c. Fósforo orgánico. Fue determinado a partir del método de ignición de Saunders y Williams (109) tratando el suelo residual con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,2N.

d. Fósforo inerte. Se calculó por diferencia entre el fósforo total y la suma de las fracciones inorgánicas y orgánicas (113).

### 3.6.3. Fraccionamiento del potasio.

a. Potasio total. Se siguió el método de Jackson y Sherman (145) tratando el suelo con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  18N,  $\text{HClO}_4$

concentrado, HF al 40 por ciento y HCl 6N, usando cápsulas de platino.

b. Potasio soluble en agua. Se siguió el método descrito por Mac Lean (82) con una relación suelo agua 1:4.

c. Potasio intercambiable. Se usó la metodología de Schollerberger y Simon (110) con extracciones de  $\text{NH}_4\text{Ac}$  1N a pH 7,0.

d. Potasio intercambiable. La determinación se efectuó de acuerdo con la técnica de Haylock (62), con las modificaciones efectuadas por Mac Lean (82) usando como extractor  $\text{NH}_3$  0,1N.

e. Potasio no intercambiable total. Utilizando el mismo suelo de la determinación anterior, se realizaron cuatro extracciones sucesivas con  $\text{HNO}_3$  1N; de acuerdo a Mac Lean (82) la suma de las cuatro extracciones equivale al potasio no intercambiable total.

f. Fracción más soluble del potasio no intercambiable total. La suma de las dos primeras extracciones menos la suma de las dos últimas, representa la fracción más soluble del potasio no intercambiable (82).

g. Potasio estructural. Se determinó por diferencia entre el potasio total y la suma de las fracciones intercambiable y no intercambiable obtenidas con  $\text{HNO}_3$  0,1N y  $\text{HNO}_3$  1N respectivamente (117).

### 3.6.4. Otras determinaciones.

- a. Reacción del suelo (pH). Se determinó en agua y en  $\text{CaCl}_2$  0,01M (100).
- b. Aluminio extraíble. Fue determinado mediante la técnica propuesta por Kamprath (72), con CLK 1W .

### 3.7. Análisis estadístico.

Las informaciones logradas en el presente estudio fueron procesadas con equipo electrónico, cuya unidad principal es una computadora IBM-1620-40K.

Con el objeto de conocer el grado de correlación "r" y de asociación "r<sup>2</sup>", de algunas fracciones, se efectuaron análisis de correlación entre las que se consideraron de mayor importancia.

A partir de la ecuación de regresión geométrica,

$$y_i = \beta_0 \beta_1^{x_i}$$

en donde:

- $y_i$ : variable de respuesta
- $\beta_0$ : constante
- $\beta_1$ : coeficiente de penetrabilidad
- $x_i$ : variable independiente ( profundidad).

Se determinó la tasa de incremento de la función " Y " por unidad del factor " X ", en este caso la profundidad.

Los datos primarios aportados por la regresión geométrica, una vez transformados permitieron conocer la tendencia seguida por el elemento en cada fracción a través del perfil (Coeficientes de penetrabilidad).

Para analizar dichos valores se confesó un factorial de 7 x 7 para nitrógeno y potasio y de 7 x 8 para el fósforo en donde las fuentes de variación consideradas fueron tratamientos y formas.

El análisis de variancia permitió detectar la diferencia existente entre éstos tratamientos y sus fracciones. Posteriormente se usó la prueba de Duncan para determinar la diferencia entre las medias de los tratamientos comparadas por pares.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

##### 4.1. Modelo de la dinámica del N-P-K en el suelo.

Cuando se aplican fertilizantes al suelo, éstos pueden tomar varios caminos; una parte es tomada por la planta, una es retenida en el suelo, una puede lixivarse y otra volatilizarse.

En el presente trabajo se estudiaron los procesos de retención y lixiviación de los tres elementos. La descripción del fenómeno está dado por un modelo matemático que permite conocer la tendencia del movimiento en función de la profundidad de N-P-K, en cada uno de los 7 tratamientos del experimento de fertilización. El modelo utilizado fue una función de respuesta geométrica que se detalla a continuación :

$$y_i = \beta_0 \beta_1^{x_i}$$

donde:

$\beta_0$  = retención superficial de un elemento dado en ppm.

$\beta_1$  = tasa de aumento o de disminución en ppm/cm. (coeficiente de penetrabilidad)

$x_i$  = profundidad en cms.

$y_i$  = variable de respuesta en ppm.

En los Cuadros 1 y 2 se presentan los valores estimados de variación de los parámetros y en la Figura 1 se describe en general, el espectro de la curva que describe



Cuadro 1. Coeficientes de penetrabilidad ( $\beta_1$ ) de las distintas fracciones estudiadas según modelo  $y_i = \beta_0 \beta_1^{x_i}$

Fracciones	T	N	P	NP	NK	PK	NPK
ppm/cm.							
N-total	0,98280	0,98170	0,97060	0,98290	0,97900	0,98200	0,98120
N-orgánico	0,98190	0,98060	0,97800	0,98180	0,97820	0,97950	0,97850
N-inorgánico	0,99390	0,99090	0,99890	0,98880	0,98860	0,98940	0,98865
N-nativo	0,99370	0,99180	1,00004	0,99330	0,98740	1,00004	1,00004
N-interc.	0,99500	0,98550	0,93340	0,99510	0,99625	0,99030	0,99230
N-NH <sub>3</sub>	1,00075	0,98080	0,98990	0,97840	1,00065	0,99590	0,97760
N-NO <sub>3</sub>	0,99280	1,00035	0,99110	0,98800	1,00035	0,98500	1,00008
P-total	0,99460	0,99560	0,99330	0,99310	0,99320	0,99110	0,99280
P-orgánico	0,99300	0,99200	0,99440	0,99325	0,99410	0,99140	0,99280
P-soluble	0,99470	0,99960	0,99960	0,99960	0,99720	0,99740	0,99680
P-Al	1,00056	1,00050	0,99470	0,99550	1,00009	0,99430	0,99800
P-Fe	1,00035	1,00050	0,99820	0,99920	0,99940	0,99600	0,99870
P-Ca no apat.	0,99530	1,00062	0,99660	0,99700	0,99320	0,99460	0,99790
P-Ca apatit.	1,00024	1,00024	0,99630	0,99770	1,00022	0,99000	0,99880
P-inerte	0,96845	0,98440	0,98820	0,99050	0,98250	0,98550	0,97845
K-total	1,00032	1,00021	1,00004	1,00023	0,99510	0,99900	0,99910
K-soluble	0,96110	0,97510	0,98000	0,97960	0,98100	0,95900	0,97770
K-interc.	0,99030	0,99080	1,00034	0,99830	0,98780	0,98695	0,99880
K-interc.	0,98760	0,99625	1,00014	0,99960	0,98660	0,98755	0,99975
K-no interc.	0,99770	1,00003	1,00010	0,99960	0,98610	0,99510	0,99890
Fracc. sol.	0,99770	0,99910	1,00041	1,00028	0,99770	0,99180	1,00006
K-estruct.	1,00110	1,00036	1,00004	1,00039	0,99600	1,00033	0,99935

el fenómeno del movimiento, cuya expresión típica es la acumulación, lixiviación o uniformidad a medida que aumenta la profundidad del perfil del suelo.

En términos generales el espectro puede explicarse de la siguiente manera:

Si en la ordenada del sistema, " Y " representa la concentración del elemento para una determinada fracción y " X " la profundidad del suelo en centímetros, se pueden presentar tres situaciones (Figura 1).

Cuando  $\beta_1 = 1$  la función de respuesta es una línea recta constante, paralela al eje de la "X", que indica que no existe ningún cambio en la concentración, a diferentes profundidades del suelo.

Cuando  $\beta_1 < 1$  indica que existe una disminución en la concentración del elemento con la profundidad del suelo.

Cuando  $\beta_1 > 1$  indica un incremento en la concentración del elemento con la profundidad del suelo.

Los resultados obtenidos indican que en un 80 por ciento las distintas fracciones de N-P-K siguieron una tendencia de disminución y un 20 por ciento presentaron una tendencia de aumento, en el primer caso posiblemente se presentó lixiviación debido a la alta precipitación de la región y en el segundo caso de acumulación por retención.

Dado que el coeficiente de penetrabilidad ( $\beta_1$ ) permite predecir la concentración de los elementos estudiados en cualquiera de sus fracciones a la profundidad que se desea,

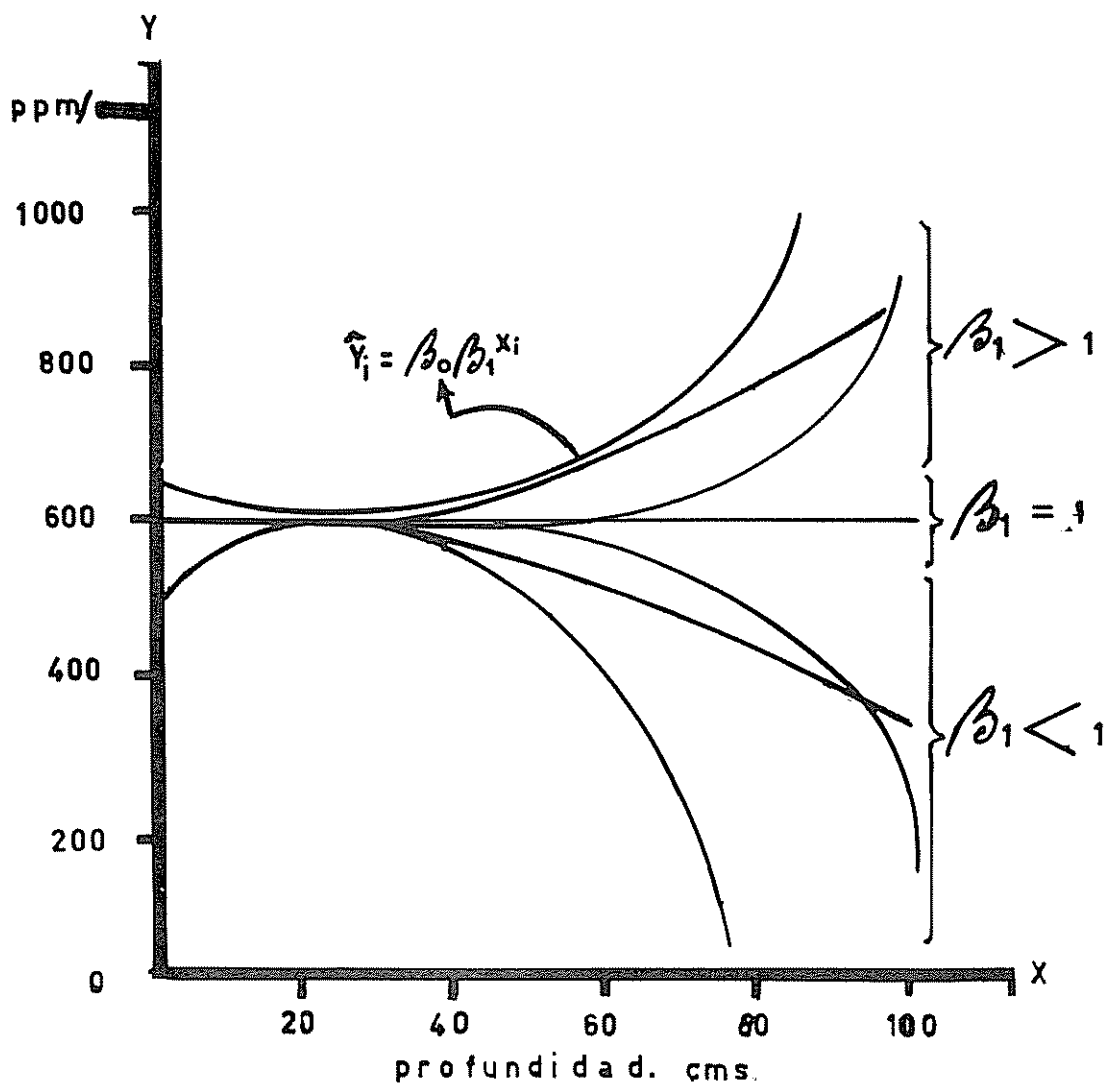


Fig.1 Espectro del movimiento de los elementos del suelo, en función de la profundidad.

agronómicamente tiene importancia ya que según el sistema radicular de la planta que se quiere cultivar, se puede conocer qué reserva fácil o difícilmente asequible de nutrientes está ofreciendo el suelo. Por otro lado  $B_c$  está indicando la concentración superficial, facilitando el conocimiento de los cambios que se presentan desde la superficie hasta la profundidad que se quiera.

En el caso del N, los coeficientes de penetrabilidad y la concentración superficial ( Cuadros 1 y 2 ) demostraron que en la mayoría de los tratamientos y fracciones se presentó una tasa geométrica de rápida disminución. En las fracciones N-Nativo fijo y N-NO<sub>3</sub> se observan algunos coeficientes mayores de 1, esto está indicando una acumulación a mayores profundidades. En lo que concierne al N-NO<sub>3</sub>, resultados similares fueron encontrados por Gasser (59), al estudiar el movimiento del N-NO<sub>3</sub> en el perfil del suelo. En el presente estudio la acumulación se produjo en los tratamientos que recibieron N y NK, posiblemente las unidades experimentales que recibieron IP y NPK no presentaron la misma tendencia debido a que fueron los tratamientos que mayores producciones presentaron, obviamente las plantas absorbieron más nitratos, sin dar oportunidad a ser trasladados a mayores profundidades por el agua. En el caso del N-Nativo, el hecho de presentarse la tendencia en las parcelas que no recibieron N, está indicando que en las primeras capas del suelo donde se distribuyen las raíces del maíz se

Cuadro 2. Concentración superficial  $\beta_0$  de N-P-K detectada según modelo  $y_i = \beta_0 \beta_1^{x_i}$

Formas	T	N	P	NP	NK	PK	NPK
----- ppm-----							
N-total	4806,0	4743,0	4768,0	5371,0	6478,0	5411,0	4207,0
N-orgánico	4620,0	4424,0	4618,0	5062,0	6212,0	5274,0	4101,0
N-inorgan.	212,0	335,7	173,3	319,6	287,0	224,1	220,8
N-nativo	174,4	276,9	127,2	183,7	240,2	174,7	176,0
N-interc.	37,0	59,0	44,6	46,7	48,5	48,1	46,2
N-NH <sub>3</sub>	54,0	29,2	12,4	14,0	64,2	11,1	14,7
N-NO <sub>3</sub>	20,9	28,6	22,1	24,4	24,1	35,3	18,5
<hr/>							
P-total	2184,0	2498,0	3178,0	3283,0	2948,0	3073,0	2608,0
P-orgánico	873,1	1080,0	987,0	1112,0	1092,0	1141,0	899,5
P-soluble	6,7	4,5	8,8	5,8	8,4	6,3	6,6
P-Al	227,1	201,3	383,6	387,0	230,2	361,5	292,4
P-Fe	264,0	270,0	326,3	337,3	297,5	353,9	320,4
P-Ca no a.	37,6	23,4	54,8	58,1	44,6	46,2	40,6
P-Ca apat.	113,0	112,0	129,5	118,5	126,3	140,1	160,3
P-inerte	621,1	950,7	1298,0	1290,0	1271,0	855,2	1003,0
<hr/>							
K-total	1248,0	1582,0	2258,0	1579,0	2004,0	1961,0	2342,0
K-soluble	20,6	13,0	10,3	9,4	21,9	55,9	24,6
K-interc.	383,3	266,2	165,0	188,7	449,4	519,9	327,8
K-interc.	225,2	154,8	137,3	115,9	321,2	357,9	231,1
K-no inter.	428,9	413,2	499,0	513,0	711,7	727,9	552,9
Fracc sol.	139,0	155,6	148,7	150,2	209,2	283,4	182,9
K-estruc.	517,1	999,1	1621,0	941,4	983,4	917,3	152,0

presentó una especie de desorción del N-Nativo a causa de los requerimientos de la planta, lo que no sucedió en las capas más profundas.

En el caso del P, los coeficientes de penetrabilidad (Cuadro 1) indican que en la mayoría de los casos la tendencia fue la de disminuir con la profundidad. Sin embargo el P-Al, P-Fe, y P-Ca apatítico presentan una tendencia mayor de 1, con la particularidad de que la acumulación se observa en las unidades experimentales que no recibieron P. Esta tendencia podría explicarse indicando que el elemento adicionado fue retenido en las dos primeras capas del suelo (60 cms.), lógicamente, debido a ésta retención las parcelas que recibieron P presentan mayores concentraciones en las capas superiores, de ahí que no presenten aumento con la profundidad; en cambio las parcelas que no lo recibieron tuvieron que proporcionarlo a las cinco cosechas consecutivas de maíz de la reserva nativa, lo que originó que la zona de influencia de la raíz presentara menores concentraciones, siendo mayores las que estaban a más profundidad.

Según los coeficientes de penetrabilidad y la concentración superficial (Cuadros 1 y 2) el K también mostró tendencia de disminución con la profundidad del suelo. Algunos tratamientos del K-total y K-estructural indican cierta acumulación en los horizontes más profundos, dado que sus coeficientes de penetrabilidad son mayores de 1, en este caso como en el P, también se presenta en los tratamientos

que no recibieron K. La explicación de éste comportamiento podría posiblemente tener base en el K-estructural, ya que sus reservas pudieron disminuir a medida que transcurrieran las cinco cosechas de raíz, especialmente en la zona de influencia de la raíz, sin sufrir modificaciones a mayor profundidad. Esta reserva aumento como era de esperarse el K-total de las capas más profundas al ser analizado y quedar libre el estructural por rompimiento de la red cristalina con ácidos concentrados.

La lixiviación de P y K condujo a que no se detectara diferencia importante ( $P > 0,5$ ) entre tratamientos para ninguna de las fracciones estudiadas. Por otra parte el análisis de variancia permitió detectar diferencia altamente significativa en la concentración de fósforo de los tratamientos. Esta significancia se presentó debido posiblemente a la retención de P que ocurrió en las parcelas que recibieron éste elemento.

Lo encontrado es un resultado normal, si se tiene en cuenta que coincide con los conceptos de otros investigadores como Fassbender (51) y Chang y Chu (36). Como se sabe el P es retenido por algunos elementos del suelo, principalmente por el Fe y el Al en condiciones ácidas, pudiendo también ser incorporado en la materia orgánica (51).

#### 4.2. Estado del N en los suelos estudiados

La concentración y formas de N estudiadas, así como los porcentajes de las distintas fracciones con relación al N-total se presentan en los cuadros 1 y 2 del apéndice.

Según Jacob y Ueskull (70) una cosecha normal de maíz consume alrededor de 70 kgs/ha. de N, se puede suponer que en el presente caso se perdió aproximadamente el 65 por ciento del N aplicado, posiblemente en su mayor parte por lixiviación, debido a la alta precipitación ( 2.600 mm/año ) existente en la zona; lo que es corroborado por la correlación significativa (  $r=0,946$  ) que encontró Wetselaar (27) al relacionar el efecto de la lluvia y el movimiento de aniones a través del perfil del suelo, ó te autor encontró pérdidas hasta de 75 por ciento por lixiviación.

Con relación a la concentración de las distintas fracciones estudiadas, el mayor porcentaje de N se encontró en combinaciones orgánicas ( 77 a 96,4% ). Es un resultado normal, puesto que el N del suelo se encuentra en mayores proporciones en los compuestos orgánicos ( 28,76,115 ). Por estar el N<sup>ó</sup>rgánico relacionado directamente con el contenido de materia orgánica, es explicable que su concentración disminuya al aumentar la profundidad del suelo.

Los porcentajes de N  $\text{NH}_4$  inorgánico y de su fracción más importante el N- $\text{NH}_4$  nativo fijo variaron entre 3,6 y 22,9 por ciento y entre 2,5 y 20,4 por ciento del N-total respectivamente. Estos porcentajes son menores a los encon-



trados en suelos del Trópico seco (46,117), pero superan a los presentes en suelos de origen volcánico (87,88). De acuerdo con estos estudios existe cierta tendencia del N-ingr. gánico a disminuir en su concentración a medida que aumenta la influencia de los materiales volcánicos. Este efecto se debe probablemente al hecho de la que la alofana tiende a formar complejos estables a través del Al o de la materia orgánica, lo cual excluye en parte otro tipo de retención, en este caso la del  $N-NH_4$  (123).

La concentración encontrada de  $N-NH_4$  intercambiable es definitivamente baja. Para propósitos agronómicos se considera que el nivel crítico de ésta fracción se aproxima a 75 ppm cifra que no se consiguió en ninguna de las muestras analizadas (19). En términos prácticos, lo anterior significa que existe un déficit que oscila entre 30 y 50 ppm de N intercambiable.

Entre el N-total y el  $N-NH_4$  intercambiable se obtuvo una correlación de 0,7620 y un porcentaje de asociación de 58,06 por ciento. Esta correlación es más alta que las obtenidas en otros suelos con influencias de materiales volcánicos (15,42,88).

En lo que respecta al  $N-NO_3$ , los resultados indican que a pesar de ser suelos ácidos el contenido de nitratos supera al de  $N-NH_3$ , aspecto que contradice las teorías tradicionales (16). Sin embargo se podría explicar éste comportamiento con las siguientes razones: según Besoain\*

---

\*Besoain: comunicación personal (1970)

éstos suelos tienen un aproximadamente un 25 por ciento de alofana; de acuerdo a algunos estudios la capacidad de retención de  $N-NH_4$  o de  $N-NH_3$  por la alofana es intermedia entre las arcillas de tipo 2;1 y 1;1. disminuyendo la retención a medida que aumentan los complejos ferro y aluminio orgánicos ( 20,31,132). Aunque éstos complejos no fueron determinados en el presente estudio, es muy probable que se presenten en buenas proporciones, debido a los altos porcentajes de alofana y nitrógeno orgánico existentes. Por otra parte en condiciones de humedad tan característica en la zona estudiada, solamente la vermiculita podría retener con cierta facilidad éstas formas ( 22, 124 ).

Con relación al  $N-NO_3$  las investigaciones de Kinjo (75) demuestran que los suelos de mayor contenido de materiales inorgánicos amorfos, en igualdad de condiciones, retienen más cantidad de nitratos. Sobre éste particular Urbina et al. (120) dan cuenta del contenido de nitratos "sorpresivamente alto" encontrado en suelos "Ñadis" de Chile. Lo anterior podría explicarse indicando que la retención y la nitrificación están presumiblemente ayudadas por la buena aireación de los suelos estudiados; resultados similares fueron encontrados por Blasco (22) al estudiar algunos aspectos de la mineralización en suelos de Costa Rica. Obviamente todos estos factores fueron superados por el efecto de la lixiviación, tan propiada en suelos con alto contenido de alofana, que al permitir una estructura porosa estable eleva el índice de permeabilidad y predispone

al suelo a sufrir estos lavados (38).

Lo anterior nos lleva a la conclusión de que no es viable la adición de altas dosis de fertilizantes nitrogenados en una o dos aplicaciones. De acuerdo con los resultados obtenidos se recomendaría efectuar en el transcurso del cultivo, especialmente en los de tipo permanente, un mayor número de aplicaciones con dosis menores de N a las empleadas en el experimento base de éste estudio; al respecto se sugieren ensayos con varios niveles distribuidos en un mayor número de aplicaciones e investigación de técnicas apropiadas para una adecuada aplicación.

#### 4.3. Estado del P en los suelos estudiados.

La concentración y formas de P estudiadas, así como los porcentajes de las distintas fracciones con relación al P-total se presentan en los Cuadros 3 y 4 del apéndice.

Los resultados indican que el P-total (1.450-a 3.250 ppm) determinado está dentro del rango presentado por varios investigadores para los suelos de origen volcánico de Costa Rica (48,50,55). De acuerdo a Fassbender (51) los suelos con influencias de materiales volcánicos de tipo alofánico presentan mayores contenidos de P-total que los suelos de trópico abundantes en sesquióxidos de Fe y Al. Además al aumentar la materia orgánica y con ella los fosfatos orgánicos se obtiene generalmente un mayor contenido de P-total (26).

De acuerdo con las concentraciones encontradas, se presentó un aumento en las formas P-Al y P-Fe, lo mismo que el P-inerte, como se sabe ésta fracción está integrada por formas altamente insolubles de los mismos elementos (51).

Si el suelo recibió 873 kgs. de P y de acuerdo a Berger (16) una cosecha normal de raíz extrae aproximadamente 50 kgs de P por hectárea, en las cinco cosechas efectuadas las extracciones fueron aproximadamente 250 kgs. de P, de donde se puede suponer que en promedio las unidades experimentales que recibieron éste elemento, en comparación con el tratamiento testigo, presentaron en los primeros 15 cms de profundidad los siguientes porcentajes de P retenido : P-Al 22,8 ; P-Fe 12,2 ; P-Ca no apatítico 2,5 y P-Ca apatítico 4,2 por ciento y para la profundidad 15-30 cms. : P-Al 12,0; P-Fe 9,4 ; P-Ca no apatítico 4,8 y P-Ca apatítico 0,9 por ciento respectivamente.

En resumen, sobre éstas formas inorgánicas se puede concluir que un 41,17 por ciento se fija en los primeros centímetros de profundidad del suelo y que un 27,1 por ciento entre los 30 y 60 centímetros de profundidad, datos que coinciden con las retenciones observadas por Morillo y Fassbender (91) en suelos aluviales de Honduras y Fassbender (48), en suelos de Costa Rica (Juan Viñas).

La suma de los fosfatos de Al y de Fe superan aproximadamente en la proporción de 3:1 a los de Ca. El resultado confirma los conceptos presentados por Fassbender (51) en el

sentido de que este resultado es de esperar en suelos en donde se presenta cierto grado de meteorización química. En el presente caso, no pudo existir una meteorización química drástica, ya que la concentración de las fracciones de Al y de Fe son relativamente similares y se sabe que los fosfatos férricos son predominantes en estados de meteorización avanzada (66).

Al relacionar el P-total con el P-apatítico, P-Al y P-Fe se encontraron los siguientes coeficientes de correlación:  $r=0,5951$ ,  $r=0,3774$ ,  $r=0,1747$  respectivamente. En términos de asociación, significa que solamente un 34,41 por ciento de la variancia observada en la retención del P por el Ca ; 13,69 por ciento por el Al y 2,99 por ciento de la del Fe, es explicada por la relación lineal de la concentración de P-total. Para conocer el grado de relación entre el P-Al y el P-Fe ; el P-Al y el P-Ca apatítico y el P-Fe y P-Ca apatítico, se efectuaron correlaciones cuyos coeficientes fueron :  $r = 0,3774$ ,  $r = 0,6070$ ,  $r=0,2990$  respectivamente, de los cuales en términos de asociación  $r^2$ , solamente el P-Al con el P-Ca apatítico presentaron una asociación de 36 por ciento, para los otros dos fue relativamente baja.

En general, por fracciones individuales, el mayor porcentaje correspondió al P-orgánico, que representó entre el 23,9 a 46,6 por ciento del P-total. Similares resultados fueron observados en zonas tropicales por otros investigadores ( 1,24,47,55).

La concentración de P fácilmente reemplazable son muy bajas. Como lo señala Passbender (52), al aplicar fertilizantes fosfatados a un suelo ácido, prácticamente la fracción que no es absorbida por la planta, reacciona con el Al y el Fe para formar precipitados cristalinos o amorfos de menor solubilidad.

#### 4.4. Estado de K en los suelos estudiados.

La concentración y formas de K estudiadas, así como los porcentajes de las distintas fracciones con relación al K-total se presentan en los cuadros 5 y 6 del apéndice.

El cálculo del porcentaje perdido por lixiviación, no es fácil de efectuar como en el caso del N, a causa de la amplia variación que presentan las plantas en la absorción de este elemento, debido a que en muchos casos se puede presentar el consumo de lujo de que hablan algunos investigadores (32,41). En el caso del maíz según se desprende de los datos presentados por Posok (130) una absorción de K equivalente a 80kgs/ha/cultivo, significa que aproximadamente se presentó una pérdida por lixiviación del 50 por ciento del K aplicado (1.000 kgs de  $K_2O$ ).

Es muy baja la concentración del K-total de éste suelo, la cual oscila entre 0,1 y 0,25 por ciento, muy lejos del 1,2 a 1,4 por ciento que generalmente contienen como promedio los suelos (10,11). Este resultado señala claramente el bajo potencial potásico del suelo, lo cual significa que en lo sucesivo debe dársele una mayor importancia a

la fertilización potásica.

El agotamiento de las fuentes potásicas del suelo, se demuestra por los bajos porcentajes de potasio estructural encontrados (32,3 a 74,8 por ciento del K-total); ya que ésta fracción representa normalmente alrededor del 90 por ciento del K-total (15,57,96). Si se tiene en cuenta la alta precipitación de la región, el cultivo intensivo de maíz, considerada como planta esquilmano, la desnudez del suelo que trae consigo éste tipo de cultivo, podría explicarse éstos resultados, puesto que los factores anteriormente nombrados acelerarían la meteorización química y disminuirían notablemente las reservas potásicas.

Del K-total no intercambiable, cuya concentración es hasta cierto punto aceptable ( 18,8 a 44,1 por ciento del K-total) dada la baja concentración del K-total, llama la atención el bajo contenido de su fracción más soluble (6,0 a 15,6 por ciento) que es igualada y en varios casos superada por el K-intercambiable. Dentro de la dinámica del K, la relación : fracción más soluble =K-intercambiable es muy importante, ya que solamente puede existir un buen suplemento potásico, cuando la fracción del K más soluble supera ampliamente a la forma intercambiable, característica predominante en los suelos derivados de cenizas volcánicas del sur de Colombia, con precipitaciones de 300 a 1.000 mm/año. (15,57,96).

Mac Lean (82) indica que las plantas disponen de

la fracción más soluble no intercambiable, cuando la fracción intercambiable se agota. Sin embargo en los suelos estudiados, como aquella fracción es menor o igual que ésta, el equilibrio dinámico se descompensa, pudiéndose opinar que es más bien hipotético, dadas las pocas reservas de K existentes.

El K-intercambiable, especialmente cuando se extrajo con acetato de amonio 1N y a pH 7,0, presenta una concentración catalogada como buena. Este resultado podría estar bajo la influencia de los residuos orgánicos. Como indican Wilcox y Townsend (128) y Chaminade (35) el K absorbido por las plantas no forma compuestos estables con los materiales orgánicos y es liberado cuando los residuos orgánicos llegan al suelo. En zonas de alta precipitación, esto puede ser desventajoso, dada la facilidad con que se lava el K. Al presentarse ésta situación o al ser tomado por la cosecha siguiente el suelo quedará definitivamente agotado al no tener a la fracción más soluble del K total no intercambiable como fuente de reposición o en el caso de tenerla ser ésta muy pequeña.

Al relacionar el K-total con el K-intercambiable, se encontró que el coeficiente de correlación fue bajo  $r=0,1374$ , lo que indica posiblemente que la fracción intercambiable no depende directamente del K-total.

Como el K-estructural viene asociado generalmente con la fracción arcillosa del suelo, se estableció una relación



con el N-nativo fijo, ya que de acuerdo a Mikani y Kanchiro (87) una alta correlación entre estas dos fracciones indica una abundancia de ilita en el suelo. El coeficiente de correlación  $r = 0,1244$  indica que posiblemente no hay presencia de éste tipo de arcilla en los suelos estudiados.

#### 4.5. Comparación de métodos analíticos para determinar fosfatos de Al.

Varios trabajos sobre fraccionamiento de P, señalan que los fosfatos de Al son bastante asequibles a las plantas (51,61,97,108). Para ayudar en parte a aclarar éste concepto de asequibilidad de una fracción que teóricamente es muy insoluble se compararon las extracciones efectuadas por el método de Chang y Jackson (38) y las obtenidas por la misma técnica pero con una modificación propuesta por Sen Gupta y Cornfield (112) consistente en extraer los fosfatos mono y dicálcico antes de la extracción de los de Al.

Los resultados se presentan en la sección "A" y "B" del Cuadro 3, la primera corresponde a la técnica de Chang y Jackson y la segunda a la de Sen Gupta y Cornfield.

Se puede observar que existe cierta similitud entre la concentración de A y el total de B, similitud confirmada por la alta correlación que se detectó al relacionar los dos totales, cuyo coeficiente de correlación fue,  $r = 0,9891$ . Como los resultados indicaron que entre 6,6 a 20,9 por ciento los fosfatos mono y dicálcicos estaban involucrados dentro de la fracción de Al, extraída por el método "A" se

Cuadro 3 Porcentajes de P-Ca no apatítico comprendidos dentro del P-Al.

Tratamientos	Profundidad	Métodos **				P-Ca
		"A"	"B"		P-Ca* = Total	
	cms.	P-Al ppm.	P-Al +	P-Ca*	Total --ppm--	%
T	0-15	257,5	225,0	40,0	265,0	15,00
	15-30	315,0	275,5	47,0	322,0	14,59
	30-60	337,5	290,0	47,5	342,5	13,86
	60-100	382,5	350,5	43,0	393,5	10,94
N	0-15	305,0	290,0	30,0	320,0	9,37
	15-30	330,0	315,0	22,5	337,5	6,66
	30-60	315,0	295,0	27,5	322,5	8,52
	60-100	387,5	347,0	42,5	389,5	10,91
P	0-15	450,0	402,0	52,5	454,5	11,55
	15-30	427,5	340,0	90,0	430,0	20,93
	30-60	290,0	252,5	52,5	305,0	17,21
	60-100	337,5	257,5	80,0	355,5	22,50
NP	0-15	500,0	462,5	61,2	523,7	11,69
	15-30	442,5	355,7	91,5	446,5	20,49
	30-60	309,5	265,5	52,5	318,0	16,50
	60-100	355,0	295,0	46,2	352,5	13,10
NK	0-15	337,4	285,0	61,0	342,0	17,80
	15-30	315,0	257,5	55,0	312,5	17,60
	30-60	305,0	257,5	35,0	292,5	11,96
	60-100	400,0	377,5	27,5	405,0	6,79
PK	0-15	362,5	337,5	55,0	392,0	17,60
	15-30	382,5	355,0	48,5	403,5	12,03
	30-60	265,0	242,5	24,0	266,5	9,00
	60-100	265,0	241,0	30,0	271,0	11,07
NPK	0-15	355,0	315,0	42,5	357,5	11,88
	15-30	322,5	290,0	48,7	338,7	14,37
	30-60	250,0	232,5	22,5	255,0	8,82
	60-100	297,5	282,5	42,5	325,0	13,07

\* Fosfatos mono y dicálcicos ( no apatíticos)

\*\* A : Método de Chang y Jackson

B : Método de Sen Gupta y Cornfield.

estableció una correlación cuyo coeficiente fue  $r=0,9433$  con una porcentaje de asociación de 88,36.

En el presente caso por tratarse de suelos ácidos con bajos contenidos de fosfatos de tipo no apatítico la asociación es alta, pero puede disminuir a medida que el pH suba y se acerque a la neutralidad o la sobrepase, ya que es lógico suponer un aumento en el contenido de los fosfatos mono y dicálcicos involucrados dentro de la fracción aluminica, presentándose por consiguiente un menor porcentaje de asociación.

El hecho de óstar presentes óstas formas no apatíticas posiblemente podrían explicar por qué se tiene a la fracción de Al como forma facilmente asequible a la planta, conociendose como se anotó anteriormente, su alta insolubilidad. Es probable que al investigar el comportamiento de los fosfatos de Al con la absorción por la planta, se observe una disminución en su concentración, más lo que probablemente sucede es que las formas de P mono y dicálcicas involucradas dentro del P-Al se solubilizan y son absorbidas por la planta. Debido a que no existen experiencias al respecto, se recomienda efectuar investigaciones en suelos que presenten altas concentraciones de fosfatos mono y dicálcicos, relacionarlos con la absorción de las plantas y ver su comportamiento.

#### 4.6. Efecto del N-P-K en la producción de maíz.

Sobre el efecto del N-P-K en la producción de maíz

Solamente se ofrece un breve comentario, puesto que el doctor Martini, quien inició el experimento junto con Harziagos (86) está estudiando éste aspecto con mayor detalle. En el cuadro 4 se presentan los datos correspondientes a la producción de las cinco cosechas. Se observa que el N tuvo una mayor influencia que el P en la producción y que los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos NP y NPK, lo cual coincide con lo expuesto por Berger (16) en el sentido de que en igualdad de condiciones el N influye más en la producción de maíz que los otros macronutrientes.

Las variaciones de producción observadas en las cinco cosechas dentro de un mismo tratamiento de acuerdo con Martini\* pueden atribuirse especialmente a las variaciones pluviométricas. Existe también la posibilidad de que los resultados tanto de la producción, como de concentración de elementos en el suelo, estén bajo la influencia de algunos métodos, como la aplicación del fertilizante, en este caso al voleo y en el fraccionamiento de las aplicaciones, dos de N y una de P y K. Se sugiere al respecto que en regiones donde predominen altas precipitaciones se haga la aplicación en banda y si el cultivo lo permite se aumente la frecuencia de aplicaciones.

#### 4.7. Efecto del N-P-K en la reacción del suelo.

En el Cuadro 5 se presentan los datos del pH, jun-

---

\*Martini: comunicación personal (1970)

Cuadro 4. Producción promedio de cinco cosechas de maíz

Tratamientos	C o s e c h a s *				
	1a	2a	3a	4a	5a
----- Kgs/Ha. -----					
T	1.372	1.754	3.138	1.238	2.158
N	2.815	3.620	3.282	2.871	3.312
P	1.568	2.361	3.842	1.845	1.779
NP	3.408	4.898	4.672	4.533	5.868
NK	2.703	4.285	3.270	3.004	3.780
PK	471	2.733	4.102	1.693	2.616
NPK	3.027	5.159	4.759	3.487	5.541

\* Cosechas: 1a Año 1968  
 2a " 1969  
 3a " 1969  
 4a " 1970  
 5a " 1970

to con la concentración de Al-intercambiable. Se puede observar que en el transcurso del experimento hubo un aumento en la acidez del suelo. Para conocer el grado de relación entre el Al-intercambiable y el pH, se determino el coeficiente de correlación que fue  $r = 0,8812$ . Esto en términos de asociación indica que el 77 por ciento de las variancias observadas en el pH del suelo se explica por la relación lineal de la concentración de Al-intercambiable. Lo anterior es explicable, puesto que el Al intercambiable, de acuerdo con Fassbender (51) constituye el segundo grupo de radicales ácidos. Este elemento al presentarse en forma hidratada con 6 moléculas de agua, reacciona en etapas y va liberando protones.

El pH cambia a medida que aumenta la profundidad y disminuye el Al intercambiable. La mayor acidez del primer horizonte puede atribuirse posiblemente a la presencia de mayor cantidad de materia orgánica proveniente de los residuos de las cosechas y también a que el nitrato de amonio es un compuesto acidificante (40,51). Además se debe tener en cuenta que el maíz extrae buena cantidad de Ca y Mg y que éstos elementos pueden perderse fácilmente por lixiviación.

#### 4.8. Similitud de concentración en algunos tratamientos.

A pesar de que el experimento constó de 7 tratamientos, siguiendo la técnica del elemento faltante, se observó cierta similitud en la concentración de las parcelas que recibieron determinado elemento y las que no lo recibieron. Como ésta similitud es más marcada en el sub-suelo, para ex-

Cuadro 5 Concentración de aluminio intercambiable y pH del suelo al comenzar y finalizar el experimento.

Tratamientos	Profundidad cms.	Al-inter- cambiable ppm.	pH agua Inicial*	pH agua Final	pH Cl <sub>2</sub> Ca Final
N	0-15	660,0	5,40	4,80	4,30
	15-30	300,0	-	5,00	4,60
	30-60	40,0	5,80	5,50	5,15
	60-100	20,0	-	5,80	5,40
P	0-15	270,0	5,30	5,10	4,80
	15-30	220,0	-	5,20	4,85
	30-60	90,0	5,50	5,50	5,10
	60-100	40,0	-	5,60	5,30
IP	0-15	550,0	5,40	4,90	4,70
	15-30	220,0	-	5,25	4,90
	30-60	20,0	5,90	5,50	5,25
	60-100	10,0	-	5,80	5,30
IK	0-15	530,0	5,90	4,80	4,60
	15-30	30,0	-	5,15	4,65
	30-60	90,0	6,00	5,35	5,10
	60-100	20,0	-	5,40	5,30
PK	0-15	140,0	5,70	5,35	4,80
	15-30	140,0	-	5,40	4,90
	30-60	40,0	6,10	5,60	5,20
	60-100	10,0	-	5,70	5,20
MPK	0-15	530,0	5,40	4,90	4,50
	15-30	310,0	-	5,10	4,70
	30-60	80,0	5,70	5,50	5,10
	60-100	20,0	-	5,55	5,30
T	0-15	250,0	5,40	5,20	4,75
	15-30	250,0	-	5,20	4,80
	30-60	20,0	5,80	5,80	5,20
	60-100	20,0	-	5,90	5,30

\* Datos de los análisis (86).

plicar este comportamiento, se supone que en regiones de alta precipitación se pueden presentar movimientos laterales y verticales de agua a partir del nivel frático, de ésta manera probablemente los elementos que se encuentran en solución pueden ser transportados de una parcela a otra tratando de uniformizar la concentración.

Lo anterior obliga a pensar que en regiones como la estudiada, un diseño cuyas unidades experimentales estén muy próximas, pueda dar margen a que se presente un error experimental más alto.



## 5. CONCLUSIONES

1. Los suelos presentaron una alta concentración de N-total y P-total, pero sus fracciones intercambiables fueron bajas. Lo anterior indica que en los análisis rutinarios de N en el suelo, la fracción total no es un índice de la respuesta que determinado cultivo pueda dar a la fertilización nitrogenada.
2. La concentración de K-total y su fracción estructural son bajas, se recomienda dar en lo sucesivo una mayor atención a la fertilización potásica.
3. El método de fraccionamiento de fosfatos de Sen Gupta y Cornfield puede ser más recomendable que el de Chang y Jackson por extraer el primero los fosfatos mono y dicálcicos.
4. La tendencia seguida por la mayoría de las fracciones de N-P-K fue la de disminuir a medida que aumenta la profundidad del suelo.
5. Las pérdidas por lixiviación de N y K son de consideración igual que las causadas por retención de P. Para contrarrestar las, se recomienda aumentar la frecuencia de aplicación del fertilizante e investigar técnicas apropiadas para una adecuada aplicación.
6. El probable efecto residual de los fertilizantes que se detectó fue el aumento de la acidez del suelo.

## 6. RESUMEN.

Se llevó a cabo un estudio de fraccionamiento de N-P-K en muestras de suelo, con influencia de materiales volcánicos, en un lote situado en terrenos del IICA-CTEI en Turrialba, Costa Rica. El área corresponde al bosque Sub-Tropical muy húmedo, con una altitud aproximada de 630 m.s.n.m., una temperatura de  $22^{\circ}\text{C}$  y una precipitación promedio de 2.600 mm/año.

Los objetivos fueron : determinar la concentración de las diferentes fracciones de N-P-K a distintas profundidades del perfil del suelo, en parcelas que recibieron en total 1.000 kgs/N/ha., 2.000 kgs/ $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha. y 1.000 kgs/ $\text{K}_2\text{O}$ /ha. en el transcurso de cinco cosechas consecutivas de maíz; estudiar los fenómenos de lixiviación y retención y obtener conocimientos sobre el mejor uso de los fertilizantes en suelos del Sub-Trópico muy húmedo. Además se compararon los métodos analíticos de Chang - Jackson y Sen Gupta - Cornfield para determinar el P-Al.

Se utilizó una función de respuesta geométrica para conocer la tendencia seguida por las diferentes fracciones a través del perfil del suelo.

Los resultados de la investigación indican que la tendencia seguida por las fracciones de los elementos fue de disminuir en un 80% y de aumentar en un 20% con la profundidad del suelo. La lixiviación del N (65%) y la del K (50%) posiblemente incidió para que no se detectara diferencia significativa entre tratamientos, mientras que la

retención del P (68%) bajo las formas de fosfatos de Al y de hierro en los primeros 60 cms. de profundidad del suelo fue probablemente la causa principal de que se detectara diferencia altamente significativa entre tratamientos. Se recomienda para cultivos permanentes aumentar la frecuencia de aplicación de fertilizantes o investigar técnicas apropiadas para una adecuada aplicación.

Las formas de N-orgánico oscilaron entre 77 a 95% del N-total, siendo alta la concentración del N-total (4.000 ppm.) El P-orgánico representó entre el 31 al 46 % del P-total, siendo segunda en importancia el P-Al, el P-intercambiable fue bajo (2,8 a 8,1 ppm) posiblemente debido a la retención causada por el Al y el Fe ( 34,8 y 21,6% respectivamente del P aplicado).

La concentración de K-total fue baja (900 a 2300 ppm) debido posiblemente a una rápida meteorización de los minerales del suelo. El K-estructural fue escaso y el intercambiable presentó niveles adecuados ( más de 200 ppm). Lo anterior indica que los suelos tienen actualmente suficiente potasio para soportar algunas cosechas, pero debido al bajo K-estructural y a la lixiviación observada, posiblemente se pueden presentar empobrecimiento de los suelos en éste elemento.

## 7. SUMMARY

The soils ( alluvials influenced by volcanic materials) used in this investigation were obtained from the fields of the IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica. This area which belongs to a very humid subtropical forest, lies at about 620 m above sea level and the mean average temperature and mean average rainfall are  $22^{\circ}\text{C}$  and 2.600 mm per year respectively.

The objectives of this study were: a) To determine the N-P-K fractions status in plots treated with different amounts of these elements after 5 harvest of corn over a three years period. The experiment was carried out using the randomized block design, and the accumulated total fertilizers added was 1000 kg/N/ha., 2000 kgs/ $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha y 1000 kg/ $\text{K}_2\text{O}$ /ha. b) to obtain information about the behavior and residual effects of N-P-K fertilizers. Moreover a comparison was established between analytical procedures (Chang-Jackson and Sen Gupta-Cornfield) to determine aluminium bound-P.

A geometrical function  $y_i = \beta_0 \beta_1 x_i$  was used to determine the tendency followed by the different N-P-K fractions through the soil profile. Results showed that while N and K fractions tended to decrease with the profile depth, as was the case with the control profile, P concentration increased in the two first layers (60 cms) in comparison with the control profile. This means that while P was retained mostly as aluminium (34,8%) and iron (21,6%) P.,

65% and 50% of N and K added were leached out of the profiles studied.

As expected N was mostly found in organic forms (77-95% of total -N), and although total-N concentration was high ( about 4000 ppm), exchangeable  $\text{N-NH}_4^+$  was insufficient (30-40 ppm) for good crop production.

Also organic-P, which represented between 31 and 46% of total-P was the main P-fraction. The second most important fraction was aluminium bound P. Easily replaceable-P was too low ( 2,8 a 3,1 ppm) due to their retention by aluminium and iron.

Total-K concentration was low ( 900 -2300 ppm) this because of the heavy weathering of soil minerals ( extractural-K ). On the other hand, exchangeable-K showed good levels ( over 200 ppm). This indicates that at present soils have sufficient K to support plant growth, but because of low total-K concentration and the high leaching rate observed it seems very likely to occur a quick K impoverishment in the soils studied.

8. LITERATURA CITADA

1. ACQWAYE, D. K. Some significance of soil organic phosphorus mineralization in the phosphorus nutrition of cacao in Ghana. *Plant and Soil* 19(1):65-80. - 1963.
2. ADAMS, A. P., BARTHOLOMEV, V. W. Y CLARK, F. E. Measurement of nucleic acid components in soil. *Soil Science Society of America Proceedings* 18:40-46. 1954.
3. ADAMS, R. y STEVENSON, F. J. Ammonium sorption and release from rocks and minerals. *Soil Science Society of America Proceedings* 28:345-351. 1964.
4. AGUIRRE, V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1971. 100 p. (mimeo)
5. ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. New York, Wiley, 1961. 472 p.
6. ALLISON, F. E. The fate of nitrogen applied to soils. *Advances in Agronomy* 18:219-258. 1966.
7. \_\_\_\_\_, DOETSCH, J. H. y ROLLER, E. M. Ammonium fixation and availability in herpeter clay loam. *75(2):173-200. 1951.*
8. ANGULO, F., NAVAS, L.R. y VILLAMIL, A. Fraccionamiento del nitrógeno, fósforo y potasio en el piso tropical del departamento de Nariño, llanura del Pacífico. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, 1970. 116 p.
9. AOHINE, S. The fixation of ammonium in soils. I. Ammonium fixation of some soils in southeaster provinces of Japan. *Soil Science* 23:83-87. 1951. (Original no consultado compendiado en *Soils and Fertilizers* 15:1569. 1952.)
10. ARNOLD, P. W. Nature and mode of weathering of soil potassium reserves. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 11:286-292. 1962.
11. \_\_\_\_\_, y CLOSE, B. M. Release of now exchangeable potassium from some Brithis soils cropped in the glasshouse. *Journal of Agriculture Science* 57(3):295-304. 1961.
12. ATTOE, J. y TROUG, E. Exchangeable an acid soluble potassium as regards availability and reciprocal relationships. *Soil Science Society of America Proceedings* 10:81-86. 1946.

13. AXLEY, J. H. y LEGG, J. O. Ammonium fixation in soils and the influence of potassium on nitrogen availability from nitrate and ammonium sources. *Soil Science* 90(3):151-156. 1960
14. BARSHAD, I. Cation exchange in micaceous minerals. I. Replaceability of the interlayer cations of vermiculite with ammonium and potassium ions. *Soil Science* 77(6):463-472. 1954.
15. BASTIDAS, O., CAICEDO, A. y ROMO, F. Estudio de los elementos nitrógeno, fósforo y potasio en los suelos del valle de Sibundoy, Intendencia Nacional del Putumayo. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Mariño, 1970. 219 p.
16. BERGER, J. Maize production and manuring of maize. Genova, Centre d'Etude de L'azote, 1962. 308 p.
17. BIRRELL, K. S. Some properties of volcanic soil. In *FAO Report no 14, on Meeting on classification and correlation of soils from volcanic ash*. Tokyo, 1964. pp 74-81.
18. BLACK, C. A. y GORING, C. A. Organic phosphorus in soils. In Pierre, W. H. y Norman, A. G., eds. *Soil and fertilizers phosphorus*. New York, Academic Press, 1953. pp. 123-152.
19. ELASCO, H. Studies on some aspects of nitrogen in the soils of Colombia. Ph. D. thesis. London, University of London, 1966. 311 p.
20. \_\_\_\_\_, y CORNFIELD, A. H. Fixation of added ammonium and nitrification of fixed ammonium in soils clay. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 17:481-484. 1966.
21. \_\_\_\_\_, Bioquímica del nitrógeno. In \_\_\_\_\_ *Microbiología del suelo*. Turrialba, IICA, 1970. pp 126-176.
22. \_\_\_\_\_, Efecto de la humedad sobre la mineralización del nitrógeno en suelos volcánicos de Costa Rica. *Agricultura Tropical*. 1971 ( en prensa).
23. \_\_\_\_\_, BOHORQUEZ, M. y LLALLOS, C. Transformaciones microbiológicas del fósforo en suelos volcánicos del Puracé. *Acta Agronómica (Colombia)* 18(1):1-6 1968.
24. \_\_\_\_\_, y BOHORQUEZ, M. Fractionation of phosphorus in tropical soils of Colombia. *Agrochimica* 12:173-178. 1968.

25. BORNHEJMSZA, E. Acidez, contenido de potasio y materia orgánica de algunos suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industria. Informe Poligrafiado no 59-2. 1959. 18 p.
26. \_\_\_\_\_. El fósforo orgánico en suelos tropicales. Turrialba 16(1): 33-38. 1966.
27. \_\_\_\_\_ y PINEDA, R. Minerales amorfos y mineralización de nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas. In Panel de suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina, Turrialba, Julio 6-13, 1969. Turrialba, IICA, 1969. pp. B-7.
28. BREMER, J. M. The amino-acid composition of the protein material in soil. Biochemical Journal 46(5): 538-542. 1950.
29. \_\_\_\_\_, Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. Journal of Agricultural Science 55(1):11-13. 1960
30. \_\_\_\_\_, y SHAW, K. Studies on the estimation and composition of amino-sugars in the soil. Journal of Agricultural Science 44(1):152-159. 1954.
31. BROWN, G. Soil morphology and mineralogy. A qualitative study of some gleyed from North-West England. Journal of Soil Science 5(1): 145-155. 1954.
32. BUCKMAN, H. O. y BRADY, N. C. The nature and properties of soils. 6th ed. New York, Mac Millan, 1960. 567 p.
33. CABALA, P. y FASSBENDER, H. W. Formas de fósforo en suelos de la región cacaotera de Bahía, Brasil. Turrialba 20(4):439-44. 1970.
34. CARVAJAL, J. F., RAMIREZ, G. A. y LOPEZ, C. A. Caracterización química de las series de suelos dedicadas al cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica. Universidad de Costa Rica, San José. 1965. pp. 87-91.
35. CHANUADE, R. Le potassium at le matiere organique. Berna, Institute Internationale de la Potasa. 1955. pp.203-204.
36. CHANG, S. C. y CHU, W. K. The fate of soluble phosphate applied to soils. Journal of Soil Science 12(2): 298-299. 1961.



37. CHANG, S. C. y FENG, H. P. Potasio intercambiable y no intercambiable en los principales suelos dedicados a cultivos en Formosa. Revista de la Potasa (Suiza); 4(28):1-11. 1961.
38. \_\_\_\_\_ y JACKSON, H. L. Fractionation of soil phosphorus. Soil Science 84(2): 134-144. 1957.
39. \_\_\_\_\_ y JACKSON, H. L. Soil phosphorus fractions in some representative soils. Journal of Soil Science 9(1): 109-119. 1958.
40. COLLINGS, G. Fertilizantes comerciales. Traducción de E. Sánchez. Salvat, Barcelona. 1958. 710 p.
41. COCKE, G. W. Investigaciones británicas sobre el potasio en los suelos y fertilizantes 1952-1962. Revista de la Potasa (Suiza) 16(28):1-9. 1963.
42. CORDOBA, H., MELO, A. y PRIETO, V. Lixiviación y volatilización del nitrógeno en algunos suelos del departamento de Nariño. Tesis Ing Agr. Pasto, Universidad de Nariño, 1970. 70 p.
43. DANKE, W. C., MALCOLM, J. L. y MENENDEZ, H. E. Phosphorus fractions in selectes soil profiles of El Salvador as related to their development. Soil Science 98(1): 33-39. 1964.
44. DEAN, L A. An attempted fractionation of the soil phosphorus. Journal of Agricultural Science 28(2): 234-246. 1938.
45. DURAN, N. Principales características químicas de los suelos de la región algodonera del sur de la Guajira. Tesis Ing Agr. Palmira, Universidad Nacional, 1968. 120 p.
46. \_\_\_\_\_, y BLASCO, M. Fractionation of nitrogen in the soils of Guajira, Caribbean area of Colombia. Tropical Agricultur (Trinidad) 1970. ( en prensa)
47. ENWEZOR, W. O. y ROORE, A. W. Phosphorus status of some Nigerian soils. Soil Science 102(5):322-328. 1966.
48. FASSENDER, H. W. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de la Neceta Central y de las Llanuras atlánticas de Costa Rica. Fitotecnia Latinamericana 3(1-2): 187-202. 1966.

49. FASSENDER, H. W. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. *Fitotecnia Latinoamericana* 3(1-2): 203-216. 1966.
50. \_\_\_\_\_ . Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rica soils. *Agrochimica* 12(6):512-521. 1968.
51. \_\_\_\_\_ . Fósforo. In \_\_\_\_\_ *Química de suelos*. Turrialba, IICA, 1968. pp 221-252 ( mimeo).
52. \_\_\_\_\_ . Phosphorus fixation in tropical soils. *Agri Digest* 18: 20-28. 1969.
53. \_\_\_\_\_ . Form of phosphate after nine years of superphosphate fertilization of cacao. *Agrochimica* 13(1-2):39-43. 1969.
54. \_\_\_\_\_ y DIAZ, H. Contenido y formas de fósforo en algunos suelos de la región amazónica del Estado de Maranhao, Brasil . *Turrialba* 21(1): 1970. ( en prensa).
55. \_\_\_\_\_, HULLER, 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.
56. FULLER, W. H. y Mc GEORGE, W. T. Phosphates in calcareous Arizona soils. II Organic phosphorus content. *Soil Science* 71(1):45-50. 1951.
57. GARCIA, B. Estudio sobre el potasio en algunos suelos de clima medio del departamento de Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, 1969. 129 p.
58. GARMAN, W. L. Potassium release characteristics of several soils from Ohio and New York. *Soil Science Society of America Proceedings* 21:52-58. 1957.
59. GASSER, J. K. R. Transformations and movement of fertilizer nitrogen in light soil. *Journal of Science and Food Agricultural* 10: 192-198. 1959.
60. GRISALES, G. A. Las rocas ígneas en la formación de dos series de suelos de la zona cafetera de Colombia. *Cenicafe ( Colombia)* 15(1):18-25. 1964.

61. HANOTIAUX, G. L'étude de la dynamique du phosphore du sol par la méthode du fraaionnement. Aberdeen, International Society of Soil Science, 1967. pp 161-173.
62. HAYLOCK, O. F. A method for stemating the availability of nonexchangeable potassium. Report VI th. International Congress Soil Science Paris, 403-408. 1956.
63. HEMWALL, J. B. The fixation of the phosphorus by soils. Advances in Agronomy 9:95-112. 1957.
64. HOGG, D. E. The assessment of available potassium in soils. New Zealand Journal of Science and Technology 38(7):1015-1024. 1957.
65. HOLDRIGD, L. R. Mapa ecológico de Costa Rica. Turrialba, IICA, 1959. 1 h.
66. HSU, P. H. y JACKSON, H. L. Inorganic phosphate transformation by chemical weathering of soil as influenced by pH. Soil Science 90(1):16-32. 1960.
67. JACKSON, H. L. Chemical composition of soils. In Bear, F. E. ed. Chemistry of the soil. 2nd. ed. New York, Reinhold, 1964. pp. 71-144.
68. \_\_\_\_\_. Free oxides hidroxides and amorphous aluminosilicates. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp 578-603.
69. \_\_\_\_\_ y SHERMAN, G. D. Chemical weathering of minerals in soils. Advances in Agronomy 5:296-297. 1953.
70. JACOB, A. y UESKULL, H. Fertiliz ción de maíz. In \_\_\_\_\_ y Ueskull, H. Fertilización. Traducción de L. Martínez de Alba. Amsterdam, Internationale Handelsmaatschappij voor Beststoffen, 1961. pp 125-138.
71. JENECKS, E. H. , RAESE, J. T. y REESE, C. D. Organic phosphorus content of some west Virginia soils. West Virginia Agricultural Experiment Station. Buletin no 489. 1964. 16p.
72. KAMPRATH, E. J. Soil acidity and response to liming North Carolina State University. Buletin no 4 1967. 17 p.

73. KAUFFMAN, M. D. Y BOULDIN, D. R. Relationships of non exchangeable potassium in soils adjacent to cation exchange resins and plants. *Soil Science* 104(2):145-150. 1967.
74. KEE, S. The potassium status of some malayans soils. *Malayan Agricultural Journal* 45(2): 143-161. 1965.
75. KINJO, T. Nitrate adsorption by acid soils of tropical regions. Ph. D. thesis, Riverside, University of California, 1970. 108 p.
76. KOJIMA, T. Soil organic nitrogen. I. Nature of the organic nitrogen in a muck soil from Genoveva. *Soil Science* 64(1): 157-165. 1947.
77. KOMONOVA, N. H. Soil organic matter. 2nd ed. Oxford, Pergamon Press, 1967. 544 p.
78. LEHR, J. R. y BROWN, W. E. Calcium phosphate fertilizers. II. A petrographic study of their alteration in soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 22(1):29-32. 1958.
79. LEON, A. Estudio químico y mineralógico de diez suelos colombianos. *Agricultura Tropical (Colombia)* 20(7):442-451. 1964.
80. \_\_\_\_\_ y SANCHEZ, C. Estudio de los suelos de la granja "El Placer" Popayan. *Agricultura Tropical (Colombia)* 19(6): 344-355. 1963.
81. LINDSAY, W. L. y STEPHENSON, H. F. Nature of the reaction of monocalcium phosphate monohydrate in soils. I. The solutions that reacts with the soil. *Soil Science Society of America Proceedings* 23(3):12-17 1959.
82. MAC LEAN, A. J. Potassium supplying power of some canadian soils. *Canadian Journal of Soil Science* 41(1): 196-206. 1961.
83. KARIN, H. G., MAC CLUNG, A. y LUENGA, V. A. La capacidad de varios suelos colombianos para suministrar potasio. Palmira (Colombia), Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 1964. 20p.
84. MARTINI, J. A. Chemical mineralogical and physical properties of seven surface soils from Panama with special reference to cation exchange capacity and potassium status. Ph. D. thesis. Ithaca, New York, Cornell University, 1966. 190 p. (mimeo).

85. MARTINI, J. A. Principales grandes grupos de suelos de América Central y de México. *Fitotecnia Latinoamericana* 4(1):57-59. 1967.
86. NAZARIEGOS, F. J. Abonamiento con N-P-K en maíz y frijol y su efecto residual sobre la productividad y propiedades del suelo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1969. 191 p.
87. NIKANI, D. T. y KANEHIRO, Y. Native fixed ammonium in Hawaiian soil. *Soil Science Society of America Proceedings* 32:481-485. 1958.
88. HOLINA, C. y BLASCO, H. El nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas del altiplano de Pasto, Colombia. *Turrialba* 20(1):23-26. 1970.
89. MOORE, A. W. y AYCKE, C. A. HF-extractable ammonium nitrogen in four Nigerian soils. *Soil Science* 99(5): 335-338. 1965.
90. MORENO, G. R. Algunos aspectos de la fertilización en cacao (*Theobroma cacao* L) con observaciones preliminares sobre respuesta a la aplicación de tres elementos mayores al suelo. *Acta Agronómica (Colombia)* 15(1-4):59-107.
91. MORILLO, R. M. y FASSEBENDER, H. W. Formas y disponibilidad de fosfatos en suelos de la cuenca baja del río Choluteca, Honduras. *Turrialba* 18(1):23-26. 1968.
92. MORTEENSEN, J. L. y HINES, F. L. Soil organic matter. In Bear, F. E., ed. *Chemistry of the soil*. 2nd ed. New York, Reinhold, 1964. pp 206-241.
93. MOSS, P. y COULTER, J. K. The potassium status of West Indian volcanic soil. *Journal of Soil Science* 15(2):284-299. 1964.
94. MULLER, L. Un aparato micro Kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materias vegetales. *Turrialba* 11(1):17-25. 1961.
95. NELSON, W. L. y STANFORD, G. Changing concepts of plant nutrient behavior and fertilizer use. *Advances in Agronomy* :105-112. 1958.
96. ORDOÑEZ, H. y BLASCO, H. Estudio del potasio en algunos suelos del altiplano de Pasto, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas, (Colombia)* 1(1): 2-5. 1971.

97. ORTEGA, J. Estudio comparativo de tres fuentes de fósforo a diferentes niveles de aplicación en relación a su absorción y fijación en un suelo de Mariño. Tesis Ing Agr. Pasto, Universidad de Mariño. 1970. 122 p.
98. PANTOJA, C. Fraccionamiento del fósforo en algunos suelos de clima medio del departamento de Mariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Mariño. 1969. 111 p.
99. 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.
100. PEECH, H. Hydrogen-ion activity. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. II. Chemical and microbiological properties. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965 pp. 915-926.
101. PESEK, J. Integration of various factors and practice in corn production. In Pierre, W. et al., eds. Advances in corn production : principles and practice. Iowa, University Press, 1964. pp. 447-462.
102. PRATT, P. E. Potassium removal from Iowa soils by greenhouse and laboratory procedurs. Soil Science 72(2): 107-117. 1951.
103. REEUWIJK, L. P. y VILLIERS, J. H. Potassium fixation by amorphous aluminisilica gels. Soil Science Society of America Proceedings 32: 238-240. 1968.
104. REITEMEIER, R. F. Soil potassium fixation. Advances in Agronomy 3:113-164. 1951.
105. ROJAS, L. A. Nivel de fertilidad de los suelos irrigados por el río Saldaña. Bogotá, Colombia, Laboratorio Químico Nacional. Boletín no 2. 1955 . pp. 9-20.
106. RODRIGUEZ, G. Fixed ammonium in tropical soils. Journal of Soil Science 5(2):264-274. 1954.
107. RUSSELL, E. J. y RUSSELL, E. W. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Traducción de Gaspar González G. Madrid, Aguilar, 1968. 301p.
108. SANCHEZ, P. C. y RODRIGUEZ, O. Fijación del fósforo por cuatro tipos de suelos de sabana. Oriente Agropecuario, (Venezuela) 1(1):23-32. 1968.

109. SAUNDERS, H. H. y WILLIAMS, E. G. Determination of total organic phosphorus in soils. *Journal of Soil Science* 6(2):254-260. 1965.
110. SCHOLLMBERGE, C. J. y SIMON, H. Determination of exchange properties of soil by the ammonium acetate method. *Soil Science* 59(1):14-15. 1945.
111. SHAUFELEBERGER, P. La arcilla de los suelos tropicales. *Cenicafe, Colombia* 1(5):29-46. 1951.
112. SEN GUPTA, N. 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.
113. \_\_\_\_\_, 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* 13:665-668. 1962.
114. SILVA, J. J. Estudio químico y biológico de los suelos de Santander. Colombia, Ministerio de Minas y Petróleos, Boletín no 13. 1957. 106 p.
115. STEVENSON, F. J. Distribution of the forms of nitrogen in some profiles. *Soil Science Society of America Proceedings* 21:283-287. 1957.
116. SUAREZ, H. A. Caracterización del estado del potasio en tres grandes grupos de suelos de Costa Rica. Tesis Agr. Sc. Turrialba, IICA, 1968. 303 p.
117. TAFUR, M. y BLASCO H. El nitrógeno en los suelos del Valle del Cesar. *Acta Agronómica (Colombia)* 18(1):7-16. 1968.
118. TIMCKHELL, R. C. y LOPEZ, R. J. La fijación del potasio en algunos suelos venezolanos. *Revista de la Potasa (Suiza)* 4(29):1-9. 1962.
119. ULRICH, E., HEMPLER, K. y BENZLER, J. H. Zur analytischen Bestimmung von Gesamtphosphorsäure und laktatlöslicher phosphorsäure in Bodenproben. *Die Phosphorsäure* 20:344-347. 1960.
120. URBINA, A., SAN MARTIN, E. y SHAEFFER, R. La actividad metabólica de algunos grupos fisiológicos de microorganismos en suelos Andis de Chile. I. Mineralización de C y N orgánicos en condiciones de laboratorio. *Agricultura Técnica (Chile)* 29(2):145-160. 1969.

121. VENEMA, K. C. W. Some observations on yield depression caused by normal fertilizus dressings. Part III. Potash and Topical Agriculture(Holanda) 4(1):4-18. 1961.
122. VIEIRA, L. S. y BORRHEISZA, E. Categorías de fósforo en los principales grandes grupos de suelos en la amazonia del Brasil. Turrialba 18(3):242-248. 1968.
123. WADA, K. Reaction of phosphate with allophane and halloysite. Soil Science 87(6):325-330. 1959.
124. WALSH, H. L. Native fixed ammonium and fixation of applied ammonium in several Wisconsin soils. Soil Science 20(2):84-87. 1959.
125. \_\_\_\_\_ y MURDOCK, J. T. Native fixed ammonium and fixation of applied ammonium in several Wisconsin soils. Soil Science 89(4):183-193. 1960.
126. 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.
127. WETTSelaar, R. Nitrate distribution in tropical soils. II. Downward movement and accumulation of nitrate in the subsoil. Plant Soil 16(1):19-31. 1962.
128. WILCOX, J. S. y TOWNSEND, W. H. An introduction to agricultural chemistry. London, Arnold Public, 1964. 243 p.
129. WILLIAMS, C. H. Nitrogen, sulfur and phosphorus their interactions and availability. In Jacks, G. V., ed. Soil chemistry and fertility. Aberdeen, University Press, 1967 pp.93-111.
130. WIKLANDER, L. Form of potassium in the soil. In \_\_\_\_\_ Potassium symposium. Zurich, International Potash Institute, 1954. pp. 109-112.
131. WLOTZKA, F. Untersuchungen zur geochemie des stickstoffs Geochimica et Cosmochimica 24:106-154. 1961.
132. YOUNG, J. L. y CATTANI, R. A. Mineral fixation of anhydrous  $\text{NH}_3$  by air-dry soils. Soil Science Society of America Proceedings 26: 147-152. 1962.



## Características físicas del perfil del suelo (92)

### Horizonte A

Profundidad 0-26 cm. Textura franco arcillosa, límite gradual.  
Color pardo grisáceo obscuro 10YR/2 en seco y pardo grisáceo muy obscuro 10YR3/2 en húmedo.  
Estructura ; bloques subangulares pequeños.  
Consistencia : suave en seco y friable en húmedo, ligeramente pegajosa y plástica en mojado.

### Horizonte B12

Profundidad 26-52 cms. Textura arcillosa, límite claro.  
Color pardo 10YR4/3 en seco y pardo obscuro 7.5YR3/2 en húmedo  
Estructura : bloques subangulares medianos.  
Consistencia: ligeramente dura en seco y friable en húmedo, pegajosa y plástica en mojado

### Horizonte C<sub>1</sub>

Profundidad 52-82 cm. Textura francoárcillosa-arenosa  
Límite difuso.  
Color amarillo parduzco 10YP6/6 en seco, y pardo 7.5 YR4/4 en en húmedo  
Sin estructura, masivo.

### Horizonte C<sub>2</sub>

Profundidad 82 cm. y más. Textura francoárcillosa-arenosa  
Color pardo muy pálido 10YR 7/4 en seco y pardo amarillento obscuro 10YR4/4 en húmedo.  
Sin estructura, masivo.  
Consistencia: dura en seco y firme en húmedo

Densidad aparente del horizonte A : 0.980 gr/ml.

Densidad aparente del horizonte B 1.009 gr/ml.

### Análisis inicial del suelo y subsuelo de la parcela testigo(92)

	M.O	H-t.	Ca	Hg	K	Al	P	C/N	CIC	SB
	%	%	n.e.	m.e	m.e	n.e	n.e		m.e	%
A.	9.00	0.50	5.44	1.57	0.77	14.37	7.89	11.67	43.94	18.57
B.	2.80	0.18	7.49	1.21	0.52	10.37	4.70	9.73	39.25	26.40

Análisis de variancia para los tratamientos con N

	G.L.	S.C	C.M.	F c.	F t.
Tratamientos	6	0.00042426	0.00081386	1.397	2.34
Formas	6	0.00158855	0.00605823	10.402	
Trat x Form.	36	0.00377799	0.00058239		
Total	48	0.00579080			

Análisis de variancia para los tratamientos con P

	G.L.	S.C.	C,M	F. C.	F. t.
Tratamientos	6	0.00007911	0.00013185	21.00**	2.34
Formas	7	0.00116384	0.00166262	265.59	
Trat x Form.	42	0.00026157	0.00000622		
Total	55	0.00150452			

Análisis de variancia para los tratamientos con K

	G.l	S.C.	C.M.	F. c.	F. T.
Tratamientos	6	0.00048832	0.00070712	0.67	2.34
Formas	6	0.00363314	0.00264751	2.52	
Trat x Form.	36	0.00058239	0.00104944		
Total	48	0.00470585			

Cuadro 1 Concentración y formas de nitrógeno.

Formas	Profundidad.	T	N	P	NP	NK	PK	MPK
	cms.	ppm						
Nitrógeno total	0-15	4305.0	4466.0	4252.0	4287.0	5368.0	4322.0	3920.0
	15-30	3955.0	3451.0	3869.0	4287.0	4566.0	4113.0	2520.0
	30-60	1540.0	1498.0	1150.0	2330.0	2161.0	2300.0	1785.0
	60-100	1394.0	1254.0	1132.0	1359.0	1254.0	1254.0	945.0
Nitrógeno Orgánico	0-15	4083.3	4107.6	4099.7	4016.0	5072.4	4109.2	3687.1
	15-30	3757.9	3200.2	3669.3	4007.0	4371.2	3880.1	2309.5
	30-60	1419.1	1303.2	988.8	2146.4	1979.6	2094.0	1587.7
	60-100	1244.0	1077.1	977.5	1231.4	1128.6	1052.4	727.8
Nitrógeno Inorgánico	0-15	221.7	358.4	152.3	271.0	295.6	212.8	232.9
	15-30	197.1	250.8	199.3	280.0	194.8	232.9	210.5
	30-60	120.9	194.8	161.2	183.6	181.4	206.0	199.3
	60-100	150.0	176.9	154.5	127.6	125.4	201.6	217.2
Nitrógeno nativo fijo	0-15	185.9	301.3	107.5	121.8	247.5	159.1	185.9
	15-30	164.7	207.2	153.4	246.4	150.0	199.3	176.9
	30-60	89.6	168.0	138.8	138.8	142.2	179.2	163.5
	60-100	125.4	156.8	123.2	97.4	88.5	177.0	192.6
Nitrógeno intercambiable N-NH <sub>4</sub>	0-15	35.8	57.1	44.8	49.2	48.1	53.7	47.0
	15-30	32.4	43.6	45.9	33.6	44.8	33.6	33.6
	30-60	31.3	26.8	22.4	44.8	39.2	26.8	35.8
	60-100	24.6	20.1	31.3	30.2	36.9	24.6	24.6
N-NH <sub>3</sub>	0-15	12.3	29.1	11.2	28.0	6.6	8.9	12.3
	15-30	2.2	16.8	8.9	3.3	11.2	13.4	7.8
	30-60	8.9	11.2	7.8	4.4	4.4	8.9	6.7
	60-100	11.2	6.7	4.4	3.3	13.4	7.8	2.2
N-NO <sub>3</sub>	0-15	22.4	24.6	20.1	22.4	23.5	35.8	20.1
	15-30	13.4	35.8	20.1	24.6	29.1	22.4	15.6
	30-60	19.0	37.0	13.4	8.9	26.8	16.8	22.4
	60-100	11.2	33.6	11.2	11.2	32.5	11.2	19.0

Cuadro 2. Cantidades porcentuales de las diferentes formas de nitrógeno con respecto al nitrógeno total.

Formas	Profundidad.	N	P	NP	NK	PK	NPK	T
	cms.	--Porcentajes--						
Nitrógeno total	0-100	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Nitrógeno Orgánico	0-15	91.96	96.41	93.67	94.49	95.07	94.05	94.85
	15-30	92.72	94.83	93.46	95.73	94.33	94.05	95.01
	30-60	86.99	85.98	92.12	91.60	91.00	88.83	92.14
	60-100	85.89	86.35	90.61	90.00	83.92	77.01	89.23
Nitrógeno inorgánico	0-15	8.02	3.58	6.33	5.50	4.92	5.94	5.14
	15-30	7.26	5.15	6.53	4.26	5.66	8.35	4.98
	30-60	13.00	14.01	7.87	8.39	8.95	11.16	7.85
	60-100	14.10	13.64	9.38	10.00	16.07	22.98	10.76
Nitrógeno nativo fijo	0-15	6.73	2.52	2.84	4.61	3.68	4.74	4.31
	15-30	6.00	3.96	5.74	3.28	4.84	7.01	4.16
	30-60	11.21	12.06	5.95	6.58	7.79	9.15	5.81
	60-100	12.50	10.88	7.16	7.05	14.11	20.38	8.99
Nitrógeno intercambiable.	0-15	1.27	1.05	1.14	0.89	1.24	1.19	0.83
	15-30	1.26	1.18	0.78	0.98	0.81	1.33	0.81
	30-60	1.78	1.94	1.92	1.82	1.16	2.00	2.03
	60-100	1.60	2.76	2.22	2.94	1.96	2.60	1.76
N-NH <sub>3</sub>	0-15	0.65	0.26	0.65	0.12	0.20	0.31	0.28
	15-30	0.48	0.23	0.07	0.24	0.32	0.30	0.05
	30-60	0.74	0.67	0.18	0.20	0.38	0.37	0.57
	60-100	0.53	0.38	0.24	1.06	0.62	0.23	0.80
N-NO <sub>3</sub>	0-15	0.55	0.47	0.52	0.43	0.82	0.51	0.52
	15-30	1.03	0.51	0.57	0.63	0.54	0.61	0.34
	30-60	2.46	1.16	0.38	1.24	0.73	1.25	1.23
	60-100	2.67	0.98	0.82	2.59	0.89	2.01	0.80

Cuadro 3. Concentración y formas de fósforo.

Formas	Profundidad cms	T	N	P	NP	NK	PK	NPK
-----ppm-----								
Fósforo	0-15	2325.0	2325.0	3250.0	3150.0	2750.0	3200.0	2175.0
	15-30	1875.0	2450.0	2450.0	2950.0	2575.0	2200.0	2700.0
Total	30-60	1450.0	1950.0	2425.0	2325.0	2200.0	2050.0	1775.0
	60-100	1550.0	1775.0	1875.0	2050.0	1700.0	1550.0	1450.0
Fósforo	0-15	795.0	1025.0	1010.0	1030.0	1020.0	1075.0	885.0
	15-30	835.0	945.0	950.0	1060.0	1010.0	1025.0	795.0
Orgánico	30-60	580.0	665.0	580.0	730.0	810.0	665.0	565.0
	60-100	515.0	595.0	715.0	675.0	690.0	610.0	540.0
Fósforo	0-15	7.0	5.6	7.5	6.8	7.5	8.1	7.5
soluble	15-30	5.6	4.6	5.6	4.6	6.8	8.1	4.6
en NH <sub>4</sub> Cl	30-60	5.0	2.8	8.1	5.0	6.8	7.5	6.8
	60-100	4.6	5.6	6.8	5.0	5.0	6.8	5.0
Fosfatos	0-15	225.0	290.0	402.0	462.5	285.0	337.5	315.5
de	15-30	275.5	315.0	340.5	355.0	257.5	355.0	290.0
Aluminio	30-60	290.0	295.0	252.5	265.5	257.5	242.5	210.0
	60-100	382.5	347.5	275.5	295.0	377.5	241.0	282.5
Fosfatos	0-15	280.0	292.5	360.0	367.5	317.0	342.5	342.0
de	15-30	267.5	300.5	292.5	327.5	275.0	360.0	297.5
Hierro	30-60	322.5	310.0	267.5	275.0	280.0	250.0	280.0
	60-100	347.5	420.0	305.0	347.5	292.5	275.0	305.0
Fosfatos	0-15	40.0	30.0	52.5	61.2	61.0	55.0	42.5
de calcio	15-30	47.0	22.5	90.0	91.7	55.0	48.7	48.7
no apatiti	30-60	47.5	27.5	52.5	52.5	35.0	24.0	22.5
co.	60-100	43.0	42.5	80.0	46.2	27.5	30.0	42.5
Fosfatos	0-15	102.5	112.5	125.0	125.0	122.5	133.7	146.2
de calcio	15-30	143.7	131.2	116.2	97.5	127.5	161.2	170.0
apatitico	30-60	116.2	110.0	118.7	116.2	163.7	112.5	158.7
	60-100	137.5	143.7	93.7	97.5	140.0	137.5	140.0
Fósforo	0-15	875.5	569.4	1293.0	1097.0	937.0	1248.2	463.3
Inerte	15-30	300.7	690.3	655.2	1013.0	843.2	242.0	1094.2
	30-60	88.8	539.7	1145.7	880.8	647.0	748.5	532.0
	60-100	119.9	220.7	399.0	583.8	167.5	249.7	135.0

Cuadro 4. CANTIDADES PORCENTUALES DE LAS DIFERENTES FORMAS DE FÓSFORO CON RESPECTO AL FÓSFORO TOTAL.

Formas	Profundidad cms	T	N	P	HP	NK	PK	MPK
---Porcentajes---								
Fósforo Total	0-100	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Fósforo Orgánico	0-15	34.19	44.08	31.07	32.69	37.09	33.59	40.68
	15-30	44.53	38.57	38.77	35.93	39.22	46.59	29.44
	30-60	40.00	34.10	23.91	31.39	36.81	32.43	31.83
	60-100	33.22	33.52	38.13	32.92	40.58	39.35	37.24
Fósforo soluble en NH <sub>4</sub> Cl.	0-15	0.30	0.24	0.23	0.21	0.27	0.25	0.34
	15-30	0.29	0.18	0.22	0.15	0.26	0.36	0.17
	30-60	0.34	0.14	0.33	0.21	0.30	0.36	0.38
	60-100	0.29	0.31	0.36	0.24	0.29	0.43	0.34
Fosfatos de Aluminio	0-15	9.67	12.47	12.38	14.65	10.36	10.54	14.50
	15-30	14.69	12.85	13.80	12.03	10.00	16.13	10.74
	30-60	20.00	15.12	10.41	11.41	11.70	11.82	11.83
	60-100	24.67	10.57	14.68	14.39	22.20	15.54	19.44
Fosfatos de Hierro	0-15	12.04	12.58	11.07	11.66	11.52	10.70	15.72
	15-30	14.26	12.26	11.93	11.10	10.67	16.36	11.01
	30-60	20.00	15.89	11.01	11.82	12.77	12.19	15.77
	60-100	22.41	23.66	16.26	16.95	17.21	17.74	21.03
Fosfatos de calcio no apatítico.	0-15	1.72	1.29	1.61	1.94	2.21	1.71	1.95
	15-30	2.50	0.91	3.67	3.10	2.13	2.21	1.80
	30-60	3.25	1.40	2.15	2.25	1.59	1.17	1.26
	60-100	2.77	2.39	4.27	2.25	1.61	1.93	2.93
Fosfatos de calcio apatítico	0-15	4.40	6.33	3.84	3.96	4.45	4.17	6.72
	15-30	7.66	5.34	4.74	3.30	4.95	7.32	6.29
	30-60	8.01	5.64	4.89	4.99	7.44	5.48	8.94
	60-100	8.87	8.09	4.99	4.75	8.23	8.87	9.65
Fósforo Inerte	0-15	37.65	24.49	39.78	34.82	34.07	39.00	21.30
	15-30	16.03	28.17	26.74	34.33	32.74	11.00	40.52
	30-60	6.12	27.67	47.24	37.88	29.40	36.51	30.02
	60-100	10.63	12.43	21.28	28.47	9.85	16.10	9.31

Cuadro 5. Concentración y formas de potasio

Formas	Profundidad. cms.	Testigo	N	P	NP	NK	PK	NPK
			--- ppm ---					
Potasio	0-15	925.0	1575.0	2350.0	1500.0	1970.0	2000.0	2650.0
Total	15-30	1950.0	1450.0	2125.0	1550.0	1775.0	1975.0	1900.0
	30-60	1525.0	2000.0	2425.0	2275.0	1575.0	1690.0	2350.0
	60-100	1450.0	1800.0	2340.0	1690.0	1375.0	1900.0	2225.0
Potasio Soluble en agua	0-15	27.0	11.0	9.8	24.4	18.6	40.8	30.6
	15-30	5.5	11.0	6.6	2.5	20.2	26.0	19.8
	30-60	2.2	2.8	3.4	1.6	5.4	6.4	2.5
	60-100	1.2	2.2	2.3	3.4	5.8	2.2	7.4
Potasio Intercam- biable.	0-15	280.0	206.0	166.0	200.0	356.0	466.0	340.0
NH <sub>4</sub> Ac.	15-30	240.0	256.0	184.0	176.0	366.0	400.0	346.0
	30-60	148.0	196.0	170.0	160.0	310.0	280.0	248.0
	60-100	144.0	116.0	220.0	175.0	152.0	184.0	330.0
Potasio Intercam- biable	0-15	218.0	153.0	155.0	133.0	255.0	325.0	250.0
HNO <sub>3</sub> 1N.	15-30	182.0	184.0	139.0	108.0	258.0	265.0	245.0
	30-60	102.0	83.0	120.0	95.0	200.0	210.0	175.0
	60-100	93.0	138.0	171.0	126.0	100.5	130.0	258.0
Potasio no inter- cambiable	0-15	408.0	413.0	500.0	494.0	654.0	733.0	500.0
Total	15-30	466.0	418.0	500.0	500.0	658.0	637.0	606.0
	30-60	329.0	420.0	546.0	564.0	659.0	554.0	529.0
	60-100	374.0	425.0	530.5	474.0	494.0	508.0	496.0
Fracción más solu- ble del K	0-15	128.0	167.0	150.0	162.0	196.0	313.0	200.0
no interc-	15-30	172.0	158.0	160.0	156.0	192.0	229.0	176.0
	30-60	93.0	120.0	194.0	156.0	221.0	148.0	173.0
	60-100	130.0	161.0	199.5	194.0	162.0	172.0	204.0
Potasio Extractu- ral.	0-15	299.0	1109.0	1695.0	873.0	1061.0	942.0	1900.0
	15-30	1302.0	848.0	1486.0	942.0	859.0	1073.0	1049.0
	30-60	1049.0	1497.0	1759.0	1616.0	716.0	926.0	1646.0
	60-100	983.0	1237.0	1638.5	1090.0	780.5	1262.0	1471.0

Cuadro 6. Cantidades porcentuales de las diferentes formas de potasio con respecto al potasio total.

Formas	Profundidad	T	F	P	NP	HK	PK	NPK
cins		---Porcentajes---						
Potasio Total	0-1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Potasio soluble en agua	0-15	2.92	0.65	0.41	1.56	0.94	2.04	1.15
	15-30	0.28	0.75	0.31	0.16	1.13	1.31	1.04
	30-60	0.14	0.14	0.14	0.07	0.34	0.37	1.06
	60-100	0.08	0.12	0.09	0.20	0.42	0.11	0.33
Potasio intercambiable NH <sub>4</sub> Ac	0-15	30.27	12.29	7.06	13.33	18.07	23.30	12.83
	15-30	12.30	17.65	8.65	11.35	23.61	20.25	18.21
	30-60	9.71	9.80	7.01	7.03	19.68	16.56	10.55
	60-100	9.93	6.44	9.40	10.35	11.05	9.68	14.83
Potasio intercambiable NO <sub>3</sub> H O.1H	0-15	23.56	9.13	6.59	8.86	12.91	16.25	9.40
	15-30	9.33	12.68	6.54	6.96	14.53	13.41	12.89
	30-60	6.68	4.15	4.94	4.17	12.69	12.42	7.40
	60-100	6.41	7.66	7.30	7.45	7.30	6.84	11.59
Potasio no intercambiable total	0-15	44.10	24.65	21.27	32.93	33.19	36.65	18.86
	15-30	23.89	28.82	23.52	32.25	37.07	32.25	22.86
	30-60	21.57	21.00	22.51	24.79	41.84	37.78	22.51
	60-100	25.79	23.61	22.67	28.04	35.92	26.73	22.29
Fracción más soluble del K no interc.	0-15	13.39	9.97	6.38	10.80	9.94	15.65	7.54
	15-30	8.82	10.89	7.52	10.06	10.81	11.59	9.26
	30-60	6.09	6.00	8.00	6.85	14.03	8.75	7.36
	60-100	8.96	8.94	8.52	11.47	11.78	9.05	9.16
Potasio Estructural	0-15	32.32	66.16	72.12	58.20	53.85	47.10	71.69
	15-30	66.76	58.49	69.92	60.77	48.39	54.32	55.21
	30-60	68.70	74.85	72.53	71.03	45.46	54.79	70.04
	60-100	68.48	68.72	70.02	64.49	56.76	66.42	66.11