

//

**ABONAMIENTO CON N, P, K, EN MAIZ Y FRIJOL Y SU EFECTO RESIDUAL
SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y PROPIEDADES DEL SUELO.**

por

✓
Francisco Javier Mazariegos Anléu

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

Centro de Enseñanza e Investigación

Turrialba, Costa Rica

Agosto, 1969

✓
ABONAMIENTO CON N, P, K, EN MAIZ Y FRIJOL Y SU EFECTO
RESIDUAL SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y PROPIEDADES
DEL SUELO

Tesis


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

Magister Scientiae

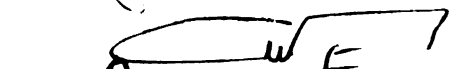
en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

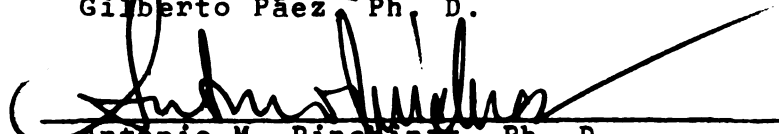
APROBADA:



J. Alberto Martini, Ph. D. Consejero



Gilberto Páez, Ph. D. Comité



Antonio M. Pinchinat, Ph. D. Comité



Fausto Maldonado, Ing. Agr. Comité

iii

A mis padres

A mi esposa

A mis hijos

A mi Patria

GUATEMALA

AGRADECIMIENTO

El autor expresa sus agradecimientos a las siguientes instituciones y personas:

- Al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
- Al Ministerio de Agricultura de Guatemala
- A los señores profesores: Dr. J. Alberto Martini, consejero principal, Dr. Gilberto Pérez, Ing. Agr. Fausto Maldonado y Dr. Antonio Pinchinat, miembros del Comité Consejero.
- Al Dr. Michel Montoya e Ing. Roberto Díaz-Romeu, quienes colaboraron en la fase inicial del estudio.
- Al Dr. Gilberto Pérez, por su valiosa colaboración en el análisis estadístico.
- A mis profesores y compañeros por sus enseñanzas y consejos, al personal auxiliar del laboratorio de Suelos y Fisiología Vegetal y a todas las personas que con su aporte ayudaron a la realización del presente trabajo.

BIOGRAFIA

El autor nació en Panajachel, Departamento de Sololá, Guatemala en el año de 1933. Realizó sus estudios secundarios en la Escuela Nacional de Comercio, Guatemala, obteniendo el título de Perito Contador en 1952.

Realizó estudios universitarios en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, graduándose de Ingeniero Agrónomo en el año 1966. Ha prestado sus servicios profesionales en el Ministerio de Agricultura, Dirección General de Recursos Naturales Renovables, en la División de Suelos.

Ingresó en la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas en la disciplina de Fitotecnia y Suelos, en septiembre de 1967, egresando en agosto de 1969.

CONTENIDO

	página
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
1. INTRODUCCION	1
1.1 El Problema	1
1.2 Objetivos	2
2. REVISION DE LITERATURA.	3
2.1	3
2.2 Ensayos de Fertilidad con N, P y K en Maíz y Frijol	4
2.2.1 Maíz	4
2.2.2 Frijol.	7
2.3 Efecto residual de los fertilizantes.	9
3. MATERIALES Y METODOS.	15
3.1 Localización de los ensayos	15
3.2 Suelos	15
3.2.1 Descripción del perfil.	15
3.3 Recolección de la información	17
3.3.1 Ensayo de maíz.	17
3.3.2 Ensayo de frijol.	18
3.3.3 Toma de muestras del suelo y subsuelo	19
3.3.4 Análisis de laboratorio	20
3.3.4.1 Determinación del pH.	20
3.3.4.2 Materia orgánica.	20
3.3.4.3 Nitrógeno total	20
3.3.4.4 Fósforo asimilable.	21

	página
3.3.4.5 Fraccionamiento de fosfatos inorgánicos	21
3.3.4.6 Capacidad de intercambio de cationes	22
3.3.4.7 Calcio, magnesio y potasio	23
3.3.4.8 Aluminio extraíble	23
3.3.4.9 Análisis granulométrico	23
3.3.4.10 Color	23
3.3.4.11 Densidad aparente	23
3.4 Análisis Estadísticos	23
3.4.1 Análisis de variancia	23
3.4.2 Correlaciones y regresiones	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	26
4.1 Efecto de varias combinaciones de fertilizantes sobre la producción de maíz y frijol	26
4.1.1 Análisis de la producción del maíz primera y segunda cosechas	26
4.1.2 Análisis de la producción de frijol primera y segunda cosechas	32
4.1.3 Valor probable del efecto residual sobre la productividad, en términos relativos	36
4.1.4 Algunas consideraciones económicas, de la respuesta al fertilizante	39
4.2 Incremento relativo y absoluto de varios elementos del suelo y subsuelo y algunas relaciones de los mismos	41
4.2.1 Materia orgánica	46
4.2.2 Nitrógeno total	47
4.2.3 Calcio	47
4.2.4 Magnesio	48
4.2.5 Potasio	48

	página
4.2.6 Aluminio	49
4.2.7 Fósforo	50
4.2.8 Relación C/N	50
4.2.9 Capacidad de intercambio catiónico	51
4.2.10 Porcentaje de saturación de bases	52
4.2.11 Relación Ca/Mg.	52
4.2.12 Calcio + Magnesio/Potasio	52
4.3 Estado de los fosfatos en sus formas inorgánicas, al inicio y al final del experimento con maíz.	53
4.3.1 Fosfatos de aluminio	53
4.3.2 Fosfatos de hierro	55
4.3.3 Fosfatos de calcio	55
4.3.4 Fosfatos solubles en cloruro de amonio	55
4.3.5 Fosfatos activos totales	55
4.4 Estado de la reacción del suelo y subsuelo (pH) durante el periodo del experimento.	57
4.5 Contenido de P asimilable durante varias épocas de muestreo a través de dos cosechas, en el suelo y subsuelo	61
4.6 Contenido de potasio, calcio y magnesio, en varias épocas de muestreo, en el suelo y subsuelo	63
4.6.1 Contenido de potasio	63
4.6.2 Contenido de calcio	67
4.6.3 Contenido de magnesio.	68
4.7 Correlación entre la primera y segunda cosecha de maíz y el análisis inicial y final del suelo y subsuelo	68
4.7.1 Relaciones entre la primera cosecha, para cada tratamiento y el análisis de las mues- tras iniciales (antes de abonar)	68
4.7.2 Relaciones entre la segunda cosecha, para cada tratamiento y el análisis de las mues- tras finales	71

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES	página 74
SUMMARY	78
LITERATURA CITADA	80
APENDICE.	91

LISTA DE CUADROS

Cuadro No.		página
1.	Esquema del análisis de variancia para el ensayo de maíz.	24
2.	Esquema del análisis de variancia para el ensayo de frijol.	24
3.	Análisis de variancia del efecto de tratamientos para la primera y segunda cosecha de maíz.	26
4.	Promedios de rendimiento de la primera cosecha de maíz Kg/Ha, observados en forma creciente.	27
5.	Promedios de rendimiento de la segunda cosecha de maíz Kg/Ha, observados en forma creciente.	27
6.	Valores y relaciones de algunas variables de la primera cosecha de maíz por tratamiento.	31
7.	Valores y relaciones de algunas variables de la segunda cosecha de maíz por tratamiento.	31
8.	Análisis de variancia del efecto de tratamientos para la primera y segunda cosechas de frijol.	32
9.	Medias de la primera cosecha frijol Kg/Ha, ordenadas en forma creciente.	33
10.	Medias de la segunda cosecha frijol Kg/Ha, ordenadas en forma creciente.	33
11.	Probable efecto residual de los tratamientos, sobre la producción de maíz.	37
12.	Probable efecto residual sobre la producción de frijol.	38
13.	Aspecto económico de la primera y segunda cosecha de maíz.	39
14.	Aspecto económico de la primera y segunda cosecha de frijol.	42
15.	Análisis de suelos y subsuelos, iniciales y finales de cada tratamiento.	43
16.	Incremento relativo y absoluto de los elementos y relaciones, determinados en el suelo y subsuelo.	44

Cuadro No.		página
17.	Fosfatos activos en el suelo y subsuelo, de tres parcelas tratadas con P y tres sin tratamiento en ppm.	54
18.	pH del suelo durante el período de experimento	58
19.	pH del subsuelo durante el período de experimento	60
20.	Correlación lineal entre la primera cosecha de maíz y el análisis inicial del suelo y subsuelo	69
21.	Correlación lineal entre la segunda cosecha de maíz y el análisis final del suelo y subsuelo	72

LISTA DE FIGURAS

Figura no.		página
1.	Histograma de la producción de la primera y segunda cosecha de maíz.	28
2.	Histograma de la producción de la primera y segunda cosecha de frijol.	35
3.	Contenido de P asimilable durante varias épocas de muestreo a través de dos cosechas, en el suelo y subsuelo.	62
4.	Contenido de K cambiable durante varias épocas de muestreo a través de dos cosechas, en el suelo y subsuelo.	64
5.	Contenido de Ca cambiable durante varias épocas de muestreo a través de dos cosechas, en el suelo y subsuelo.	65
6.	Contenido de Mg cambiable durante varias épocas de muestreo a través de dos cosechas, en el suelo y subsuelo.	66

1. INTRODUCCION

El crecimiento constante de la población en Centroamérica, trae consigo la necesidad del aumento en la producción de cultivos alimenticios, principalmente maíz y frijol. Ambos cultivos son muy importantes en la alimentación humana y el frijol, la fuente principal de proteína vegetal (17).

En casi todos los lugares, siempre que se procura aumentar la eficiencia de la agricultura y la producción de alimentos, se presenta la necesidad de usar más fertilizantes químicos y materia orgánica.

Los abonos pueden ayudar a doblar o incluso triplicar los rendimientos (43) y aún mejorar la calidad nutritiva del producto agrícola (18).

1.1 El Problema

Una decisión importante que deben tomar los agricultores, al modernizar su explotación agrícola, es cual fertilizante y que cantidad del mismo hay que aplicar (43).

En el área Centroamericana son relativamente pocos los ensayos de abonamiento que se han realizado (71). En muchos suelos la fertilidad natural no es suficiente para cubrir las necesidades de las plantas (41). En otros casos el abonamiento empírico, aún cuando no causa daños a las plantas, conduce a una respuesta tan baja que su aplicación no es rentable (87).

Las necesidades de los elementos mayores N, P y K, son muy grandes en los cultivos de alto rendimiento. Mediante los métodos

modernos de cultivo y los consecuentes altos rendimientos por hectárea, las plantas extraen del suelo año tras año, altas cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio; de aquí que el suministro de ellos por el suelo sea cada vez más limitado (111).

Otro aspecto de suma importancia que frecuentemente no se toma en cuenta, es el efecto residual de los fertilizantes, sobre lo cual prácticamente no existe literatura en América Latina.

En Europa es corriente considerar la aplicación de fertilizantes más bien como una enmienda, cuyo objeto es construir una fertilidad permanente en el suelo; de tal modo que posteriormente, sea solamente necesario adicionar las dosis de nutrimentos consumidos por las cosechas (63).

1.2 Objetivos

Este estudio tiene como objetivos determinar, después de dos fertilizaciones e igual número de cosechas sucesivas:

- a) El efecto de diversas combinaciones de N, P y K sobre la producción de maíz y frijol, bajo condiciones de campo y
- b) El efecto residual acumulativo de los abonamientos y cultivos sucesivos sobre la productividad del terreno y las propiedades del suelo y subsuelo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 La fertilización N, P, K en las plantas.

La deficiencia de nitrógeno ejerce marcados efectos sobre los rendimientos de las plantas. Estas permanecen pequeñas y se tornan rápidamente colróticas, dado que la falta de nitrógeno estorba la síntesis proteíca y clorofílica (57, 41).

La abundante fertilización nitrogenada, así como el buen abastecimiento de agua, influyen en primera línea en el crecimiento vegetativo. El excesivo suministro de nitrógeno, sin embargo, induce un exuberante desarrollo aéreo de la planta, en tanto que el sistema radicular permanece pequeño e ineficaz; por eso, las plantas se muestran más susceptibles a los efectos de sequías repentinas.

El fósforo, ocupa una posición central en el metabolismo vegetal. Los procesos anabólicos y catabólicos de los hidratos de carbono transcurren normalmente cuando los compuestos orgánicos hayan sufrido una previa esterificación con ácido fosfórico. Así mismo el ácido fosfórico desempeña un papel importante en los procesos de transformación de energía, participando en forma decisiva en el metabolismo graso.

El fósforo fomenta la floración, así como la formación y desarrollo de los granos y el desarrollo radicular.

Un exceso de fosfatos puede acelerar unilateralmente la madurez a costa del crecimiento vegetativo. También, las deficiencias de elementos menores, particularmente el zinc y el hierro, han sido atribuidas en ciertos casos a un exceso de fosfatos, resultando en una depresión en el rendimiento.

El potasio tiene como principal función, el mantenimiento de la turgencia fisiológica de los coloides del plasma vegetal, la cual es imprescindible para el desarrollo normal de los procesos metabólicos. Mediante el efecto balanceado entre la respiración, la transpiración y el anabolismo, este elemento asegura el equilibrio acuoso de la planta, reduciendo con ello su tendencia a la marchitez. De allí que en ciertos casos el exceso de nitrógeno produce un efecto fisiológico similar al de la deficiencia potásica y viceversa (57).

Los efectos del potasio sobre la calidad de los productos cosechados son muy variados. En particular, el potasio mejora la textura y el color; incrementa el contenido de azúcar, almidón y aceite de numerosas plantas económicas; favorece el refinamiento del sabor y aumenta el tamaño y la consistencia de los frutos.

2.2 Ensayos de fertilidad con nitrógeno, fósforo y potasio en maíz y frijol.

2.2.1 Maíz

A causa de la gran demanda de nutrimentos del maíz, se considera esta planta como un excelente indicador del estado nutritivo del suelo, respondiendo fácilmente a la aplicación de fertilizantes (57). El maíz agota el suelo en forma considerable, siendo bajo un correcto abastecimiento de nutrimentos, cuando puede proporcionar rendimientos satisfactorios. El rápido desarrollo de la planta conduce, desde sus primeras fases de crecimiento, a una elevada demanda de nutrimentos fácilmente aprovechables (57).

Se ha encontrado que el maíz, en la mayoría de los casos, tiene una buena respuesta al N. En la Estación Experimental de Iowa, En-

gelhorn y colaboradores (35), Observaron que la adición de N incrementó la producción de maíz. Según Hinkle y Garret (53), en Arkansas la cantidad óptima de N, puede depender de la cantidad y la tasa de la mineralización de la materia orgánica, encontrándose que 168 a 202 Kg/Ha de N, dieron las más altas producciones y con una respuesta de cerca de 35 Kg de incremento en grano por cada Kg de N. Harper y Brensing (51), encontraron en Oklahoma, muy buenas respuestas al abonamiento con nitrato de amonio.

En México (37), se ha encontrado altos rendimientos con la fórmula 150-50-50, con densidad de siembra de 60.000 plantas. En 26 localidades de regiones tropicales en el Estado de Veracruz (México), Puente (88) observó que en suelos aluviales, en el 60% de los experimentos, la aplicación del 33 al 50% del N en el momento de la siembra y el resto en una aplicación de cobertura, produjo mayores rendimientos que la aplicación de todo el N al momento de la siembra. La aplicación de N en dos partes, es importante en suelos livianos y con precipitación alta (60) y la necesidad de N para el cultivo del maíz, durante su período de crecimiento (84).

Malcom (69), Lizarraga y ter Kuile (66), Ortiz (80) y Zelaya (117,118) han comprobado la necesidad de aplicar N como elemento primordial para el cultivo del maíz en el área centroamericana.

En Colombia, Gil Benavides (45), en ensayos hechos en el Valle del Cauca, encontró respuesta a la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Lo mismo fue observado por Baird y Colaboradores (5) en los departamentos de Antioquia, Valle, Córdoba, Cundinamarca y Tolima.

Birch et al. (8), en el Perú, hallaron que se necesita una fuerte cantidad de N para alcanzar un rendimiento máximo, siendo apreciable la respuesta del maíz a suelos ricos en materia orgánica. Así mismo, observaron que los mejores resultados se obtienen en las regiones de suelos bien granulados, muy fértiles y con temperaturas elevadas, tanto de día como de noche, durante el período de vegetación.

Burkersroda (21), en fertilización de maíz en Rhodesia, encontró que normalmente la producción incrementó de 91 a 181 kilogramos de maíz por cada 4.5 kilogramos de N aplicado, dependiendo del clima y otros factores. La máxima respuesta al fertilizante nitrogenado puede ser obtenida solo si el P y K son disponibles en cantidades suficientes.

Sin embargo, en Colombia, Rodríguez y Baird (91), observaron que aplicaciones mayores de 100 Kg de N por Ha, condujeron a la obtención de plantas encorvadas y hojas de color verde intenso. Suárez de Castro y Rodríguez (102), en Chinchiná, encontraron que los rendimientos de parcelas con N, fueron inferiores a las demás, inclusive al testigo.

En cuanto a la respuesta del maíz al P, Peregrina y Moreno (84), en México encontraron que, cuando existen bajos niveles de P asimilable en el suelo, las plantas jóvenes se desarrollaron en forma lenta y raquítica y Laird (60), por su parte observó que en suelos rojos el P es el elemento que más limita la producción.

En Centroamérica, Romero (93) en Honduras y Salas y Bonilla (95, 96) en El Salvador y Costa Rica, encontraron que la aplicación de P resultó en rendimientos significativamente mayores.

Suárez de Castro y Rodríguez (102) en Chinchiná (Colombia), observaron que las fertilizaciones fosfóricas dan las mayores producciones aún en dosis relativamente pequeñas.

En Turen (Venezuela), Rodríguez Bello (90) encontró buena producción de maíz, principalmente con la fertilización fosfórica.

El potasio parece no tener un efecto de importancia en el maíz. Laird (60) en México, no encontró deficiencias de K. Romero (93) en Honduras, observó un efecto detrimental del K sobre los rendimientos. En Colombia, Rodríguez y Baird (91), notaron que las aplicaciones de K no tuvieron efecto marcado en la producción.

Respuestas significativas a la interacción NP, han sido encontradas en Centroamérica, por Castañedo (25), Salas y Bonilla (95), Zelaya (117, 118) y Lizárraga (64).

Botacio (12), en Costa Rica obtuvo una respuesta significativa a la aplicación de NPK al maíz.

2.2.2 Frijol

Pinchinat (87), considera que se consiguen buenas cosechas en varios tipos de suelos, siendo buenos los francos, franco-arenosos, limosos o arcillosos, bien drenados y ricos en materia orgánica.

En Costa Rica, Chacón (29), estudiando la fertilización e inoculación de frijol, obtuvo un alto rendimiento con N, en dosis de 150 Kg/Ha, pero no encontró diferencias significativas entre los tratamientos con inoculación y sin ella. Miranda (74) y Tapia (106) no encontraron respuestas significativas del frijol a las aplicaciones muy altas de N.

En Nicaragua, Miranda (74) y Tapia (106), encontraron que la respuesta más notable se obtuvo con la aplicación de P_2O_5 , mostrando las unidades experimentales que recibieron este tratamiento, mejor altura, follaje y verdor que las restantes. Rodríguez y Rodríguez (92), también en Nicaragua, encontraron respuesta al P en ausencia de K; la mejor fórmula fue la de 45-90-0.

En Costa Rica, Iglesias (56), Quirce (89) y Soto (100), observaron respuestas significativas al P, encontrándose una máxima respuesta al nivel de 140 Kg/Ha de P.

En Panamá, Espinoza (36), en pruebas efectuadas en suelos de las planicies de Chiriquí (suelos de origen volcánico), obtuvo una respuesta significativa al P, así como un efecto residual en parcelas abonadas anteriormente con este elemento, las cuales rindieron dos veces más que la parcela testigo.

En Brasil, también se ha encontrado respuesta a la aplicación de P. Vieira (113), observó que el P no tuvo efecto en la primera cosecha, pero en la segunda se duplicó en rendimiento, debido al efecto residual de P. En otros ensayos el P en dosis de 80 Kg/Ha, aumentó la producción. Silva y Gouvea (98) encontraron que los mejores tratamientos resultaron ser para P, NP y 2P con 989, 1056 y 100 Kg/Ha respectivamente.

A la interacción NP, Ortiz (81) en Guatemala observó una respuesta significativa.

2.3 Efecto residual de los fertilizantes.

Cooke (27) en un estudio llevado a cabo en la Estación Experimental de Rothamsted, Inglaterra, desde al año 1897 a 1954, durante ese período se aplicó al suelo una dosis de 1.26 Kg/Ha de P_2O_5 cada tres años, con una parcela sin tratamiento. En el año 1955 encontró que el fosfato aplicado fue retenido en las primeras nueve pulgadas del suelo. El total de fosfato fue el doble para las parcelas tratadas con respecto a las no tratadas.

Cook y Davis (26) estudiando el efecto residual de N, P y K, han observado que los análisis de suelos que muestran niveles de P y K en suelos con cultivos regularmente fertilizados, existen una acumulación de P y K y esto es especialmente cierto para P en suelos minerales y K en suelos orgánicos. Niveles extremadamente altos de K conducen a pérdida de este elemento por lixiviación y absorción exuberante, intensificando la deficiencia de Mg.

Jansson (58) en un ensayo en macetas, durante seis años para estudiar el efecto residual de N, usando N radiactivo a razón de 90 ppm por maceta al comienzo del experimento y anualmente 150 mg de N en forma de $NaNO_3$, encontró que el balance de N mostró un pequeño déficit en un ámbito entre 8 y 14% del N marcado. No existe ninguna razón de pérdida de N por denitrificación. El nitrógeno en forma de nitrato sufrió más pérdidas que en forma de amonio. Durante el primer año de cultivo la recuperación de N marcado fue en forma significativa más para el NO_3 que para la forma de amonio. La disponibilidad para las plantas de los verdaderos residuos de nitrógeno (orgánicamente limitados y químicamente fijados) fue pequeña, en un ámbito de

1% por año de la fertilización original. Las tasas de remoción y mineralización neta fueron usadas como características de la disponibilidad residual del fertilizante nitrogenado.

Widdowson y Penney (116), estudiando el efecto residual de nitrógeno encontraron que sobrantes de nitrógeno mineral son fácilmente lixiviados, dependiendo de la textura del suelo y la precipitación, así se ha encontrado que en suelos de textura pesada, residuos de N pueden ser de valor significativos.

Tyler y Broadbent, citados por Legg y Allison (62) observaron una tendencia descendente en la utilización del nitrógeno residual, por plantas cultivadas en dos suelos que contenían inicialmente 100 ppm de N^{15} ; encontraron que cuatro cortes de sorgo tomaron cerca de 3% de la aplicación original. Así mismo calcularon que la vida media del nitrógeno fue de 15 años, indicando que la disponibilidad del nitrógeno residual decrece con el tiempo.

Swoboda y Thomas (105) estudiando el movimiento de sulfatos a través del perfil del suelo, encontraron que este movimiento es limitado por las arcillas.

En Africa Occidental, Smith y Acquaye (99), en un experimento de abonamiento en cacao con varios tratamientos de sulfato de amonio, encontraron después de 3 años, que el pH bajó en una unidad; el potasio cambiante decreció principalmente en la capa de 0 a 7 centímetros y el nivel de fósforo extremadamente bajo.

Bates y Baker (6) encontraron que la distribución de P total (orgánico e inorgánico), en muestras de suelos de un bosque de Nigeria se encuentra principalmente acumulado en la capa superficial del suelo; en el horizonte con concreciones de Fe, el P es inmovili-

zado. En el suelo superficial se encontraron cantidades apreciables de P soluble en ácido acético y fluoruro de amonio y abajo de cinco centímetros la cantidad de P extraíble por esos reactivos decae.

Díaz-Romeu y Jiménez (32,33) en un trabajo de fertilización durante nueve años en cultivos de cacao, determinaron el efecto residual, encontrando que las aplicaciones de superfosfato triple, solo o combinado con el potasio aumentaron el contenido de P disponible en los primeros 7,5 centímetros de profundidad, el movimiento de capas inferiores fue pequeño. Los efectos de traslación del P a capas inferiores del suelo pueden ser limitados por la textura del mismo.

La fijación del P en suelos ácidos puede ocurrir por medio de la reacción entre óxidos de Fe y Al y el ión fosfato, o bien el aporte del Al intercambiable por la micela, el cual reacciona con el fósforo para dar un compuesto insoluble.

Según Fassbender (40), los fosfatos inorgánicos que se presentan en el suelo están relacionados con el pH, los fosfatos de calcio predominan bajo condiciones de neutralidad y alcalinidad, mientras que en suelos ácidos los fosfatos de Fe y Al son los que se encuentran mayormente.

Los suelos de áreas tropicales, presentan generalmente asociados a su bajo pH, grandes cantidades de óxidos de aluminio y hierro y con ello una gran cantidad de retención de P.

Ulrich y colaboradores (109), encontraron que las aplicaciones de superfosfato solo o en combinación con urea o muriato de potasio produjeron un efecto residual marcado y significativo. Así mismo informaron que el ión fosfato marcado, P^{32} , penetró 27.5 centímetros

en 43 días cuando se aplicó a un suelo franco.

Swenson y colaboradores (104), indican que el desarrollo de prácticas que logren un incremento en la eficiencia de la aplicación de fertilizantes fosfatados, y el aprovechamiento de su efecto residual en la producción de cultivos, habiendo observado que la aplicación de Ca a suelos ácidos causa un incremento en el P disponible.

Stout, citado por Swenson (104), ha indicado que la fijación del fosfato es un simple intercambio del ión PO_4 , por iones hidróxilos en la superficie de los minerales de arcilla.

Spencer (101), encontró en Florida, en árboles de naranja un aumento del sistema radical de 1 a 10, como efecto residual de fertilizaciones anteriores.

Hannapel (48), estudiando el movimiento de calcio y fósforo en la solución del suelo encontró que la adición de materia orgánica incrementó el aumento del movimiento del P total. Usando P^{32} como isótopo indicador, ha indicado que una larga porción del P orgánico vino de la fracción nativa del P del suelo y fue movilizada por los microorganismos.

Wells y Parks (114), en un trabajo para investigar la distribución del P y K a través del perfil del suelo, en experimentos en alfalfa encontraron que la mayor concentración de P disponible fue en la zona de 0 a 8 centímetros, resultante de la fertilización superficial anual.

Campbell (23), en un experimento para determinar el efecto residual de P, encontró buenas respuestas con cultivos sucesivos durante 6 años, de cebada, alfalfa, maíz y remolacha azucarera. El P residual soluble en $NaHCO_3$ decreció con el cultivo continuo. Diferen-

cias con otros experimentos fueron encontradas en base a la textura como efectos a la adsorción y disponibilidad de P.

Grimes y Hanway (46), investigando en invernadero en el centeno común, la disponibilidad de K incorporado por materiales de residuos de plantas, observaron un alto grado de recuperación (90%) del K añadido en los residuos.

Hoover (55) dice que el K aplicado al suelo, puede ser lixiviado en el agua de drenaje, fijado en forma no cambiabile, extraído por las cosechas o retenido por la arcilla en forma cambiabile. Citando a Valk, sugiere que un considerable aumento de aplicación de K, viene a ser fijado por los coloides del suelo, en forma no cambiabile y tal cantidad está por lo tanto no sujeta a lixiviación. Concluyó que el K puede acumularse en el horizonte A en forma cambiabile, cuando es aplicado anualmente en exceso de las necesidades de las plantas y esa acumulación se incrementa como la tasa de incremento de aplicación. El suelo superficial frecuentemente tiene más altas cantidades de K cambiabile que el horizonte B. En suelos con cantidades menores de 0.20 meq de K cambiabile por 100 gramos de suelo, se puede esperar buenas respuestas del algodón a la aplicación de K, si el abastecimiento de N y PO_4 es el adecuado.

En un trabajo con árboles de pecana, Alhen y Hammar (3), encontraron que el K penetró a profundidades de 76 centímetros y el P hasta 45 centímetros. El nivel de P fue significativamente alto en árboles tratados con superfosfato y muestreado todos los años excepto el primer año del experimento. El alto contenido de P y K en la superficie de 0 a 15 centímetros es probablemente debido a la aplicación directa de P y K y al depósito de esos elementos como

el resultado residual de la descomposición de las hojas caídas del bosque.

Broadbent (19), en trabajos sobre disponibilidad de nitrógeno observó que cuando las raíces de las plantas están presentes en el suelo, se incrementa aproximadamente en proporción a la cantidad de N agregada hasta un punto. Puede entonces ocurrir la mineralización del N en el suelo en relación con el nivel de la actividad microbiana. Esta explicación es así mismo más satisfactoria en relación con un efecto largo y duradero del fertilizante N, en disponibilidad del N del suelo a través de cultivos sucesivos que es lo primero que envuelve la movilización del fertilizante nitrogenado por los organismos de la rizosfera.

Munson (77) estudiando los efectos de residuos de maíz, en un trabajo de campo en Iowa, aplicó 3 toneladas de residuos de maíz y estos tuvieron un efecto negativo en la disponibilidad de N. A la madurez, la producción de N de parcelas con o sin residuo fueron iguales. El residuo en ambos casos decreció la disponibilidad del fertilizante nitrogenado más que el N del suelo. Se comprobó que el residuo no tuvo influencia en la disponibilidad de N, sino más bien sirvió para conservar la humedad del suelo.

La disponibilidad de fosfato residual en tres suelos calcáreos, fue estudiado por Olsen et al. (79). Ellos encontraron que las diferencias entre suelos, en la eficiencia relativa del residuo fosfatado, no es necesariamente característico del tipo de suelo. Algunas evidencias indican que el nivel inicial del P disponible es un importante factor que afecta la eficiencia relativa del fosfato residual.

En trabajos de incubación en laboratorio, Thompson y colaboradores (108) ha demostrado la existencia de considerable similitud en el comportamiento del P orgánico, nitrógeno y carbono. El contenido de P orgánico fue correlacionado positivamente con el contenido de N y C orgánicos. La cantidad de P orgánico mineralizado durante la incubación en laboratorio fue correlacionado positivamente con la cantidad de N y C orgánicos mineralizados igualmente. En estos casos el aumento de P orgánico mineralizado durante la incubación fue considerable en relación con los requerimientos de P del cultivo.

Heck (52) en estudios sobre fijación y penetración del fosfato en el suelo, notó que el P fue fácilmente disponible, cuando la reacción es neutra o alcalina, estando la mayor parte en la solución del suelo, pasando el P de moderada a difícilmente disponible a medida que aumentaron los compuestos de Fe y Al y la reacción del suelo iba tornándose ácida.

La disponibilidad de P residual, fue medida en un suelo calcáreo por Thomas (107), por absorción de las plantas y por el P soluble en NaHCO_3 y NH_4F : La recuperación de P del fertilizante aplicado durante un período de cinco años de cultivo fue bastante baja. La máxima recuperación fue de 22.7% del fertilizante aplicado y los abonos redujeron la absorción del fertilizante fosfatado.

La absorción de P por las plantas fue significativa al P extraíble en NaHCO_3 y NH_4F diluido. Las cantidades de P extraíble y total en el suelo, fueron significativamente correlacionados con adiciones anteriores de fertilizantes. En cambio, la relación entre P extraído por NaHCO_3 y NH_4F diluido, con el cultivo, reflejó una conversión de la forma de P, con lo cual observó que la forma extraíble con NaHCO_3 , es más parecido al absorbido por las plantas.

3. MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se llevó a cabo tanto en el campo como en el laboratorio.

3.1 Localización de los ensayos.

Los ensayos se llevaron a cabo en los terrenos del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica. Turrialba se encuentra a 600 metros sobre el nivel del mar, latitud norte 9° 53' y longitud Este 83° 38', con una precipitación promedio de 2.610 mm y una temperatura máxima de 27.2°, mínima de 17.3° y media de 22.2°, para los últimos 24 años.*

3.2 Suelos.

Los suelos corresponden a la serie Instituto, que según Hardy (50), son suelos aluviales fluvio lacustres, formados en terrazas producidas durante fases tempranas del desarrollo del río Reventazón. Esta serie se encuentra en elevaciones entre 580 y 610 metros sobre el nivel del mar, está aparentemente desarrollada en parte en un depósito lacustre (50). Está formada en una sección de depósitos variables de arena gruesa y grava, que en la mayor parte se encuentra bien meteorizada. El relieve es principalmente plano con pequeñas ondulaciones.

3.2.1 Descripción del perfil.

Para la descripción del perfil se hizo una calicata de 1 x 1 metro y 1.20 metros de profundidad y se siguieron las normas

* Datos obtenidos de la estación meteorológica del CEI - IICA.

establecidas al respecto (110).

Dicha descripción es la siguiente:

Serie Instituto, ubicado en "Cabiria", Turrialba, con cultivos de maíz, frijol, caña de azúcar y pastos; clima subtropical muy húmedo (54); material parental: depósitos aluviales. Relieve plano, con pendiente de 2%, erosión no aparente. Drenaje moderado, permeable. Poca distribución de raíces hasta el horizonte B. Se encuentra gran cantidad de grava a través del perfil, principalmente en los horizontes B y C.

- Horizonte A 0 a 26 cm. Textura francoarcillosa, límite gradual. Color pardo grisáceo oscuro 10YR4/2 en seco y pardo grisáceo muy oscuro 10YR3/2 en húmedo. Estructura bloques subangulares pequeños. Consistencia suave en seco y friable en húmedo, ligeramente pegajosa y ligeramente plástica en mojado.
- Horizonte B₁₂ 26 a 52 cm. Textura arcillosa, límite claro. Color pardo 10YR4/3 en seco y pardo oscuro 7.5YR3/2 en húmedo. Estructura bloques subangulares medianos. Consistencia ligeramente dura en seco y friable en húmedo, pegajosa y plástica en mojado.
- Horizonte C₁ 52 a 82 cm. Textura franco-arcillo-arenosa. Límite difuso. Color amarillo parduzco 10YR6/6 en seco y pardo 7.5YR4/4 en húmedo. Sin estructura, masivo. Consistencia dura en seco y firme en húmedo, no pegajosa ni plástica en mojado.
- Horizonte C₂ 82 cm a más. Textura franco-arcillo-arenosa. Color pardo muy pálido 10YR7/4 en seco y pardo amarillento

oscuro 10YR4/4 en húmedo. Sin estructura, masivo.

Consistencia dura en seco y firme en húmedo.

Para el horizonte A se encontró una densidad aparente de 0.980 gr/ml y el subsuelo de 1.009 gr/ml.

El sitio escogido para el ensayo había permanecido con zacate por más de seis años y no se había abonado.

3.3 Recolección de la información

3.3.1 Ensayo de maíz

El ensayo de maíz (variedad Rocamex), se llevó a cabo en un diseño experimental de bloques completos al azar, en tres repeticiones. Las parcelas fueron de 7 metros de ancho por 15 metros de largo. Se adoptó este tamaño para obtener una buena representatividad. El tamaño efectivo fue de 98.8 metros cuadrados. Todas las parcelas estuvieron separadas entre si por 2 metros, según recomienda Laird (59). En esta faja se excavó un canal de 50 centímetros de ancho y de 30 a 60 centímetros de profundidad, con el objeto de mejorar el drenaje y evitar posibles contaminaciones entre tratamientos.

Los tratamientos son: Testigo, N, P, NP, NK, PK y NPK, a dos niveles de N, P y K, según se indica a continuación:

N : 0 y 200 kilogramos por hectárea.

P₂O₅ : 0 y 400 kilogramos por hectárea.

K₂O : 0 y 200 kilogramos por hectárea.

Las fuentes usadas fueron: nitrato de amonio (NH₄NO₃) para N, superfosfato simple Ca(H₂PO₄)₂ + CaSO₄ para P y cloruro de potasio (KCl) para K. Los fertilizantes se aplicaron, antes de la siembra P y K en una sola aplicación y el N en dos partes;

una al igual que P y K y la otra cuando las plantas tenían más o menos 60 centímetros de altura, siguiendo las experiencias de Laird (59) en México. La forma de aplicación fue al voleo, emparejándose después con rastrillo. Se dejaron pasar dos días y luego se sembró.

La siembra se efectuó a distancia de 70 centímetros entre surcos y 50 centímetros entre mata. Las épocas de siembra fueron 25 abril y 3 de octubre de 1968. Al momento de la siembra se colocaron cinco semillas por mata, raleándose a las dos semanas a dos plantas por mata. La densidad de plantas fue de aproximadamente 35.000 plantas por hectárea (64). El control de insectos se efectuó con ~~aplicación de~~ 50% gade material activo por hectárea. El control de maleza se hizo a mano.

La cosecha se llevó a cabo a mano, en nueve de los 11 surcos sembrados, para dejar un surco de los lados, para suprimir el efecto de borde. Las fechas de cosecha fueron 19 septiembre de 1968 y 20 febrero de 1969.

3.2.2 Ensayo de frijol

En este experimento, el tamaño de las parcelas fue de 7 por 7 metros. Al igual que el experimento de maíz, todas las parcelas fueron separadas entre si por una faja de dos metros y en ella un canal de 50 centímetros de profundidad, también con el fin de mejorar el drenaje y evitar contaminaciones entre tratamientos. La variedad usada fue Turrialba-1.

El diseño y los tratamientos de fertilizantes fueron idénticos a los que se indicaron arriba para el ensayo de maíz, exceptuando el tratamiento N solo, que no se usó. Las dosis fueron las

mismas según recomendación de Martini (72). Los fertilizantes se aplicaron dentro del surco, cubriéndose con un poco de tierra. Luego se colocó la semilla. La aplicación fue de una sola vez.

La siembra se hizo a una distancia de 60 centímetros entre surcos y 7 a 10 centímetros entre planta, según recomendaciones de Pinchinat (87). Las épocas de siembra fueron 7 de mayo y 4 noviembre de 1968. El control de insectos se hizo con DDT al 50% a razón de un kilogramo/Ha de material activo. El control de maleza se hizo a mano.

La cosecha se llevó a cabo a mano, en ocho de los doce surcos, dejando dos surcos por lato y 50 centímetros en las cabecezas. El tamaño de parcela efectiva fue de 28.8 m². Las épocas de cosecha fueron, 24 julio 1968 y 15 febrero de 1969.

3.3.3 Toma de muestras del suelo y subsuelo.

El sistema adoptado fue de sacar una muestra compuesta por 5 submuestras por cada parcela tanto para suelo como subsuelo. Se sacaron con un barreno tipo Holanda, en las esquinas a aproximadamente dos metros de cada borde y una en el centro. Estas submuestras se mezclaron para obtener una muestra homogénea por parcela.

Las muestras fueron secadas al aire, se homogenizaron y se tamizaron en una malla de dos milímetros.

Se hizo un total de cinco muestreos en la forma siguiente:

- primero: una semana antes de la primera siembra,
- segundo: dos meses después de sembrado,
- tercero: después de la primera cosecha,

cuarto: dos meses después de sembrado (2º cultivo)

quinto: al final de la segunda cosecha.

3.3.4 Análisis de laboratorio

3.3.4.1 Determinación del pH

Esta determinación se hizo en agua y cloruro de calcio 0.01 M de acuerdo a la técnica de Peech (83), usando una relación de suelo:agua de 1:1 y para cloruro de calcio de 1:2. Se utilizó para la determinación del pH un potenciómetro marca Beckman modelo N con electrodo de vidrio.

3.3.4.2 Materia Orgánica (M. O.)

Se determinó en base al carbono orgánico por el método de Walkley y Black, modificado por Saiz del Río y Bornemisza (94), digestión en húmedo con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado y valorando con sulfato de amonio y hierro.

Para el cálculo de la materia orgánica se hizo en base del carbono orgánico por el factor 1.724 de van Bemmelen, suponiendo que la materia orgánica tiene 58% de carbono.

3.3.4.3 Nitrógeno total

Método semimicro Kjeldhal de Bremmer (16), modificado por Díaz-Romeu*. A un grado de suelo colocado en un balón de 100 ml se le agregó 1.8 gramos de mezcla catalizadora (100 gramos de sulfato de potasio, 10 gramos de sulfato de cobre y 1 gramo de selenio) y 5 ml de ácido sulfúrico concentrado, se dejó en reposo 24 horas, se usó en digestión por dos horas en un aparato diseñado por

* Comunicación personal, IICA, Turrialba, Costa Rica.

Muller (75), se dejó enfriar y se le agregaron 30 ml de agua destilada, luego de 12 a 15 ml de hidróxido de sodio 1:1 con fenolftaleína se destila (en un aparato diseñado por Muller), recogiendo el destilado en 20 ml de ácido bórico 2% con indicador (rojo de metilo y azul de metileno), durante 10 minutos. Se tituló con ácido sulfúrico entre 0.02 N y 0.03 N.

3.3.4.4 Fósforo asimilable

Método de Bray y Kurtz N.1 (15)', modificado por Saiz del Río y Bornemisza (94). Se agitaron 2 gramos de suelo con 20 ml de una solución de ácido clorhídrico 0.025 N y fluoruro de amonio 0.03 N por un minuto, se filtró y en el extracto se determinó el fósforo por el método del azul cloromolibdico.

3.3.4.5 Fraccionamiento de fosfatos inorgánicos

Adoptado del método original de Chang y Jackson por Fassbender (39), este método consiste en la extracción sucesiva de los diferentes fosfatos inorgánicos con los reactivos siguientes:

Fosfatos solubles en NH_4Cl , determinado P por método sulfomolibdico.

Fosfatos de aluminio, extracción con NH_4P 0.5 N, pH 7, determinación de P por método coloromolibdico.

Fosfatos de hierro, extracción con NaOH 0.1 N, determinación de P por método sulfomolibdico.

Fosfatos de calcio, extracción de H_2SO_4 0.5 N y determinación por el método sulfomolibdico.

3.3.4.6 Capacidad de intercambio de cationes (C.I.C.)

Método modificado del original de Bower et al. (19) por Díaz-Romeu y Balerdi (31). Se colocaron en un tubo de centrífuga de 50 ml de capacidad cinco gramos de suelo, se le agregaron 33 ml de acetato de amonio pH 7 y se dejó reposar durante la noche. Se agitó por 10 minutos se centrifugó por cinco minutos y se hizo decantar el supernadante en un volumétrico de 100 ml.

Se repitió la operación dos veces variando el tiempo de agitación a cinco minutos y agregando cada vez 33 ml de acetato de amonio. Se llevó a volumen de 100 ml, denominándose esta solución "Solución A", que es en la que se determinan las bases cambiables (K, Ca, Mg).

Se lavó el suelo con 33 ml de etanol al 95% por tres veces agitando por 10 minutos para la primera vez y cinco para las otras dos, centrifugando cinco minutos cada vez. Luego se agregaron 33 ml de cloruro de potasio al 10% pH 2.5, se agitó por 10 minutos, se centrifugó y se hizo decantar el supernadante en un volumétrico de 100 ml. Se repitió la operación dos veces más agregándose 33 ml de cloruro de potasio, agitando y centrifugando, decantando el supernadante en el volumétrico de 100 ml, luego se lleva a volumen y esta solución se denominó "B".

La capacidad de intercambio de cationes se determinó en la "Solución B", por destilación en micro-Kjeldhal, en forma similar al destilado de nitrógeno total, tomando una alícuota de 10 a 20 ml.

3.3.4.7 Calcio, magnesio y potasio

Se determinaron en la "Solución A", por espectrofotometría de absorción atómica, en un espectrofotómetro "Perkin Elmer" modelo 303.

3.3.4.8 Aluminio extraíble

Método original de Lunin y McLean et al., adoptado por McLean (68). Extracción con acetato de amonio pH 4.8 y determinación colorimétrica por aluminona (ácido auriantricarboxílico).

3.3.4.9 Análisis granulométrico

Método combinado de tamizado e hidrómetro, modificación del método original de Bouyucos (13) por Day (30). Las fracciones se clasificaron de acuerdo al sistema U.S.D.A.

3.3.4.10 Color

Determinado por medio de la escala de colores Munsell.

3.3.4.11 Densidad aparente

3.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió en el análisis de variancia de los efectos de tratamiento en la forma que se indica a continuación para cada cultivo.

3.4.1 Análisis de Variancia

Cuadro No. 1. Esquema del análisis de variancia para el ensayo de maíz.

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Repeticiones	2
Tratamientos	6
Error	12
Total	20

Cuadro No. 2. Esquema del análisis de variancia para el ensayo de frijol.

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Repeticiones	2
Tratamientos	5
Error	12
Total	17

3.4.2 Correlaciones y regresiones

Los cálculos de correlación entre producción y varios elementos del suelo, para cada tratamiento, fueron procesados en una computadora electrónica I.B.M. 1620-40K.

El cálculo de regresión se obtuvo entre las determinaciones de las análisis iniciales y finales con el fin de obtener el incremento relativo de los elementos del suelo, así como sus rela-

ciones. También se calculó el incremento absoluto.

Dichos valores fueron calculados así:

$\frac{dY}{dX} = b$, por medio de la fórmula:

$$b = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i)}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}$$

siendo Y el contenido final después de tratamientos y X, el contenido inicial, antes de la aplicación de los tratamientos.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Efecto de varias combinaciones de fertilizantes sobre la producción de maíz y frijol.

4.1.1 Análisis de la producción de maíz - primera y segunda cosecha.

Seguidamente, el Cuadro No. 3 presenta el análisis de variancia de la producción, de la primera y segunda cosecha, cuyos datos originales se encuentran en el Cuadro No. 1y2 del apéndice.

Cuadro No. 3. Análisis de variancia del efecto de tratamientos para la primera y segunda cosecha de maíz.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	C. M. 1a Cosecha	C. M. 2a Cosecha
Repeticiones	2	2.50	68.49
Tratamientos	6	277.60**	513.01**
Error	12	26.20	38.39
Total	20		

** Significativo al nivel de 1%.

Del Cuadro No. 3 se deriva que existe diferencia significativa al nivel de 1% de probabilidad entre efectos de tratamiento. En los Cuadros 4 y 5 se presentan en forma resumida las medias de la producción por tratamientos y las comparaciones de las mismas por el método de Duncan al nivel de 5% de probabilidad, para la primera y segunda cosechas de maíz, respectivamente.

Cuadro No. 4. Promedios de rendimiento de la primera cosecha en Kg/Ha, ordenadas en forma creciente.

PK	T	P	NK	N	NPK	NP
892	1372	1568	2703	2815	3027	3408

Cuadro No. 5. Promedios de rendimiento de la segunda cosecha en Kg/Ha, ordenadas en forma creciente.

T	P	PK	N	NK	NP	NPK
1754	2361	2733	3621	4285	4898	5159

A juzgar por los resultados se nota que en la producción de la primera cosecha, los tratamientos PK y P no muestran ninguna diferencia detectable con respecto a T. Las medias de los tratamientos NK, N, NPK y NP son homogéneas entre sí, pero sí muestran diferencias detectables entre ellas. En la segunda cosecha existe la misma tendencia, encontrando que N tiene diferencia significativa a NP y NPK.

Comparando las medias de la primera y segunda cosecha se puede notar que la tendencia es bien definida, habiendo dos grupos de efectos más notorios. T, P y PK por un lado y NK, N, NP y NPK por el otro. Los mayores rendimientos corresponden a los tratamientos NP y NPK. Existe un aumento apreciable de la producción en la segunda cosecha, probablemente como resultado del efecto residual de los fertilizantes aplicados y otros factores incontrolables. Las diferencias en la producción se ilustran en el histograma de la Figura No. 1.

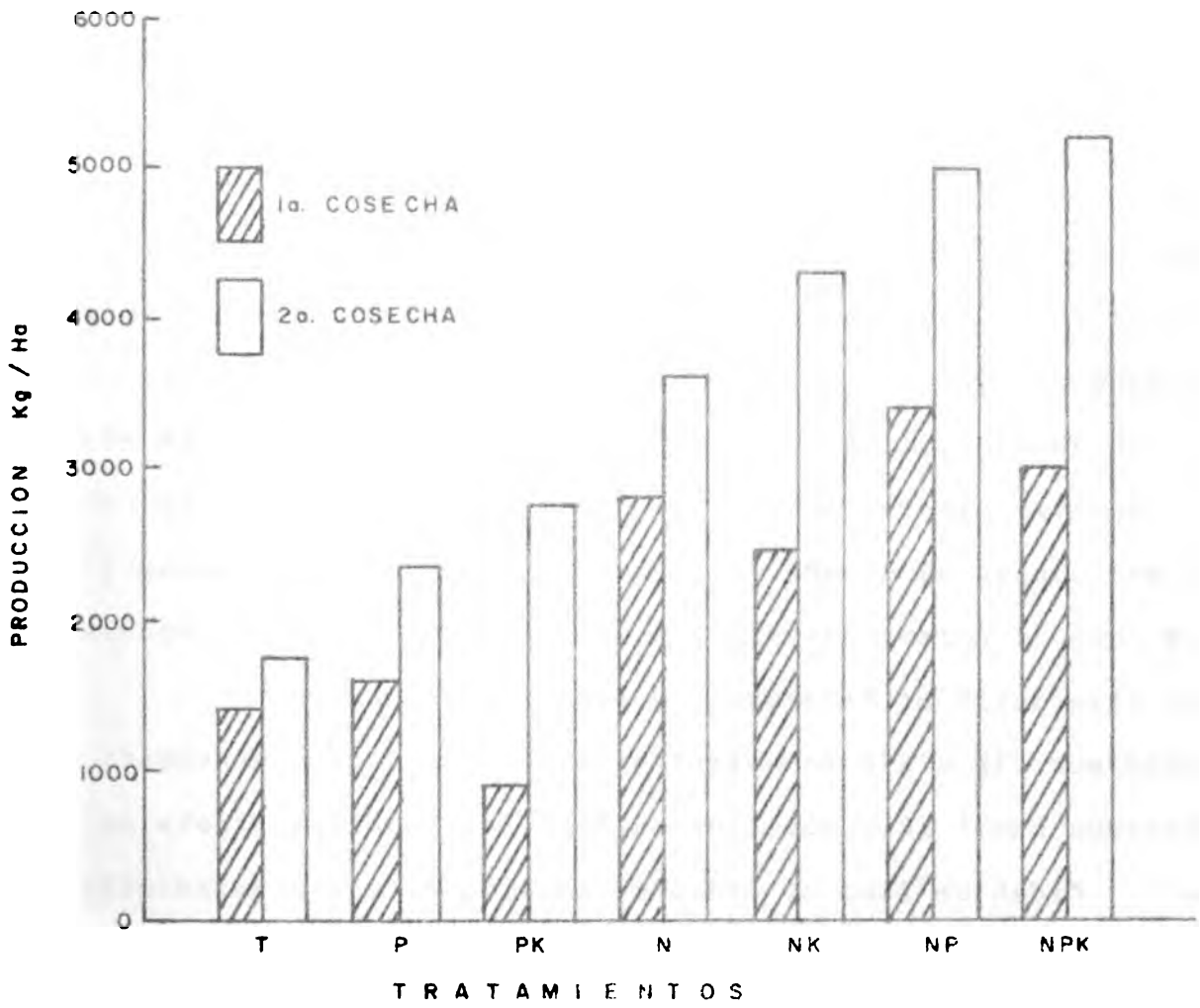


FIG. 1.- HISTOGRAMA DE LA PRODUCCION DE LA 1a. Y 2a. COSECHAS DE MAIZ.

En la primera cosecha, es bastante notorio el bajo rendimiento del tratamiento PK, sin embargo ésto se debió en gran parte, más a manejo del suelo que a efecto de tratamiento. Se comprobó que al inicio del cultivo esta parcela tenía gran cantidad de materia orgánica fresca que resultó en una mineralización del N disponible en el suelo y por lo tanto en una menor cosecha para el tratamiento PK.

Las respuestas obtenidas en los tratamientos NK, N, NPK y NP confirma lo encontrado por diversos autores (25, 60, 64, 66, 118) para Centro América. A los 30 días después de la primera siembra, se notaron diferencias apreciables en altura y coloración de la planta. La mayor altura correspondió a los tratamientos NP y NPK, lo mismo que el mejor aspecto, es decir un color verde normal. Estos mismos tratamientos, al final del período de crecimiento (momento de la floración), mostraron tener plantas más vigorosas, de mayor altura y una floración más temprana que el resto de tratamientos. La producción promedio, el número y peso de mazorcas, fueron también mayores que para los demás tratamientos. En cuanto al número de granos por mazorca no se encontró mayor diferencia entre los tratamientos (Cuadro No. 6).

En la segunda cosecha persistió la diferencia de respuesta observada para los mismos tratamientos NPK y NP, posiblemente debido al efecto residual del fósforo aplicado. Se logró aumentar los rendimientos sobre la primera cosecha, lo cual se debió al efecto residual del abono como también al efecto del clima, ya que todos los tratamientos tuvieron aumento sobre la primera cosecha, como se discutirá más adelante.

Según observaciones de campo, a los 30 días de sembrado, fue notoria la deficiencia de nitrógeno en las parcelas que no recibieron este tratamiento en alguna forma y al igual que para la primera siembra los tratamientos NP y NPK, ya empezaron a mostrar más vigor y mayor crecimiento que el resto de las parcelas. Las características anteriores se acentuaron más con el crecimiento de las plantas, pues al momento de la floración se observaron deficiencias de N y P, bien notoria para las unidades experimentales que no recibieron dichos nutrimentos. Los tratamientos NP y NPK mostraron la mayor altura, vigor, mejor coloración y mazorcas de mayor tamaño, el Cuadro No. 7.

Como se puede apreciar, la respuesta al nitrógeno en estos suelos, es evidente, sin embargo en el análisis de los suelos, estos presentan un alto contenido de nitrógeno total (0.49 a 0.52%) así como de materia orgánica (9 a 11%). De aquí se deduce que la mineralización del N orgánico es lenta, debido quizás a una baja actividad biológica en el suelo, que puede deberse al exceso de agua y mal drenaje o a la alta acidez. Por otra parte estos suelos pueden estar contaminados de cenizas volcánicas y por lo tanto contener materiales amórfos que fijan la materia orgánica, haciéndola poco accesible a la acción microbiológica. También es común en suelos donde la precipitación es alta la pérdida por lixiviación de N.

La respuesta a la combinación NP y NPK así como NK no fueron significativamente mayores que N solo; sin embargo, en la segunda, sí se detectan diferencias. Esto es debido a los bajos niveles de P en el suelo, por razón de su alta fijación a formas de fosfatos, principalmente de Al, Fe y Ca(40). Esta mayor respuesta de la

Cuadro No. 6. Valores y relaciones de algunos variables de la 1a. cosecha de maíz por tratamientos (por parcela).

Trata- mientos	Peso grano kg.	Peso tusa kg.	% grano	No. mazorcas	Peso por mazorca gr.	Altura planta mts.
NPK	30.27	6.26	83	350	101	3.00
PK	8.91	1.73	90	226	45	2.20
NK	27.03	5.50	84	348	93	2.63
NP	34.09	6.43	85	371	109	3.08
P	15.68	3.32	83	275	64	2.43
N	28.15	5.75	82	360	94	2.58
T	13.72	3.13	85	269	62	2.33

Cuadro No. 7 Valores y relaciones de algunos variables de la 2a cosecha de maíz por tratamientos (por parcela).

Trata- mientos	Peso grano kg.	Peso tusa kg.	% grano	No. mazorcas	Peso por mazorcas gr.	Altura planta mts.
NPK	51.59	9.9	84	392	157	3.13
PK	27.33	5.6	83	285	120	3.07
NK	42.85	9.4	82	360	144	2.62
NP	48.98	9.4	84	372	166	3.13
P	23.61	4.9	83	295	96	2.80
N	36.20	8.1	81	331	134	2.56
T	17.54	4.1	81	265	83	2.40

segunda cosecha al P es debido al efecto residual de la primera fertilización.

4.1.2 Análisis de la producción de frijol, primera y segunda cosecha.

En esta sección se describe el comportamiento del frijol a las diferentes combinaciones de N, P y K. El orden de presentación sigue la misma secuencia dada para los resultados en maíz.

El análisis de variancia, Cuadro No. 8, demuestra que existe respuesta diferencial al efecto de tratamientos. Para la discriminación de las mejores combinaciones se presentan las medias de tratamientos, analizados de acuerdo a la prueba de Duncan y el nivel de 5%, Cuadros No. 9 y 10.

Cuadro No. 8. Análisis de variancia del efecto de tratamientos para la primera y segunda cosecha de frijol

Fuente de Variación	Grado de Libertad	C. M. 1a. Cosecha	C. M. 2a. Cosecha
Repeticiones	2	0.03	8.01
Tratamientos	5	5.75**	9.48**
Error	10	0.76	0.37
Total	17		

** Significativo al nivel del 1%.

Cuadro No. 9. Promedios de producción de la primera cosecha (Kg/Ha), ordenados en forma creciente.

T	PK	NK	P	NPK	NP
472	642	634	930	1549	1583

Cuadro No. 10. Promedios de producción de la segunda cosecha (Kg/Ha), ordenados en forma creciente.

T	NK	PK	P	NP	NPK
924	1687	1753	2187	2465	2601

En los cuadros anteriores se observa que: para la primera cosecha la producción de los tratamientos PK, NK y P no muestran diferencia significativa con respecto a T, por otro lado la producción obtenida por los tratamientos NPK y NP no ofrecen diferencia detectable entre si y son los de mayor producción.

En la segunda cosecha todos los tratamientos tienen diferencia significativa con respecto a T, lo cual es en gran parte un efecto residual del abono. La producción de los tratamientos NK y PK no muestran diferencia entre si, lo mismo puede decirse de NP y NPK; más detalle puede verse en el Cuadro No. 10.

Comparando las dos cosechas anteriores de frijol, se puede establecer que las altas respuestas persistieron para los tratamientos de NP y NPK en contraste con los otros tratamientos. Al igual que en el ensayo de maíz la producción de la segunda cosecha

sufrió un incremento de aproximadamente el doble de la primera para todos los tratamientos. Incremento que además del efecto climático puede ser debido al efecto residual de la primera aplicación de fertilizantes. Dicho aumento se puede apreciar en la Figura 2.

Los resultados de la primera cosecha muestran la mayor respuesta a los tratamientos con la combinación NP, la que ha sido estudiada por Pinchinat (86), y que asevera la deficiencia general en fósforo de los suelos del área centroamericana (41). Según las observaciones de campo se comprobó que las unidades experimentales correspondientes a los tratamientos P, NPK y NP, mostraron las mejores apariencias vegetativas, en color, tamaño de las plantas, etc.

Para la segunda cosecha, se observó la misma tendencia de respuesta a los tratamientos que para la primera, sin embargo se detectó como se dijo anteriormente un aumento de casi el doble de producción que probablemente se deba a efecto residual del primer abono, como se podrá observar más adelante en la discusión de los distintos análisis de suelos efectuados con este fin. El cultivo en general presentó más uniformidad y mejores características de color, vigor y tamaño de las plantas para los tratamientos P, NP y NPK, lo que se confirma a lo publicado (39, 89, 100) de la buena respuesta del frijol al fósforo.

Comparando los cultivos de maíz y frijol, se puede observar que el maíz responde satisfactoriamente a los tratamientos combinados de NK, NP y NPK, siendo el elemento N el de mayor influencia en el cultivo, mientras que en el frijol la respuesta a NP y NPK parece ser debida al elemento P.

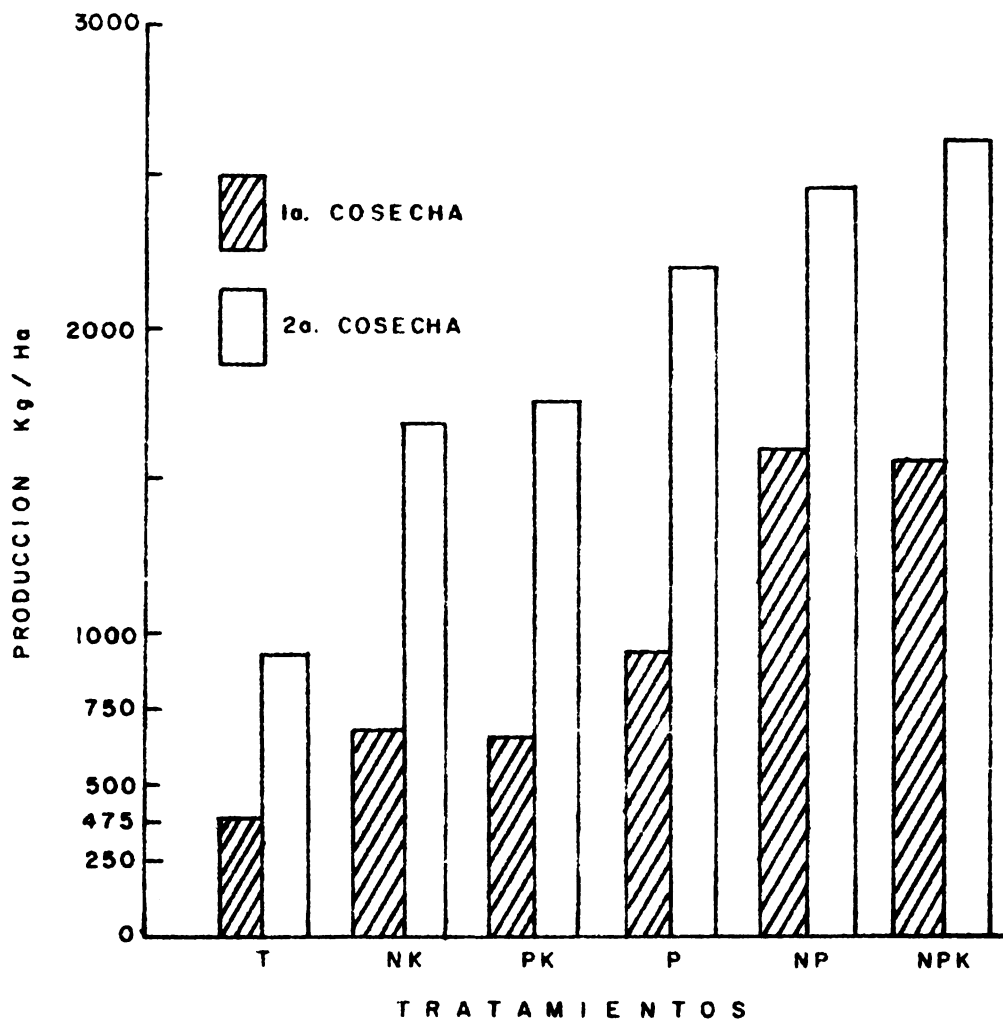


FIG. 2.- HISTOGRAMA DE LA PRODUCCION DE LA 1a. Y 2a. COSECHA DE FRIJOL.

Lo anterior se explica de acuerdo con lo discutido en la sección de maíz, referente a los análisis de los suelos de dichos ensayos.

4.1.3 Valor probable del efecto residual sobre la producción, en términos relativos.

Probable Efecto Residual (PER).

Definición:

El PER es la diferencia entre los incrementos de la producción para los tratamientos versus el testigo, expresado en % del incremento del tratado.

$$\text{PER} = \frac{\Delta t - \Delta o}{\Delta t} \times 100$$

Δt = Diferencia entre la respuesta final menos la inicial, para el tratamiento "t". Esto puede representar efecto del fertilizante más el efecto clima - suelo.

Δo = Diferencia entre la respuesta final menos la inicial en el testigo, y puede representar el efecto clima-suelo.

La fórmula de PER, no necesariamente da el efecto residual real, si existiera interacción entre el efecto del clima y del tratamiento. Sin embargo, tomando en cuenta que los ensayos se encuentran localizados en el mismo sitio y que sobre los tratamientos incidieron el mismo efecto climático, que en el testigo; se puede considerar el PER como una aproximación a la realidad.

Otro intento de definir el problema podría ser dado en la ecuación siguiente:

$$\text{PER}' = \frac{t - o}{CI} \times 100$$

en donde t y o tiene el mismo significado arriba indicado y CI es la cosecha inicial para cada tratamiento. Esta es una forma más común de expresar el efecto residual del abonamiento.

En el Cuadro No. 11 se observa que el efecto de PER sobre la producción de maíz es mayor en los tratamientos NPK, PK, NK y NP. Se nota que generalmente los tratamientos con adición de P son los que muestran mayor PER, como es de esperarse debido a la fijación temporal de P como fosfatos insolubles (40).

Cuadro No. 11. Probable efecto residual de los tratamientos, sobre la producción de maíz.

Cosechas	Producción por tratamiento en Kg/Ha						
	T	N	P	NP	NK	PK	NPK
Final	1754	3621	2361	4898	4285	2733	5159
Inicial	1372	2815	1568	3508	2703	892	3072
Diferencia	382	806	493	1490	1583	1841	2131
PER %		52.6	22.5	74.4	75.8	79.2	82.1
PER' %		15.1	7.1	32.5	44.4	163.6	57.8

En cuanto al PER' (Cuadro 11), el mayor efecto residual sobre la producción de maíz se registró para PK, NPK, NK y NP. Es de anotar que el tratamiento PK, sobre pasó el 100%, por causas ajenas al tratamiento mismo, ya que la primera cosecha de éste tratamiento, no fue un reflejo del efecto de tratamiento. Debido a que al momento de la siembra se encontraba gran cantidad de materia orgánica sin descomponerse en dicha unidad experimental, hubo una

mineralización de N, dando como resultado una baja producción, que fue superada en la segunda cosecha cuando esta M. O. ya había sido mineralizada y liberado el N.

El Cuadro No. 12 muestra el PER y PER' encontrado para el frijol. En este cultivo se observa un mayor efecto residual (PER) para los tratamientos P, PK, NK y NPK. Este efecto expresado como PER' corresponde de mayor a menor a: PK, NK, P y NPK. El mayor efecto del PK y P, concuerda con las expectativas por cuanto el frijol por ser una leguminosa puede fijar sus requerimientos de N por medio de las bacterias simbióticas.

En general podemos observar que para ambos cultivos, el efecto residual más marcado corresponde al P, lo cual coincide con los análisis del suelo que se discuten más adelante en la sección de fosfatos inorgánicos, en los cuales se registró un aumento en este nutrimento. El K también parece tener efecto residual que se deja ver en el análisis respectivo y que se discute ampliamente más adelante. El efecto residual del N fué nímimo como es natural por la mayor absorción por las plantas y pérdidas por lixiviación.

Cuadro No. 12. Probable efecto residual sobre la producción de frijol

Cosechas	Producción por tratamiento Kg/Ha					
	T	P	NP	NK	PK	NPK
Final	923.6	2187.5	2465.3	1687.5	1753.5	2600.7
Inicial	472.2	930.6	1583.3	653.6	642.4	1548.6
Diferencia	451.4	1256.9	881.9	1053.9	1111.1	1052.1
PER %		64.1	48.8	57.2	59.4	57.1
PER' %		86.6	27.2	95.1	102.7	38.8

El efecto clima, se consideró al tomar en cuenta la precipitación, la cual fue bien distinta para las dos cosechas. Esta diferencia fue de 511 mm más de lluvia cuya distribución se encuentra en el apéndice, para la primera cosecha. Sin embargo, como se apuntó en el párrafo anterior, la parcela control ayudó en cierta medida a separar dicho efecto.

4.1.4^a Algunas consideraciones económicas, de la respuesta al fertilizante.

El Cuadro No. 13 indica algunos aspectos del análisis económico de la respuesta del maíz a los fertilizantes. Se puede observar que para la primera cosecha, casi todos los tratamientos que llevaron fósforo, sufrieron "pérdida", aún en este caso en que no está considerado el costo de operaciones. Esto es debido al alto precio del abono, altas cantidades de fertilizantes fosfóricos usados (400 kilogramos por hectárea), a la alta fijación de P por un lado y a la baja cosecha y bajo precio del maíz por el otro.

Quizás esto es posible corregir estudiando las dosis adecuadas a emplearse, aplicando el concepto de la ley del rendimiento decreciente.

En la segunda cosecha en cambio se observa que en todos los tratamientos se obtuvo una cierta utilidad, aunque parcialmente porque solo se consideró el costo del fertilizante. La mayor "utilidad aparente" se consiguió con los tratamientos de NK, NP y NPK. Esta recuperación se debe sin embargo al efecto residual de la primera aplicación, tal como sugieren los resultados de los análisis de suelos finales, que indicaron un residuo de los fosfatos inorgánicos en el suelo.

Cuadro No. 13. Aspecto económico de la primera y segunda cosecha de maíz, en dólares U. S. * por hectárea.

Tratamiento	Primera Cosecha		Segunda Cosecha		Diferencia de 2a. y 1a. Cosecha	
	Costo Ferti-Valor- lizante	Costo Valor- Produc- ción	Costo Ferti- Produc- ción	Costo Valor- Produc- ción		
T	0.00	113.17	113.17	0.00	144.71	31.54
N	57.42	232.24	184.72	57.42	298.72	66.49
P	174.90	129.37	-45.52	174.90	195.00	65.62
NP	232.32	281.25	48.93	232.32	404.10	122.85
NK	92.20	223.01	130.81	92.90	353.51	130.50
PK	209.68	73.57	-136.11	209.68	225.49	151.91
NPK	267.10	249.71	-17.39	267.10	425.62	175.93

* Los valores en dólares son al cambio oficial de \$6.65. Los precios tanto de fertilizante como de maíz y frijol son los precios que rigen en la localidad.

Quintal de maíz \$25.00 equivalente a \$ 3.75
 Quintal de frijol 70.00 equivalente a 10.50

Fertilizantes:
 Quintal cloruro potasio 31.00 equivalente a 4.65
 Quintal superfosfato simple 26.50 equivalente a 3.97
 Quintal nitrato de amonio 29.00 equivalente a 4.35

Cuadro No. 14. Aspecto económico de la primera y segunda cosecha de frijol en dólares U. S. * por hectárea.

Tratamiento	Primera Cosecha		Segunda Cosecha		Diferencia de 2a. y 1a. Cosecha	
	Costo Valor Ferti- Produc- lizante ción	Diferencia Valor- Costo	Costo Valor Ferti- Produc- lizante ción	Diferencia Valor- Costo		
T	0.00	109.09	109.09	0.00	213.36	104.26
P	174.90	214.93	40.03	174.90	505.26	330.36
NP	232.32	365.71	133.39	232.32	569.62	337.30
NK	92.20	147.00	54.80	92.20	389.76	284.06
PK	209.68	147.00	-62.68	209.68	405.09	195.41
NPK	267.10	357.73	90.63	267.10	600.60	333.50

* Los valores en dólares son al cambio oficial de \$6.65. Los precios, tanto de fertilizantes como de frijol son los precios que rigen en la localidad.

Quintal de maíz \$25.00 equivalente a \$ 3.75
 Quintal de frijol 70.00 equivalente a 10.50

Fertilizantes:
 Quintal de cloruro potasio 31.00 equivalente a 4.65
 Quintal superfosfato simple 26.50 equivalente a 3.97
 Quintal nitrato amonio 29.00 equivalente a 4.35

En cuanto al frijol, Cuadro No. 14, se encontró para la primera cosecha, una "pérdida" únicamente para el tratamiento PK, que se debió al bajo rendimiento de este tratamiento, más debido a causa externa. Para la segunda cosecha los "rendimientos económicamente buenos" se observaron en los tratamientos P, NP y NPK.

Comparando los dos cultivos, se puede ver que la mayor "utilidad" obtenida por el frijol sobre el maíz, probablemente se debe al precio del frijol, y a los mejores rendimientos que se obtuvieron en ese transcurso.

4.2 Incremento relativo y absoluto de varios elementos del suelo y subsuelo y algunas relaciones de los mismos.

En esta sección se describe el incremento de materia orgánica, Ca, Mg, K, P, Al N total, relación carbono/nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de saturación de bases (%SB), Ca/Mg y la relación $\frac{Ca+Mg}{K}$, en el suelo y subsuelo; después de dos aplicaciones de fertilizantes, en un tiempo de aproximadamente un año.

Los valores que se presentan en los Cuadros Nos. 15 y 16 son $\frac{dF}{dI}$ y $(F - I)$, que corresponden al incremento relativo e incremento absoluto, respectivamente, donde F es el contenido final (después de los tratamientos) de los elementos arriba descritos en los suelos y subsuelos, I, es el contenido inicial de los mismos (antes de la aplicación de tratamientos). Por lo tanto dF/dI es la derivada de F con respecto a I. Esto en cierto modo nos da una indicación del efecto residual de cada tratamiento. El incremento relativo $\frac{dF}{dI}$, debe interpretarse más bien como una tendencia de cada propiedad, medida en cada unidad experimental antes y después de la aplicación del abono correspondiente.

Cuadro No. 15. Análisis Iniciales (I) y Finales (F) de Suelo (A) y Subsuelo (B) de cada tratamiento.

Análisis	Horizonte	I*	T		N		P		NP		NK		PK		NPK	
			I**	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	
M.O. %	A	9.00	9.77	9.72	10.53	9.06	10.99	9.83	10.41	9.53	10.72	9.01	10.15	8.90	9.82	
	B	2.88	2.49	2.51	1.97	3.42	2.14	2.85	2.14	2.31	2.21	1.63	1.82	2.59	1.61	
N total %	A	0.50	0.49	0.52	0.52	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52	0.54	0.50	0.50	0.49	0.49	
	B	0.18	0.14	0.16	0.14	0.21	0.13	0.18	0.14	0.15	0.15	0.12	0.12	0.14	0.11	
Ca meq/100 g	A	5.44	3.22	6.20	2.84	5.45	3.30	6.39	3.53	6.20	3.14	7.33	4.29	5.82	3.07	
	B	7.49	4.91	8.43	5.75	6.74	5.48	8.62	5.82	7.11	5.48	8.05	5.82	6.93	5.74	
Mg meq/100 g	A	1.57	0.88	1.72	2.75	1.53	0.90	1.50	0.86	1.66	2.22	1.72	1.11	1.85	1.13	
	B	1.21	0.97	1.65	1.16	1.06	1.13	1.43	1.21	1.53	1.17	1.74	1.34	1.56	1.17	
K meq/100 g	A	0.77	1.16	0.67	1.11	0.77	1.20	0.96	1.03	0.81	1.40	0.96	1.58	0.86	1.16	
	B	0.52	1.06	0.96	0.76	0.59	0.96	0.45	1.21	0.40	0.70	0.54	0.93	0.56	0.68	
Al meq/100 g	A	14.37	13.88	15.41	14.04	15.15	14.04	14.44	14.26	14.15	14.53	13.97	12.66	14.34	12.58	
	B	10.73	11.17	10.73	10.92	11.23	10.58	9.35	9.04	11.24	10.93	10.45	10.39	12.60	11.60	
P meq/100 g	A	7.89	4.09	6.63	5.17	7.49	5.50	7.42	5.56	6.10	4.67	6.70	6.64	7.23	6.17	
	B	4.70	3.27	2.49	2.36	4.39	2.75	3.06	3.21	4.83	2.55	3.18	2.42	3.91	3.60	
C/N	A	11.67	13.13	12.03	13.37	11.67	14.47	12.03	13.40	12.03	13.30	11.67	13.47	11.67	13.13	
	B	9.73	11.26	9.73	9.00	10.33	10.43	9.30	9.17	9.67	9.47	8.23	9.93	11.83	9.33	
CIC meq/100 g	A	43.94	43.33	44.19	43.35	43.15	43.10	43.51	44.05	42.84	44.16	43.20	43.46	42.46	41.44	
	B	39.25	35.42	36.73	38.27	39.11	36.17	37.64	36.98	36.91	36.64	35.24	35.27	33.46	36.60	
ΣSB	A	18.57	13.97	21.93	12.70	20.10	14.40	23.16	14.03	21.77	14.03	25.86	18.30	23.07	14.33	
	B	26.40	22.60	32.57	23.03	24.37	24.07	31.90	25.70	28.33	23.26	34.27	26.23	31.53	23.73	
Ca/Mg	A	3.86	4.13	4.10	4.00	3.97	4.17	4.73	4.63	4.27	4.67	4.67	4.63	3.57	4.13	
	B	7.10	6.00	5.60	5.67	7.47	5.60	6.73	5.63	5.23	5.37	5.23	5.02	5.80	5.60	
Ca+Mg K	A	10.03	4.02	17.23	4.00	11.90	4.17	11.03	5.23	14.73	3.33	10.33	3.90	11.80	4.10	
	B	17.67	8.73	45.60	13.67	45.77	11.20	24.77	8.13	27.67	12.63	26.57	10.20	23.93	12.13	

Cuadro No. 16. Incremento relativo y absoluto de los elementos y relaciones determinados en el suelo y subsuelo.

Propiedad		Hori- zonte	Life- rencia	T	N	P	NP	NK	PK	NPK
M.O. %	A	ζF/dI*	1.6207	1.7305	0.3847	1.3792	-0.0538	1.0977	3.4990	
	B	ζF/dI	2.4476	0.5593	0.5737	0.5135	0.5244	1.2657	0.3358	
N total %	A	F - I**	0.77	0.81	1.93	0.58	1.19	1.14	0.92	
	B	F - I	-0.39	-0.54	-1.28	-0.71	-0.10	0.19	-0.98	
C/N	A	dF/dI	1.3770	0.6344	1.1153	0.8876	-0.1538	1.1961	1.1438	
	B	dF/dI	4.0000	0.5600	0.5416	0.4347	0.4489	0.5714	0.0392	
CIC meq/100 g	A	F - I	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	B	F - I	-0.04	-0.02	-0.08	-0.04	0.00	0.00	-0.03	
Ca meq/100 g	A	dF/dI	0.8518	0.6419	1.8148	0.1358	0.2716	0.1852	-0.5902	
	B	dF/dI	0.3703	-0.1358	1.2996	0.7449	0.8501	1.1303	-0.5587	
Mg meq/100 g	A	F - I	1.46	1.14	2.60	1.37	1.27	1.80	1.56	
	B	F - I	1.53	1.54	0.10	-0.13	-0.20	1.70	-2.50	
Mg meq/100 g	A	dF/dI	0.4249	0.3953	0.5422	0.7849	-0.2341	1.0153	0.9887	
	B	dF/dI	1.3700	0.5381	0.6373	0.4585	0.7818	0.0962	-0.3044	
Ca meq/100 g	A	F - I	-0.61	-0.86	-0.05	0.54	1.32	0.26	-1.02	
	B	F - I	-3.83	1.54	-2.94	-0.66	-0.27	0.03	3.14	
Ca meq/100 g	A	dF/dI	0.1761	0.4071	0.3982	0.7944	0.1944	0.3743	0.2671	
	B	dF/dI	-2.1428	1.1077	-0.1111	-0.0182	0.2603	0.9169	0.2781	
Mg meq/100 g	A	F - I	-2.22	-3.36	-2.15	-2.86	-3.06	-3.34	-2.75	
	B	F - I	-2.58	-2.68	-1.26	-2.80	-1.63	-2.23	-1.19	
Ca meq/100 g	A	dF/dI	0.4159	-2.5007	0.8484	1.1357	-1.5352	0.6387	1.2915	
	B	dF/dI	0.9642	0.8384	0.4021	0.0810	-0.0857	0.5855	0.1105	
Ca meq/100 g	A	F - I	-0.69	1.03	-0.63	-0.64	0.56	-0.61	-0.72	
	B	F - I	-0.24	-0.49	0.07	-0.22	-0.36	-0.40	-0.39	

Propiedad Hori-
zonte Dife-
rencia

	T	N	P	NP	NK	PK	NPK
K meq/100 g	A	0.1667	0.2365	1.0000	0.7250	-0.0540	0.4283
	B	3.2709	0.9181	-2.0450	2.9807	-0.7928	1.1808
Al meq/100 g	A	0.39	0.44	0.43	0.07	0.59	0.62
	B	0.54	0.30	0.37	0.76	0.30	0.39
P ppm	A	1.1104	0.4253	0.3026	-0.7667	0.5205	1.9500
	B	1.3694	0.7330	1.0666	1.2204	1.2249	0.7335
F - I	A	-0.49	-1.37	-1.11	-0.18	0.38	-1.31
	B	0.44	0.21	-0.65	-0.31	0.69	-0.06
F - I	A	0.0063	0.0944	0.4159	0.2195	0.0564	-2.0783
	B	0.0666	1.0694	1.2187	0.0351	0.0254	0.2957
F - I	A	-3.80	-1.46	-1.99	-1.86	-1.43	-0.06
	B	-1.43	-0.13	-1.64	0.15	-2.28	-0.76
%SB	A	1.3439	0.2932	0.4541	1.1568	0.1881	0.3057
	B	2.0062	0.6610	1.2303	0.4496	0.5748	0.1781
F - I	A	-4.60	-9.23	-5.70	-9.13	-7.74	-7.56
	B	-3.80	-9.54	-0.30	-6.20	-5.07	-8.04
Ca/Mg	A	0.4705	2.0000	0.0643	1.1568	0.1881	0.3057
	B	0.7159	0.6818	0.3379	0.4496	0.5748	0.1781
F - I	A	0.27	-0.10	0.20	-0.10	0.40	-0.04
	B	-1.10	0.07	-1.87	-1.10	0.14	-0.20
Ca+Mg K	A	0.0637	0.0663	0.3196	0.3385	-0.0503	0.2711
	B	0.6015	0.2052	0.1443	0.3249	-0.1745	0.1898
F - I	A	-5.83	-13.23	-7.78	-5.80	-11.40	-6.43
	B	-8.94	-31.93	-14.57	-16.64	-15.04	-16.37

-7.70
-11.80

El signo positivo de $\frac{dF}{dI}$, indica simplemente que a mayor (o menor) cantidad inicial del elemento medido en la unidad experimental, mayor el aumento (o disminución) de dicho elemento después de la aplicación.

El signo negativo indica discondancia en la respuesta de las unidades experimentales, es decir que las unidades con menor contenido inicial, incrementaron más su contenido después de la aplicación. Como un complemento a la medida relativa se presenta también en los cuadros 15 y 16, el incremento absoluto ($F - I$), que es la simple diferencia entre el contenido final e inicial.

4.2.1 Materia Orgánica

La M. O. en general aumentó en términos relativos y absolutos en el suelo, para todos los tratamientos, excepto para NK, donde el incremento relativo fue negativo, pero el valor absoluto incrementó. En el subsuelo sin embargo las unidades experimentales respondieron más uniformemente en términos de incrementos relativos, aunque en términos absolutos el contenido final fue menor que el contenido inicial. El incremento tanto relativo como absoluto de la materia orgánica en el suelo superficial, fue debido a su alto contenido inicial y al sistema radical del maíz que al cortar la planta se descompuso para formar parte de la M. O. del suelo. Se puede notar que los tratamientos que recibieron P fueron los de mayor contenido como consecuencia del mayor tamaño del sistema radical.

En los subsuelos hubo disminución debido a que el sistema radical del maíz es superficial. La parte aérea no pudo contribuir porque ésta fue removida del terreno después de cosechar las mazorcas.

4.2.2. Nitrógeno total (Ntot)

Para el N total hubo un aumento relativo para todos los tratamientos a excepción del NK que mostró un incremento negativo. En términos absolutos en general no se observó cambio, únicamente en el T que disminuyó 0.01% y para el NK que aumentó en 0.02%.

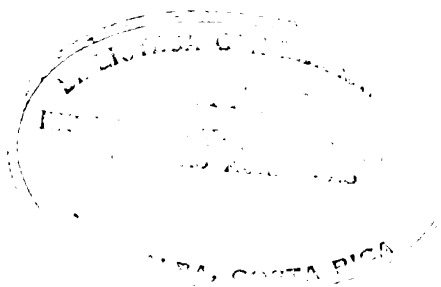
Al igual que la M. O. se nota más uniformidad en los incrementos relativos en los subsuelos. Para las diferencias absolutas en general hubo disminución, exceptuando los tratamientos NK y PK que no sufrieron ningún cambio.

El nitrógeno prácticamente permaneció igual, en lugar de sufrir una disminución o aumento como lo hizo la M. O. Esto demuestra un balance entre el N suplido por el abono y la M. O. y el N perdido por lixiviación, remoción por la planta, mineralización por los microorganismos y algo de NH_4 posiblemente fijado por las arcillas 2:1 presentes.

4.2.3 Calcio (Ca)

En el caso del calcio todos los tratamientos mostraron un incremento relativo positivo. En términos de unidades absolutas hubo en general una disminución, dado por el signo negativo del incremento absoluto, como puede apreciarse en el Cuadro No. 16.

En los subsuelos hubo un incremento relativo negativo para los tratamientos T, P y NP y los absolutos fueron en general negativos, lo que nos indica que también hubo una disminución en el contenido de Ca.



4.2.4 Magnesio (Mg).

El Mg presenta un aumento relativo en los tratamientos T, P, NP, PK, NPK y una disminución en las unidades absolutas. Los tratamientos N y K dieron un incremento relativo negativo y un aumento en el valor absoluto.

Para los subsuelos en general hubo un incremento relativo, exceptuando el tratamiento NK en el que fue negativo. En términos absolutos todos los tratamientos mostraron disminución menos el tratamiento P que mostró un aumento de 0.07 meq/100 g de suelo.

El calcio y magnesio sufrieron en general una disminución, debido al aumento de potasio que desplazó al calcio y magnesio del complejo de cambio y a que fueron absorbidos por la planta o parcialmente lixiviados, o precipitados como fosfato en el caso del calcio o sulfato en el caso del Mg. La adición de nitrato de amonio y cloruro de potasio, pudieron haber suministrado los aniones, para la posible lixiviación de estos cationes.

4.2.5 Potasio (K)

En el suelo, todos los tratamientos presentan para el potasio un incremento tanto relativo como absoluto, exceptuando el tratamiento NK en que el aumento relativo fue negativo.

En cuanto a los subsuelos los tratamientos P, NK y NPK, dieron resultados relativos negativos; sin embargo, en general todos los tratamientos presentan un aumento en unidades absolutas.

El aumento apreciable que sufrió el potasio del suelo se debe a las fertilizaciones, y a que parte fue fijado por las arcillas. Por otro lado es de notar el aumento en las unidades experi-

mentales que no recibieron potasio; este aumento fue debido al abastecimiento natural del suelo, y su alta capacidad de abastecimiento de K. Según Martini (70) y Suárez (103), se han encontrado correlaciones altas entre el potasio nativo suministrado a las plantas durante cosechas sucesivas y el potasio extraído con ácido nítrico, representando la capacidad de abastecimiento de K. Martini (71) ha observado que cuanto más N y P y otros nutrimentos se apliquen al suelo y más intensivo el cultivo, mayores son las probabilidades de obtener respuesta a K. Albareda y Hoyos (2), dicen que cuando existe gran cantidad de materia orgánica, ésta participa en la capacidad de cambio y parte del potasio queda retenido por el humus, siendo así más cambiante y, por lo tanto asimilable.

4.2.6 Aluminio (Al)

El aluminio presenta en el suelo, en general, incrementar relativo; salvo en el tratamiento NP en que fue negativo. En cuanto a las unidades absolutas todos los tratamientos mostraron una disminución excepto el tratamiento NK que dió un aumento de 0.38 meq/100 g de suelo.

En los subsuelos las unidades experimentales presentaron más uniformidad en los términos relativos, no así en los absolutos en los cuales se nota un aumento para los tratamientos T, N y NK, y una disminución para el resto de los tratamientos.

Estas variaciones insignificantes del aluminio, coinciden con los bajos cambios que sufrió el pH. La literatura confirma la gran estabilidad del Al en los suelos, especialmente de origen volcánico. Estos suelos son muy posiblemente formados o contaminados con materiales volcánicos.

4.2.7 Fósforo (P)

El aumento relativo que presentan las unidades experimentales para el fósforo fue bajo para todos los tratamientos exceptuando para PK y NPK en que fue negativo. El incremento absoluto fue negativo para todas las unidades; es decir, que hubo disminución.

En cuanto a los subsuelos todas las unidades experimentales mostraron un incremento relativo salvo el tratamiento NPK en que fue negativo. En términos absolutos al igual que para los suelos, todas las unidades mostraron disminución, siendo ésta mayor para las que no recibieron P.

El fósforo disponible, de acuerdo a los resultados, sufrió una disminución en todas las unidades experimentales, como efecto del aprovechamiento del cultivo y fijación en el suelo. Esta disminución fue mayor para las unidades que no recibieron fósforo como el T, N y NK. Así mismo para los subsuelos en los tratamientos NP, PK y NPK la disminución que casi insignificante, lo que hace suponer que del fosfato soluble agregado hubo un movimiento hacia el subsuelo, lo que concuerda con los resultados de Ulrich (109); o que el subsuelo no participó en la nutrición del cultivo. Estos resultados se complementan con la discusión de la sección referente a los fosfatos inorgánicos activos.

4.2.8 Relación carbóno/nitrógeno (C/N)

Para esta relación en general, todas las unidades mostraron un incremento relativo positivo, menos el tratamiento NPK en que fue negativo. En cuanto al incremento absoluto todos fueron positivos.

En los subsuelos los tratamientos N y NPK, aparecen con incrementos negativos. Para el valor absoluto las unidades T, N, P y PK dieron un aumento y NP, NL y NPK dieron una disminución.

El aumento de esta relación para todos los suelos, fue debido al incremento de la materia orgánica, siendo mayores en los tratamientos P y PK, posiblemente debido a un mayor desarrollo del sistema radical en presencia de P (57).

4.2.9 Capacidad de intercambio de cationes (CIC)

La capacidad de intercambio de cationes en los suelos tuvo un incremento relativo para las unidades experimentales en general excepto para el tratamiento NK en que fue negativo. En cuanto al incremento absoluto hubo una disminución para los tratamientos T, N, P y NPK y un aumento para NP, NK y PK.

En los subsuelos en general, se notó un incremento relativo, a excepción del tratamiento NPK en que fue negativo. El incremento absoluto fue positivo para N, PK, y NPK y negativo para el resto de los tratamientos.

Se puede apreciar que la variación que sufrió la capacidad de intercambio catiónico fue muy poca y se explica lógicamente teniendo en cuenta que esta propiedad está influenciada principalmente por los minerales de arcilla y la materia orgánica. El tiempo de duración del presente experimento (un año), no se consideró suficiente como para actuar sobre un cambio en las arcillas, y el cambio en la materia orgánica tampoco fue de significancia como para afectar esta propiedad.

4.2.10 Porcentaje de saturación de bases (%SB)

En general el porcentaje de saturación de bases en el suelo tuvo incremento relativo para todas las unidades experimentales: sin embargo, en términos absolutos hubo disminución en todos los tratamientos. Lo mismo puede decirse de los subsuelos que observaron la misma tendencia.

La disminución en el porcentaje de saturación de bases se debió como se puede observar en los resultados, en el descenso del calcio y magnesio, tanto en el suelo como en el subsuelo.

4.2.11 Relación calcio/magnesio (Ca/Mg)

En todas las unidades experimentales se notaron incrementos relativos en la relación Ca/Mg. En términos absolutos hubo un aumento en los tratamientos T, P, NK y NPK y una disminución en N, NP y PK.

Para los subsuelos el incremento relativo mostró un aumento para N, NK y una disminución para el resto de los tratamientos. En esta relación no se observó cambio apreciable debido a que ambos componentes disminuyeron más o menos en igual intensidad, permaneciendo por lo tanto la relación casi constante.

4.2.12 Calcio + Magnesio/potasio ($\frac{Ca+Mg}{K}$)

Las unidades experimentales sufrieron cambio diferentes, siendo negativo para el tratamiento NK. En términos absolutos se notó disminución para todos los tratamientos.

En los subsuelos la tendencia fue similar en cuanto a incremento relativo se refiere; observándose incremento negativo

para el tratamiento NK. En términos absolutos también se observó disminución para todos los tratamientos.

Los cambios ocurridos en la relación $\frac{Ca+Mg}{K}$ lógicamente se deben por un lado al aumento del potasio cambiante y por otro a la disminución del calcio y magnesio.

4.3 Estado de los fosfatos en sus formas inorgánicas, al inicio y final del experimento con maíz.

En el Cuadro No. 17, se presenta el análisis de los fosfatos del suelo y subsuelo en tres parcelas tratadas con fósforo en presencia de nitrógeno y potasio, y tres parcelas sin fósforo, que corresponden a las unidades experimentales nitrógeno-potasio. Para efecto de comparación se consideró el fósforo total inicial como 100 %.

4.3.1 Fosfatos de aluminio

En general las unidades tratadas con fósforo, no muestran mayor variación en el contenido aluminico. Según promedios, estos variaron en magnitudes inferiores al 2% con respecto al valor inicial. Las unidades experimentales sin tratamiento fosfórico mostraron una apreciable disminución, hasta del orden de 21%.

En el subsuelo se notó una tendencia similar pero en mayor grado, ya que en las parcelas tratadas la disminución máxima fue del orden de 8%; en cambio para las no tratadas la diferencia alcanzó un valor de 28%.

Cuadro No. 17. Fosfatos* en el suelo y subsuelo, de tres parcelas tratadas con P, y tres sin tratamiento, en ppm.

Horizontes	Tratamientos	Formas de Fosfatos Inorgánicos						Totales Activos	
		Aluminio		Hierro		Calcio		Iniciales	Activos Finales
		Iniciales	Finales	Iniciales	Finales	Iniciales	Finales	Iniciales	Finales
		les	les	les	les	les	les	les	les
SUELOS	con P	285.00	273.65	289.40	304.19	53.89	23.47	628.30	601.31
	** %	45.75	43.55	46.06	48.41	8.58	3.73	100.00	95.70
	sin P	321.98	174.22	316.35	305.79	56.71	15.30	695.04	495.32
	%	46.32	35.06	45.50	44.00	8.16	2.20	100.00	71.26
SUBSUELOS	con P	129.88	99.85	197.86	316.32	44.38	35.27	371.02	451.90
	%	34.41	26.84	53.18	85.03	11.93	9.48	100.00	121.47
	sin P	217.19	77.62	258.31	265.28	49.32	22.99	525.80	365.94
	%	41.31	14.76	49.13	50.45	9.39	4.37	100.00	69.60

* Los fosfatos solubles en NH_4Cl no aparecen en el cuadro por haber únicamente trazas.

** El % está tomado sobre el total inicial = 100.0%, para observar el aumento o disminución relativos de los diferentes fosfatos iniciales y finales respecto a éste.

4.3.2 Fosfatos de hierro

Las parcelas tratadas con fósforo tuvieron un pequeño incremento del orden de 2% de fosfatos de hierro. En cambio en las no tratadas se nota una ligera disminución de 1%.

En el subsuelo de las parcelas con tratamiento de fósforo se apreció mayor incremento variando estos en un 32%. Por otra parte, la variación de las parcelas sin tratamiento fue insignificante.

4.3.3. Fosfatos de calcio

Las parcelas tratadas con fósforo mostraron una disminución de 5% mientras que en aquellas sin fósforo la diferencia fue ligeramente mayor (6%), pero ambas en la misma dirección.

En los subsuelos la disminución para los primeros fue de 3% y de 5% para los tratamientos sin fósforo.

4.3.4 Fosfatos solubles en cloruro de amonio

En lo que respecta a los fosfatos solubles en cloruro de amonio, en general todos los valores, tanto para suelos, como para subsuelos, fueron demasiado bajos, que no alcanzaron ni valores de 0.5 g P/ml.

4.3.5 Fosfatos activos totales

Los fosfatos totales, o sea la suma de las cuatro fracciones, mostraron en las parcelas tratadas una disminución hasta de 4%. En las parcelas no tratadas la disminución máxima fue de 29%.

Para los subsuelos, fue diferente, las parcelas tratadas mostraron incrementos hasta de 21%; en cambio para las no tratadas hubo una disminución hasta de 30%.

De los resultados encontrados se puede deducir que la mayor cantidad de fosfatos corresponde a los de hierro y aluminio, lo cual coincide con resultados obtenidos por Fassbender (42). Los valores altos de estos fosfatos son explicables por los bajos pH del suelo; lo cual está de acuerdo con los resultados de Fassbender y colaboradores (42).

En las parcelas sin tratamiento, la disminución de fosfatos de hierro y aluminio se explica ya que tanto el Al como el Fe son componentes activos en el suelo (40). En cambio los tratamientos que recibieron P mostraron un incremento, principalmente en la forma férrica debido a la retrogradación del fertilizante fosfatado aplicado, a formas más insolubles.

Con respecto a los fosfatos de calcio en los suelos, se notó la misma tendencia, ya sea con tratamiento o sin el. Esto se debe principalmente a que el fosfato de calcio por su solubilidad contribuye más al fósforo de la solución del suelo (40), y por otra parte hace que la formación o retrogradación del fertilizante fosfatado aplicado sea mínima debido al pH bajo de estos suelos.

En los subsuelos con tratamiento de fósforo, se nota la mayor contribución de los fosfatos de aluminio y calcio a la solución del suelo, no así de los fosfatos de hierro. El incremento notable de los fosfatos de hierro en estas parcelas (32%), es explicable por el fosfato de hierro, que contribuye en menor escala a la solución del suelo. Teniendo en cuenta que la textura de estos suelos es media,

hubo un movimiento del P aplicado, dando lugar a una retrogradación con formación de fosfatos de hierro, resultados parecidos fueron encontrados por Ulrich (109), en un estudio donde hubo un movimiento del P hasta 27 cm.

Los fosfatos totales en los suelos tratados con P mantuvo su contenido mientras que en los no tratados hubo una disminución bastante marcada. Para los subsuelos tratados con P el fosfato de hierro contribuyó grandemente con el contenido total; en las parcelas sin tratamiento su contribución fue mucho menor.

Es de notar que en estos suelos el alto contenido de materia orgánica, puede contribuir con las formas de fosfatos orgánicos y éste, a través de su mineralización con los fosfatos inorgánicos, así como al fósforo disponible.

Esto sucede en mucho menor escala en los subsuelos de ambos tratamientos.

4.4 Estado de reacción del suelo y subsuelo (pH), durante el período del experimento.

En general se puede observar que el pH, medido en agua, Cuadro No. 18, no se alteró mucho con los tratamientos. Sin embargo, en las muestras iniciales existió una diferencia máxima de 0.6, con un rango de variación de 5.3 a 5.9; siendo el valor más alto para el tratamiento NK. En las demás épocas de muestreo el pH mostró mayor uniformidad para todos los tratamientos con una diferencia que oscilaba entre 0.1 y 0.2.

En cuanto a época de muestreo, se notó grandes cambios en el pH, en diferencias de 0.6 hasta 1.1. El tercer muestreo dió los pH's más altos y el último los pH's más bajos.

Cuadro No. 18. pH del suelo durante el período del experimento.

Tratamientos	Muestra Inicial (antes de aplicar fertilizante)		2 meses después 1a. siembra		Muestra después 1a. cosecha		2 meses después 2a siembra		Muestra Final	
	H ₂ O	CaCl ₂	H ₂ O	CaCl ₂	H ₂ O	CaCl ₂	H ₂ O	CaCl ₂	H ₂ O	CaCl ₂
T	5.4	4.8	5.5	4.7	6.0	4.7	5.6	4.8	5.0	4.8
N	5.4	4.9	5.5	4.8	5.9	4.8	5.3	4.7	4.8	4.8
P	5.5	4.7	5.5	4.7	5.8	4.6	5.5	4.7	4.8	4.8
NP	5.4	4.8	5.5	4.8	5.9	4.7	5.3	4.8	4.8	4.8
NK	5.9	4.9	5.5	4.7	5.8	4.6	5.3	4.7	4.8	4.8
PK	5.7	4.9	5.6	4.8	5.9	4.6	5.6	4.9	5.0	5.0
NPK	5.4	4.8	5.5	4.7	5.9	4.7	5.3	4.8	4.9	4.9

Cuadro No. 19. pH del subsuelo durante el período del experimento.

Tratamientos	Muestra Inicial (antes de aplicar fertilizante)		2 meses después 1a. siembra		Muestra después 1a. cosecha		2 meses después 2a. siembra		Muestra final	
	H ₂ O	CaCl ₂	H ₂ O	CaCl ₂	H ₂ O	CaCl ₂	H ₂ O	CaCl ₂	H ₂ O	CaCl ₂
T	5.8	5.2	5.8	5.1	5.5	5.1	5.9	5.6	5.8	5.4
N	5.8	5.1	5.7	5.1	5.4	5.2	5.7	5.2	5.5	5.3
P	5.4	5.0	5.4	5.0	5.3	5.0	5.7	5.2	5.5	5.2
NP	5.9	5.3	5.8	5.1	5.4	5.2	5.7	5.3	5.7	5.2
NK	6.0	5.2	5.5	5.0	5.4	5.1	5.5	5.1	5.6	5.2
PK	6.1	5.3	5.8	5.1	5.4	5.2	5.9	5.3	5.8	5.3
NPK	5.7	5.1	5.6	5.0	5.2	5.2	5.6	5.1	5.7	5.2

Para el pH medido en CaCl_2 0.01 M, no hubo mayor cambio alguno tanto para tratamientos como para época de muestreo. Las diferencias entre las distintas fechas de muestreo fue únicamente de 0.1 a 0.2 y entre tratamientos de 0.1 a 0.3.

La correlación entre el pH en H_2O y en CaCl_2 0.01 M, fue alta en el muestreo inicial y lo mismo que en el final, para todos los tratamientos.

El pH de los subsuelos, Cuadro No. 19, medido en agua, muestra bastante uniformidad para los distintos tratamientos, a excepción de la muestra inicial donde se observó una variación de 0.6. Sin embargo, después de los diferentes muestreos se logró uniformidad, tanto para los tratamientos como para época de muestreo, Cuadro No. 19.

En el subsuelo se notaron en general más bajos los pH en CaCl_2 0.01 M que los medidos en agua. Se encontró así mismo una alta correlación entre ambas medidas, tanto en las muestras iniciales como en las finales.

En comparación entre el pH del suelo y del subsuelo se observó que las mediciones del subsuelo fueron más altas, tanto para el pH en agua como en CaCl_2 0.01 M, como consecuencia del mayor contenido de bases.

De acuerdo a estos resultados, se puede deducir que la diferencia encontrada en el pH en agua, por época de muestreo se debe a la mayor dilución de la solución del suelo, como lo demuestra el tercer muestreo que coincidió con la época de mayor lluvia. Dicha diferencia no fue observada con el pH medido en CaCl_2 0.01 M, lo cual está de acuerdo con Peech (83), Fassbender (40) y Schofield y Tayler (97). Los cambios observados se reflejan también en el contenido de bases y en contenido de aluminio cambiante.

Estos cambios poco apreciables, en la reacción del suelo durante el período del experimento demuestran que los fertilizantes usados: superfosfato simple, cloruro de potasio y nitrato de amonio tuvieron poco efecto sobre la misma y que ha sido discutido por Díaz-Romeu y Jiménez (32) y Engelhorn y colaboradores (35). Aparentemente los tratamientos con N produjeron los mayores cambios en el pH.

4.5 Contenido de P asimilable en varias épocas de muestreo a través de dos cosechas, en el suelo y subsuelo.

La tendencia observada a través de cinco muestreos de suelo y subsuelo, se puede apreciar en el gráfico de la Figura No. 3, cuyos datos originales correspondientes se encuentran en el apéndice.

Como se puede observar, los tratamientos NK y PK, tienen efecto positivo en el incremento de P asimilable después de la primera fertilización, en cambio T y NP disminuyen levemente su contenido, en contraste con el resto de los tratamientos, que mostraron un descenso más pronunciado. Al final de la primera cosecha, la cantidad de P soluble disminuyó considerablemente para todos los tratamientos, como consecuencia de fijación y absorción por el cultivo. A partir de este punto los tratamientos siguen la misma tendencia, como efecto de la segunda fertilización fosfatada y de la mineralización de los residuos orgánicos de la primera cosecha. Se nota que el mayor aumento corresponde a los tratamientos que recibieron fertilización fosfatada como: PK, NPK, NP y P. Esto en parte se debe a la descomposición del P fijado, en formas solubles y el probable efecto residual del primer abonamiento. En el caso del tratamiento N, el aumento gradual después del tercer muestreo, en contraste a los demás tratamientos,

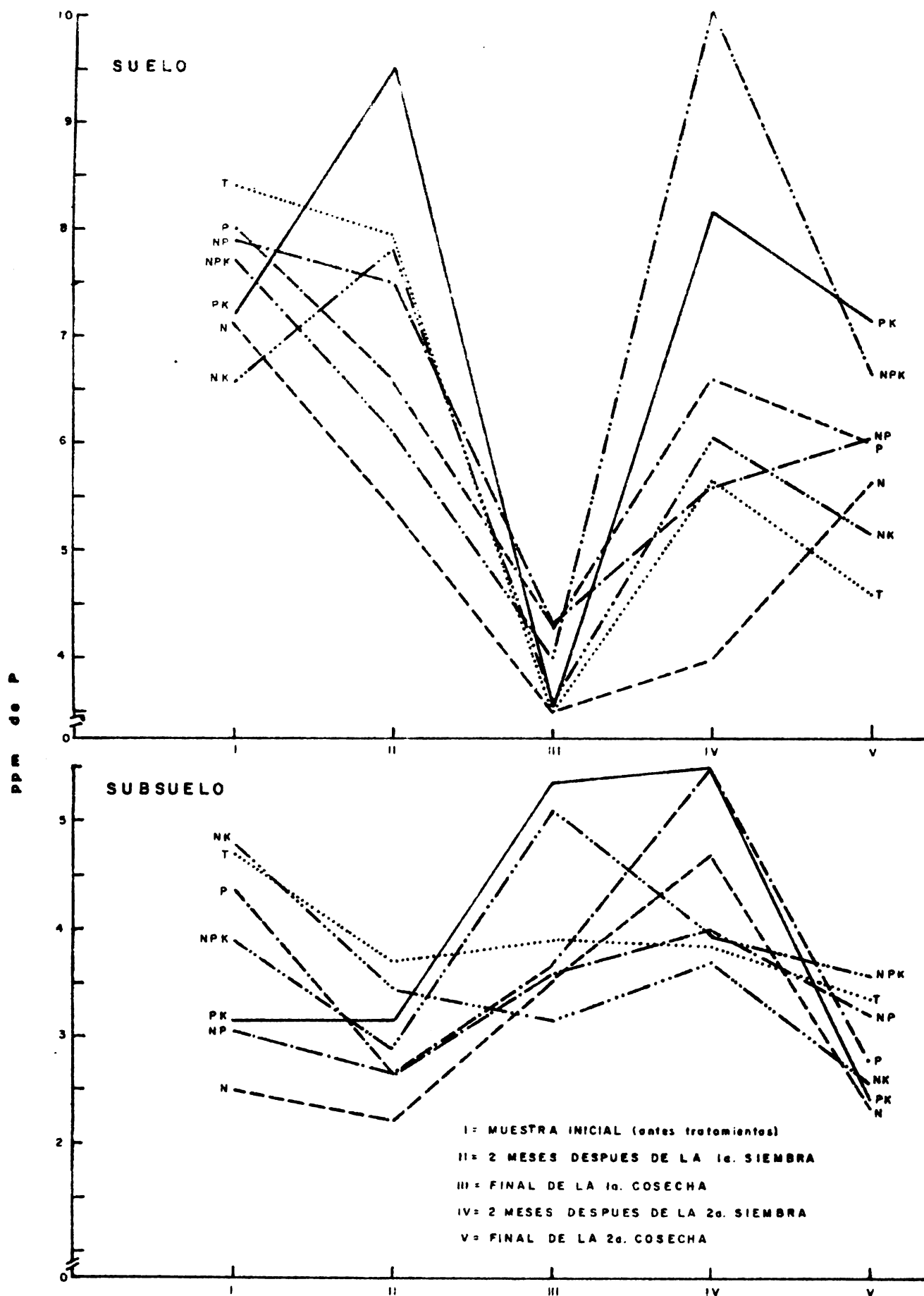


FIG. 3.- CONTENIDO DE P ASIMILABLE DURANTE VARIAS EPOCAS DE MUESTREO A TRAVES DE DOS COSECHAS EN EL SUELO Y SUBSUELO.

puede ser debido a que, al haber recibido únicamente fertilización nitrogenada, pudo haber causado un desbalance en el suelo, posiblemente biológico, como es la multiplicación de microorganismos. Estos a su vez necesitan para su nutrición de fosfatos inorgánicos, convirtiendo éstos a formas orgánicas que no son directamente aprovechables por las plantas, pero que eventualmente se mineralizan como lo anota Alvareda y Hoyos (2),

Para el subsuelo, en general, existe la misma tendencia aunque menos marcada como puede notarse en la Figura No. 3. Dos meses después de la fertilización, los subsuelos sufrieron un descenso, para luego aumentar, posiblemente debido a un mínimo de lixiviaciones. Estos aumentos fueron mayores para los tratamientos P, PK y NPK. Al final, se encuentra el mismo descenso para todos los tratamientos debido a la fijación y a la absorción por el cultivo.

4.6 Contenido de potasio, calcio y magnesio, en varias épocas de muestreo, en el suelo y subsuelo.

En los gráficos de las Figuras Nos. 4, 5 y 6, se presentan análisis de K, Ca y Mg cambiante, para suelo y subsuelo llevados a cabo durante las mismas cinco épocas de muestreo, utilizadas en el estudio de P. Estos análisis se hicieron siguiendo la técnica de una sola extracción con 35 ml de acetato de amonio pH 7.0, y con el fin de tener una historia rápida del efecto de los tratamientos sobre estos elementos. Los datos originales se encuentran en el apéndice.

4.6.1 Contenido de potasio

El alto contenido inicial de K (Fig. 4) se ve aumentado aún más por tratamientos potásicos, como NPK y NK. A través del

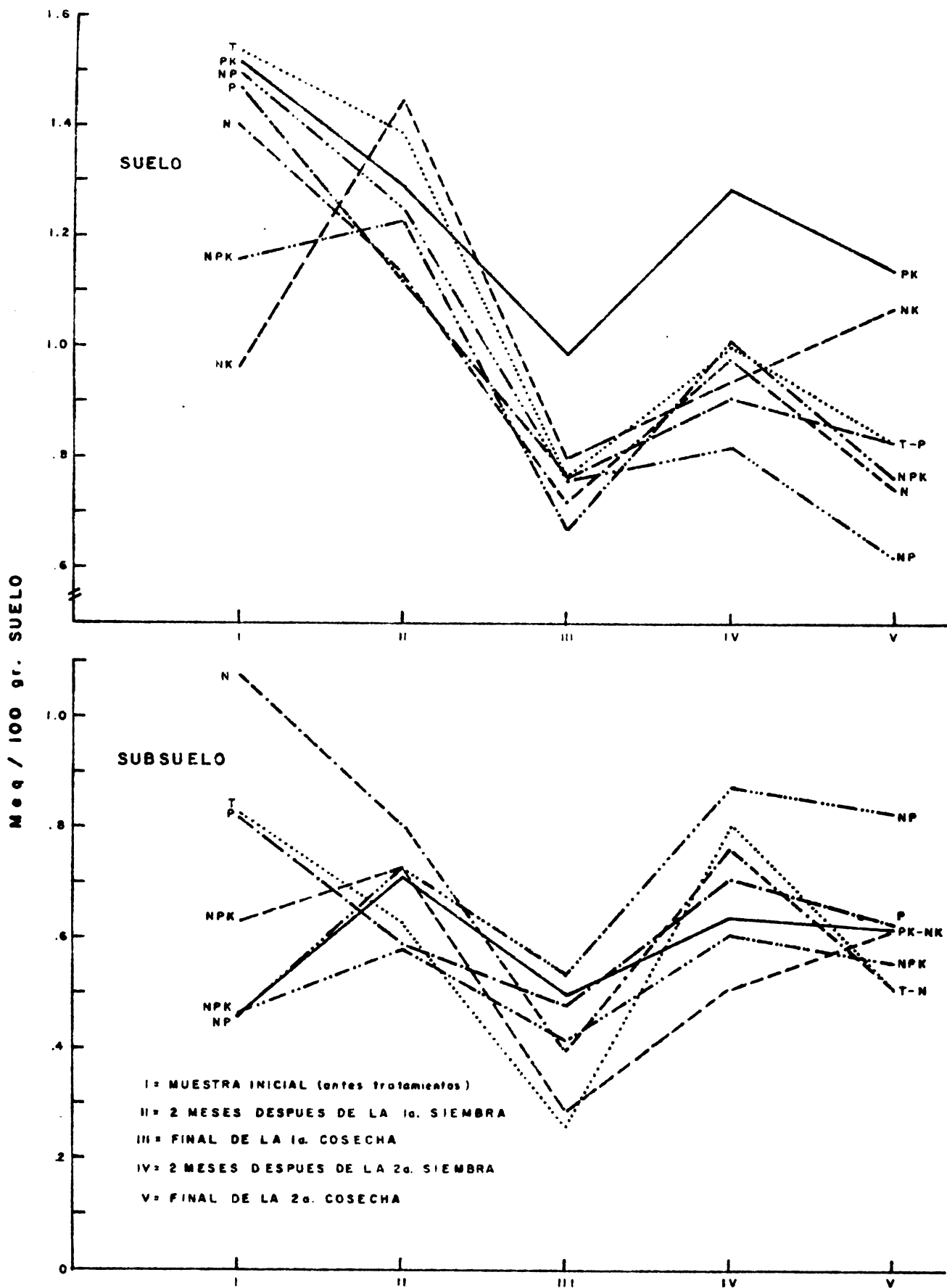


FIG. 4.- CONTENIDO DE K CAMBIABLE DURANTE VARIAS EPOCAS DE MUESTREO A TRAVES DE DOS COSECHAS EN EL SUELO Y SUBSUELO.

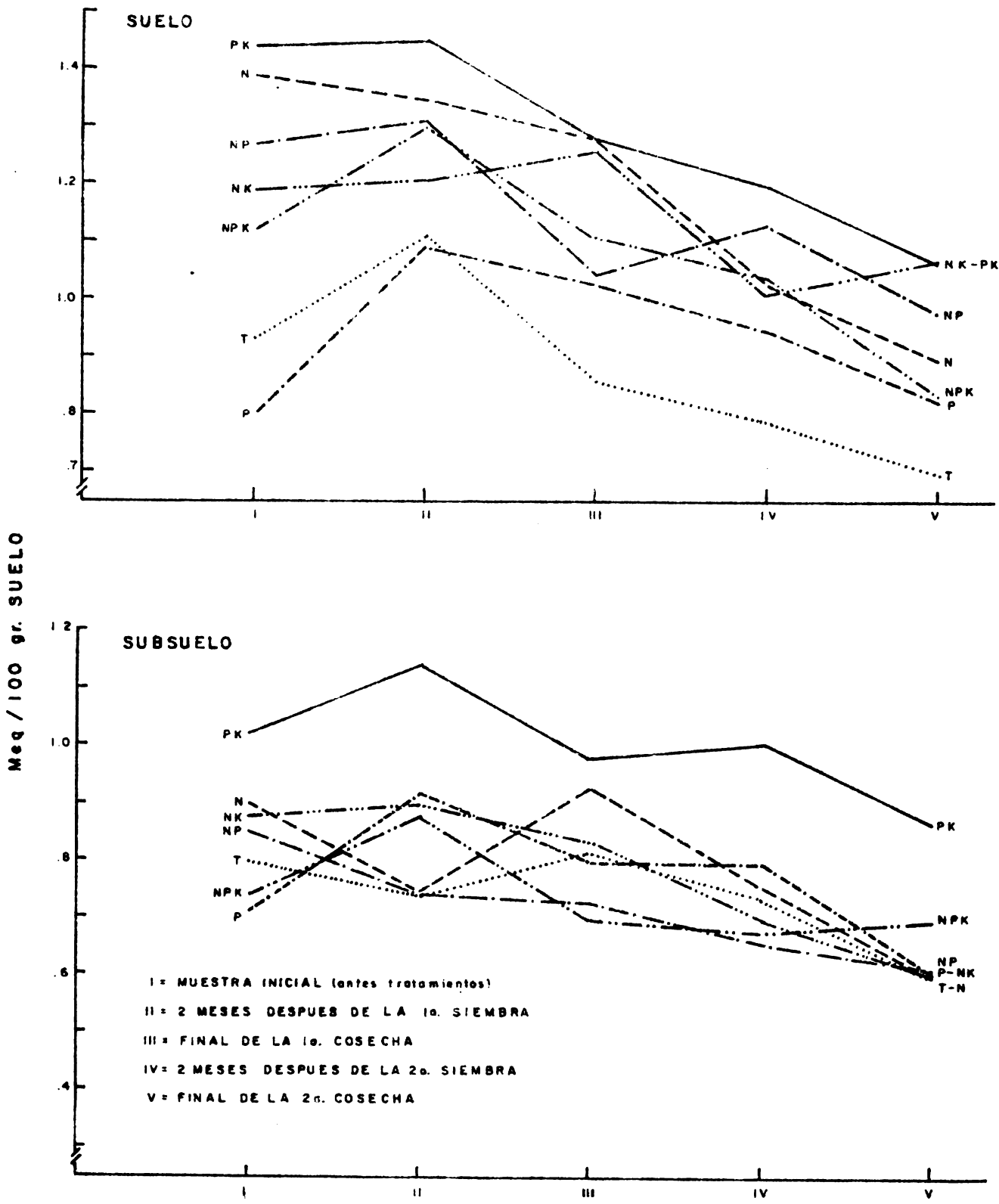


FIG. 6.- CONTENIDO DE Mg. CAMBIABLE DURANTE VARIAS EPOCAS DE MUESTREO A TRAVES DE DOS COSECHAS EN EL SUELO Y SUBSUELO.

primer cultivo, este K cambiabile disminuyó para los demás tratamientos, por efecto de absorción por las plantas y fijación reversible del K agregado, como se observa en el tercer muestreo. A partir de la segunda siembra hay un aumento más notable para los tratamientos PK y NK, no así para NPK, que por ser el de mayor producción y mayor desarrollo de las plantas, lógicamente tuvo mayor demanda. Sin embargo para los demás tratamientos, es evidente la capacidad del abastecimiento de K de estos suelos. Según Martini (71), cuanto más N y P se apliquen al suelo y más intensivo sea el cultivo mayor es este abastecimiento dentro de ciertos límites. En general el contenido de K de los suelos disminuyó debido a la absorción por las plantas y por fijación.

El subsuelo muestra la misma tendencia con la diferencia de que en el último muestreo se observó un aumento o el mismo nivel inicial de K debido a una lixiviación del horizonte superficial.

4.6.2 Contenido de calcio

La Figura No.5, muestra el contenido de calcio en las distintas épocas de muestreo y se observa que todos los tratamientos mostraron la misma tendencia: de un aumento después de la primera siembra, disminuyendo al final de la cosecha, como efecto de la absorción y posible lixiviación. Luego aumentó después de la segunda fertilización, siendo mayores estos aumentos para los tratamientos con cloruro de potasio y superfosfato, debido a las mayores cantidades de este elemento contenido en dichos fertilizantes 3% y 23-29% respectivamente (57).

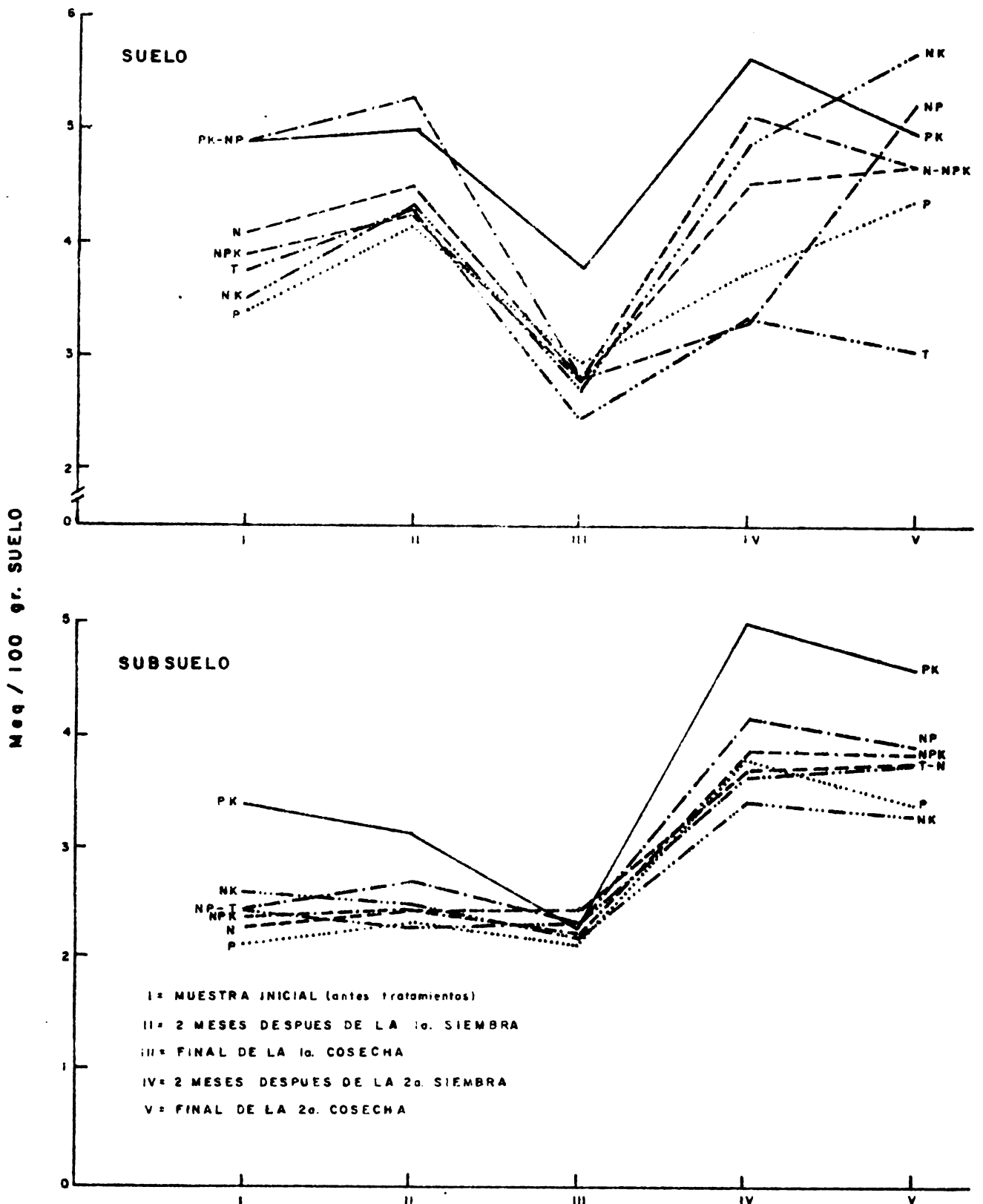


FIG. 5.-CONTENIDO DE Ca. CAMBIABLE DURANTE VARIAS EPOCAS DE MUESTREO A TRAVES DE DOS COSECHAS EN EL SUELO Y SUBSUELO

Para el subsuelo, se observa mayor homogeneidad, debido principalmente al contenido inicial de Ca cambiabile. El aumento después de la primera cosecha parece deberse en parte a la lixiviación de la capa superficial.

4.6.3 Contenido de magnesio

De acuerdo a la Figura No. 6, el comportamiento del Mg no demuestra la misma tendencia que el Ca, observándose en general, una disminución a través de las cosechas. Los pequeños aumentos después de cada fertilización se observaron para los tratamientos que recibieron superfosfato y cloruro de potasio, (57), a excepción de T, lo que posiblemente se debe al balance natural del suelo. En el subsuelo se presentó la misma situación que en el suelo, llegando todos los tratamientos a un mismo nivel, exceptuando PK, por su mayor contenido inicial.

4.7 Correlación entre la primera y segunda cosecha de maíz y el análisis inicial y final del suelo y subsuelo.

4.7.1 Relaciones entre la primera cosecha, para cada tratamiento y el análisis de las muestras iniciales (antes de abonar).

En el Cuadro No. 20 se presentan la asociación entre cosechas y propiedades del suelo y subsuelo.

En las parcelas testigo, existe una alta correlación entre la producción y los elementos y relaciones entre elementos del suelo, exceptuando el K y la relación C/N.

En cuanto al subsuelo se encontró una baja correlación con el porcentaje de saturación de bases, Mg, Al, M. O. y la relación C/N: media con la CIC y Ca/Mg y alta para el resto de las determinaciones.

Las unidades experimentales tratadas con nitrógeno, mostraron una correlación baja entre producción y los diferentes elementos del suelo, mediana para K y alta para P, Al y relaciones Ca/Mg, $\frac{Ca+Mg}{K}$ y C/N.

Para el subsuelo hubo una baja correlación con los elementos P, Ca y C/N; media para porcentaje de saturación de bases, K, pH en H₂O, CIC y $\frac{Ca+Mg}{K}$ y una correlación alta con N, Mg, Al, M.O., pH en CaCl₂ y la relación Ca/Mg.

Para el tratamiento con P, la mayoría de los elementos y relaciones determinadas de los suelos, mostraron una alta correlación con su producción exceptuando M. O. y las relaciones C/N y Ca/Mg.

Para los subsuelos también se encontró una alta correlación para la mayoría de los elementos, mediana para el pH en H₂O y la relación C/N y baja para el Ca.

En general las correlaciones entre los elementos del suelo, determinados en las unidades que recibieron NP y la producción, fueron bajas, medianas para Al, CIC y C/N y una alta correlación para K, M. O. y $\frac{Ca+Mg}{K}$.

En el subsuelo la cosecha inicial dió una alta correlación con % SB, Mg, CIC, Ca/Mg y C/N; media para N, Al, M. O. y baja para P, K, Ca y la relación $\frac{Ca+Mg}{K}$.

En las unidades del tratamiento NK, la producción mostró una alta correlación para el %SB, Ca, Al, pH, Ca/Mg y C/N.

correlación media para le M. O. y baja correlación para el N, P, K, Mg, CIC y $\frac{Ca+Mg}{K}$.

En el subsuelo en cambio se observó una alta correlación para el K, Mg, pH, Ca/Mg, $\frac{Ca+Mg}{K}$ y C/N: mediana para N, P y M. O. y baja para el %SB, Ca, Al y CIC.

Las unidades experimentales con el tratamiento PK, en el suelo, guardaron en general una alta correlación entre la producción y los elementos analizados, exceptuando M. O. , P, K, y Ca/Mg.

4.7.2 Relación entre la segunda cosecha para cada tratamiento y el análisis de las muestras finales.

La producción, Cuadro No. 21, de las parcelas que no recibieron ningún tratamiento mostraron una correlación alta con %SB, Ca, Mg, pH, las relaciones Ca/Mg, $\frac{Ca+Mg}{K}$ y C/N; mediana con Al y baja correlación para el resto de los análisis.

En los subsuelos la correlación fue alta para P, Mg, pH, CIC, Ca/Mg, y C/N y baja correlación para K y Ca.

En general para el tratamiento N, hubo alta correlación entre la cosecha y los elementos del suelo, media para %SB, P, Mg y CIC y baja para K, Al, M. O., pH y $\frac{Ca+Mg}{K}$.

Las parcelas que recibieron tratamiento de P mostraron una alta correlación entre rendimientos y N, P, K, Al, M. O. , pH, $\frac{Ca+Mg}{K}$ y C/N; media para Ca, Mg, y CIC y baja para %SB y Ca/Mg.

En general para los subsuelos, la correlación fue alta con todas las propiedades excepto con el nivel de P que dió una correlación baja.

Cuadro No. 20. Correlación lineal entre la primera cosecha de maíz y el análisis inicial del suelo (A) y subsuelo (B).

Cosecha Hori- del zonte trat.	%SB	N	P	K	Ca	Mg	Al	M.O.	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	CIC	Ca/ Mg	$\frac{Ca+Mg}{K}$	C/ N
T	A	-.99	-1.00	.84	.07	-.97	-1.00	-.98	-.98	-.93	-.98	-.98	-.84	-.56
	B	.44	-.83	.69	.93	-.83	-.32	-.26	-.83	-.67	-.51	-.61	-.97	.07
N	A	.05	-.14	.95	.63	-.17	.99	.22	.35	.35	.22	-.77	-.95	.98
	B	.61	-.87	.43	.62	-.17	-.75	-.79	-.48	-.94	-.55	-.94	-.56	-.35
P	A	-.76	-.99	.91	.99	-.74	-.94	-.48	-.81	-.91	-.73	-.41	-.99	.58
	B	.69	-.91	.81	-.76	.10	-.71	-.84	-.84	-.59	-.99	-.99	-.88	-.58
NP	A	-.19	.40	.24	.95	-.15	.46	.77	-.53	-.22	.50	-.26	-.66	.53
	B	.99	-.58	-.39	.27	.25	-.56	-.59	.67	-.31	-.85	-.87	-.26	-.78
NK	A	.66	-.09	-.28	.38	.86	-.87	.48	.74	.92	.11	.75	-.14	.98
	B	-.06	.59	.63	-1.00	-.39	-.44	.55	-.95	-.98	-.03	-.98	.99	.67
PK	A	-.77	-.87	-.42	-.41	-.85	.99	-.58	-.86	.81	-.93	-.99	-.94	-.41
	B	-.95	-.26	.21	.88	-.41	.02	-.62	-.29	-.99	.79	.29	-.75	-.99
NPK	A	-.88	.04	.99	-.14	-.99	.86	.35	-.97	-.99	.22	-.41	-.27	.79
	B	-.91	.70	.48	.89	-.93	.27	.51	-.93	-.99	.91	.55	-.92	-.93

Cuadro No. 21. Correlación lineal entre la segunda cosecha de maíz y el análisis final del suelo (a) y subsuelo (B).

Cosecha del trat.	Hori-zonte	%SB	N	P	K	Ca	Mg	Al	M.O.	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	CIC	Ca/Mg	Ca+Mg/K	C/P
T	A	.89	.04	.29	-.11	.99	.86	-.63	.33	.69	.89	.32	.85	.85	.69
	B	-.46	.69	.97	-.23	-.23	-.98	.93	.64	.84	.81	.88	.94	.54	.69
N	A	.79	.66	-.76	-.13	.82	.53	.66	.89	.95	.86	.60	.53	.47	.20
	B	.65	-.90	-.66	-.41	.96	-.49	-.39	-.22	.53	.20	-.57	.82	.17	.20
P	A	-.28	-.71	.99	.97	-.56	-.62	-.78	.75	-.68	-.84	-.46	.05	-.80	-.97
	B	.98	-.84	-.23	.99	.71	.90	-.96	-.93	-.84	-.84	-.99	-.93	-.97	-.99
NP	A	.24	.03	.96	.99	-.04	-.20	-.96	.17	-.15	-.62	.04	.45	-.69	.19
	B	.99	-.74	.58	.88	.90	.87	-.99	-.80	-.99	-.97	-.99	-.87	-.98	-.98
NK	A	.99	-.75	-.22	-.84	.95	.44	-.96	.20	.20	.95	.26	.70	.95	.15
	B	.31	-.43	.97	.93	-.66	-.43	-.76	.05	-.93	-.95	-.40	.28	-.99	.20
PK	A	.21	-.15	-.25	-.15	.11	.62	-.24	.30	.61	.47	.32	-.99	.28	.36
	B	.31	.47	.28	-.92	.13	.99	-.40	.48	.25	.09	-.28	-.84	.90	.52
NPK	A	.71	.82	.99	.95	.15	.74	-.90	-.80	.62	.50	-.76	-.93	-.19	.99
	B	-.25	-.18	.89	-.89	-.18	.13	.19	-.67	-.18	.05	-.28	-.98	.99	.99

En el tratamiento NP, se observó una alta correlación, entre la producción y P, K, Al, y $\frac{Ca+Mg}{K}$; media para Ca/Mg y pH y baja para las otras propiedades.

En el subsuelo la correlación fue alta.

En general no se encontraron correlaciones de mayor significancia entre la primera producción y las propiedades de las muestras iniciales, lo cual puede deberse en parte a que dichos elementos fueron determinados antes de que los tratamientos fueran aplicados. Sin embargo, se puede apreciar en el cuadro de los análisis finales y la segunda cosecha, es entre producción y los diferentes análisis.

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El presente estudio se llevó a cabo en el laboratorio de suelos y en terrenos del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas en Turrialba, Costa Rica. Tuvo como objetivo estudiar el efecto de varias combinaciones de N, P y K sobre la producción de maíz y frijol, así como su efecto residual sobre la productividad y algunas propiedades del suelo. Se usó un diseño experimental de bloques al azar, con 7 tratamientos a 3 repeticiones. El tamaño de las unidades experimentales en el ensayo de maíz fue de 7 metros por 15 metros y para el frijol de 7 metros por 7 metros. Las fuentes de nutrimentos usadas fueron, nitrato de amonio al 33%, superfosfato simple al 20% y cloruro de potasio al 60%, en dosis de 200, 400 y 200 kilogramos por hectárea de N, P_2O_5 y K_2O respectivamente, aplicado al voleo.

El experimento tuvo una duración de un año, correspondiendo a dos cosechas de maíz y dos de frijol.

Para el estudio de los cambios en las propiedades del suelo y subsuelo, se efectuaron: un análisis inicial (antes del primer tratamiento), análisis parciales (cada dos meses) y un análisis final (después de la segunda cosecha). Las propiedades estudiadas fueron: pH, M.O., N total, P asimilable y fosfatos inorgánicos, bases cambiables (Ca, Mg y K), Al extraíble, capacidad de intercambio catiónico y las distintas relaciones entre ellos.

De los resultados obtenidos se derivaron las conclusiones siguientes:

Ensayo de Maíz:

Para la primera cosecha, el maíz respondió significativamente

al N, solo o combinado. En la segunda cosecha, el tratamiento N dió resultados diferentes a NP y NPK, por lo que se considera que el P tuvo efecto significativo en combinación con N. El K produjo un efecto detrimental sin significancia estadística.

La respuesta a la fertilización nitrogenada se tradujo en un aumento del número y tamaño de mazorcas y por consiguiente de la producción.

Tanto en la primera como segunda cosecha el aspecto del cultivo mostró las mejores características, como altura, vigor, coloración, floración más temprana, los tratamientos NP y NPK.

Se encontró un aumento en la producción de casi el doble, para la segunda cosecha sobre la primera, debido al efecto residual de la primera fertilización, principalmente en los tratamientos NP, NK, NPK y PK. En la segunda cosecha se obtuvo cierta utilidad a causa del efecto residual de los abonos fosfatados, aplicados en la primera fertilización.

Frijol:

El frijol respondió significativamente a los tratamientos NP y NPK, en la primera cosecha y la misma respuesta persistió para la segunda cosecha.

Según observaciones de campo, se comprobó que las unidades experimentales correspondientes a los tratamientos P, NPK y NP, mostraron las mejores apariencias en cuanto a color y tamaño de las plantas.

Para la segunda cosecha, se detectó un aumento de casi el doble de producción sobre la primera, que probablemente se debe al efecto residual del primer abonamiento.

Según el análisis económico de la primera cosecha de frijol, la mayor utilidad fue obtenida con el tratamiento NP: sin embargo, en

la segunda cosecha ésta fue para P solo.

Comparando los cultivos de maíz y frijol, se puede observar que el maíz respondió satisfactoriamente a los tratamientos combinados de NK, NP y NPK, siendo el elemento N el de mayor influencia en este cultivo. En el frijol la respuesta a NP y NPK se debió más que todo al elemento P.

La mayor "utilidad" obtenida por el frijol sobre el maíz, probablemente se debe al precio del frijol y a los mejores rendimientos que se obtuvieron.

El efecto residual más marcado, para ambos cultivos, correspondió al P.

Efecto del abono sobre las propiedades del suelo y subsuelo:

La materia orgánica no sufrió disminución debido a la contribución del sistema radical del maíz que no fue removido. Se encontró que en las unidades tratadas con P, el contenido de materia orgánica fue mayor como consecuencia del mayor tamaño del sistema radical.

La favorable respuesta al N y el alto contenido de N total en el suelo, demuestra que la mayor parte del N se encuentra en forma orgánica, de mineralización lenta, como efecto de la baja acción microbiana y la fijación de la materia orgánica por minerales amorfos.

Debido a la lenta mineralización del N orgánico y el ligero aumento de la M. O., la relación C/N sufrió un incremento.

En general, estos suelos tienen una alta capacidad de abastecimiento de potasio, lo que ocasionó un aumento de K cambiabile. Esto a su vez resultó en un desplazamiento del Ca y Mg cambiabiles, los cuales disminuyeron, al ser absorbidos por las plantas, parcialmente lixiviados, o precipitados como fosfatos en el caso del Ca y sulfato en el caso del Mg.

El aluminio presentó gran estabilidad, no sufriendo cambios de importancia, lo cual está de acuerdo con el pH que tampoco sufrió cambios notables.

El fósforo disponible, sufrió una disminución en todas las unidades experimentales, como efecto del aprovechamiento del cultivo y fijación en el suelo. Debido al bajo pH, el P aplicado fue fijado en su mayoría a formas de fosfatos de aluminio, hierro y en menor escala de calcio.

En vista de que la materia orgánica, no sufrió disminución, sino cambios pequeños y los minerales de arcilla no pudieron sufrir alteración, en el período de un año, la capacidad de intercambio catiónico, no fue alterada.

Hubo una disminución en el porcentaje de saturación de bases, como consecuencia de las pérdidas del calcio y magnesio.

La relación Ca/Mg, casi permaneció constante debido a que ambos componentes disminuyeron más o menos en igual intensidad.

La relación entre bases divalentes y monovalentes fue menor al final del experimento, debido por un lado al aumento de K y por otro a la disminución de Ca y Mg.

El análisis de la reacción del suelo (pH), medido en agua mostró variación de acuerdo con la época de muestreo y la pluviometría; dicha variación no se encontró con la medición en CaCl_2 0.01 M.

Los fertilizantes usados, nitrato de amonio, superfosfato simple, y cloruro de potasio no tuvieron influencia en la reacción del suelo, solos o combinados, en dos adiciones de 200, 400 y 200 kilogramos por hectárea respectivamente, durante el período de un año, como lo demuestra el pH.

SUMMARY

The present study was carried out in the soils laboratory and in the fields of the Inter-American Institute of Agricultural Sciences in Turrialba, Costa Rica. Its objective was to study the effect of various combinations of N, P, and K on corn and beans, using the randomized block design. The nutrient sources used were ammonium nitrate (33% N), simple superphosphate (20% P_2O_5) and potassium chloride (60% K_2O).

The study encompasses two harvests of corn and beans, over a one-year period.

Also was studied the residual effect of the fertilizers and the chemical changes undergone by the soil and the subsoil. Were carried out initial analysis (before the first treatment), partial ones (every two months) and a final one (after the second harvest), to study some soil and subsoil properties such as pH, O.M., total N, available P and inorganic phosphates, exchangeable bases (Ca, Mg, and K), extractable Al, cationic exchange capacity and the different relations among them.

The results showed that:

- both corn and beans had a significant response to the NP and NPK treatments.
- there was an increase of production in the second harvest, as a residual effect of the first fertilization.
- there was a decrease of Ca and Mg due to the increase in K, and a decrease in available P.
- there was an increase of the inorganic phosphates as a consequence of the phosphorus additions.

- there was no alteration of the exchange capacity during a one-year period after the two fertilizer applications.
- the pH measured in water showed a variation according to the time of sampling.
- the pH measured in CaCl_2 0.01 M did not vary as to the sampling time.
- Quantities of 200 kg/ha ammonium nitrate, 400 kg/ha simple superphosphate and 200 kg/ha of potassium chloride applied twice during the year did not change the soil pH.

LITERATURA CITADA

1. AGUIRRE, J. A. y SALAS, A. Zonificación del cultivo de frijol en Centro América y Panamá. Turrialba (Costa Rica) 15(4): 300-306. 1965.
2. ALBAREDA, J. y HOYOS DE CASTRO, A. Edafología. Madrid, Sociedad de Traductores y Autores, 1961. pp. 266-273.
3. ALBEN, A. O. y HAMMAR, H. E. Soil penetration and uptake of P and K in a 10-year NPK fertilizer experiment with Schley pecan trees. Soil Science 97:179-182. 1964.
4. ALLISON, F. E. The fate of nitrogen applied to soils. Advances in Agronomy 18:219-258. 1966.
5. BAIRD, G. B., RODRIGUEZ, M. y SANCHEZ P., C. Algunos estudios de campo sobre la fertilización del maíz en Colombia. In Reunión Interamericana de Fitogenetistas, Fitopatólogos, Entomólogos y Edafólogos, 3a, Bogotá, D. E., Junio 20 - Julio 1º, 1955. Bogotá, Colombia, Ministerio de Agricultura, 1958. p. 397.
6. BATES, J. A. A. y BAKER, T. C. N. Studies on a Nigerian forest soil. II. The distribution of phosphorus in the profile and in various soil fractions. Journal of Soil Science 11(2):257-265. 1960.
7. BENNETT, W. F., PESEK, J. y HANWAY, J. Effect of nitrogen on phosphorus absorption by corn. Agronomy Journal 54(5): 437-442. 1962.
8. BIRCH, H. T. et al. Necesidad de fertilizantes de maíz. Mensajero Agrícola (Perú) 23(141):56-57. 1961.
9. BLAKE, G. R. Bulk density. In Black, C. A. et al. Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 374-389. (Agronomy no. 9)
10. BOAWN, L. C., NELSON, J. L. y CRAWFORD, C. L. Residual nitrogen from NH_4NO_3 fertilizer and from alfalfa plowed under. Agronomy Journal 55:231-235. 1963.
11. BORNEMISZA, E. Conceptos modernos de acidez del suelo. Turrialba (Costa Rica) 15(1):20-24. 1965.

12. BOTACIO, J., Jr. Resultados obtenidos con un ensayo del proyecto cooperativo centroamericano de fertilización del maíz. In Reunión Centroamericana sobre Mejoramiento del Maíz, 8a, San José, Costa Rica, 1962. México, D. F., s.f. pp. 68-69.
13. BOUYOUCOS, C. J. Recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soils. Agronomy Journal 43:434-438. 1950.
14. BOWER, C. A. et al. Exchangeable cation analysis of saline and alkaline soils. Soil Science 73:251-261. 1952.
15. BRAY, R. H. y KURTZ, L. T. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science 59: 39-45. 1945.
16. BREMMER, J. M. Total nitrogen. In Black, C. A. et al. Methods of soil analysis. II. Chemical and microbiological properties. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 1171-1175. (Agronomy no. 9).
17. BRESSANI, R. Maíz, arroz y frijol, su valor nutritivo y formas de mejorarlo. In Reunión Anual Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, 11a, Panamá, Marzo 17-19, 1965. Informe. Guatemala, Librería Indígena, s.f. pp. 1-9.
18. _____ . Efecto de la fertilización sobre el contenido de proteína y valor nutritivo del frijol. In Reunión Anual Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, 13a, San José, Costa Rica, Febrero 28-Marzo 4, 1967. Trabajos. México, D. F., 1967. pp. 42-44.
19. BROADBENT, F. E. Effect of fertilizer nitrogen on the release of soil nitrogen. Soil Science Society of America. Proceedings 29:692-696. 1965.
20. _____ y NAKASHIMA, T. Plant uptake and residual value of six tagged nitrogen fertilizers. Soil Science Society of America, Proceedings 32:388-392. 1968.
21. BURKERSRODA, K. W. VON. Fertilizing maize in Rhodesia. World Crops 16(2):75-79. 1964.
22. CALZADA BENZA, J. y CHAVEZ, A. Abonamiento del maíz en la sierra. Agronomía (Perú) 27(2):181-199. 1960.

23. CAMPBELL, R. E. Phosphorus fertilizer residual effects on irrigated crops in rotation. Soil Science Society of America. Proceedings 29:67-70. 1965.
24. CAPSTICK, D. F. y MINKLE, D. A. Economics of corn fertilization. Arkansas Farm Research 12(6):3. 1963.
25. CASTAÑEDO M., J. G. Informe de los trabajos de fertilización de maíz en Guatemala. In Reunión Centroamericana sobre Mejoramiento del Maíz, 5a, Panamá, 1959. Proyecto Cooperativo Centroamericano. México, D.F., Editorial Comaval, s.f. pp. 25-26.
26. COOK, R. L. y DAVIS, J. F. The residual effect of fertilizer. Advances in Agronomy 9:205-216. 1957.
27. COOKE, G. W. The value and valuation of fertilizer residues. Journal of the Royal Agricultural Society of England 128: 7-25. 1967.
28. CUNNINGHAM, R. K., SMITH, R. W. y HURD, R. G. A cocoa shade and manurial experiment at the West African Cocoa Research Institute, Ghana. II. Second and third years. Journal of Horticultural Science 36:116-125. 1961.
29. CHACON, M. E. Ensayo sobre fertilización nitrogenada e inoculación de frijoles. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, 1961. 72 p.
30. DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. In Black, C. A. et al. Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 545-567. (Agronomy no.9)
31. DIAZ-ROMEY, R. y BALERDI, F. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1967. 3 p. (mimeografiado)
32. _____ y JIMENEZ, E. Efecto residual de los fertilizantes en las propiedades químicas del suelo del ensayo La Lola No.2. In Cacao, informe anual 1965-1966. Turrialba(Costa Rica) 11(3):9-12. 1966.
33. _____ y JIMENES, E. Efecto residual de la aplicación de fertilizantes a suelos para cacao. In American Society for Horticultural Science, Caribbean Region, 14th Annual Meeting, San Salvador, El Salvador. Proceedings. Tegucigalpa, 1967. v. 10, pp. 76-88.

34. ECHANDI, E. Programa regional del frijol para Centroamérica. In Seminario Internacional sobre Investigación Económica y Experimentación Agrícola, Santiago, Chile, 1968. Montevideo, Uruguay, IICA, Zona Sur, 1967. 20 p.
35. ENGELHORN, A. J., PESEK, J. y SHRADER, W. D. Role of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers in continuous corn culture on Nicollet and Webster soils. Iowa Agricultural and Home Economics Experiment Station. Research Bulletin no. 522. 1964. 20 p.
36. ESPINOZA S., E. Información sobre el cultivo del frijol en Panamá. In Reunión Centroamericana para el Mejoramiento del Frijol, 1a. San José, Costa Rica, Marzo 12-16, 1962. Mejoramiento del frijol. México, D. F., Imprenta Benjamín Franklin, 1962. pp. 41-42.
37. EXPERIMENTO FACTORIAL conducido con maíz en Hidalgo, Michoacán, para investigar cuatro fórmulas fertilizantes y tres densidades de siembra. Boletín de Guanos y Fertilizantes de México 2(14):4-7. 1958.
38. LA FALTA de nutrimentos en el maíz. Nuestra Tierra Paz y Progreso (Nicaragua) no. 20:13-15. 1961.
39. FASSBENDER, H. W. Fraccionamiento de fosfatos inorgánicos del suelo. Recopilación de métodos empleados en el Departamento de Suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1967. 4 p. (mimeografiado)
40. _____. Guía para el curso de química de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1968. 284 p. (mimeografiado)
41. _____. La fertilización del frijol (Phaseolus sp.). Turrialba (Costa Rica) 17(1):46-52. 1967.
42. _____, MÜLLER, L. y BALERDI, F. Estudio del fósforo en suelos de América Central. II. Formas y su relación con las plantas. Turrialba (Costa Rica) 18(4):333-347. 1968.
43. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Los fertilizantes y su empleo. Roma, 1965. 60 p.
44. GEUS, J. G. DE. Fertilizer guide for tropical and subtropical farming. Zurich, Centre d'Etude de L'Azote, 1967. pp. 77-87.
45. GIL BENAVIDES, A. A. Comparación entre cuatro fertilizantes nitrogenados en maíz, en un suelo del Valle del Cauca, Colombia. Acta Agronómica (Colombia) 9(3-4):153-157. 1959.

46. GRIMES, D. W. y HANWAY, J. J. An evaluation of the availability of K in crop residues. Soil Science Society of America. Proceedings 31:705-706. 1967.
47. GRUNEBERG, F. H. Nutrición y fertilización del maíz. Boletín Verde (Alemania) no. 9:1-46. 1959.
48. HANNAPPEL, R. J. et al. Phosphorus movement in a calcareous soil. I. Predominance of organic forms of phosphorus in phosphorus movement. Soil Science 97:350-357. 1964.
49. HANWAY, J. J. Corn growth and composition in relation to soil fertility. II. Uptake of N, P, and K and their distribution in different plant parts during the growing season. Agronomy Journal 54(3):217-222. 1962.
50. HARDY, F. The soils of the IAIAS area (Turrialba, Costa Rica). Part I. Pedological aspects, Part II. Nutritional aspects. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. 76 p. (mimeografiado)
51. HARPER, H. J. y BRENSING, O. H. Effect of ammonium nitrate on corn production in Oklahoma 1948. Oklahoma Agricultural Experiment Station. Mimeographed Circular M-178. 1949. 6 p.
52. HECK, A. F. Phosphate fixation and penetration in soils. Soil Science 37:343-355. 1934.
53. HINKLE, D. A. y GARRET, J. D. Corn fertilizer and spacing experiments. Arkansas Agricultural Experiment Station. Bulletin no. 635. 1961. 34 p.
54. HOLDRIDGE, L. R. Mapa ecológico de Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Materiales de Enseñanza en Café y Cacao no. 16. 1959. 1 p.
55. HOOVER, C. D. Residual effect of varying applications of potash on the replaceable potassium in several Mississippi soils. Soil Science Society of America. Proceedings 8:144-149. 1943.
56. IGLESIAS, G. E. Estudio sobre la respuesta del frijol (Phaseolus vulgaris) a los fertilizantes. In Reunión Centroamericana para el Mejoramiento del Frijol, 1a, San José, Costa Rica, Marzo 12-16, 1962. Mejoramiento del frijol. México, D. F., Imprenta Benjamín Franklin, 1962. pp. 31-40.
57. JACOB, A. y UEXKULL, H. VON. Fertilización, nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. Amsterdam, Internationale Handelmaatschappij voor Meststoffen N. V., 1961. 626 p.

58. JANSSON, S. L. Balance sheet and residual effects of fertilizer nitrogen in 6-year study with ^{15}N . Soil Science 95:31-37. 1963.
59. LAIRD, R. J. Técnicas de campo para experimentos con fertilizantes. México, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Folleto de Investigación no. 9. 1968. 48 p.
60. _____. La fertilización del maíz. In Reunión Centroamericana sobre Mejoramiento del Maíz, 6a, Managua, Nicaragua, 1960. Proyecto Cooperativo Centroamericano. México, D. F., s.f. pp. 44-50.
61. LEAMER, R. W. Residual effects of phosphorus fertilizer in an irrigated rotation in the southwest. Soil Science Society of América. Proceedings 27:65-68. 1963.
62. LEGG, J. O. y ALLISON, N. E. A tracer study of N balance and residual N availability with 12 soils. Soil Science Society of America. Proceedings 31:403-406. 1967.
63. LETELIER A., E. El efecto residual en los cálculos de rentabilidad de los fertilizantes. In Seminario Internacional sobre Investigación Económica y Experimentación Agrícola, Santiago, Chile, 1966. Montevideo, Uruguay, IICA, Zona Sur, 1967. pp. 159-163.
64. LIZARRAGA H., H. Aplicación de fertilizantes en maíz en Nicaragua. In Reunión Centroamericana sobre Mejoramiento del Maíz, 5a, 1959. Proyecto Cooperativo Centroamericano. México, D. F., Editorial Comaval, s.f. pp. 17-20.
65. _____. Rendimientos de frijol en pruebas de fertilizantes en cuatro países de Centroamérica, 1962-1963. In Reunión Anual Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, 12a, Managua, Nicaragua, Marzo 28 - Abril 2, 1966. Memoria. s.n.t. pp. 51-53.
66. _____ y KUILE, C. H. H. ter. Resumen del trabajo inicial con maíz en El Salvador y Honduras. Programa de fertilizantes, campaña mundial contra el hambre, FAO. In Reunión Centroamericana sobre Mejoramiento del Maíz, 9a, San Salvador, El Salvador, 1963. Proyecto Cooperativo Centroamericano. México, s.f. pp. 76-79.
67. LONG, O. H. y SEATZ, L. F. Correlation of soil test for available phosphorus and potassium with crop yield responses to fertilization. Soil Science Society of America. Proceedings 17:258-262. 1953.

68. McLEAN, E. O. Aluminum. In Black, C. A. et al. Methods of soil analysis. II. Chemical and microbiological properties. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 978-998. (Agronomy no. 9)
69. MALCOLM, J. L. Ensayos cooperativos sobre fertilizantes para maíz en Centroamérica, en el año de 1961. In Reunión Centroamericana sobre Mejoramiento del Maíz, 8a, San José, Costa Rica, 1962. Proyecto Cooperativo Centroamericano. México, s.f. pp. 69-75.
70. MARTINI, J. A. Caracterización del estado de potasio en seis suelos de Panamá. Fitotecnia Latinoamericana (Costa Rica) 3(1-2):163-186. 1966.
71. _____. Guía para la investigación en el abonamiento del frijol para el PCCMCA, 1968. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Publicación Miscelánea no. 53. 1968. 28 p.
72. _____ y PINCHINAT, A. M. Ensayos de abonamiento del frijol (Phaseolus vulgaris L.) en el invernadero con tres suelos de aéas frijolerías de Costa Rica. Turrialba (Costa Rica) 17(4):411-418. 1967.
73. METZGER, W. H. Phosphorus fixation in relation to the iron and aluminum of the soil. Agronomy Journal 33:1093. 1941.
74. MIRANDA M., H. Efecto de la distancia entre surcos sobre rendimiento del frijol. In Reunión Anual Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, 11a, Panamá, Marzo 17-19, 1965. Informe. Guatemala, Librería Indígena, s.f. pp. 89-91.
75. MÜLLER, L. Un aparato micro-kjeldhal simple para análisis rutinarios rápidos de materias vegetales. Turrialba (Costa Rica) 11(1):17-25. 1961.
76. MUNSELL SOIL color charts. Baltimore, Munsell, 1954. 20 p.
77. MUNSON, R. D. Effect of corn residue on nitrogen availability in soils (Abstract of doctoral thesis). Iowa State Journal of Science 32(2):230-231. 1957.
78. NARVAEZ C., J. M. Ensayo de fertilizantes en frijol, llevado a efecto en La Calera, Depto. de Managua, Nicaragua. In Reunión Centroamericana del Proyecto Cooperativo Centroamericano del Mejoramiento del Frijol, 3a, Antigua, Guatemala, Marzo 2-4, 1964. Informe. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Publicación Miscelánea no. 22. 1965. pp. 67-68.

79. OLSEN, S. R. et al. Residual phosphorus availability in long-time rotation on calcareous soil. Soil Science 78:141-151. 1954.
80. ORTIZ M., O. Ensayos de fertilización de maíz en Guatemala. In Reunión Centroamericana sobre Mejoramiento del Maíz, 8a, San José, Costa Rica, 1962. Proyecto Cooperativo Centroamericano. México, s.f. pp. 53-55.
81. _____. Experiencias sobre fertilización en Guatemala. Guatemala. Ministerio de Agricultural. Boletín Técnico no. 15. 1965. 37 p.
82. PARKER, D. T. y LARSON, W. E. Crop residue placement in soil and its effect upon growth of corn. Agronomy Journal 54(3):263-267. 1962.
83. PEECH, M. Hydrogen-ion activity. In Black, C. A. et al. Methods of soil analysis. II. Chemical and microbiological properties. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 915-926. (Agronomy no. 9)
84. PEREGRINA, R. P. y MORENO DHOME, R. Síntomas de desnutrición en el maíz y prácticas de fertilización recomendables. Panagra (México) 2(27):35-48. 1963.
85. PINCHINAT, A. Factores limitantes en el cultivo del frijol en Centroamérica. In Reunión Anual Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, 11a, Panamá, Marzo 17-19, 1965. Informe. Guatemala, Librería Indígena, s.f. pp. 69-73.
86. _____. Ensayos extensivos de fertilizantes en Centroamérica 1966-1968 en frijol. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Publicación Miscelánea no. 58. s.f. 25 p.
87. _____. El cultivo del frijol en Centroamérica. Extensión en las Américas (Costa Rica) 11(2):27-32. 1966.
88. PUENTE F., F. et al. Prácticas de fertilización y población óptima para siembras de maíz en las regiones tropicales de Veracruz, México. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Folleto Técnico no. 45. 1963. 53 p.
89. QUIRCE, C. Ensayo de fertilización NPK Ca e inoculación de frijoles. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, 1960. 66 p.
90. RODRIGUEZ BELLO, A. Resultados obtenidos sobre abonamiento en maíz. Ingeniería Agronómica (Venezuela) no. 3:28-29. 1960.

91. RODRIGUEZ, M. y BAIRD, G. B. Fertilización del maíz en el Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas "Tulio Ospina". Agricultura Tropical (Colombia) 19(3):138-148. 1963.
92. _____ y RODRIGUEZ, L. Ensayos de fertilizantes en frijol en la zona norte de Nicaragua, 1966. In Reunión Anual Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, 13a, San José, Costa Rica, Febrero 28 - Marzo 4, 1967. Trabajos. México, D. F., 1967. pp. 47-48.
93. ROMERO F., J. Ensayos de fertilizantes realizados dentro del PCCMCA en Honduras, 1961. In Reunión Centroamericana sobre Mejoramiento del Maíz, 8a, San José, Costa Rica, 1962. Proyecto Cooperativo Centroamericano. México, s.f. pp. 59-61.
94. SAIZ DEL RIO, J. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos: métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. 107 p.
95. SALAS, C. A. y BONILLA, N. Fertilización química del maíz en Costa Rica. In Reunión Centroamericana sobre Mejoramiento del Maíz, 9a, San Salvador, El Salvador, 1963. Proyecto Cooperativo Centroamericano. México, s.f. pp. 83-85.
96. _____ y BONILLA, N. Ensayos de fertilización del PCCMM en Costa Rica. In Reunión Centroamericana sobre Mejoramiento del Maíz, 8a, San José, Costa Rica, 1962. Proyecto Cooperativo Centroamericano. México, s.f. pp. 65-68.
97. SCHOFIELD, R. K. y TAYLOR, A. W. The measurement of soil pH. Soil Science Society of America. Proceedings 19:164-167. 1965.
98. SILVA, T. y GOUVEA, F. C. Ensaio de adubação NPK para feijão. Boletim de Agricultura (Minas Gerais, Brasil) 4(11-12):139. 1955.
99. SMITH, R. W. y ACQUAYE, D. K. Fertilizer responses on peasant cocoa farm in Ghana: a factorial experiment. Empire Journal of Experimental Agriculture 31:115-123. 1963.
100. SOTO, A. La fijación del nitrógeno atmosférico por Rhyzobium, fósforo y potasio. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, 1961. 96 p.
101. SPENCER, W. F. Phosphorus fertilization of citrus. Florida Agricultural Experiment Station. Bulletin no. 653. 1963. 14 p.

102. SUAREZ DE CASTRO, F. y RODRIGUEZ, A. F. Efectos del nitrógeno, el fósforo y el potasio sobre la producción de maíz. Cenicafé (Colombia) 10(11):485-495. 1959.
103. SUAREZ H., A. Caracterización del estado del potasio en tres grandes grupos de suelos de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1968. 305 p.
104. SWENSON, R. M., COLE, C. V. y SIELING, D. H. Fixation of phosphate by iron and aluminum and replacement by organic and inorganic ions. Soil Science 67:3-22. 1949.
105. SWOBODA, A. R. y THOMAS, G. W. The movement of sulfate salts in soils. Soil Science Society of American. Proceedings 29:540-544. 1965.
106. TAPIA B., H. Ensayos de fertilizantes en frijol en Nicaragua. In Reunión Anual Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, 11a, Panamá, Marzo 17-19, 1965. Informe. Guatemala, Librería Indígena, s.f. pp. 91-94.
107. THOMAS, J. R. Availability of residual phosphorus as measured by alfalfa yields, phosphorus uptake and soil analysis. Soil Science 98:78-84. 1964.
108. THOMPSON, L. M., BLACK, C. A. y ZOELLNER, J. A. Occurrence and mineralization of organic phosphorus in soils, with particular reference to association with nitrogen, carbon and pH. Soil Science 77:185-196. 1954.
109. ULRICH, A. et al. Use of radioactive phosphorus in a study of the availability of phosphorus to grape vines under field conditions. Soil Science 64(1):17-28. 1948.
110. U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Manual de levantamiento de suelos. Trad. de Juan B. Castillo. Caracas, Ministerio de Agricultura y Cría, 1965. 646 p.
111. VADEMECUM DE la potasa. Llave de una fertilización racional. Hannover, Alemania, Verkaufsgemeinschaft Deutscher Kaliwerke GmbH, s.f. 160 p.
112. _____. Síntomas de deficiencia potásica. Hannover, Alemania, Verkaufsgemeinschaft Deutscher Kaliwerke GmbH, s.f. 72 p.
113. VIEIRA, C. y GOMES, F. R. Ensaio de adubação química do feijoeiro. Revista Ceres (Brasil) 11(65):253-264. 1961.

114. WELLS, K. L. y PARKS, W. L. Vertical distribution of soils phosphorus and potassium on several established alfalfa stands that received various rates of annual fertilization. Soil Science Society of America. Proceedings 25: 117-120. 1961.
115. WHITE, W. C., DUMENIL, L. y PESEK, J. Evaluation of residual nitrogen in soils. Agronomy Journal 50:255-259. 1958.
116. WIDDOWSON, F. V. y PENNY, A. Experiments measuring the residual effects of nitrogen fertilizers. Journal of Agricultural Science 65:195-200. 1965.
117. ZELAYA, R. Efectos del nivel de nitrógeno y fechas de siembra sobre los rendimientos del maíz en Nicaragua. In Reunión Centroamericana sobre Mejoramiento del Maíz, 6a, Managua, Nicaragua, 1960. Proyecto Cooperativo Centroamericano. México, s.f. pp. 51-52.
118. _____. Patrones de respuesta del maíz a las aplicaciones de nitrógeno, fósforo, potasio y elementos menores en Nicaragua. In Reunión Centroamericana sobre Mejoramiento del Maíz, 6a, Managua, Nicaragua, 1960. Proyecto Cooperativo Centroamericano. México, s.f. pp. 53-55.

APENDICE

Cuadro No. 1. Rendimiento Maíz Kg/Hectárea 1a. Cosecha.

Tratamientos	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T	1650	1350	1115	1372
N	2935	2880	2630	2815
P	2215	470	2020	1568
NP	3491	3370	3365	3408
NK	2850	3020	2240	2703
PK	590	1405	680	892
NPK	2534	3102	3445	3027

Cuadro No. 2. Rendimientos Maíz Kg/Hectárea 2a. Cosecha

Tratamientos	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T	1869	1363	2030	1754
N	3042	4473	3347	3621
P	2858	1892	2334	2361
NP	5279	4758	4657	4898
NK	5273	4543	3039	4285
PK	3518	2076	2605	2733
NPK	5468	4775	5235	5159

Cuadro No. 3. Rendimiento de Frijol Kg/Ha 1a Cosecha

Tratamientos	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T	434.0	548.6	437.5	472.2
P	652.8	1079.9	1059.0	930.6
NP	2072.9	1708.3	972.2	1583.3
NK	798.6	437.5	788.2	673.6
PK	506.9	736.1	687.5	642.4
NPK	1486.1	1416.7	1476.5	1548.6

Cuadro No. 4. Rendimiento de Frijol Kg/Ha 2a. Cosecha

Tratamientos	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T	1295.1	659.7	816.0	923.6
P	2208.3	2350.7	2000.0	2187.5
NP	2829.9	2243.0	2326.4	2465.3
NK	2486.1	861.1	1718.7	1687.5
PK	2055.6	1250.0	1954.9	1753.5
NPK	2906.2	2302.1	2590.3	2600.7

Cuadro No. 5. Fosfatos activos* en el suelo y subsuelo antes y después de dos cosechas de maíz, en tres parcelas tratadas con P y tres sin tratamiento (en ppm).

Horizontes y repeticiones	Aluminio		Hierro		Calcio		Totales activos	
	Iniciales	Finales	Iniciales	Finales	Iniciales	Finales	Iniciales	Finales
con P	231.12	273.30	300.68	338.81	57.27	27.33	589.06	639.45
	985.23	359.61	293.12	302.06	53.55	25.89	731.90	687.56
	238.67	187.00	274.29	271.69	50.73	17.26	563.70	475.95
Promedio	285.00	273.65	289.40	304.19	53.89	23.47	628.30	601.31
** %	45.75	43.55	46.06	48.41	8.58	3.73	100.00	95.70
SUELOS								
sin P	300.68	215.76	334.50	310.05	64.82	17.26	700.00	543.07
	311.95	139.01	313.75	306.87	51.63	13.46	677.34	459.34
	353.21	167.78	300.68	300.46	53.55	15.30	707.44	483.54
Promedio	321.98	174.22	316.35	305.79	56.71	15.30	695.04	495.32
%	46.32	25.06	45.50	44.00	8.16	2.20	100.00	71.26
SUB-SUELOS								
con P	63.71	66.55	127.30	297.26	41.23	34.73	232.25	398.53
	237.86	161.75	280.89	258.44	55.28	26.63	574.04	356.42
	87.98	71.34	185.39	393.15	36.52	40.71	309.89	599.62
Promedio	129.88	99.85	197.86	316.32	44.38	35.27	372.02	451.90
%	34.91	26.84	53.18	85.03	11.93	9.48	100.00	121.47
SUELOS								
sin P	87.98	28.54	200.00	152.20	36.52	21.40	252.81	202.96
	226.62	66.55	204.04	321.83	47.75	23.31	538.43	411.70
	337.07	137.89	310.89	321.83	63.71	24.26	711.68	483.99
Promedio	217.19	77.62	258.31	265.20	49.32	22.99	525.80	365.94
%	41.31	14.76	49.13	50.45	9.39	4.37	100.00	69.60

* Nota: los fosfatos solubles en NH₄Cl no aparecen en el cuadro por haber solo trazas.

** El % está tomado sobre el total inicial = 100.0%, para observar el aumento o disminución relativos de los diferentes fosfatos iniciales y finales respecto a éste.

Cuadro No. 6. pH en H₂O y CaCl₂ 0.01 M del suelo. Fechas de Muestreo.

Tratamientos y repeticio- nes	Muestra Inicial (antes de ali- car fertilizantes		2 meses después 1a. siembra		Muestra después 1a. cosecha		2 meses después 2a. siembra		Muestra Final	
	H ₂ O	CaCl ₂	H ₂ O	CaCl ₂	H ₂ O	CaCl ₂	H ₂ O	CaCl ₂		
T	5.2	4.7	5.5	4.6	6.0	4.7	5.5	4.7	5.2	4.8
Promedio	5.4	4.8	5.5	4.7	6.0	4.7	5.6	4.8	5.0	4.8
N	5.3	4.8	5.4	4.7	5.7	4.7	5.2	4.7	4.8	4.8
	5.7	5.1	5.6	4.9	6.0	4.9	5.6	4.9	5.0	5.0
	5.3	4.8	5.4	4.7	6.1	4.7	5.2	4.6	4.7	4.7
Promedio	5.4	4.9	5.5	4.8	5.9	4.8	5.3	4.7	4.8	4.8
P	5.3	4.7	5.5	4.7	5.6	4.6	5.4	4.7	4.7	4.7
	5.5	4.9	6.7	4.8	5.9	4.8	5.7	4.9	4.9	4.9
	5.1	4.6	5.4	4.6	5.8	4.5	5.3	4.6	4.7	4.7
Promedio	5.3	4.7	5.5	4.7	5.8	4.6	5.5	4.7	4.8	4.8
NP	5.3	4.8	5.4	4.7	5.8	4.6	5.3	4.7	4.8	4.3
	5.3	4.7	5.3	4.6	5.7	4.6	5.0	4.6	4.7	4.7
	5.7	5.0	5.7	5.0	6.2	4.9	5.7	5.0	5.0	5.0
Promedio	5.4	4.8	5.5	4.8	5.9	4.7	5.3	4.8	4.8	4.8
NK	6.0	5.1	5.6	4.9	5.8	4.7	5.4	4.8	4.9	4.9
	5.6	5.0	5.6	4.8	5.8	4.8	5.4	4.8	4.9	4.9
	5.2	4.6	5.2	4.5	5.8	4.5	5.0	4.5	4.7	4.7
Promedio	5.9	4.9	5.6	4.7	5.8	4.6	5.3	4.7	4.8	4.8
PK	6.0	4.9	5.7	4.9	6.0	4.8	5.6	5.0	5.0	5.0
	5.2	4.6	5.3	4.5	5.8	4.5	5.4	4.6	4.7	4.7
	5.9	5.2	5.8	5.1	6.0	5.1	5.8	5.2	5.2	5.2
Promedio	5.7	4.9	5.6	4.8	5.9	4.8	5.6	4.9	5.0	5.0
NPK	5.6	5.0	5.7	5.0	6.0	4.9	5.5	5.0	5.2	5.2
	5.4	4.8	5.5	4.7	5.8	4.7	5.4	4.8	4.8	4.8
	5.1	4.6	5.2	4.5	5.8	4.4	5.1	4.5	4.6	4.6
Promedio	5.4	4.8	5.5	4.7	5.9	4.7	5.3	4.8	4.9	4.9

Cuadro No. 7. pH en H₂O y en CaCl₂ 0.01 M del subsuelo. Fechas de muestreo

Tratamientos y repeticiones (antes de aplicar fertilizante)	2 meses después 1a. siembra		2 meses después 2a. cosecha		2 meses después 2a. siembra		Muestra Final
	H ₂ O	CaCl ₂	H ₂ O	CaCl ₂	H ₂ O	CaCl ₂	
T	5.6	5.1	5.8	5.1	5.3	5.0	5.8
	5.6	5.0	5.7	5.0	5.5	5.1	5.7
	6.3	5.4	5.9	5.1	5.6	5.2	6.1
	5.8	5.2	5.8	5.1	5.5	5.1	5.8
	Promedio						
N	5.5	5.0	5.5	5.0	5.1	5.2	5.6
	6.0	5.1	6.0	5.2	5.5	5.2	5.7
	5.9	5.2	5.6	5.1	5.5	5.1	5.3
	5.8	5.1	5.7	5.1	5.4	5.2	5.5
	Promedio						
P	5.0	4.3	5.1	4.9	5.1	4.9	5.5
	5.8	5.1	5.6	5.1	5.5	5.0	5.6
	5.5	5.1	5.6	5.0	5.3	5.0	5.5
	5.4	5.0	5.4	5.0	5.3	5.0	5.5
	Promedio						
NP	6.1	5.2	5.7	4.9	5.1	5.2	5.5
	5.7	5.1	5.7	5.0	5.3	5.0	5.5
	6.0	5.5	6.0	5.4	5.7	5.3	6.0
	5.9	5.3	5.8	5.1	5.4	5.2	5.7
	Promedio						
NK	6.0	5.1	5.5	4.9	5.2	5.2	5.4
	5.8	5.1	5.6	5.1	5.6	5.1	5.6
	6.2	5.4	5.4	5.0	5.3	5.1	5.7
	6.0	5.2	5.5	5.0	5.4	5.1	5.6
	Promedio						
PK	6.3	5.4	5.9	5.0	5.4	5.2	5.8
	6.1	5.2	5.7	4.8	5.2	5.0	5.6
	6.0	5.4	6.0	5.4	5.7	5.4	6.1
	6.1	5.3	5.8	5.1	5.4	5.2	5.8
	Promedio						
NPK	6.0	5.4	5.8	5.2	5.3	5.3	5.7
	5.6	5.1	5.5	4.9	5.3	5.2	5.7
	5.6	4.8	5.4	4.8	5.1	5.0	5.6
	5.7	5.1	5.6	5.0	5.2	5.1	5.7
	Promedio						

Cuadro No. 8. Contenido de P asimilable en el suelo durante cinco épocas de muestreo.

Trata- mientos	Muestra Inicial	2 meses después 1a. siembra	Final 1er. Cultivo	2 meses después 2a. siembra	Muestra Final
T	7.89	7.44	3.04	5.18	4.09
N	6.63	4.88	3.04	3.47	5.17
P	7.49	6.10	3.82	6.10	5.50
NP	7.42	7.04	3.82	5.11	5.56
PK	6.70	9.04	3.02	7.67	6.64
NPK	7.23	5.62	3.50	9.56	6.17

Cuadro No. 9. Contenido de P asimilable en el subsuelo, durante cinco épocas de muestreo.

Trata- mientos	Muestra Inicial	2 meses después 1a. siembra	Final 1er. Cultivo	2 meses después 2a. siembra	Muestra Final
T	4.70	3.71	3.93	3.86	3.27
N	2.49	2.26	3.54	4.72	2.36
P	4.39	2.66	3.67	5.50	2.75
NP	3.06	2.65	3.61	4.00	3.21
PK	3.18	3.18	5.37	5.50	2.42
NPK	3.91	2.92	5.11	3.94	3.60

Cuadro No. 10. Contenido de K cambiabile en el suelo, durante cinco épocas de muestreo.

Trata- mientos	Muestra Inicial	Dos meses después 1a. siembra	Final 1er. Cultivo	Dos meses después 2a. siembra	Muestra Final
T	1.54	1.39	0.77	1.04	0.83
N	1.40	1.13	0.72	0.98	0.74
P	1.47	1.12	0.82	0.91	0.83
NP	1.50	1.25	0.76	0.82	0.62
NK	0.97	1.45	0.80	0.94	1.07
PK	1.52	1.29	0.99	1.29	1.14
NPK	1.16	1.23	0.67	1.01	0.78

Cuadro No. 11. Contenido de K cambiabile en el subsuelo, durante cinco épocas de muestreo.

Trata- mientos	Muestra Inicial	Dos meses después 1a. siembra	Final 1er. Cultivo	Dos meses después 2a. siembra	Muestra Final
T	0.83	0.63	0.26	0.81	0.51
N	1.08	0.81	0.40	0.77	0.51
P	0.82	0.59	0.48	0.71	0.63
NP	0.46	0.73	0.54	0.88	0.83
NK	0.63	0.73	0.29	0.51	0.62
PK	0.47	0.71	0.50	0.64	0.62
NPK	0.47	0.58	0.42	0.61	0.56

Cuadro No. 12. Contenido de Ca cambiabile en el suelo, durante cinco épocas de muestreo.

Trata- mientos	Muestra Inicial	Dos meses después 1a. siembra	Final 1er. Cultivo	Dos meses después 2a. siembra	Muestra Final
T	3.74	4.31	2.43	3.34	3.13
N	4.23	4.53	2.81	4.56	4.72
P	3.38	4.12	2.95	3.74	4.39
NP	4.93	5.32	2.81	3.31	5.25
NK	3.52	4.37	2.70	4.91	5.72
PK	4.90	5.02	3.80	5.67	4.99
NPK	3.88	4.26	2.78	5.17	4.73

Cuadro No. 13. Contenido de Ca cambiabile en el subsuelo, durante cinco épocas de muestreo.

Trata- mientos	Muestra Inicial	Dos meses después 1a. siembra	Final 1er. Cultivo	Dos meses después 2a. siembra	Muestra Final
T	2.45	2.31	2.34	3.66	3.69
N	2.28	2.47	2.46	3.73	3.75
P	2.16	2.36	2.15	3.79	3.38
NP	2.47	2.70	2.34	4.16	3.92
NK	2.61	2.49	2.21	3.40	3.29
PK	3.40	3.14	2.30	5.04	4.60
NPK	2.41	2.45	2.25	3.86	3.85

Cuadro No. 14. Contenido de Mg cambiable en el suelo, durante cinco épocas de muestreo.

Trata- mientos	Muestra Inicial	Dos meses después 1a. siembra	Final 1er. Cultivo	Dos meses después 2a. siembra	Muestra Final
T	0.93	1.11	0.86	0.79	0.70
N	1.39	1.35	1.28	1.03	0.90
P	0.80	1.09	1.03	0.95	0.83
NP	1.27	1.31	1.04	1.13	0.98
NK	1.19	1.21	1.27	1.01	1.07
PK	1.44	1.45	1.28	1.20	1.07
NPK	1.12	1.30	1.11	1.04	0.84

Cuadro No. 15. Contenido de Mg cambiable en el subsuelo, durante cinco épocas de muestreo.

Trata- mientos	Muestra Inicial	Dos meses después 1a. siembra	Final 1er. Cultivo	Dos meses después 2a. siembra	Muestra Final
T	0.80	0.74	0.82	0.74	0.60
N	0.90	0.75	0.93	0.76	0.60
P	0.71	0.92	0.80	0.80	0.62
NP	0.85	0.74	0.73	0.66	0.61
NK	0.88	0.90	0.84	0.70	0.61
PK	1.02	1.15	0.98	1.01	0.87
NPK	0.74	0.88	0.70	0.68	0.70

Cuadro No. 16. Distribución de la lluvia (mm) durante el período del cultivo de maíz y frijol*.

	1° mes	2° mes	3° mes	4° mes	5° mes
<u>1a. Cosecha</u>					
Lluvia mensual	160.3	313.8	338.4	383.1	137.8
Acumulatoria	160.3	474.1	812.5	1195.6	1333.4
<u>2a. Cosecha</u>					
Lluvia mensual	198.4	216.4	266.0	94.8	46.2
Acumulatoria	198.4	414.8	680.8	775.6	821.8

* El período de cultivo del maíz se extendió del primero al quinto mes; el del frijol, del primero al tercer mes, tanto para la primera como para la segunda cosecha.