

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**RECUPERACION DE UN SUELO SOMETIDO A CULTIVO
INTENSIVO, A TRAVES DEL EFECTO DE DIFERENTES
NIVELES DE CAL EN DOS SISTEMAS DE CULTIVO**

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa
Conjunto de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos
Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico
Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de:

Magister Scientiae

FLORENCIO ZAMBRANA SEJAS

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

Turrialba, Costa Rica

1979

Esta tesis ha sido aceptada en su forma presente por la
Comisión de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto UCR-CATIE,
como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

JURADO:



Rufo Bazán, Ph.D.

Profesor Consejero



Carlos Burgos, Ph.D.

Miembro del Comité



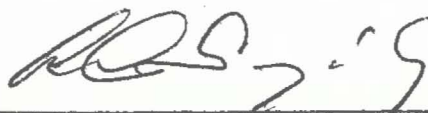
José Fargas, Ph.D.

Miembro del Comité



Roberto Díaz Romeu, MS.

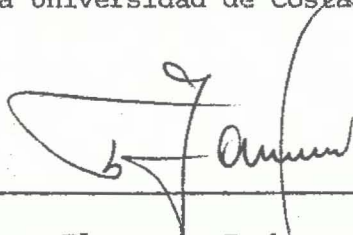
Miembro del Comité



Coordinador del Programa de Estudios de Posgrado
en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales



Coordinador del Sistema de Estudios de Posgrado
de la Universidad de Costa Rica



Florencio Zambrana Sejas
Candidato

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre

A mi madre adorada

A mi esposa e hijo

Máxima y Teddy Gilmar

A mis hermanos

A mis amigos

AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su gratitud al Dr. Rufo Bazán, Consejero Principal, quien brindó su valiosa colaboración en la elaboración del presente trabajo.

A los doctores Carlos Burgos, José Fargas y al Ing. Roberto Díaz-Romeu, miembros del Comité, por sus sugerencias acertadas y revisión del contenido de esta tesis.

A los doctores Elemer Bornemisza, Luis Carlos González y Marcelino Avila, por sus oportunas recomendaciones para mejorar el contenido del presente trabajo.

Al personal del Laboratorio de Suelos.

Al personal de la Unidad de Estadística y Computación.

A todo el personal del Programa de Cultivos Anuales y Perennes del CATIE y de la Biblioteca del CIDIA, que gentilmente prestaron su colaboración.

A todo el personal del campo experimental "La Montaña", especialmente a los señores Arnoldo Barrantes, Luis Torres y José Mata, por su inestimable ayuda en el mantenimiento del experimento.

A la Srta. Flor María Bastos, por su constante estímulo y oportuna colaboración.

Al Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, Universidad de Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y a la Agencia Internacional para el Desarrollo, que permitieron lograr sus aspiraciones.

BIOGRAFIA

El autor nació en el Departamento de Cochabamba, República de Bolivia.

Realizó sus estudios primarios en la escuela fiscal "Félix Capriles".

Cursó estudios universitarios en la Facultad de Agronomía "Martín Cárdenas", donde obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo en noviembre de 1976.

En agosto de 1976, empezó a prestar servicios profesionales como Técnico de Suelos en el Ministerio de Agricultura y Asuntos Campesinos. Posteriormente fue transferido al Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, donde desempeñó el cargo de Jefe, a.i., hasta su ingreso al Sistema de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto Universidad de Costa Rica-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (UCR-CATIE), Turrialba, Costa Rica, en julio de 1977.

En julio de 1979, cumplió con todos los requisitos para optar el grado de Magister Scientiae, con énfasis en Fertilidad de Suelos y Sistemas de Producción de Cultivos.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Acidez de los suelos	3
2.2 Aluminio en la solución del suelo	3
2.3 Factores que inciden en la acidificación de los suelos	4
2.3.1 Influencia del clima	4
2.3.2 Influencia de fertilizantes	5
2.3.3 Efecto de los cultivos	7
2.3.4 Influencia de otros factores	10
2.4 Balance de nutrimentos del suelo después de cultivos intensivos	10
2.4.1 Nitrógeno	10
2.4.2 Fósforo	11
2.4.3 Potasio	12
2.4.4 Calcio y magnesio	13
2.5 Corrección de la acidez de los suelos	14
2.6 Neutralización de la acidez del suelo	15
2.7 Efectos ocasionados por la aplicación de cal	16
2.8 Causas del desarrollo anormal de los cultivos	18
2.9 Granulometría, profundidad de aplicación y movilidad de cal	19
2.10 Determinación de las necesidades de cal	20
3. MATERIALES Y METODOS	22
3.1 Localización del experimento	22
3.2 Clima	22
3.3 Suelo	22
3.4 Preparación del terreno y aplicación de cal	23
3.5 Sistemas de cultivos	23
3.6 Descripción de tratamientos	25
3.7 Fertilización	25
3.7.1 Primera siembra (maíz)	25
3.7.2 Segunda siembra (frijol)	25
3.7.3 Tercera siembra (maíz y camote)	25
3.8 Descripción de la parcela típica	27
3.9 Diseño experimental	27

3.10 Manejo de los cultivos	27
3.10.1 Siembra	27
3.10.2 Control sanitario	30
3.10.3 Cosecha y muestreo de suelos	31
3.11 Análisis químico de suelos	32
3.11.1 Determinación de pH	32
3.11.2 Acidez intercambiable	32
3.11.3 Calcio y magnesio cambiables	33
3.11.4 Fósforo disponible	33
3.11.5 Potasio, hierro, manganeso, zinc y cobre	33
3.11.6 Materia orgánica	33
3.11.7 Nitrógeno total	33
3.11.8 Requerimientos de cal	33
3.12 Análisis de la información	33
3.13 Evaluación económica de las respuestas a los tratamientos	34
3.13.1 Beneficios y costos de trata- mientos	34
3.13.2 Aplicación óptima de la cal	35
4. RESULTADOS	36
4.1 Clima	36
4.2 Análisis químico de suelos	36
4.2.1 Análisis inicial	36
4.2.2 Análisis de suelos después de la aplicación de cal y cosecha de maíz	38
4.2.3 Análisis de suelos después del cul- tivo de frijol	39
4.2.4 Análisis de suelos después del cul- tivo de maíz y camote	39
4.3 Rendimiento	41
4.4 Relación entre el rendimiento y el porcenta- je de neutralización de Al intercambiable .	46
4.5 Cambios en acidez del suelo superficial a través del tiempo en los sistemas estu- diados	46
4.6 Cambios en el porcentaje de saturación de Al intercambiable en el suelo superficial, a través del tiempo en los sistemas estu- diados	50

	<u>Página</u>
4.7 Cambios en la concentración de Ca en la capa superficial de los suelos a través del tiempo	50
4.8 Influencia de la acidez en la concentración de calcio, magnesio, potasio y fósforo	53
4.9 Evaluación económica de los tratamientos	54
4.9.1 Beneficios y costos de los sistemas estudiados	54
4.9.2 Optimización física y económica de la aplicación de cal	55
4.9.2.1 Sistema maíz-frijol-maíz	55
4.9.2.2 Sistema maíz-frijol-camote ..	58
5. DISCUSION	60
5.1 Consideraciones agronómicas	60
5.2 Consideraciones económicas	64
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
7. RESUMEN	68
7a. SUMMARY	71
8. LITERATURA CITADA	74
9. APENDICE	83

LISTA DE CUADROS

<u>TEXTO</u>	<u>Página</u>
Cuadro No.	
1	Acidez intercambiable y niveles de cal aplicados 26
2	Epocas de siembra y fertilización 26
3	Epocas de cosecha y muestreo de suelos 32
4	Rendimiento de maíz, frijol y camote, expresados en kg/ha 42
5	Beneficios y costos de los tratamientos de cal en el sistema maíz-frijol-maíz 56
6	Beneficios y costos de los tratamientos de cal en el sistema maíz-frijol-camote 57
 <u>APENDICE</u>	
1A	Análisis químico de suelos antes de la aplicación de cal 84
2A	Análisis químico de suelos después del cultivo de maíz (primera siembra) 84
3A	Análisis de variancia de las características químicas de las parcelas antes de la aplicación de cal 85
4A	Análisis de variancia de las características químicas de las parcelas después del cultivo de maíz (primera siembra) 85
5A	Análisis químico de suelos después del cultivo de frijol (segunda siembra) 86
6A	Análisis químico de suelos después del cultivo de maíz (tercera siembra) 86
7A	Análisis de variancia de las características químicas de las parcelas después del cultivo de frijol (segunda siembra) 87
8A	Análisis de variancia de las características químicas de las parcelas después del cultivo de maíz (tercera siembra) 87
9A	Análisis químico de suelos después del cultivo de camote (tercera siembra) 88
10A	Análisis de la variancia de las características químicas de las parcelas después del cultivo de camote (tercera siembra) 89
11A	Análisis de variancia para el rendimiento de los cultivos en kg/ha 90

Cuadro No.		<u>Página</u>
12A	Curvas de regresión lineal entre acidez del suelo y Ca, Mg, K y P en el suelo superficial (0-15 cm)	91
13A	Curvas de regresión lineal entre acidez del suelo y Ca, Mg, K y P en el subsuelo (15-30 cm)....	91
14A	Costos de producción promedio de maíz por hectárea (primera siembra)	92
15A	Costos de producción promedio de frijol por hectárea (segunda siembra)	93
16A	Costos de producción promedio de maíz por hectárea (tercera siembra)	94
17A	Costos de producción promedio de camote por hectárea (tercera siembra)	95

LISTA DE FIGURAS

Figura No.		<u>Página</u>
1	Distribución espacial y cronológica de los cultivos estudiados	24
2	Croquis de campo durante el cultivo del maíz seguido del frijol	28
3	Croquis de campo durante el cultivo del maíz y del camote	28
4	Distribución del maíz, frijol y camote dentro de cada parcela	29
5	Precipitación mensual y temperatura media diaria durante el período experimental	37
6	Curva de regresión entre el peso fresco elote (P.F.E.) y peso seco elote (P.S.E.).....	43
7	Curva de regresión entre el peso seco elote (P.S.E.) y peso seco grano tierno (P.S.G.T.)...	44
8	Respuesta de los cultivos a la neutralización de Al en la capa superficial del suelo (0-15 cm) ..	47
9	Cambios en acidez del suelo superficial a través del tiempo en el sistema maíz-frijol-maíz	49
10	Cambios de acidez del suelo superficial a través del tiempo en el sistema maíz-frijol-camote	49
11	Cambios en el porcentaje de saturación de Al en la capa superficial de los suelos a través del tiempo en el sistema maíz-frijol-maíz	51
12	Cambios en el porcentaje de saturación de Al en la capa superficial de los suelos a través del tiempo en el sistema maíz-frijol-camote	51
13	Cambios de la concentración de Ca en la capa superficial de los suelos a través del tiempo en el sistema maíz-frijol-maíz	52
14	Cambios en la concentración de Ca en la capa superficial de los suelos a través del tiempo en el sistema maíz-frijol-camote	52

1. INTRODUCCION

La producción deficiente de alimentos en los trópicos para mantener a una creciente población se ha atribuido, entre otros aspectos, a la falta de sistemas de producción más eficientes que los métodos tradicionales (10).

El Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del CATIE, como parte de su proyecto de sistemas de producción agrícola para el trópico, inició un experimento a nivel de campo y que se llevó a cabo en forma continuada durante tres años, instalado en el campo experimental "La Montaña", a partir de noviembre de 1974.

Este experimento, denominado Experimento Central, comprendía 24 tratamientos, con 2 sub-tratamientos cada uno, que incluyeron a las siguientes especies: maíz, frijol, camote y yuca, estudiadas en diversas modalidades de asocio, establecidos en forma secuencial y/o en relevo. Del total de 48 sub-tratamientos 6 correspondieron a maíz con elote. Los niveles de fertilizantes aplicados a los sub-tratamientos variaron entre 20 - 10 - 16 kg/ha, y 175- 140- 75 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. En los cultivos asociados los requerimientos nutricionales fueron mayores que en los monocultivos.

El suelo del área experimental fue sometido a un manejo intensivo, lo cual supone pérdidas de nutrimentos en cantidades apreciables, ya sea debido a remoción excesiva de cationes, al efecto de los cultivos repetidos (48), a lixiviación de las bases o a la aplicación continua de fertilizantes potencialmente ácidos (80).

Las condiciones mencionadas favorecen la acidificación de los suelos, que se manifiesta por ciertas características químicas, tales

como la disminución en la disponibilidad de algunos elementos esenciales y la solubilidad excesiva de otros hasta alcanzar niveles tóxicos para las plantas, disminución de la asimilabilidad del P y Mo y una perturbación de la actividad microbiana de los suelos.

Por las razones señaladas, se hace necesario estudiar el aspecto de recuperación y manejo de suelos bajo cultivo intensivo, haciendo uso de métodos que contrasten el efecto potencial detrimental de tal sistema de manejo.

El encalado puede constituir uno de esos métodos, por el control que ejerce sobre la acidez del suelo y por su influencia posterior en el balance nutricional de los suelos.

El presente estudio ha sido diseñado con los siguientes objetivos:

1. Observar el proceso de recuperación de un suelo sometido a cultivo intensivo, a través de la aplicación de diferentes niveles de cal en los sistemas: maíz-frijol-maíz y maíz-frijol-camote.
2. Determinar las fluctuaciones de acidez y nivel nutricional del suelo en estudio, durante la permanencia de los sistemas.
3. Determinar el impacto económico y la optimización física y económica de la aplicación de cal en los sistemas estudiados.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Acidez de los suelos

Los suelos de las regiones del Trópico Húmedo, en su gran mayoría son ácidos. Hasta el año de 1950, el H^+ intercambiable fue considerado como la causa de la acidez de los suelos. El trabajo de Coleman y otros, sin embargo, previene que el Al intercambiable es el catión predominante asociado con la acidez del suelo en el Trópico (55, 84).

En los suelos ácidos con pH de 5,0 o menor, el Al intercambiable es el catión principal que causa este fenómeno (50, 66). En cambio, en suelos con pH mayor de 5,0, es el H^+ intercambiable el responsable de la acidez de los suelos (58). En general, pocos iones monoméricos de Al existen en suelos con pH mayores de 5,0.

El Al intercambiable es determinado químicamente por procesos de cambio en una solución neutra, como el KCl (6, 77).

2.2 Aluminio en la solución del suelo

Los niveles de Al en la solución del suelo, dependen del contenido de materia orgánica y del contenido de sales (54). El Al decrece con el incremento de la materia orgánica, porque la materia orgánica forma complejos muy fuertes con el Al; por otra parte, el Al en la solución del suelo se incrementa con el contenido de sales, porque otros cationes desplazan al Al por la acción de masas (16, 92).

Sánchez (89) indica que las concentraciones mayores a 1 ppm de Al en la solución del suelo, causan reducción en el rendimiento de los cultivos.

Muchos estudios efectuados en las regiones templadas y tropicales indican que el Al tiende a acumularse en las raíces de las plantas, impidiendo la absorción y traslocación de Ca y Mg, así la toxicidad del Al puede producir deficiencias acentuadas de Ca y P (25, 31).

El crecimiento óptimo y el uso eficiente de los nutrimentos en los suelos ácidos, requiere de adiciones de cal para neutralizar la toxicidad de las concentraciones de Al y Mn (56).

A valores de pH más altos que 5,5, el Al es precipitado en la solución del suelo y de esta manera no afecta el desarrollo de las plantas (76).

2.3 Factores que inciden en la acidificación de los suelos

2.3.1 Influencia del clima

Las condiciones climáticas influyen sobre la acidez del suelo de diferentes maneras: una de estas es la precipitación local. Cuando la precipitación pluvial es mayor que la evapotranspiración, existe mayor posibilidad de lixiviación de los cationes del suelo (8). De esta manera, se lixivian gran cantidad de cationes que se encuentran disueltos en la fase líquida del suelo. Estos cationes son reemplazados por iones de H y Al en el complejo de intercambio catiónico, produciéndose paulatinamente una acidificación (28).

Jiménez (46) afirma que al término de un año de experimentación con cultivos, no hubo diferencias muy marcadas en las características químicas de los suelos. Sin embargo, tomando en cuenta la extracción de nutrimentos por los cultivos y debido a que esos suelos están expuestos

a lixiviación y erosión por las intensidades de la precipitación, se pueden detectar en años posteriores, pérdidas en la fertilidad de los suelos.

Mientras subsiste el equilibrio ecológico natural en las regiones tropicales, la vegetación es exuberante; sin embargo, cuando se rompe este equilibrio se puede apreciar aumento de Al y Mn y disminución de Ca y Mg, por el uso de la tierra (96), tal como se muestra en el siguiente cuadro*:

Elemento ppm	Suelo virgen	El mismo suelo después de 3 años de uso, cul- tivando caña de azúcar
Al	2	50
Mn	8	19
Ca	750	25
Mg	144	14

*Análisis de un suelo de la región de bosque húmedo de Bolivia.

2.3.2 Influencia de fertilizantes

En la mayoría de los casos, los fertilizantes utilizados son de efecto residual ácido. Todas las formas de amonio (NH_4^+) y amino (NH_2^+), producen efectos residuales ácidos, aunque el $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ es el más acidificante en este respecto (8, 30, 62, 73).

También se ha enfatizado en cuantificar el efecto acidificante

de los fertilizantes nitrogenados, sobre la acidez del suelo y se ha llegado a determinar que esto es afectado: i) por las cantidades de N aplicado y ii) por las cantidades recobradas en la cosecha de los cultivos y los residuos en el suelo, incluyendo el nitrato (NO_3^-) en el perfil del suelo (47).

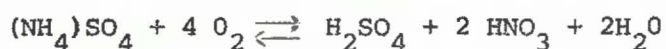
Por otra parte, Adams (3) y Toogood (93) afirman que los fertilizantes, especialmente nitrogenados y sulfurados, aplicados en cantidades moderadas frecuentemente resultan en una acidificación de los suelos. El incremento de la acidez de los suelos, en suficiente proporción disminuye el rendimiento de las cosechas. Aplicaciones frecuentes de pequeñas cantidades de cal pueden prevenir tales efectos negativos (65).

En experimentos llevados a cabo en Samura y Mokwa, Nigeria, Jones (48) determinó que el pH de los suelos se alteraba debido a las fuentes de N utilizadas durante tres años. En los suelos de Samura el pH disminuyó de 5,75 a 3,87 con $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, de 5,62 a 5,38 con urea y de 5,72 a 5,58 con NH_4NO_3 , en la profundidad de 5 cm. Los cambios de pH a 20 cm de profundidad fueron de 4,39 a 3,76 con $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, de 4,53 a 4,69 con urea y de 6,08 a 5,57 con NH_4NO_3 ; no ocurrió cambios significativos a 35 cm de profundidad en tales suelos. En los suelos de Mokwa, el pH disminuyó en las tres profundidades (5,20 y 35 cm) en igual proporción a los suelos de Samura. La urea y el NH_4NO_3 ocasionaron disminución de pH, pero en menor grado que el $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Un estudio hecho en suelos podzólicos sobre el efecto residual de los fertilizantes NPK y abono de corral durante dos años, revelaron que los tratamientos que recibieron fertilizantes minerales bajaron el pH de los suelos. El contenido de Ca y Mg también disminuyó en los

suelos tratados con fertilizantes minerales, en relación a los suelos que recibieron abono de corral (42).

Fassbender (28) señala que en el suelo se producen ácidos del tipo HNO_3 y H_2SO_4 , a través de la disociación de sales sulfatadas y nítricas utilizadas como fertilizantes. Por ejemplo, la nitrificación del sulfato de amonio sigue la siguiente relación:



formándose dos ácidos fuertes que provocan la acidificación de los suelos.

2.3.3 Efecto de los cultivos

Los requerimientos nutricionales de sistemas de cultivo, el logro y mantenimiento de niveles altos de producción de cosechas en forma sostenida, eventualmente giran alrededor del mantenimiento de la fertilidad de los suelos, como variable determinante (41).

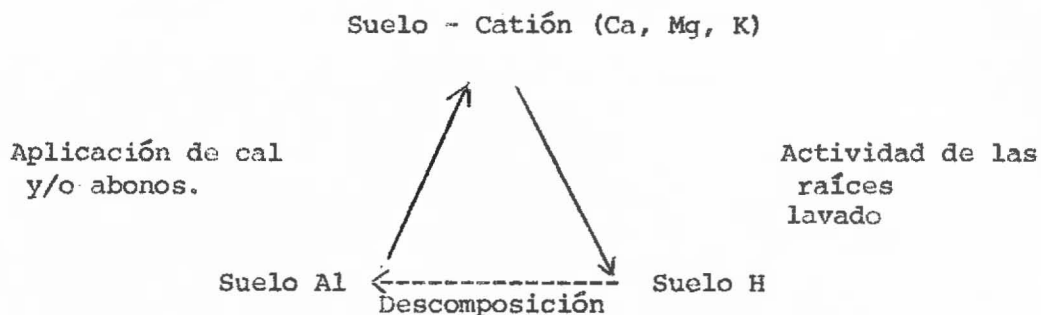
La experiencia en todas partes del mundo ha demostrado que el cultivo continuo de un terreno lleva a una disminución del rendimiento. Esta disminución no se debe solamente al pobre abastecimiento de los nutrimentos por el suelo, ocasionados por su agotamiento, sino también al deterioro de las condiciones físicas o estructura de los suelos, que determinan en gran parte las relaciones agua-aire del suelo (9, 84, 98).

Jiménez (46) indica que en los monocultivos la absorción de nutrimentos fue mayor en los tratamientos que incluyeron la aplicación de fertilizantes. En el frijol asociado con maíz y yuca la absorción disminuyó, mientras que en el maíz se incrementó, principalmente al asociarse con yuca, superando la cantidad aportada como material fertilizante.

La acidificación progresiva de los suelos sometidos a continuo laboreo se presenta de manera especial por la extracción de nutrimentos del suelo por las plantas. A este respecto Fauck, Moreaux y Thomann (29), quienes analizaron el pH de los suelos después de 2, 6 y 15 años de cultivo continuo de maní, encontraron que el pH original de 6,4 disminuyó a 6,2 después de dos años, a 5,9 después de seis años y a 5,0 después de 15 años.

En experimentos llevados a cabo en Turrialba, Costa Rica, no se determinaron diferencias muy marcadas en las características de los suelos, al término de un año en cultivos asociados. Sin embargo, tomando en cuenta la acción de los cultivos, la lixiviación y erosión a que están expuestos los suelos por la alta precipitación, es de esperar que en varios años, se pueda detectar pérdidas en la fertilidad de estos suelos, principalmente en aquellos sistemas que presentan diferencias en las cantidades de nutrimentos extraídos con las adicionadas (46). En países de climas templados, los cultivos intensivos ocasionan también disminución de la fertilidad de los suelos (69), debido a que el crecimiento de los cultivos es máximo para conseguir altos rendimientos por unidad de área y tiempo.

Bornemisza (14) explica el empobrecimiento de los suelos como incremento de la acidez y la recuperación del suelo como un ciclo de fenómenos físico-químicos, como se observa en el esquema propuesto por Coleman y colaboradores (22):



Por otra parte, Jaramillo (45) informa que los resultados obtenidos en Turrialba, Costa Rica, con respecto a valores de pH en agua antes de la siembra, mostraron diferencias significativas solamente entre repeticiones. Los valores obtenidos fueron uniformes y sus promedios por parcelas y profundidades oscilaron entre 5,0 y 5,1. Los análisis realizados después de la cosecha indicaron una diferencia significativa entre bloques y profundidades. Los valores de pH para profundidad de 0-15 cm fluctuaron entre 4,8 y 5,0, mientras que a la profundidad de 15-30 cm el ámbito de variación fue de 4,9 a 5,0; no hubo diferencias significativas en los valores de pH antes y después de la cosecha, lo cual indica que los tratamientos en un período de cinco meses no ejercieron suficiente influencia como para variar el pH del suelo.

Otros autores (82) afirman que, en estudios efectuados en el Central Rice Research Institute, Cuttack, estado de Orissa, India, determinaron que el pH del suelo disminuyó después de cada ciclo de cultivos de: batata-arroz-arroz, maíz-arroz-arroz, pepino-yute-arroz, arroz-yute-arroz y arroz-arroz; el contenido de materia orgánica también disminuyó notoriamente. Según los autores esto es normal, debido

a que el P - disponible también ha disminuido de 35 a 7 kg/ha durante el primer año y de 44 a 10 kg/ha durante el segundo año del ciclo de cultivos.

2.3.4 Influencia de otros factores

El contenido de materia orgánica en los suelos de las regiones del trópico húmedo, tienen influencia en el desarrollo de la acidez de los suelos (8). Indica el autor que los suelos de alto contenido de materia orgánica, tienen baja cantidad de Al intercambiable y, por lo tanto, requieren pequeñas cantidades de cal para precipitar el Al, con el propósito de favorecer el desarrollo de los cultivos. Recíprocamente, aquellos suelos que tienen poca materia orgánica requieren mayor cantidad de cal para el crecimiento normal de los cultivos (44).

La erosión del suelo favorece también su acidificación, ya que los cationes básicos que se encuentran en la capa superficial del suelo, pueden ser eliminados por este mecanismo. La textura de los suelos es determinante para la erosión de los mismos; este proceso será mayor en suelos de textura gruesa que en aquellos de textura fina (8, 78).

2.4 Balance de nutrimentos del suelo después de cultivos intensivos

2.4.1 Nitrógeno

Conclusiones de un trabajo de investigación efectuados con rotación de cultivos en Inglaterra, indican que el N se encuentra en el suelo en bajas concentraciones después de varias cosechas, debido a que se pierde por lixiviación o denitrificación, pero el P y el K de los fertilizantes y abonos son retenidos por el suelo (23).

En experimentos conducidos por dos años en el Central Rice Research Institute, Cuttack, estado de Orissa, India, el balance de N fue bajo en todos los cultivos planeados durante el primer año, mientras que en el segundo año el sistema cacahuate-yute-arroz mostró ganancia en N. La pérdida de N durante los dos años fue más alta en el sistema maíz-arroz-arroz y mínimo en cacahuate-yute-arroz y arroz-yute-arroz (82). Según los autores la inclusión de yute en el cultivo correspondiente disminuyó la pérdida de N.

Gamboa (33) en un estudio de fraccionamiento de N en muestras de suelo de un lote situado en terrenos del CATIE-CTEI en Turrialba, Costa Rica, determinó que las pérdidas por lixiviación de N son de consideración (65%); por lo tanto, el autor recomienda aplicaciones fraccionadas de este elemento.

2.4.2 Fósforo

El estado del P de los suelos es afectado por los cultivos múltiples (81). Los autores informan que la concentración del P-total después de seis cosechas consecutivas no bajó, al contrario, se observó aumento de este elemento después del primer ciclo. En el tratamiento papa-arroz-arroz el contenido de P-total se incrementó de 537 ppm al 561 ppm y después del segundo año a 573 ppm. El tratamiento maíz-arroz-arroz incrementó el P-total de 552 ppm a 582 ppm en el primer ciclo y en 590 ppm en el segundo. En el tratamiento arroz-arroz, el P-total se incrementó durante el primer ciclo, pero durante el segundo año el cambio no fue apreciable.

Sadanandan y Mahapatra (83) indican que el P disponible en el suelo después de los sistemas: batata-arroz-arroz, maíz-arroz-arroz,

pepino-yute-arroz, arroz-yute-arroz y arroz-arroz disminuye después de dos años de cultivos continuados en la superficie del suelo en todos los tratamientos.

Por otra parte, Gamboa y Blasco (34) en experiencias realizadas en Turrialba, Costa Rica, determinaron el P después de cinco fertilizaciones y detectaron que el P-soluble se encontraba en bajas concentraciones, debido a que los procesos de retención se presentaron con mayor intensidad en los primeros 30 cm del suelo, primando el P- Al sobre las demás formas de P.

A medida que los suelos llegan a ser altamente intemperizados, por lo general hay una disminución en el contenido de Ca y mayores cantidades de Al y Fe reactivos. Por lo tanto, con la mayor intemperización hay un cambio de P- Ca a P- Fe y P- Al; el resultado es una disminución en la disponibilidad de P (100).

2.4.3 Potasio

El estado de K en el suelo es afectado por cultivos múltiples. Después de seis años de experimentación conducidos en el Central Rice Research Institute, Cuttack, Orissa State, India, Sadanandan y Mahapatra (80) determinaron que el contenido de K- total en la capa superficial (0-15 cm) se incrementó después de la rotación papa-maíz-maní. Pequeños decrecimientos fueron observados después del arroz Dalua y yute. Una marcada disminución del P- total fue detectado después de arroz Kharif. En general, los sistemas que incluyeron el cultivo de yute, experimentaron una marcada disminución en el contenido de K- total. Los autores indican que el estado de K- total decrece después de cada ciclo completo, el máximo decrecimiento fue observado en el sistema

arroz-arroz-arroz.

Con respecto al K- intercambiable Sadanandan y Mahapatra (85) observaron disminución de este elemento en todos los sistemas probados en el Central Rice Research, Cuttack, Orissa State, India. Según los autores, la disminución del K- intercambiable puede ser debido a la lixiviación, así como también a la fijación de este elemento. Por otra parte, el K- intercambiable se incrementó a medida que aumentan los meses secos (71).

Zúñiga, citado por Jaramillo (45), en experiencias realizadas en Turrialba, con sistemas de cultivo para estudiar la respuesta a diferentes niveles de K, encontró una tendencia progresiva en la absorción de este elemento, encontrándose en los estudios de suelo diferencias notorias en su nivel de fertilidad después de cada cultivo.

Nair et al (69), en una investigación sobre el mantenimiento de la fertilidad del suelo bajo cultivos múltiples en el norte de la India, determinaron que el K extraído por los cultivos fue mayor que la adicionada y por tanto la concentración del K en el análisis final de los suelos fue más bajo que el nivel inicial. Por tanto, es necesario una fertilización adecuada para obtener altos rendimientos en áreas bajo cultivo intensivo (2).

2.4.4 Calcio y magnesio

En investigaciones efectuadas en la Hacienda La Victoria entre Turrialba y Juan Viñas, Costa Rica, se determinó que la alta precipitación asociada a la alta permeabilidad de los suelos volcánicos contribuyó notablemente a la lixiviación de Ca y Mg. Un aumento de la CIC posibilitó una mayor capacidad de retención, disminuyendo

proporcionalmente la fracción lixiviada de estos suelos (67). El Ca intercambiable decrece con el incremento de fertilizantes nitrogenados, debido a que los aniones NO_3 favorecen la lixiviación del Ca (12).

La respuesta del maíz al encalado y la retención y lixiviación de Ca y otros nutrimentos, fueron estudiados en invernadero usando un Ultisol ácido de Nigeria y se determinó que los nutrimentos (Ca, Mg, K y NO_3), después de 10 semanas de investigación, disminuyeron en su concentración en pequeña cantidad. Las pérdidas de Ca en suelos ácidos altamente meteorizados del trópico bajo, no fueron muy considerables. Una proporción substancial de Ca, es absorbido por óxidos e hidróxidos de Fe y Al. Los iones de Ca lixiviados normalmente son retenidos en los horizontes inferiores, los cuales casi siempre son deficientes en Ca (49).

Salmon y Arnold (88) encontraron en suelos de Inglaterra, que la cantidad de Mg disponible en la mayoría de los suelos estudiados decreció con cosechas nuevas. El Mg es progresivamente disminuido en su concentración y no reemplazado. Así, por ejemplo, en el suelo Munising después de cuatro cosechas el Mg disminuyó de 0,41 a 0,16 por ciento; en el suelo Munising II el Mg disminuyó de 0,46 a 0,18 por ciento y en el suelo Karlin de 0,16 a 0,10 por ciento. Se determinó también que la humedad del suelo afecta en el contenido de Mg, siendo mayor en el suelo seco en relación al suelo húmedo (20).

2.5 Corrección de la acidez de los suelos

Los suelos de trópico húmedo usualmente son ácidos y los resultados de encalamiento para aumentar la producción de las cosechas, muchas

veces han sido contradictorios. Desde hace poco tiempo se intenta transferir prácticas de encalamiento de las zonas templadas a los trópicos; sin embargo, a menudo dieron pobres resultados, debido a que los cultivos de las regiones tropicales y templadas tienen diferentes requerimientos y también diferente reacción del suelo; por tanto, los requerimientos de cal son diferentes (74). No obstante, el uso juicioso de cal ha continuado y ha sido aceptado como un paso esencial para la práctica agrícola efectiva en las grandes áreas del trópico húmedo (57).

Kamprath (53) previene contra los posibles efectos perjudiciales causados por el encalado en suelos meteorizados hasta obtener neutralidad, y recomienda que la práctica del encalado se ejerza únicamente para neutralizar el Al- intercambiable. Sin embargo, hay una gran diferencia entre encalar los suelos para neutralizar el Al únicamente y el encalarlos hasta pH neutros.

Reeve y Summer (75) encontraron que la cantidad de cal necesaria para neutralizar el Al- intercambiable en Oxisoles de Natal, era aproximadamente la sexta parte de la cantidad requerida para elevar el pH a 6,5.

Algunos autores (24, 51, 74) indican que la corrección de la acidez de los suelos del trópico húmedo debe basarse en la neutralización del Al intercambiable, como criterio de encalado.

2.6 Neutralización de la acidez del suelo

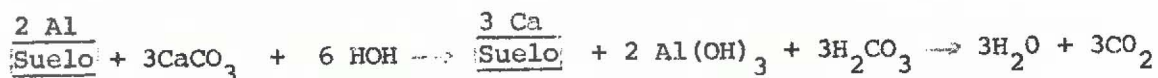
La acidez de los suelos puede ser neutralizada efectivamente por encalamiento (4). Cuando se reemplaza el Al intercambiable de un suelo, éste se hidroliza en solución para formar hidróxido de Al e iones

de H^+ , como se indica en la siguiente reacción (13).



Mientras el pH de la solución se aumenta, la hidrólisis continúa con la formación de $Al(OH)_3$ (27).

La adición de materiales de escalamiento a los suelos ácidos, resultan en el desplazamiento del Al- intercambiable de los sitios de cambio por iones de Ca^{++} y Mg^{++} . El Al es entonces precipitado como hidróxido de Al $\overline{Al(OH)_3}$. Las reacciones químicas son complejas, pero pueden ser ilustradas por la ecuación general:



El Mg también aplicado como piedra dolomítica, podría actuar en forma similar al Ca, como se indica en la ecuación anterior (8).

2.7 Efectos ocasionados por la aplicación de Cal

La aplicación de cal en regiones templadas causa inmediatamente una predicción favorable de cambio de pH del suelo y subsecuentemente, cambios graduales a largo plazo, pero los suelos de las regiones tropicales a menudo responden de diferente manera (37).

La aplicación de cal y fertilizantes en suelos ácidos del trópico ha sido una práctica generalizada, aunque se ha acumulado bastante evidencia de que no siempre aumenta la producción de las cosechas significativamente (25, 63).

En experimentos efectuados en Brasil, donde la cal fue aplicada en cuatro dosis (1, 2, 4 y 8 ton/ha) y dos profundidades (10-15 cm y

15-30 cm), ocasionó cambios en el pH del suelo, Al- intercambiable y el porcentaje de saturación de acidez. Los cambios en pH no fueron notables. Los valores del Al- intercambiable y el porcentaje de saturación de Al en la profundidad de 0-15 cm se incrementaron en todos los tratamientos, excepto en el tratamiento de 8 ton/ha. En la profundidad de 15-30 cm se observó disminución en la saturación de Al, el cual implica un movimiento descendente del Ca y Mg (87).

En el período de 1963-1973 en un suelo Podzol fue estudiado el efecto prolongado de diferentes dosis de cal. Al término de 10 años de experimentación se detectó el efecto amortiguador de la cal aplicada; de esta manera, reduce la acidez del suelo y la movilidad de Al favoreciendo por otra parte el incremento de P_2O_5 y K_2O movable en el suelo (64).

Lotero (59), Parra (72) y Pearson (74), en investigaciones aisladas en regiones tropicales, determinaron que la aplicación de cal en el suelo ocasiona disminución en el rendimiento de los cultivos, y/o ha habido poca o ninguna respuesta a la aplicación de cal, con algunas excepciones.

Abruña et al (1) indican que el rendimiento del maíz obtenido con la aplicación de cal en cinco Ultisoles de Puerto Rico fue satisfactorio, en contraposición con la escasa respuesta obtenida en el Oxisol; la respuesta de los frijoles verdes al encalamiento en los cinco Ultisoles y en el Oxisol fue pronunciada. Contrario a los resultados obtenidos con maíz, hubo una relación estrecha entre el rendimiento, el pH del suelo y el porcentaje de saturación de Al, tanto en el Oxisol como en los Ultisoles.

Con respecto a la reacción del suelo más apropiado para el cultivo

de maíz, frijol y camote, Fassbender (28) sugiere un pH de 5,5 a 7,5 para el maíz, 6,0 a 7,5 para el frijol y 5,8 a 7,0 para el camote.

Los rendimientos de camote en Sao Paulo decayeron cuando el pH del suelo fue aumentado a 6,7. Con una fertilización adecuada este cultivo no respondió al encalado en un suelo con pH de 5,6. El encalado del suelo a pH 7,0 bajó los rendimientos de camote (17).

Los efectos detrimientales del sobreencalado están relacionados con las deficiencias de los micronutrientes, particularmente Mn y Fe, cuya disponibilidad puede ser reducida (61). A un pH cerca de 5,6 se reduce la disponibilidad de Mn y Fe en el suelo, pero por encima de 6,1 disminuye la disponibilidad del B (38). La disponibilidad de Cu, Zn y Mo guardan una correlación directa con el pH y bajo condiciones de acidez alta pueden resultar limitantes (28, 39).

2.8 Causas del desarrollo anormal de los cultivos

El desarrollo anormal de los cultivos en suelos ácidos ha sido atribuido a varios factores.

Foy y Brown (31) han demostrado que las plantas, en general, son poco tolerantes a altas concentraciones de Al. Estos autores observaron que el crecimiento de las raíces de algodón, en solución nutritiva, era limitado por cantidades tóxicas de Al (1 ppm) y que esta limitación del sistema radical reduce la absorción de agua y nutrientes, reduciendo de este modo el crecimiento de las plantas (73, 90, 95). Por otra parte, se ha observado que una solución nutritiva con 1 ppm de Al- soluble hace imposible el crecimiento de las plántulas de algodón y que 0,5 ppm de Al reduce el crecimiento de las raíces y causa

severos síntomas de toxicidad de Al, traducidos en una acentuada deficiencia de Ca y P (13, 40, 79, 89). La toxicidad de Al se presenta cuando este ión excede de 0,5 - 3,0 ppm en la solución del suelo (40).

Subsuelos fuertemente ácidos, con niveles tóxicos de Al, reducen la penetración de las raíces e incrementan la probabilidad del daño por sequía fisiológica (30).

Aunque el Al es generalmente reconocido como un elemento no esencial, Stoklasa, citado por Foy (32), encontró que pequeñas cantidades de Al benefician, y opinó que este elemento puede actuar como agente catalítico en la fotosíntesis; sin embargo, a más altas concentraciones coaguló las proteínas de las plantas y causó una pérdida de Ca y K, dañando las células.

Concentraciones de 0,1 - 0,2 ppm de Al en la solución nutritiva incrementan el desarrollo de las plántulas de alfalfa y trebol rojo (60).

2.9 Granulometría, profundidad de aplicación y movilidad de cal

Numerosas investigaciones han demostrado que la eficiencia de neutralización de la acidez de los suelos aumenta con el grado de finura del CaCO_3 (7, 35, 97).

Bear y Toth, citados por Camargo (18), verificaron que el material calcáreo que pasa a través de una malla de 150-200 mesh, es completamente disuelto en el suelo. Según los autores la eficiencia decrece a 87,5 por ciento cuando el material calcáreo se hace pasar por una malla de 65 - 100 mesh, a 33,2 por ciento para malla de 20 - 28 mesh y 15,8 por ciento a través de mallas de 10 - 14 mesh.

Las aplicaciones profundas de cal favorecen el mayor desarrollo de las raíces y por consiguiente son más tolerantes a los períodos cortos de sequía (70, 99); sin embargo, la incorporación de cal a determinadas profundidades depende grandemente de las propiedades físicas de los suelos y del equipo disponible (89).

Las altas precipitaciones y la buena permeabilidad de los suelos del trópico húmedo, son determinantes para que los efectos de la aplicación de cal sean más rápidamente disipados en estas regiones que en los suelos de climas templados (49, 56, 74). Los iones de Ca lixiviados pueden ser retenidos en los horizontes inferiores, los cuales normalmente son escasos en Ca y por esta razón puede detectarse mayores concentraciones de Ca en los horizontes sub-superficiales (49, 67).

De manera general, se ignora al sub-suelo en las recomendaciones de cal y fertilizantes; sin embargo, las plantas dependen del sub-suelo en muchos aspectos. La acidez del sub-suelo, puede restringir la penetración de las raíces y, por tanto, tendrán menos probabilidades de resistir a la sequía. La aplicación de cal para corregir la acidez del sub-suelo en muchos casos no es efectiva, debido a la baja capacidad de intercambio catiónico y la facilidad de drenaje de los suelos (48).

Pearson (73) sugiere aplicar una sal de Ca con un ión orgánico como gluconato para corregir la acidez del sub-suelo, y otra posibilidad es el uso de nitrato de Ca.

2.10 Determinación de las necesidades de cal

Kamprath (51, 52, 53) encontró que el pH y el Ca de cambio aumentaron en función de la dosis del cal usadas. El Al presente en los

suelos fue neutralizado con cantidades relativamente bajas de cal. Según el autor, el nivel óptimo de neutralización fue diferente para los suelos estudiados y la cantidad de cal comprendió entre 1,5 y 3,0 veces la cantidad de Al presente. La producción de materia seca mostró una correlación negativa con el porcentaje de saturación de Al y con el contenido de Al de cambio.

El uso de cal debe basarse en la cantidad de acidez intercambiable extraída con una solución salina neutra "no - buffer". En los suelos minerales la acidez intercambiable en su mayoría es Al, mientras en suelos con alta materia orgánica puede encontrarse H intercambiable además de Al intercambiable (50). El autor señala que:

$$\text{Acidez intercambiable} = N \text{ base} \times \text{ml de base} \times \frac{100}{\text{Peso suelo}}$$

meq de acidez intercambiable $\times \frac{2}{1}$ = meq de la cal necesaria para neutralizar el Al intercambiable.

$$1 \text{ meq de cal/100 gr de suelo} = 1 \text{ TM de cal/ha}$$

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del experimento

El experimento se realizó en los terrenos del Programa de Cultivos Anuales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, ubicados en Turrialba, Costa Rica, a 602 m.s.n.m. y con posición geográfica 9° 53' latitud norte y 83° 39' longitud oeste.

3.2 Clima

Las características climáticas de la zona donde se realizó el experimento son:

Temperatura máxima (promedio)	27,1°C
Temperatura mínima (promedio)	17,0°C
Precipitación media anual	2682 mm
Humedad relativa promedio	88%

Según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge (43), esta zona se considera como bosque muy húmedo ^{temperado} tropical. Ecológicamente, la zona de Turrialba corresponde a un bosque tropical húmedo (94).

3.3 Suelo

El suelo es de origen aluvial fluvio lacustre, perteneciente a la serie Instituto Arcilloso, fase normal, clasificado a nivel de subgrupo en el sistema de la Taxonomía de Suelos como typic dystropept (5). Su drenaje varía de normal a impedido y la fertilidad es de media a baja.

3.4 Preparación del terreno y aplicación de cal

La preparación del terreno se realizó con un tractor de neumáticos con arado de discos para romper el suelo, luego se pasó una rastro y para su completo desmenuzamiento se utilizó un arado rotativo.

La aplicación del material encalante se hizo al voleo de acuerdo a los tratamientos (Cuadro 1). El CaCO_3 no se incorporó al suelo, se dejó sobre la superficie del mismo durante tres días hasta la siembra.

3.5 Sistemas de cultivos

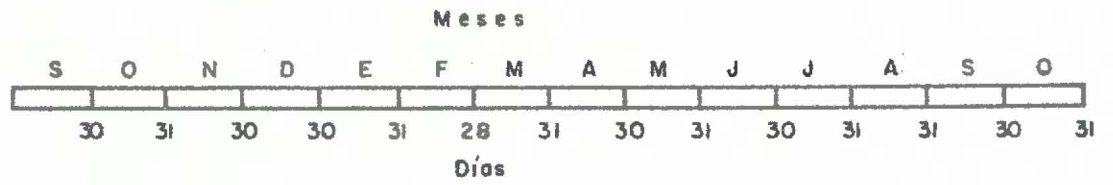
Se estudiaron los sistemas maíz-frijol-maíz y maíz-frijol-camote, con un arreglo espacial de sucesiones de monocultivos.

El maíz (Zea mays L.) elegido para el experimento fue la variedad Tuxpeño-1, planta baja que posee un ciclo de vida que varía entre 120 a 140 días.

El frijol (Phaseolus vulgaris L.) estudiado, fue la variedad CATIE-1 que se caracteriza por su hábito trepador, teniendo un ciclo de vida que varía entre 85 y 90 días, pudiendo variar considerablemente este ciclo en función de la precipitación pluvial.

El camote (Ipomoea batatas (L.) Lam) utilizado para este experimento fue la variedad C-15, que se considera de tipo indeterminado, de crecimiento rastro y con raíces tuberosas poco uniformes.

El arreglo cronológico de las especies está presentado en la Fig. 1.



Primer cultivo

Maíz (elote)

Permanencia en días

89-90

Segundo cultivo

Frijol

84

Tercer cultivo

Maíz (grano)

133

Camote

143

Fig. 1 Distribución espacial y cronológica de los cultivos estudiados

3.6 Descripción de tratamientos

Los tratamientos consistieron en la aplicación de cuatro niveles de CaCO_3 de 60 por ciento de efectividad, necesarios para obtener cuatro niveles de neutralización de la acidez intercambiable (ver Cuadro 1). El material encalante fue tamizado en una malla de 200 mesh.

3.7 Fertilización

3.7.1 Primera siembra (maíz)

Se usó el fertilizante 10-30-10 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$), en la primera aplicación y durante la siembra. Los fertilizantes: 18-10-6-5 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O-Mg}$), NH_4NO_3 (33,5% de N) y KCl (51% de K_2O) en la segunda fertilización, a 27 días después de la siembra, a razón de 75-66-50 kg/ha, aplicados al voleo.

3.7.2 Segunda siembra (frijol)

Para el cultivo de frijol, se aplicó un nivel de fertilización de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ de 75-34-20 kg/ha. Se aplicó el fertilizante 10-30-10 durante la siembra y los fertilizantes 18-10-6-5, NH_4NO_3 y KCl a las dos semanas después de la siembra.

3.7.3 Tercera siembra (maíz y camote)

En la primera fertilización se utilizó superfosfato simple (20% de P_2O_5 , 20% de Ca, 12% S), NH_4NO_3 y KCl, tanto para el cultivo de maíz como para el camote.

En la segunda fertilización se utilizaron superfosfato simple, NH_4NO_3 y KCl para el cultivo de camote. Los fertilizantes fueron aplicados en dosis de 75-60-50 kg/ha para el maíz y 75-90-150 kg/ha para el camote, de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente. Las fechas de fertilización se detallan en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Acidez intercambiable y niveles de cal aplicados.

Acidez intercambiable meq/100 g de suelo	Niveles % de neutralización del Al-intercambiable	CaCO ₃	
		kg/parcela	kg/ha
0,58*	0	0,0	0,0
	50	14,5	402,8
	100	29,0	805,6
	200	58,0	1611,2

* Promedio de 12 observaciones iniciales

Cuadro 2. Epocas de siembra y fertilización.

Especie	Siembra	Fertilización	Cantidad de nutrimentos aplicados kg/ha
Maíz	Set. 2, 1977	Set. 2, 1977	15 - 45 - 15
		Set. 29, 1977	60 - 21 - 35
		Total	75 - 66 - 50
Frijol	Dic. 12, 1977	Dic. 12, 1977	10 - 30 - 10
		Dic. 27, 1977	65 - 4 - 10
		Total	75 - 34 - 20
Maíz	Mayo 23, 1978	Mayo 25, 1978	15 - 45 - 15
		Junio 26, 1978	60 - 21 - 35
		Total	75 - 66 - 50
Camote	Mayo 23, 1978	Mayo 26, 1978	25 - 90 - 25
		Junio 27, 1978	50 - 0 - 125
		Total	75 - 90 - 150

3.8 Descripción de la parcela típica

El tamaño de la parcela experimental, para los cultivos de maíz y frijol fue de 360 m^2 (Fig. 2).

En la tercera siembra, se dividió la parcela grande en dos parcelas de 180 metros cuadrados cada una, donde se establecieron los cultivos de maíz y camote (Fig. 3).

3.9 Diseño experimental

Los tratamientos se distribuyeron siguiendo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones (21, 91). El tamaño de cada parcela experimental durante el cultivo de maíz y frijol (primera y segunda siembra) fue de $16 \times 20 \text{ m}$, lo cual hace un total de 1440 m^2 por bloque y una área experimental de 4320 m^2 .

Las dimensiones de las parcelas experimentales utilizadas en la tercera siembra fueron $9 \times 20 \text{ m}$.

3.10 Manejo de los cultivos

3.10.1 Siembra

La semilla de maíz se trató con Aldrín al 2,5 por ciento el mismo día de la siembra. Las semillas de frijol se trataron con malathión al 0,2 por ciento. Las estacas de camote no tuvieron ningún tratamiento previo a la siembra.

La siembra de maíz, frijol y camote se efectuó con espeque, aplicando Aldrín al hoyo a razón de 4 kg/ha para el control de la gallina ciega (Phyllophaga sp.), gusano cortador (Agrotis spp.) y babosas (Vaginulus sp.). Las densidades de siembra se muestran en la Fig. 4.

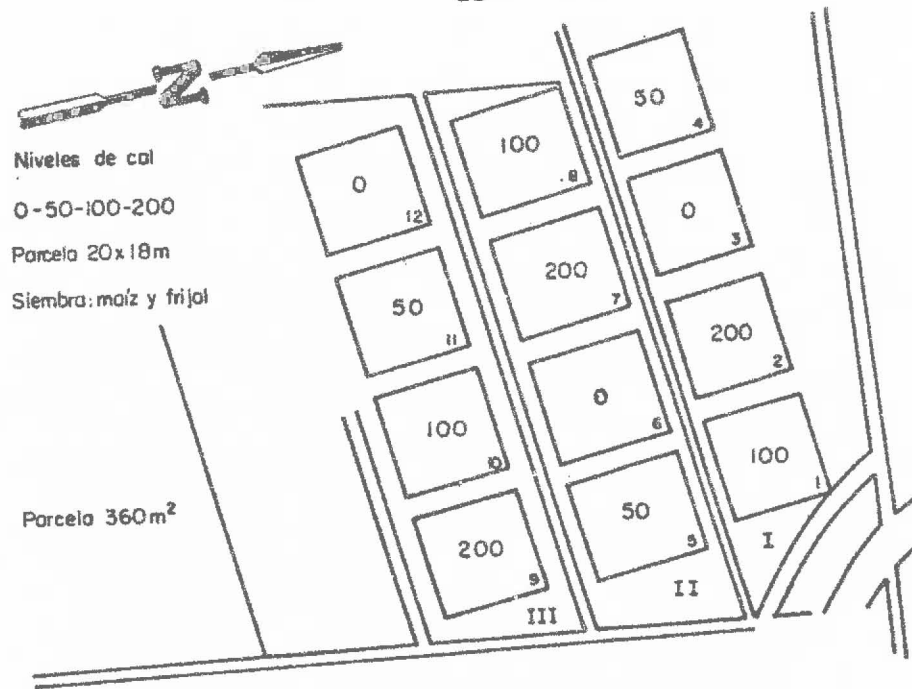


Fig. 2 Croquis de campo durante el cultivo del maíz seguido del frijol

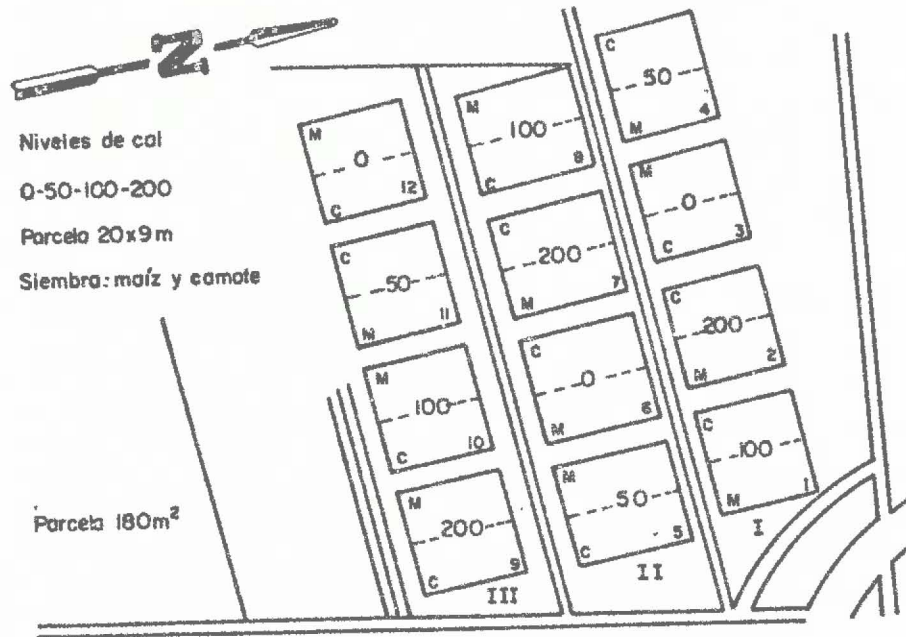


Fig. 3 Croquis de campo durante el cultivo del maíz y del camote

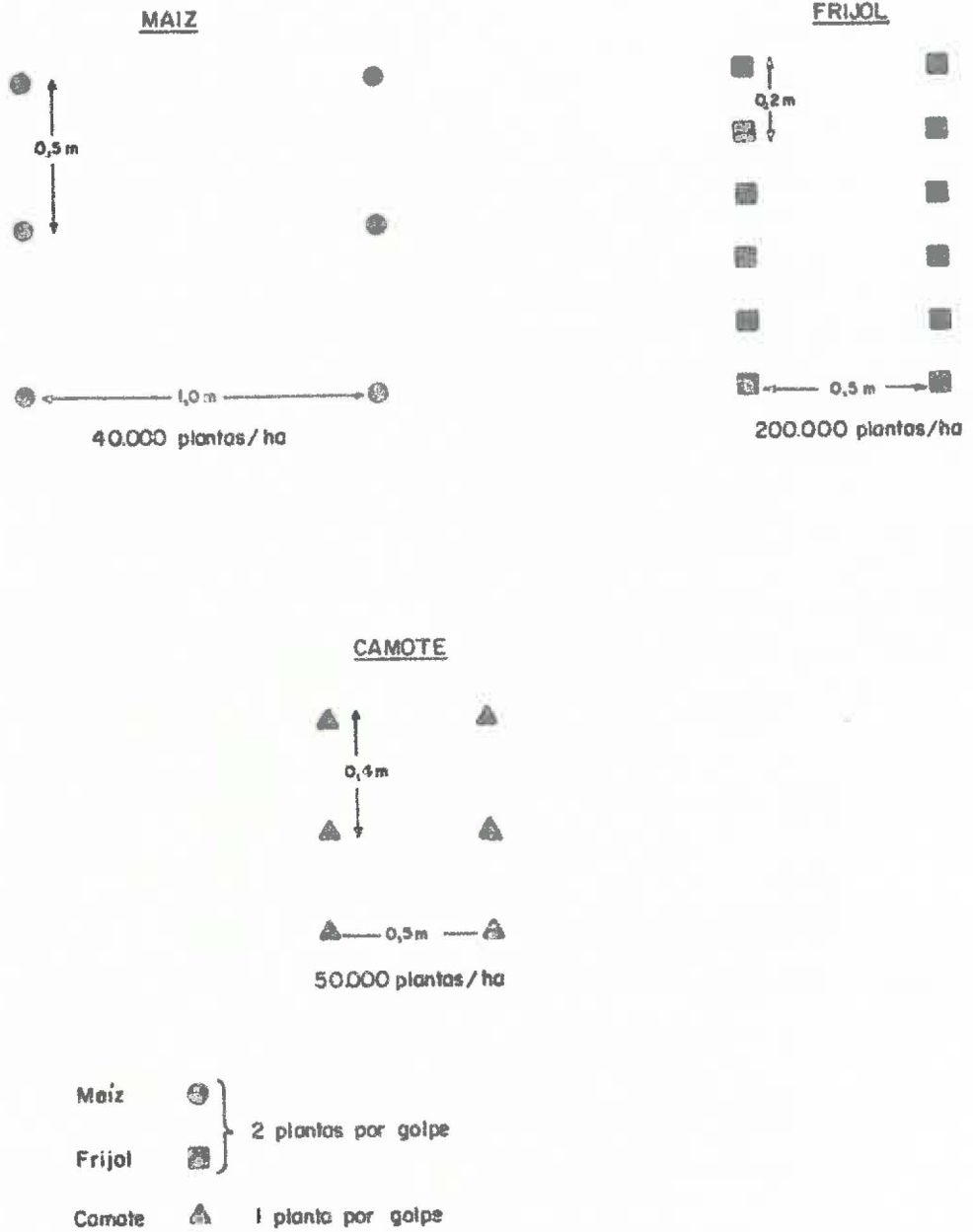


Fig. 4 Distribución del maíz, frijol y camote dentro de cada parcela

3.10.2 Control sanitario

Durante el cultivo de maíz se aplicó elocrón a razón de 0,416 kg/ha para el control de Agrotis sp. y 0,917 l/ha de toxafeno para el control de Diabrotica balteata.

Luego de la cosecha de maíz, se aplicó Gramoxone para control de malezas, previo a la siembra del frijol. A los 14 días de la siembra de frijol se aplicó DDTOX en un volumen de 1 l/ha para controlar el Agrotis sp. Para el control de Diabrotica balteata se aplicó 0,416 l/ha del insecticida Diazinón.

Antes de la tercera siembra se aplicó Gramoxone para la quema de las malezas a razón de 8 l/ha, luego se hizo una limpia con machete para quitar las malezas y los tallos del maíz que se habían dejado después del primer cultivo, para soporte del frijol.

Posterior a la siembra del maíz y antes de la siembra de camote se aplicó 3 l/ha de Gramoxone (pre-emergente).

A los 20 días de la siembra de maíz se hizo la limpia y aporque del maíz. Las parcelas de camote fueron tratadas con Gramoxone para controlar el crecimiento de las malezas. Posteriormente, se aplicó Diazinón para el control de vaquitas, tanto en el cultivo de maíz como en el cultivo de camote. En las parcelas de maíz se aplicó Sevín en un volumen de 0,5 l/ha para el control de gusano cogollero (Spodoptera frugiperda). A los 45 días después de la siembra de maíz se detectó la presencia de bacterias probablemente Erwinia sp.; el daño ocasionado por esta bacteria fue notable, ya que ocasionó pudrición en el ápice de crecimiento de la planta. El daño fue mayor en los tratamientos, 100 por ciento de neutralización de Al de la repetición I y 0 por ciento de

neutralización de Al de la repetición III, donde alcanzó a 30 y 14 por ciento de la población de plantas/parcela, respectivamente.

3.10.3 Cosecha y muestreo de suelos

La cosecha del primer cultivo de maíz se hizo en elote, para el análisis estadístico se transformó el peso fresco de elote (P.F.E.) en peso seco grano tierno (P.S.G.T.), para lo cual se transformó previamente el peso fresco elote a peso seco elote ($r = 0,8150^{**}$) y luego el peso seco elote a peso seco grano tierno ($r = 0,8462^{**}$).

Con este fin se realizaron las siguientes determinaciones:

- Peso fresco total de cada elote
- Largo y diámetro de cada elote (cm)
- Peso fresco de brácteas + ráquis
- Peso fresco de granos
- Peso seco de brácteas + ráquis
- Peso seco de granos tiernos

Elote = 3 meses de crecimiento.

Los rendimientos del maíz (primera y tercera siembra) y frijol fueron expresados a la humedad estándar de 12 por ciento (19).

El rendimiento de camote se determinó en el campo, inmediatamente después de la cosecha.

Durante el muestreo de suelos se tomaron dos muestras por parcela (0-15 y 15-30 cm) constituida cada una de ellas de 20 sub-muestras (Cuadro 3).

Cuadro 3. Epocas de cosecha y muestreo de suelos.

Especie	Cosecha	Muestreo de Suelos	Profundidad (cm)
Sin cultivo	--	Set. 10, 1977	0 - 15
Maíz	Nov. 7, 1977	Nov. 30, 1977	0 - 15 15 - 30
Frijol	Mar. 7, 1978	Mar. 13, 1978	0 - 15 15 - 30
Maíz	Oct. 3, 1978	Oct. 17, 1978	0 - 15 15 - 30
Camote	Oct. 11, 1978	Oct. 24, 1978	0 - 15 15 - 30

3.11 Análisis químico de suelos

En los suelos estudiados se realizaron las siguientes determinaciones:

3.11.1 Determinación de pH

Se siguió la metodología descrita por Díaz-Romeu y Hunter (26) para determinar el pH en agua (relación suelo/agua 1:2,5) y en solución de KCl N (relación suelo/agua 1:2,5), de acuerdo con Puri y colaboradores, citados por Saíz del Río y Bornemisza (86).

3.11.2 Acidez intercambiable

La extracción se hizo con KCl N y se tituló con NaOH 0,01N (50).

3.11.3 Calcio y magnesio cambiables

Para esta determinación se usó KCl N como extractante (26) y se hicieron las lecturas por medio del espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer 370 A.

3.11.4 Fósforo disponible

Se usó la solución extractora modificada de NaHCO_3 (26) y se determinó colorimétricamente por medio del espectrofotómetro Coleman 295.

3.11.5 Potasio, hierro, manganeso, zinc y cobre

Se siguió el método descrito por Díaz-Romeu y Hunter (26). Se usó el espectrofotómetro de absorción atómica P.E. 370 A.

3.11.6 Materia orgánica

Se realizó esta determinación de acuerdo al método de Walkley y Black, descrito por Sáiz del Río y Bornemisza (86).

3.11.7 Nitrógeno total

Se determinó por el método de semi-micro Kjeldahl, descrito por Bremner (15).

3.11.8 Requerimientos de cal

El cálculo de la cantidad de CaCO_3 a aplicar a los tratamientos, se hizo conforme a la metodología propuesta por Kamprath (50).

3.12 Análisis de la información

El modelo estadístico básico a utilizarse para los análisis de

rendimiento de los cultivos de maíz, frijol y camote fue la siguiente:

$$Y_{ij} = u + t_i + B_j + E_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = variable de respuesta

u = media general

t_i = efecto de tratamiento

B_j = efecto de bloques

E_{ij} = error experimental

3.13 Evaluación económica de las respuestas a los tratamientos

3.13.1 Beneficios y costos de tratamientos

La técnica del presupuesto parcial se utiliza cuando se quiere hacer un rápido análisis sobre la bondad de un plan alternativo en relación al actual (36). En el presente trabajo se utilizó el método de presupuesto parcial para hacer un análisis sobre la bondad de los planes alternativos: 50, 100 y 200 por ciento de neutralización de A1, en relación al plan actual 0 por ciento de neutralización, para los sistemas considerados.

Los elementos necesarios para elaborar un presupuesto parcial (68), pueden agruparse así:

- A Ingresos adicionales
- B Costos reducidos
- C Nuevas entradas (A + B)
- D Ingresos reducidos
- E Costos adicionales
- F Nuevas salidas (D + E)
- G Diferencia (C - F)

3.13.2 Aplicación óptima de la cal

Posteriormente, se hizo una evaluación de la aplicación óptima de cal a los diferentes tratamientos. El modelo estadístico corresponde a una función insumo - producto (11).

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X + b_2X$$

donde:

$$\hat{Y} = \text{Ingreso neto (IN)}$$

$$X = \text{Nivel de neutralización de Al (cal)}$$

4. RESULTADOS

4.1 Clima

En la Fig. 5 se presentan los datos de precipitación y temperatura imperantes durante el ensayo. La precipitación tuvo oscilaciones muy marcadas, alcanzando valores más bajos en los meses de diciembre, enero, marzo y abril. En los meses restantes que comprendió el período experimental, la precipitación varió entre 168 mm y 254 mm mensualmente, excepto en el mes de noviembre donde la precipitación alcanzó a 109 mm.

En lo referente a la temperatura, se observa que durante los primeros meses hubo una disminución gradual, alcanzando el valor más bajo en el mes de enero (20°C), para luego ascender a 22,7°C en el mes de mayo. En los meses siguientes la oscilación de la temperatura fue poco notoria.

4.2 Análisis químico de suelos

4.2.1 Análisis inicial

Los resultados de los análisis de suelos efectuados antes de la aplicación de cal, se muestran en el Cuadro 1A.

El pH en agua varió entre 5,0 y 5,5 y el pH en K Cl N varió de 4,3 a 4,6. La acidez extraíble fluctuó en el rango de 0,5 a 1,53 meq/100 ml de suelo.

El contenido de N (N-total) en las parcelas consideradas, varió entre 0,17 por ciento y 0,28 por ciento. El P (P-disponible) estuvo comprendido en el rango de 2,5 a 4,0 ug/ml de suelo, el K (K-extraíble)

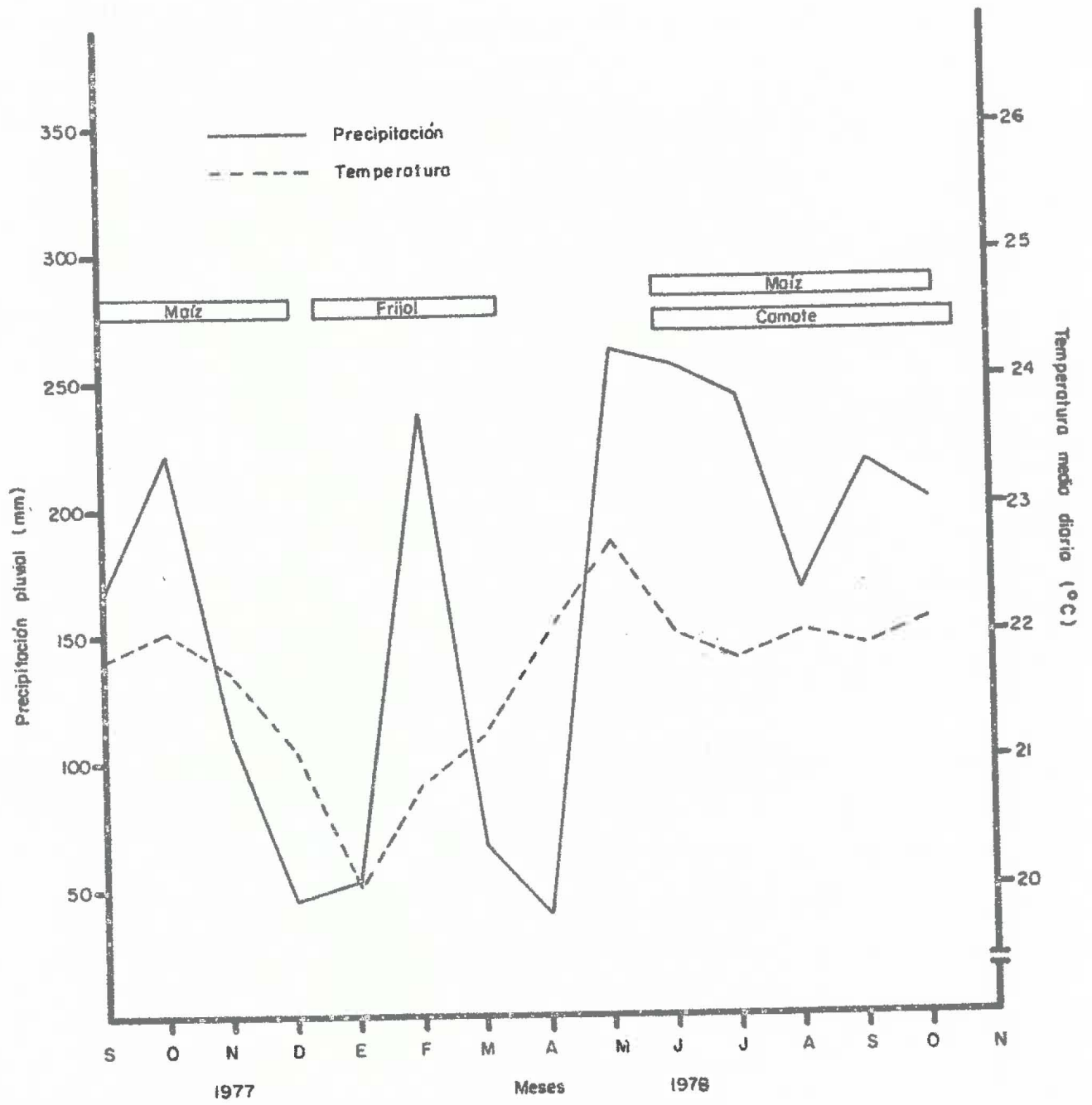


Fig. 5 Precipitación mensual y temperatura media diaria durante el período experimental

entre 0,11 y 0,38 meq/100 ml de suelo. El Ca (Ca-extraíble) fluctuó entre 2,3 a 4,8 meq/100 ml de suelo y el Mg (Mg-extraíble) entre 0,8 y 2,3 meq/100 ml de suelo.

Los análisis de variancia correspondientes a estos datos, indican diferencias significativas solamente entre repeticiones, tal como se muestra en el Cuadro 3A.

4.2.2 Análisis de suelos después de la aplicación de cal y cosecha de maíz

Los análisis realizados después de la aplicación de cal y cosecha de maíz (primera siembra), indican una variación de pH en agua de 5,2 a 5,6 en la profundidad de 0-15 cm y de 5,1 a 5,5 en la profundidad de 15 - 30 cm. Para el caso del pH en KCl, para ambas profundidades, los valores oscilaron de 4,2 a 4,5 y de 4,3 a 4,5, respectivamente. La acidez fluctuó entre 0,3 y 1,5 meq/100 ml de suelo para la capa superficial, y entre 0,3 y 1,3 meq/100 ml de suelo para la profundidad de 15 - 30 cm (Cuadro 2A).

Los valores de N, P y K se mantuvieron iguales en relación al análisis efectuado antes de la aplicación de cal para la profundidad de 0 - 15 cm. En el sub-suelo (15 - 30 cm), estos elementos fluctuaron entre 0,16 y 0,27 por ciento para el N, entre 1,0 y 3,5 ug/ml de suelo para el P y entre 0,06 y 0,23 meq/100 ml de suelo para el K.

El Ca y Mg variaron entre 2,5 - 5,3 y entre 0,7 - 2,7 meq/100 ml de suelo en la capa superficial, respectivamente. La concentración de estos elementos en el sub-suelo fluctuó entre 2,6 y 5,2 meq/100 ml de suelo para el Ca y entre 0,8 y 2,2 meq/100 ml de suelo para el Mg.

En el Cuadro 4A, se observa que no hubo diferencia significativa entre tratamientos, pero sí entre repeticiones en las dos profundidades.

4.2.3 Análisis de suelos después del cultivo de frijol

Los análisis correspondientes a valores de pH tanto en H₂O como en KCl no mostraron variación alguna con relación al muestreo anterior, en las dos profundidades. La acidez se incrementó ligeramente en relación al muestreo después del cultivo de maíz, tal como se observan en los Cuadros 2A y 5A.

El N se incrementó ligeramente y los valores respectivos fluctuaron entre 0,23 y 0,28 por ciento para la capa superficial. En la profundidad de 15-30 cm no hubo variación alguna en el porcentaje de N. El contenido de P se incrementó en las dos profundidades ubicándose entre 2,9 y 5,1 ug/ml de suelo para la profundidad de 0 - 15 cm y entre 2,0 y 4,0 ug/ml de suelo para el sub-suelo. El K se mantuvo igual en relación a los análisis anteriores.

El Ca y Mg para ambas profundidades se mantuvieron sin variaciones notorias (Cuadro 5A).

El análisis estadístico mostró diferencias significativas solamente entre repeticiones para la mayoría en los elementos considerados, como se puede observar en el Cuadro 7A.

4.2.4 Análisis de suelos después del cultivo de maíz y camote

De acuerdo al Cuadro 6A, los análisis de suelos correspondientes después de la cosecha de maíz (tercera siembra), indican que los valores de pH en H₂O para la profundidad de 0 - 15 cm fluctuaron entre 5,0 y 5,3,

y para la profundidad de 15 - 30 cm varió entre 5,1 y 5,3. El pH en KCl para ambas profundidades variaron entre 4,2 a 4,4 y entre 4,0 a 4,4 respectivamente.

La acidez fluctuó entre 0,7 y 1,8 meq/100 ml de suelo para la profundidad de 0 - 15 cm y entre 0,7 y 1,6 meq/100 ml de suelo para la profundidad de 15 - 30 cm.

El contenido de N fluctuó entre 0,16 y 0,29 por ciento en la capa superficial y entre 0,14 y 0,26 por ciento en la profundidad de 15 - 30 cm.

El P varió entre 5,1 y 7,8 ug/ml de suelo en la primera profundidad y entre 4,0 y 6,0 ug/ml de suelo en el sub-suelo.

El contenido de K disminuyó en relación al análisis de suelos, después de la cosecha de frijol; los valores correspondientes fluctuaron entre 0,07 y 0,27 meq/100 ml de suelo en los primeros 15 cm y entre 0,04 y 0,19 meq/100 ml de suelo en la profundidad de 15 - 30 cm.

Los valores respectivos para Ca y Mg fueron 2,5 - 4,5 meq/100 ml de suelo y 0,7 - 2,3 meq/100 ml de suelo para la capa superficial; 2,3 - 4,7 meq/100 ml de suelo y 0,6 - 2,0 meq/100 ml de suelo para el sub-suelo.

El análisis de variancia para el referido muestreo denotó diferencias significativas solamente entre repeticiones, no así entre tratamientos (Cuadro 8A).

El análisis después del cultivo de camote muestra valores de pH en agua similares a los encontrados después del cultivo de maíz para ambas profundidades. Los valores de pH en KCl fluctuaron entre 4,2 y 4,4 para la profundidad de 0 - 15 cm y entre 4,2 y 4,5 para la profundidad

de 15 - 30 cm. La acidez para ambas profundidades estuvo comprendida entre 0,6 y 1,9 y entre 0,3 y 1,3 meq/100 ml de suelo, respectivamente.

El N no varió mayormente en relación al muestreo anterior. El P se incrementó ligeramente y los valores fluctuaron entre 5,7 - 8,8 ug/ml de suelo para los primeros 15 cm y entre 5,0 - 6,5 ug/ml de suelo para la segunda profundidad. Los valores respectivos para el K son 0,10 y 0,37 meq/100 ml de suelo para la primera profundidad y 0,04 - 0,14 meq/100 ml de suelo para la segunda.

La determinación de Ca y Mg mostró mayor concentración de estos elementos en el sub-suelo. Los valores correspondientes fueron: 2,1 y 5,3 meq/100 ml de suelo para el Ca y 0,5 y 1,8 meq/100 ml de suelo para el Mg en la profundidad de 0 - 15 cm, entre 2,8 y 5,3 meq/100 ml de suelo y entre 0,6 y 2,4 meq/100 ml de suelo para el Ca y Mg, respectivamente, para la profundidad de 15 - 30 cm (Cuadro 9A).

De acuerdo con el Cuadro 10A los análisis de variancia muestran diferencias significativas entre repeticiones para la mayoría de los elementos en ambas profundidades.

Hubo diferencias significativas al nivel de 5 por ciento entre tratamientos para K y Ca, en la profundidad de 0 - 15 cm.

4.3 Rendimiento

Los rendimientos correspondientes a los cultivos se presentan en el Cuadro 4. El primer cultivo de maíz se cosechó en elote. Posteriormente, el peso fresco de los elotes (P.F.E.) se transformó en peso seco de granos tiernos (P.S.G.T.) con base en las ecuaciones de regresión representadas en las Figs. 6 y 7.

Cuadro 4. Rendimientos*de maíz, frijol y camote, expresados en kg/ha.

Tratamiento % de neut. de Al.	Primer cultivo		Segundo cultivo	Tercer cultivo	
	P.F.E.**	Maíz P.S.G.T.***	Frijol	Maíz	Camote
0	9917	1034	610	2557	5668
50	10950	1166	682	2895	4486
100	11260	1211	860	2807	4655
200	11745	1290	633	2778	5531

* Promedio de tres repeticiones.

** P.F.E. = Peso fresco elote

*** P.S.G.T. = Peso seco grano tierno.

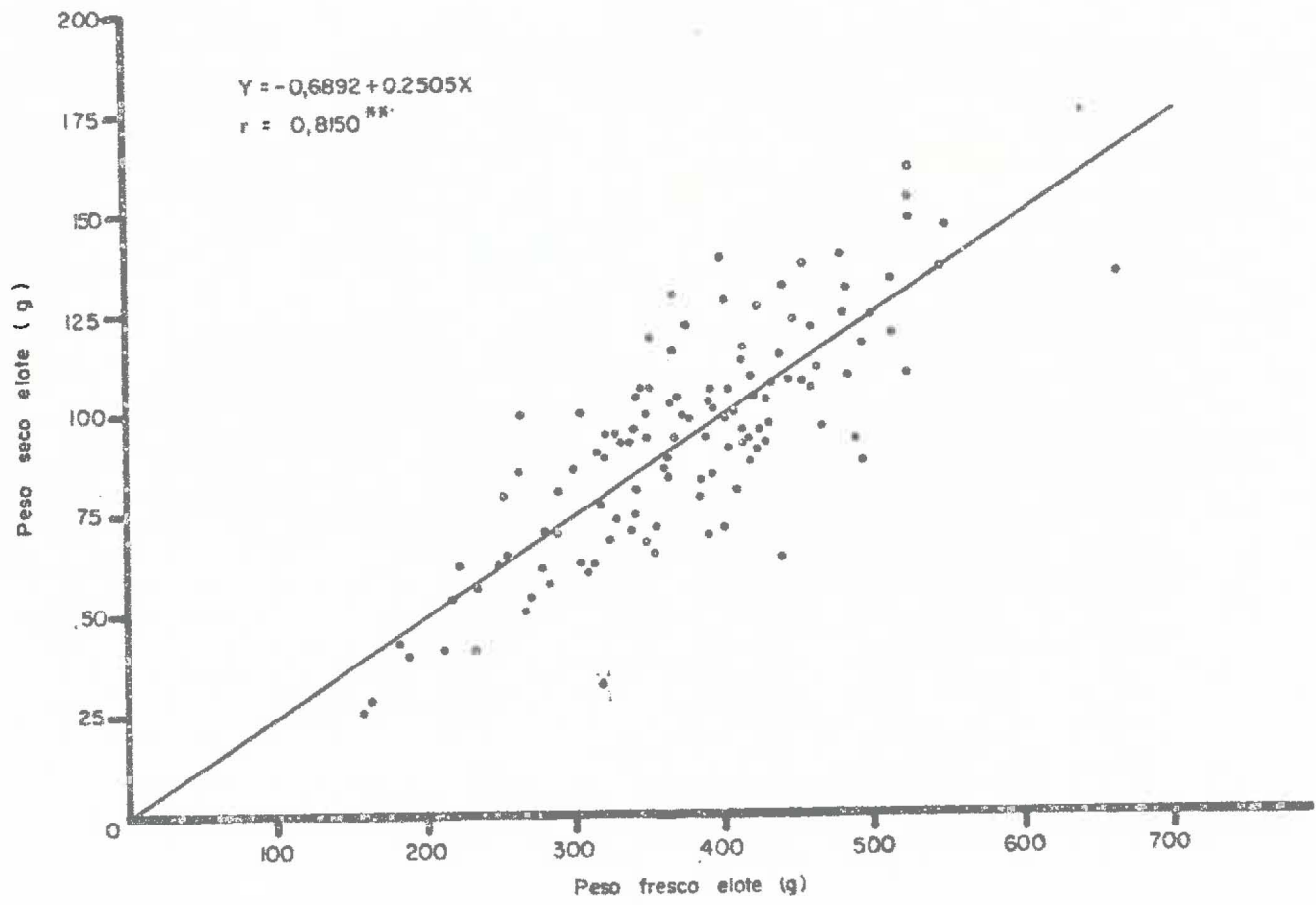


Fig. 6 Curva de regresión entre el peso fresco elote (P.F.E.) y peso seco elote (P.S.E.)

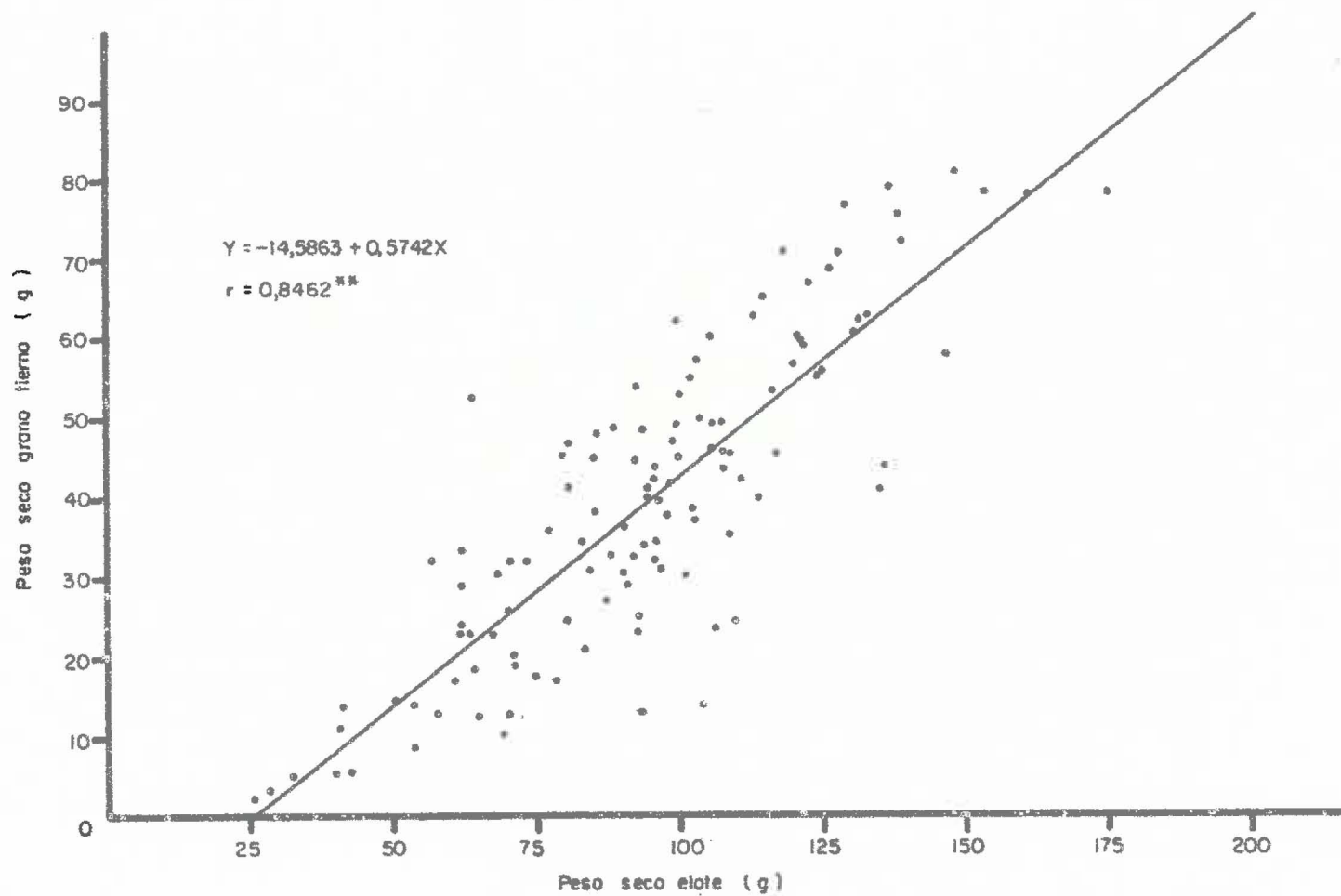


Fig.7 Curva de regresión entre el peso seco elote (P.S.E.) y peso seco grano tierno (P.S.G.T.)

Los rendimientos de maíz en grano (primera y tercera siembra) y del frijol fueron expresados a la humedad de 12 por ciento.

El análisis de variancia de los datos anteriores no fue significativo estadísticamente a ningún nivel de probabilidad considerado (Cuadro 11A).

El rendimiento total del maíz expresados en kg de grano seco/ha fue mayor en el tratamiento 200 por ciento de neutralización de Al.

De acuerdo con el Cuadro 4, el rendimiento en grano del primer cultivo de maíz, fue comparativamente inferior con relación al del tercer cultivo y esto se debe a que el peso seco grano en elote es inferior a peso seco grano en la madurez total del maíz.

El rendimiento máximo de frijol alcanzó a 860 kg/ha (100% de neutralización de Al), y el inferior a 610 kg/ha (0% de neutralización de Al), posiblemente estos rendimientos fueron afectados negativamente por la escasa precipitación pluvial registrada durante el período de floración.

Durante la tercera siembra se obtuvieron rendimientos satisfactorios en el cultivo de maíz, que fluctuaron entre 2557 kg/ha para el tratamiento 0 por ciento de neutralización de Al y 2895 kg/ha para el tratamiento 50 por ciento de neutralización de Al. El rendimiento de camote estuvo comprendido entre 4486 kg/ha para el tratamiento 50 por ciento de neutralización de Al y 5668 kg/ha para el tratamiento 0 por ciento de neutralización de Al.

4.4 Relación entre el rendimiento y el porcentaje de neutralización de Al intercambiable

Con el propósito de detectar el efecto residual de CaCO_3 , en el desarrollo de los sistemas estudiados, se presenta en la Fig. 8 la relación entre rendimiento y el porcentaje de neutralización de Al en la capa superficial (0 - 15 cm).

Durante el primer cultivo la respuesta del rendimiento a la aplicación de cal muestra una tendencia ascendente.

En el cultivo de frijol la curva de rendimiento alcanzó su máximo valor en el tratamiento 100 por ciento de neutralización de Al intercambiable. Con el tratamiento 200 por ciento de neutralización de Al se obtuvo un rendimiento inferior en relación al tratamiento 100 por ciento, como se observa en la figura respectiva.

En el tercer cultivo (maíz y camote), no hubo respuesta a la aplicación de tratamientos, ya que para el maíz el máximo rendimiento correspondió a 50 por ciento de neutralización de Al y el menor al tratamiento 0 por ciento. En cambio en el cultivo de camote, el rendimiento más alto correspondió al tratamiento 0 por ciento de neutralización de Al y el menor al tratamiento 50 por ciento. La razón de ello es debido posiblemente a que el efecto residual de la cal aplicada disminuyó con el tiempo.

4.5 Cambios en acidez del suelo superficial a través del tiempo en los sistemas estudiados

En el sistema maíz-frijol-maíz (Fig. 9), se observa un notable incremento de la acidez extraíble con el tiempo para el tratamiento

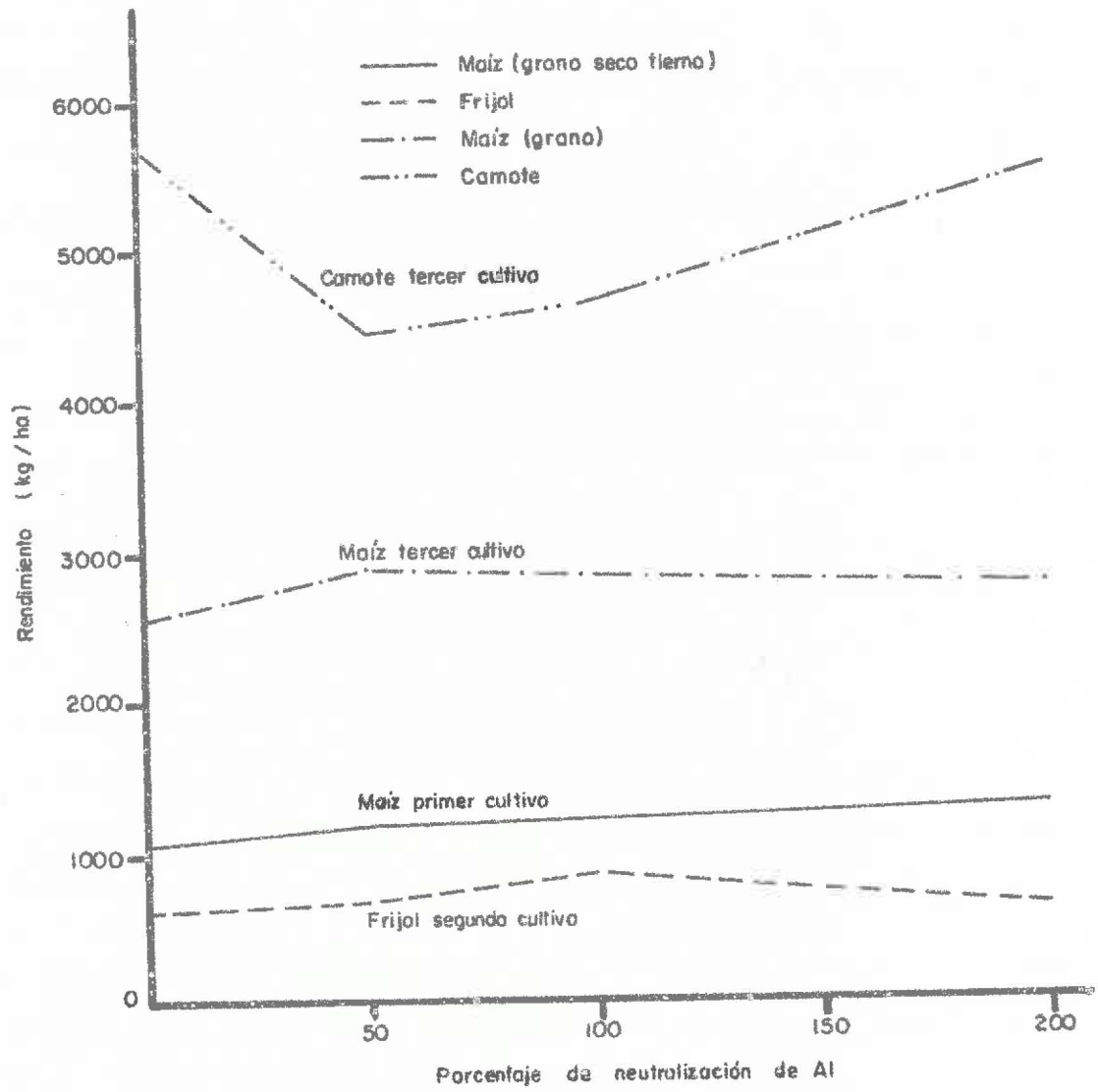


Fig. 8 Respuesta de los cultivos a la neutralización de Al en la capa superficial del suelo (0-15 cm)

0 por ciento de neutralización de Al. La acidez inicial determinada alcanzó a un promedio de 0,96 meq/100 ml de suelo. Al final del experimento la acidez aumentó a 1,47 meq/100 ml de suelo. La acidez se incrementó en 53 por ciento en relación a la acidez original.

La aplicación de cal en niveles de 50 por ciento y 100 por ciento de neutralización de Al, redujo a la acidez del suelo hasta 0,70 y 0,73 meq/100 ml de suelo, después del cultivo de maíz (primera siembra), respectivamente. Sin embargo, después del cultivo de maíz (tercera siembra), la acidez se incrementó a 1,17 meq/100 ml de suelo para el tratamiento 50 por ciento de neutralización de Al y a 1,20 meq/100 ml de suelo para el tratamiento 100 por ciento de neutralización.

Con el tratamiento 200 por ciento de neutralización de Al, la variación de la acidez después del cultivo de maíz (primera siembra) no fue notoria, debido a que el cambio de acidez fue de 1,08 a 1,03 meq/100 ml de suelo. Al final del sistema la acidez extraíble alcanzó a 1,40 meq/100 ml de suelo.

Los cambios de acidez del suelo en el sistema maíz-frijol-camote (Fig. 10) presentan una tendencia similar al sistema maíz-frijol-maíz (ver Fig. 9). La acidez determinada al término del sistema alcanzó a 1,53 meq/100 ml de suelo para el tratamiento 0 por ciento de neutralización de Al. Los valores de acidez correspondientes a los tratamientos 50, 100 y 200 por ciento de neutralización de Al alcanzaron a 1,10, 1,40 y 1,13 meq/100 ml de suelo, respectivamente.

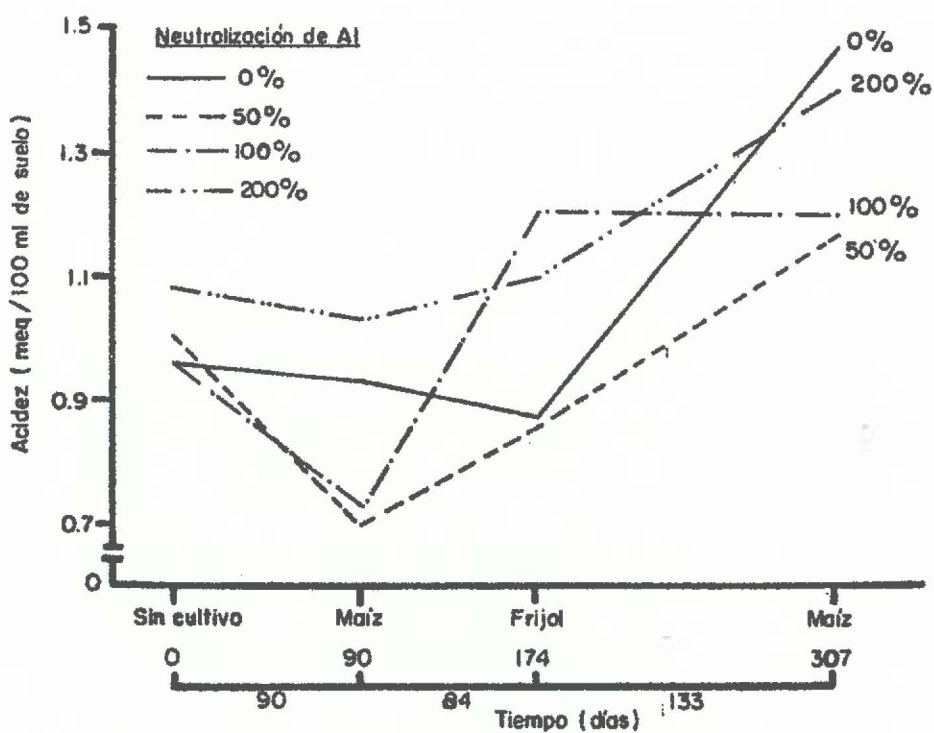


Fig. 9 Cambios en acidez del suelo superficial, a través del tiempo en el sistema maíz - frijol - maíz

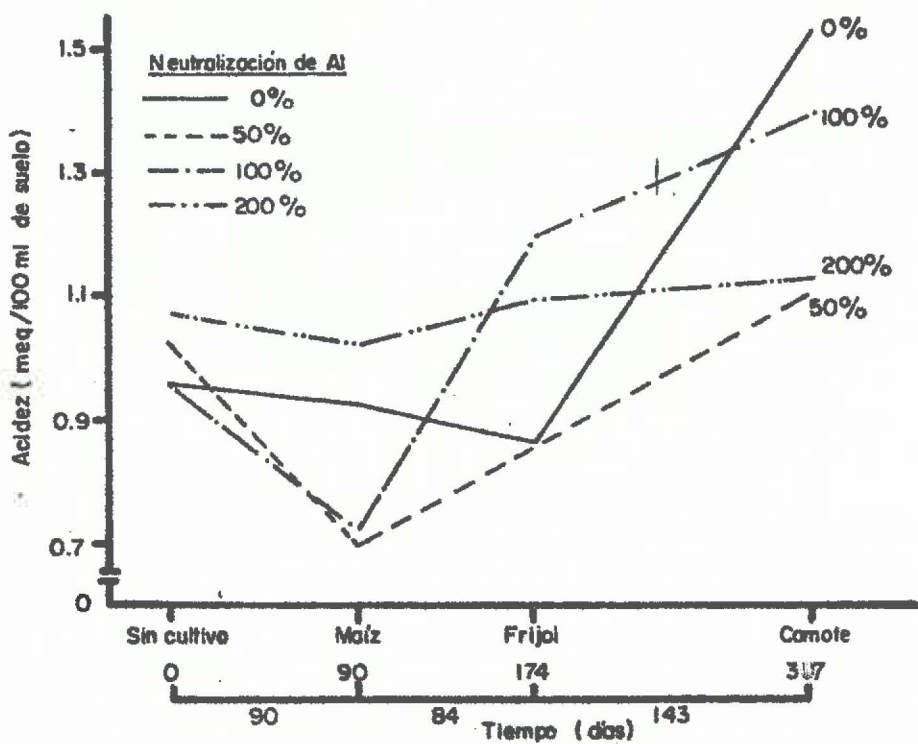


Fig. 10 Cambios en acidez del suelo superficial a través del tiempo en el sistema maíz - frijol - camote

4.6 Cambios en el porcentaje de saturación de Al intercambiable en el suelo superficial, a través del tiempo en los sistemas estudiados

Las tendencias de las curvas del porcentaje de saturación de Al para los tratamientos 0, 50, 100 y 200 por ciento de neutralización de Al, para los sistemas maíz-frijol-maíz y maíz-frijol-camote (Figs. 11 y 12) son similares a las curvas de acidez en relación al tiempo (ver Figs. 9 y 10). Por tanto, no se hace mayor comentario al respecto.

4.7 Cambios de la concentración del Ca en la capa superficial de los suelos a través del tiempo

La concentración de Ca en los sistemas maíz-frijol-maíz y maíz-frijol-camote (Figs. 13 y 14), para los tratamientos 0, 50, 100 y 200 por ciento de neutralización de Al, tuvo un comportamiento similar hasta después del cultivo de frijol (segunda siembra).

En las parcelas con el tratamiento 0 por ciento de neutralización de Al, el Ca se incrementó de 3,30 a 3,60 meq/100 ml de suelo. La aplicación de CaCO_3 , en niveles de 50, 100 y 200 por ciento de neutralización de Al, significó incremento en el contenido de Ca en las parcelas respectivas; estos incrementos variaron de 3,5 a 4,2 meq/100 ml de suelo para el tratamiento 50 por ciento de neutralización, de 3,3 a 4,1 meq/100 ml de suelo para el tratamiento 100 por ciento de neutralización y de 3,4 a 4,2 meq/100 ml de suelo para el tratamiento 200 por ciento de neutralización de Al.

Después del cultivo de maíz y camote (tercera siembra), la concentración de Ca fue variable.

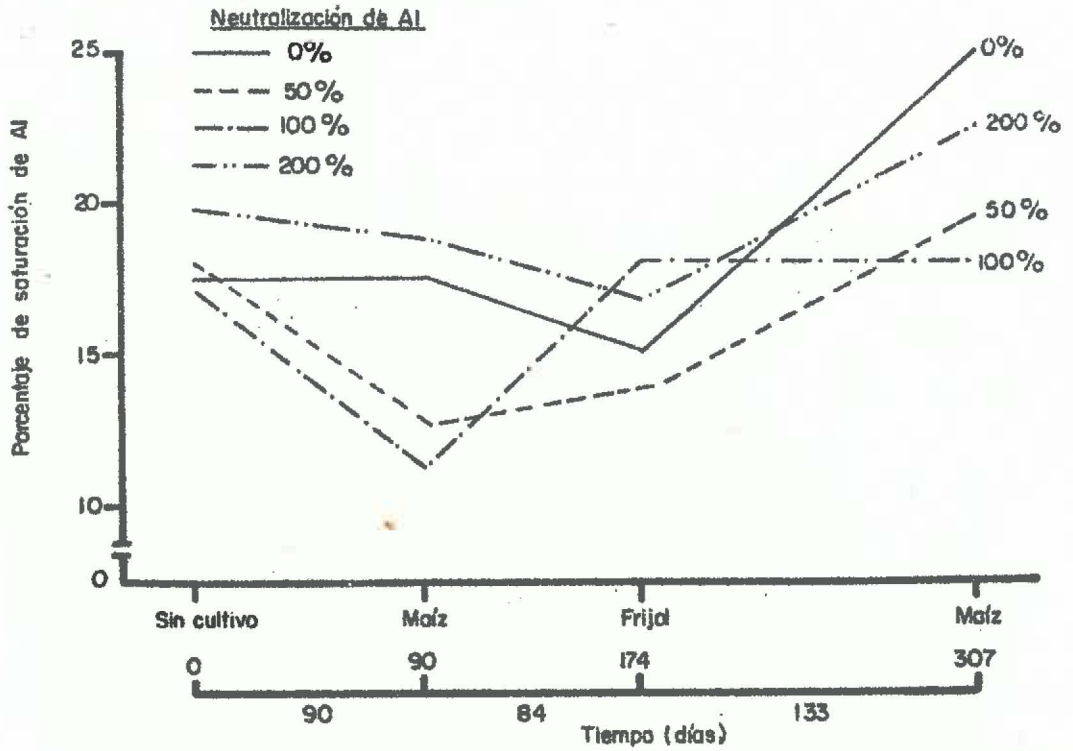


Fig. 11 Cambios en el porcentaje de saturación de Al en la capa superficial de los suelos a través del tiempo en el sistema maíz-frijol-maíz

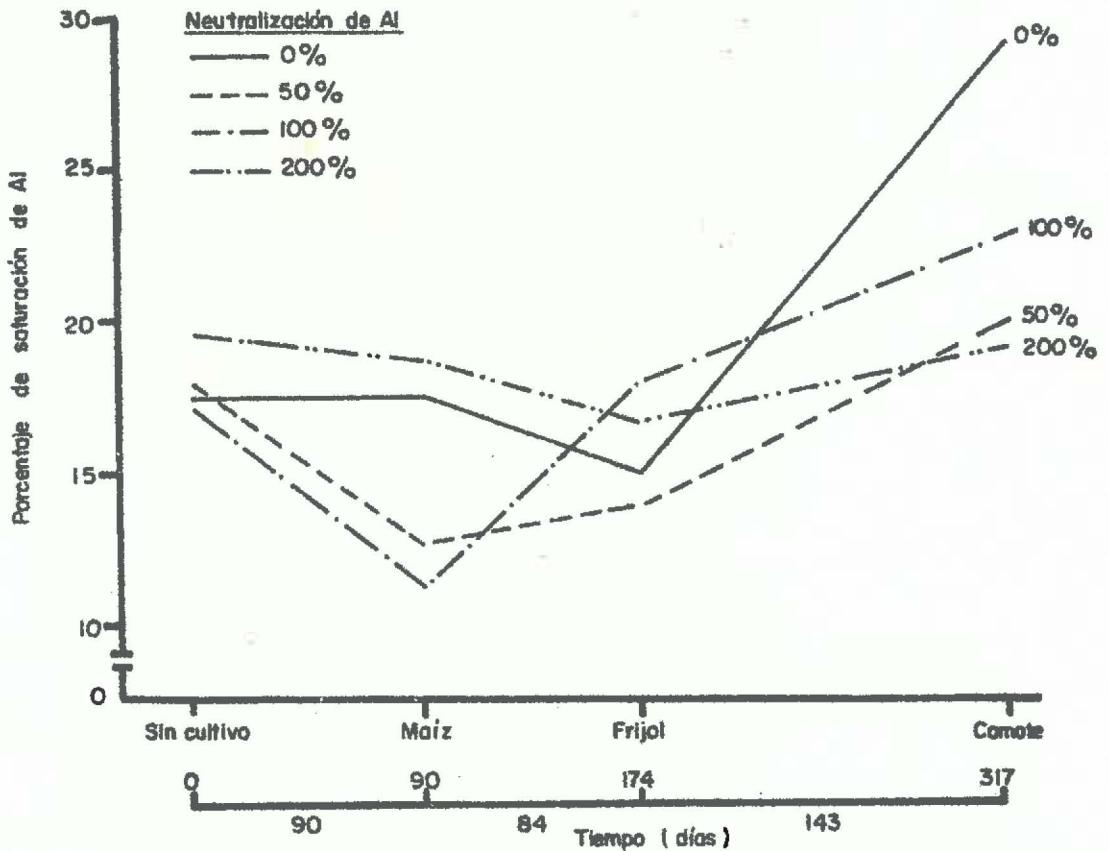


Fig. 12 Cambios en el porcentaje de saturación de Al en la capa superficial de los suelos a través del tiempo en el sistema maíz-frijol-camote

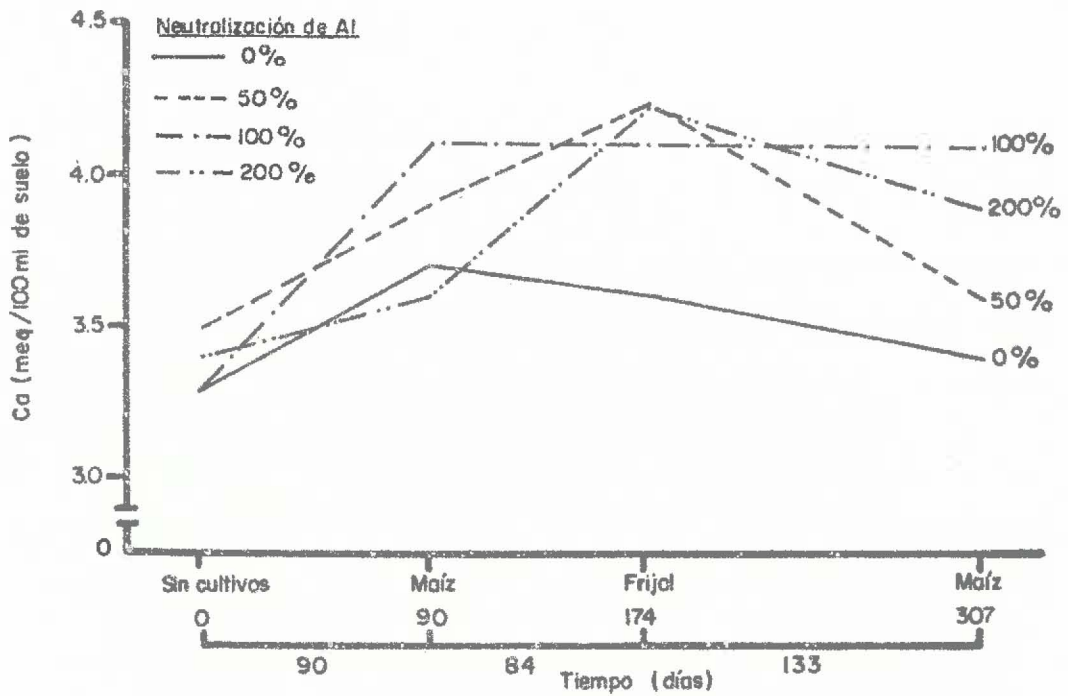


Fig. 13 Cambios de la concentración de Ca en la capa superficial de los suelos a través del tiempo en el sistema maíz-frijol-maíz

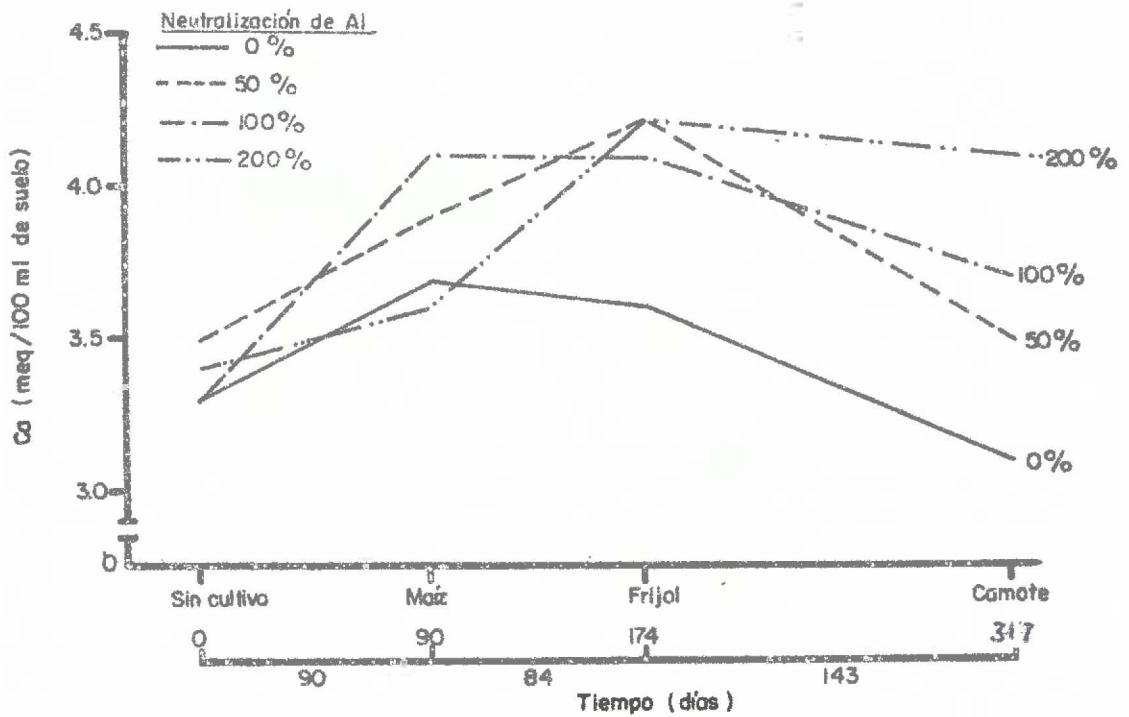


Fig. 14 Cambios de la concentración de Ca en la capa superficial de los suelos a través del tiempo en el sistema maíz-frijol-camote

En el sistema maíz-frijol-maíz, el contenido de Ca fluctuó en la siguiente secuencia: 100% > 50% > 200% > 0% de neutralización de Al (Fig. 12). En cambio en el sistema maíz-frijol-camote, el tratamiento 200 por ciento de neutralización de Al presentó la mayor concentración en este nutrimento y alcanzó a 4,1 meq/100 ml de suelo. Los contenidos de Ca correspondientes a los tratamientos 100, 50 y 0 por ciento de neutralización de Al fueron 3,7, 3,5 y 3,1 meq/100 ml de suelo (Fig. 14).

La concentración de Ca al término de los sistemas considerados no mostró cambios apreciables.

4.8 Influencia de la acidez en la concentración de calcio, magnesio, potasio y fósforo

En los Cuadros 12A y 13A, se presentan las ecuaciones de regresión de la influencia de la acidez en la concentración de Ca, Mg, K y P, antes de la aplicación de cal y después de la primera, segunda y tercera siembra, en ambas profundidades (0 - 15 cm y 15 - 30 cm).

Los coeficientes de correlación (r) entre la acidez y los elementos Ca, Mg y K son negativos, lo que significa una mayor disponibilidad de los mismos conforme disminuye la acidez del suelo en ambas profundidades consideradas.

En el caso del elemento Ca, Cuadro 12A, el coeficiente de correlación antes de la aplicación de cal es altamente significativo ($r = -0,9376^{**}$), se mantiene esta significancia después de la primera siembra ($r = -0,9272^{**}$), pero después de la segunda siembra la correlación no es significativa a ningún nivel de probabilidad ($r = -0,3999$). Después de la tercera siembra (maíz y camote), la correlación es

significativa en las parcelas donde se cultivó maíz ($r = -0,6448^*$) y altamente significativa en las parcelas de camote ($r = -0,8888^{**}$).

La correlación entre acidez y Mg en la mayoría de los casos es altamente significativa, excepto en los análisis efectuados después de la cosecha de frijol.

El K en relación con la acidez del suelo se incrementa, pero en menor proporción que el Ca y Mg.

El fósforo presenta coeficientes de correlación positivas, lo cual significa aumento de su disponibilidad, conforme aumenta la acidez del suelo. Conviene destacar que las correlaciones no son significativas a ningún nivel de probabilidad, excepto en las parcelas donde se cultivó camote ($r = 0,6532^*$).

En el Cuadro 13A se presentan los coeficientes de correlación entre la acidez del sub-suelo y Ca, Mg, K y P. Los elementos Ca y Mg presentan la misma tendencia que en el suelo superficial. El K presentó coeficientes de correlación altamente significativas y opuestas después de los cultivos de frijol y camote ($r = -0,7156^{**}$ y $r = -0,7835^{**}$), respectivamente.

El P no presentó correlación significativa a ningún nivel de probabilidad.

4.9 Evaluación económica de los tratamientos

4.9.1 Beneficios y costos de los sistemas estudiados

Se elaboró un análisis de presupuesto, con el propósito de comparar el efecto benéfico de la aplicación de cal en relación con el plan actual (sin cal). Por consiguiente, un valor más alto de ganancia

indicará qué plan alternativo puede ponerse en práctica por cuanto aumenta los ingresos del productor en relación con el plan actual y viceversa si la cifra obtenida es baja (36).

En los Cuadros 5 y 6, se presentan los datos de producción de las cuatro alternativas para los dos sistemas estudiados.

De acuerdo con el Cuadro 5, el plan alternativo de 100 por ciento de neutralización de Al brinda mayor beneficio económico en relación con las otras alternativas. El orden de secuencia de las alternativas consideradas en el sistema maíz-frijol-maíz, es como sigue: 100% > 50% > 200% > 0% de neutralización de Al intercambiable.

En el sistema maíz-frijol-camote, el mayor beneficio económico se obtuvo con la alternativa 100 por ciento de neutralización de Al y alcanzó a 2072,22 ¢/ha (Cuadro 6). Con la alternativa 200 por ciento se obtuvo 1933,51 ¢/ha. Los beneficios económicos correspondientes a las alternativas 0 y 50 por ciento de neutralización de Al fueron 1909,32 ¢/ha y 938,23 ¢/ha, respectivamente.

La diferencia entre el costo de producción y el ingreso neto en el cultivo de maíz (primera siembra) fue negativo, debido a que se estimó tal diferencia con base en el peso de grano seco tierno de maíz transformado de peso fresco elote (Figs. 6 y 7).

4.9.2 Optimización física y económica de la aplicación de cal

4.9.2.1 Sistema maíz-frijol-maíz

La ecuación de regresión respectiva para el sistema considerado es:

Cuadro 5. Beneficios y costos de los tratamientos de cal en el sistema maíz-frijol-maíz.

Alternativa	Cultivo	Costo ^{1/} de producción (¢/ha)	Producción ^{2/} (kg/ha)	Precio ^{4/} por kg (¢)	Ingreso total (¢)	Diferencia	Ganancia neta (¢)
0%	Maíz	2805,60	1034,31 ^{3/}	1,75	1810,04	-995,56	
	Frijol	2688,00	609,61	5,55	3383,33	695,33	544,74
	Maíz	3629,92	2557,08	1,75	4474,89	844,97	
50%	Maíz	2937,55	1165,98	1,75	2040,47	-897,08	
	Frijol	2721,60	681,95	5,55	3784,82	1063,22	1569,22
	Maíz	3663,52	2895,20	1,75	5066,60	1403,08	
100%	Maíz	3033,57	1210,80	1,75	2118,90	-914,67	
	Frijol	2776,40	860,47	5,55	4775,61	1999,21	2347,42
	Maíz	3652,32	2806,97	1,75	4912,20	1259,88	
200%	Maíz	3198,72	1290,28	1,75	2257,99	-940,73	
	Frijol	2688,00	633,29	5,55	3514,76	826,76	1094,41
	Maíz	3652,32	2777,54	1,75	4860,70	1209,38	

1/ Cuadros 14A, 15A, 16A y 17A.

2/ Cuadro 4.

3/ Peso seco grano tierno (P.S.G.T.).

4/ 8,54 ¢ (colones costarricenses) = US\$1.00.

Cuadro 6. Beneficios y costos de los tratamientos de cal en el sistema maíz-frijol-camote.

Alternativa	Cultivo	Costo ^{1/} de producción (¢/ha)	Producción ^{2/} (kg/ha)	Precio ^{4/} por kg (¢)	Ingreso total (¢)	Diferencia	Ganancia neta (¢)
0%	Maíz	2805,60	1034,31 ^{3/}	1,75	1810,04	-995,56	
	Frijol	2688,00	609,61	5,55	3383,33	695,33	1909,32
	Camote	4648,94	5668,17	1,21	6585,49	2209,55	
50%	Maíz	2937,55	1165,98	1,75	2040,47	-897,08	
	Frijol	2721,60	681,95	5,55	3784,82	1063,22	938,23
	Camote	4655,66	4485,74	1,21	5427,75	772,09	
100%	Maíz	3033,57	1210,80	1,75	2118,90	-914,67	
	Frijol	2766,40	860,47	5,55	4775,61	1999,21	2072,22
	Camote	4644,46	4654,66	1,21	5632,14	987,68	
200%	Maíz	3198,72	1290,28	1,75	2257,99	-940,73	
	Frijol	2688,00	633,29	5,55	3514,76	826,76	1933,51
	Camote	4644,46	5530,53	1,21	6691,94	2047,48	

1/ Cuadros 14A, 15A, 16A y 17A.

2/ Cuadro 4.

3/ Peso seco grano tierno (P.S.G.T.).

4/ 8,54 ¢ (colones costarricenses) = US\$1.00.

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X + b_2 X^2$$

$$\hat{Y} = 488,2699 + 31,7994 X - 0,1434 X^2$$

Para determinar el insumo o nivel de neutralización que permita el máximo beneficio económico se hace el siguiente análisis:

$$\frac{d\hat{Y}}{dX} = 31,7994 - 0,2868X = 0$$

donde:

$$X = \frac{31,7994}{0,2868} = 111\% \text{ de neutralización de Al}$$

Por consiguiente, la aplicación de 894 kg de cal/ha, que es equivalente a 111 por ciento de neutralización de Al, es el que mayores beneficios reportó para el sistema maíz-frijol-maíz.

El ingreso neto para el nivel indicado es:

$$IN = 488,2699 + 31,7994 (111) - 0,1434 (111)^2 = 2251 \text{ ¢/ha.}$$

El costo variable alcanza a:

$$CV(XPx) = 894 (0,153 \text{ ¢}) = 136,78 \text{ ¢/ha.}$$

donde: CV = costos variables

$$Px = 0,153 \text{ ¢/kg de cal}$$

El nivel óptimo de cal a recomendar, es aquella cantidad que resulta más económica por producir las mayores ganancias.

4.9.2.2 Sistema maíz-frijol-camote

Para el caso del sistema maíz-frijol-camote, la ecuación de regresión respectiva es:

$$\hat{Y} = 1671,4492 - 3,2062X + 0,0246X^2$$

Por tanto:

$$\frac{d\hat{Y}}{dX} = - 3,2062 + 0,0246X = 0 \text{ (a)}$$

donde:

$$X = \frac{3,2062}{0,0492} = 65\% \text{ de neutralización de Al}$$

Es importante señalar que el nivel de 65 por ciento de neutralización del Al intercambiable (524 kg de cal/ha), no corresponde al insumo para máximo beneficio económico, debido a que la segunda derivada de la ecuación (a) es positiva.

Por tanto, para la recomendación del nivel de neutralización del Al intercambiable, que permita las mayores ganancias, será necesario considerar un nivel de neutralización, superior al 65 por ciento de neutralización de Al intercambiable.

Con el propósito de obtener el nivel de neutralización que permita las mayores ganancias, se acepta el siguiente análisis:

$$Y = 1671,4492 - 3,2062(0) + 0,0246(0)^2 = 1671,45 \text{ ¢/ha.}$$

$$Y = 1671,4492 - 3,2062(50) + 0,0246(50)^2 = 1572,63 \text{ ¢/ha.}$$

$$Y = 1671,4492 - 3,2062(100) + 0,0246(100)^2 = 1596,82 \text{ ¢/ha}$$

$$Y = 1671,4492 - 3,2062(200) + 0,0246(200)^2 = 2014,21 \text{ ¢/ha}$$

Por consiguiente, el insumo que permite el mayor ingreso neto para el sistema maíz-frijol-camote, es el tratamiento 200 por ciento de neutralización de Al y alcanzó a 2014,21 ¢/ha.

5. DISCUSION

5.1 Consideraciones agronómicas

De acuerdo con los análisis de laboratorio, el pH de los suelos estudiados es ácido. Las características químicas de los suelos antes de la aplicación de la cal, reflejan su baja fertilidad y desbalance catiónico de los mismos.

Los rendimientos de maíz obtenidos en la primera siembra alcanzaron a 1034, 1166, 1211 y 1290 kg/ha expresados en grano seco tierno, correspondiente a los tratamientos 0, 50, 100 y 200 por ciento de neutralización de Al, respectivamente (Cuadro 4). Hubo una relación directa en la respuesta de los cultivos a la aplicación de cal y fertilizantes, aunque ello no representa incremento significativo de los rendimientos. Lo anterior está de acuerdo con lo dicho por otros autores (25, 63), en el sentido de que la aplicación de cal y fertilizantes en suelos ácidos del trópico, no siempre aumenta significativamente la producción de las cosechas.

Los cambios químicos ocurridos en los suelos después de la aplicación de cal, se traducen en un ligero incremento del pH (0,3 unidades) en los primeros 15 cm de profundidad, debido posiblemente al desplazamiento del Al intercambiable por el Ca.

La concentración de Ca, Mg, K y P se incrementó en los tratamientos con cal, y no así en el tratamiento testigo (Cuadros 1A y 2A). Por otra parte, disminuyeron el Al intercambiable y el porcentaje de saturación de Al, en consecuencia, hubo un aumento en la disponibilidad de nutrimentos, lo cual repercutió en un incremento en el rendimiento

del cultivo de maíz.

El efecto de la cal disminuyó en los cultivos posteriores, tal como pudo observarse en el rendimiento del frijol (segunda siembra) y en la de maíz y camote (tercera siembra). En el caso del frijol, el rendimiento más alto, 860 kg/ha, correspondió al tratamiento 100 por ciento de neutralización de Al, debido a que a esa dosis de cal, la disponibilidad de Ca y P fue mayor en relación con las otras (Cuadro 5A). En el cultivo de maíz y camote, los rendimientos mostraron gran variación.

Sin duda que la finura de la cal aplicada, tamizada en malla de 200 mesh, fue responsable de que su reacción en el suelo fuera rápida, pero de poca duración en el tiempo. Varios autores (7, 35, 98) determinaron que el grado de finura de la cal está relacionado con la velocidad de reacción de la misma, siendo más rápida esta reacción cuanto más fina es el grano de cal.

Otro factor que pudo haber tenido influencia en la disminución del efecto de la cal fue su aplicación superficial en el suelo. Lo anterior está de acuerdo con lo dicho por varios autores (70, 89, 100), que señalan que la aplicación de cal a determinadas profundidades en el perfil del suelo prolonga el efecto residual de la cal.

A su vez, la disminución del efecto de la cal ocasionó un cambio, aunque no significativo del pH de los suelos, tanto que prácticamente no afectó en la concentración de los nutrimentos como el P, Ca, Mg y K. Se registró un ligero incremento en la concentración de N, aunque ello no puede ser atribuido a la fijación de N atmosférico por el frijol, ya que esta variedad no se caracteriza por tal acción.

Hubo incremento en la concentración de Al intercambiable en el tratamiento sin cal, de un valor promedio de 0,96 meq/100 ml de suelo hasta 1,47 meq/100 ml de suelo y 1,53 meq/100 ml de suelo después de la cosecha de maíz y camote (tercera siembra), respectivamente. En cambio, en los tratamientos con cal, la acidez aumentó aunque en menor escala, puesto que el análisis estadístico no mostró significancia a ningún nivel de probabilidad estimada.

El pH de los suelos después del ciclo de maíz y camote, disminuyó notablemente en todos los tratamientos. Los valores más bajos se registraron en el tratamiento 0 por ciento de neutralización de Al y alcanzaron un valor promedio de 5,0. Las causas de la disminución de pH como lo explican Baird (8) y De Roso (25), pudo ser efecto de altas precipitaciones, que favorecen la lixiviación de los iones Ca, Mg, K y Na. Otro factor que influyó en el incremento de la acidez de los suelos, pudo ser la aplicación de fertilizantes potencialmente ácidos (3, 8, 30, 42, 47, 62, 74, 94), y su efecto se traduce en una posible disminución en el rendimiento de los cultivos (65). Un hecho de esperar fue la disminución del pH en el sub-suelo (15 - 30 cm) que es menor que en la capa superficial, y esto coincide con los resultados obtenidos por Jones (48); la disminución del pH en el sub-suelo, pudo ser ocasionada por la extracción de cationes por las plantas.

El balance de N al término de los sistemas de cultivos, no disminuyó mayormente en ambas profundidades (Cuadros 7A y 10A), aunque otros autores (23, 33, 82) determinaron que este elemento, después de varios cultivos disminuye en su concentración.

Con respecto al P se puede señalar que luego del ciclo maíz y camote (tercera siembra), incrementó en su concentración en todos los tratamientos, tanto en la capa superficial como en el sub-suelo, esto puede ser atribuido a una mineralización del P-orgánico. Sin embargo, la diferencia entre tratamientos no fue significativa a ningún nivel de probabilidad estimada (Cuadros 9A y 11A).

El K después del cultivo de maíz (tercera siembra), disminuyó notablemente en su concentración (Cuadro 7A) en todos los tratamientos y en ambas profundidades (0 - 15 y 15-30 cm), coincidiendo tales resultados con los obtenidos por Jones (45) y Sadanandan y Mahapatra (80, 85). El balance del K soluble después de la cosecha de camote se incrementó, debido posiblemente al K aplicado al suelo en la fertilización.

El Ca y Mg después del cultivo de maíz (primera siembra) y frijol (segunda siembra), no mostraron cambios significativos, según los análisis de varianza correspondientes, en ninguna de las profundidades, excepto después de la cosecha de maíz y camote (tercera siembra), donde su concentración aumentó en el sub-suelo, debido posiblemente a la retención de estos elementos en los horizontes inferiores.

Respecto al efecto del tiempo sobre la acidez y el porcentaje de saturación de Al, se detectó incremento en ambas características del suelo. En el caso del Al, este elemento alcanzó una concentración de 1,53 meq/100 ml de suelo después de la cosecha de maíz y camote, siendo este aumento mayor al registrado en los tratamientos con cal.

A su vez, el incremento en la concentración de Al coincidió con la disminución de la concentración de Ca y Mg, especialmente en la capa superficial del suelo. Por el contrario, hubo un incremento

en la concentración de ambos elementos en el sub-suelo, debido posiblemente al movimiento descendente de tales elementos. Según Morelli et al (67) el movimiento de Ca y Mg hacia el sub-suelo ocurre en forma intercambiable.

Los cambios químicos de los suelos al término de los sistemas maíz-frijol-maíz y maíz-frijol-camote, no muestran gran variación. Sin embargo, es importante anotar que la acidez extractable al término del sistema maíz-frijol-maíz, para los tratamientos considerados, siguen la siguiente secuencia: 0% > 200% > 100% > 50%, en cambio en el sistema maíz-frijol-camote, el orden de ocurrencia es 0% > 100% > 200% > 50%. Esta variación se debe posiblemente a efectos de manejo y factores externos no controlables. El porcentaje de saturación de Al y concentración del Ca, en ambos sistemas no variaron mayormente, excepto en el orden secuencial de los tratamientos (Figs. 11, 12, 13 y 14).

5.2 Consideraciones económicas

De acuerdo con el estudio económico de las alternativas propuestas para ambos sistemas, es evidente que la aplicación de cal de 805,6 kg de cal/ha (100% de neutralización de Al) reportó las mayores ganancias para el sistema maíz-frijol-maíz y alcanzó a 2347 ¢/ha (Cuadro 5). En el sistema maíz-frijol-camote, la ganancia neta mayor también se obtuvo con el mismo tratamiento que para el sistema anterior, alcanzando a 2072,22 ¢/ha; sin embargo, se hace necesario señalar que esta ganancia neta no difiere mayormente de los beneficios obtenidos con los tratamientos 0 y 200 por ciento de neutralización de Al.

El insumo para máximo beneficio económico determinado para el sistema maíz-frijol-maíz, fue 894 kg de cal/ha (111% de neutralización de Al). En cambio para el sistema maíz-frijol-camote el insumo para máxima ganancia económica, se obtuvo con aproximadamente 200 por ciento de neutralización de Al (1611,2 kg de cal/ha).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se establecen las siguientes conclusiones y recomendaciones.

1. El balance de nutrimentos en los suelos al término de los sistemas estudiados, no cambió mayormente en relación al análisis inicial, excepto en el contenido de P que se incrementó en 100 por ciento aproximadamente, después del tercer cultivo (maíz y camote) en todos los tratamientos.
2. El Al-intercambiable de los suelos que no recibieron cal, se incrementó en el curso del desarrollo de los sistemas de cultivos. En el sistema maíz-frijol-maíz, el Al-intercambiable alcanzó a 1,47 meq/100 ml de suelo, y en el sistema maíz-frijol-camote alcanzó a 1,53 meq/100 ml del suelo. En las parcelas que recibieron los tratamientos 0, 100 y 200 por ciento de neutralización de Al-intercambiable, también se detectó incremento en la acidez, pero en menor proporción que en tratamiento testigo, excepto en el tratamiento 200 por ciento en el sistema maíz-frijol-maíz y 100 por ciento en el sistema maíz-frijol-camote (Figs. 9 y 10).
3. El pH de los suelos no cambió mayormente al término de los sistemas, sobre todo en las parcelas donde se aplicó cal. En las parcelas correspondientes al tratamiento 0 por ciento de neutralización de Al, el pH disminuyó en pequeña proporción en ambos sistemas; sin embargo, es posible que esta disminución se asentúe en varios años de cultivos intensivos y aplicaciones sucesivas de fertilizantes.
4. El rendimiento máximo obtenido durante el cultivo de maíz (primera

siembra) alcanzó a 1290 kg/ha de grano seco tierno correspondiente al tratamiento 200 por ciento de neutralización de Al. Durante el cultivo de frijol el tratamiento 100 por ciento proporcionó el mayor rendimiento, alcanzando a 860 kg/ha. En la tercera siembra (maíz y camote), no hubo respuesta a la aplicación de cal, debido a que el efecto del material encalante disminuyó en su poder neutralizante.

5. El análisis económico de las alternativas propuestas para los sistemas maíz-frijol-maíz y maíz-frijol-camote, reporta los mayores beneficios para el tratamiento 100 por ciento de neutralización de Al para ambos sistemas. La ganancia neta en el sistema maíz-frijol-maíz alcanza a 2347 ¢/ha, y en el sistema maíz-frijol-camote alcanza a 2072 ¢/ha.

6. De acuerdo con los antecedentes anteriores se puede recomendar aplicar CaCO_3 , en cantidades suficientes para neutralizar el 100 por ciento de Al-intercambiable de los suelos para ambos sistemas, por el control que ejerce en el balance de los nutrimentos y control de la acidez de los suelos.

7. Aplicar el CaCO_3 al voleo, incorporar a cierta profundidad del suelo. Esto evitaría la lixiviación del material encalante, sobre todo si es muy fino y prolongaría el efecto neutralizante del CaCO_3 . Esta aplicación será necesario hacerla cada dos años. Si se quiere un efecto más duradero del CaCO_3 , será necesario utilizar un material encalante de menor fineza (50 - 60% efectiva).

7. RESUMEN

Se estudió el efecto amortiguador de cal en la recuperación de un suelo sometido por tres años a cultivo intensivo. Se utilizaron como indicadores del efecto a los sistemas: maíz-frijol-maíz y maíz-frijol-camote. El trabajo se realizó en el campo experimental "La Montaña", del Programa de Cultivos Anuales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, ubicado en Turrialba, Costa Rica, a 602 msnm y situado a 9° 53' de latitud norte y a 83° 39' de longitud oeste. El suelo del campo experimental está agrupada en la serie Instituto, fase normal, clasificado como typic dystropept en el sistema de la Taxonomía de Suelos.

Los tratamientos de cal consistieron en cuatro niveles de neutralización del Al intercambiable: 0, 50, 100 y 200 por ciento. La cal se aplicó al voleo en la superficie del suelo, el material encalante fue pasado por una malla de 200 mesh y tenía 60 por ciento de pureza.

Se utilizó la variedad de maíz Tuxpeño-1, la variedad de frijol CATIE-1 y la variedad de camote C-15. Se establecieron tales cultivos en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se aplicó una fertilización básica de NPK para cada cultivo.

Para evaluar los cambios químicos ocurridos en el suelo durante el experimento se efectuaron cuatro muestreos a las profundidades de 0-15 y 15-30 cm del suelo. La toma de muestras se efectuó después de cada cosecha.

Los resultados mostraron que el uso del encalado durante el

cultivo de maíz (primera siembra), tuvo un efecto de incremento en el rendimiento, ya que el más alto correspondió al nivel de 200 por ciento de neutralización de Al. Entre los cambios químicos detectados después del cultivo de maíz (primera siembra), se evidenció en los tratamientos con cal un ligero incremento del pH, Ca, Mg, K y P; hubo disminución del Al intercambiable y del porcentaje de saturación de Al. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre tratamientos para los elementos considerados.

El rendimiento más alto para el frijol se obtuvo con el tratamiento 100 por ciento de neutralización de Al. La cal aplicada mostró, con el tiempo, cierta disminución en su efecto, razón por la cual se observó un ligero cambio en el pH. Esto no se manifestó en diferencias de rendimiento entre tratamientos. No se detectaron cambios notorios en la concentración de Ca, Mg, K y P, pero sí hubo un ligero incremento en el N total. El Al intercambiable y el porcentaje de saturación aumentaron notablemente en el tratamiento testigo, en relación a los tratamientos con cal. Durante el cultivo de maíz y camote (tercera siembra), el efecto de la cal prácticamente se disipó, ya que no se detectó respuesta alguna a los tratamientos. Los análisis químicos correspondientes al muestro de suelos indicaron disminución del pH en todos los tratamientos. El N total no disminuyó mayormente; el Ca, el Mg y el P se incrementaron al término de los sistemas estudiados. El K se incrementó en el sistema maíz-frijol-camote.

El análisis económico efectuado al término de los sistemas estudiados, indicó los mayores beneficios para el tratamiento 100 por ciento

de neutralización de Al, tanto para el sistema maíz-frijol-maíz, como para el sistema maíz-frijol-camote. Las ganancias netas alcanzaron a $\$2347/\text{ha}$ y $\$2072/\text{ha}$, respectivamente. (US\$273 y 241).

Se recomienda aplicar el CaCO_3 , en suficiente cantidad para neutralizar el 100 por ciento del Al intercambiable, y a cierta profundidad, para prolongar su efecto.

7a. SUMMARY

The effect of lime was studied as a soil amendment for the reclamation of a soil intensively used for three consecutive years. Two cropping sequences of maize-beans-maize and maize-beans-sweet potato were used as indicator systems. The experiment was carried out at the experimental field "La Montaña" of the Annual Crops Program of CATIE (Tropical Agricultural Research and Training Center), at Turrialba, Costa Rica. The experimental field is located at 602 meters above sea level and at 9° 53' North latitude and 83° 39' West longitude. The soil belongs to the Instituto soil series, normal phase, and is classified as Typic dystropept according to the new Soil Taxonomy.

Liming treatment were defined on the basis of four levels of exchangeable Al neutralization, namely 0, 50, 100 and 200 per cent. The liming material was passed through a 200 mesh and had a CaCO_3 equivalent of 60 per cent of fineness.

Crop varieties employed were: corn Tuxpeño-1; beans CATIE-1 and sweet potato C-15. These crops were distributed in a complete randomized block design with three replications. A basal fertilization with NPK was applied to each crop.

Four soil samplings, at depths of 0-15 and 15-30 cm, were made during the experiment in order to evaluate chemical changes in the soil. Soil samplings took place after each harvest.

Results showed that liming had a beneficial effect on the first corn harvesting. The highest yield was obtained with 200 per cent of exchangeable Al neutralization. After the first corn harvesting, some

chemical changes of the soil detected as a result of liming were: slight increase in pH, exchangeable Ca, Mg, K and available P; decreases of exchangeable Al and per cent base saturation. However, differences of these soil properties among treatments were not found statistically significant at either level of confidence.

The highest bean yield was obtained with the treatment consisting of 100 per cent neutralization of exchangeable Al. The lime applied showed a decreasing effect with time, this was the reason for slight changes of pH, which did not cause significant differences among treatment yields. Noticeable changes in Ca, Mg, K and P content in the soil were not detected. However, a small total N increase in the soil was found as a result of liming. Exchangeable Al and the per cent base saturation increased appreciably in untreated plots as compared to limed plots. During the permanence of maize and sweet potato in the field (third planting of the rotation), liming effects almost disappeared, since no crop response to any level of lime application was found. Soil chemical analysis showed a decreased pH for all treatments. Total N did not decrease noticeably; exchangeable Ca and Mg and available P increased appreciably after harvesting. Exchangeable K increased in the maize, beans, sweet potato cropping system.

Economic analysis of the cropping systems used in this study showed that the highest economic benefits were obtained for the 100 per cent neutralization of Al, both for the maize-beans-maize and maize-beans-sweet potato cropping systems. Net income figures for these two crop rotations are US\$273 and 241 per hectare, respectively.

Liming of the soil with CaCO_3 incorporated into the soil surface, in sufficient amount to neutralize 100 per cent of the soil exchangeable Al, and at some depth, in order to extend its effects, is recommended.

8. LITERATURA CITADA

1. ABRUÑA, F., PEARSON, R. W. y PEREZ, R. Respuestas del maíz y del frijol al encalamiento en Oxisoles y Ultisoles de Puerto Rico. *In* Bornemisza, E. y Alvarado, A., eds. Manejo de Suelos en la América Tropical. Raleigh, North Carolina State University, 1975. pp. 313-325.
2. ABU-ZEID, M. O. Continuous cropping in areas of shifting cultivation in the southern Sudan. *Tropical Agriculture* 50(4): 285-290. 1973.
3. ADAMS, F. y PEARSON, R. W. Crop response to lime in the southern United States and Puerto Rico. *In* Pearson, R. W. y Adams, D., eds. Soil acidity and liming. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1967. pp. 161-186.
4. _____ y PEARSON, R. W. Neutralizing soil acidity under bermudagrass sod. *Soil Science Society of American Proceedings* 33(5):737-742. 1969.
5. AGUIRRE, V. Estudios de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 139 p.
6. AMEDEE, G. y PEECH, M. The significance of KCl-extractable Al (III) as an index to lime, requirement of soils of the humid tropics. *Soil Science* 121(4):227-233. 1976.
7. ANDERSON, C. A. Effect of particle size of calcitic and dolomitic limestone on rate of reaction in Lakland fine sand. *Soil and Crop Science Society of Florida. Proceedings* 28: 63-69. 1968.
8. BAIRD, J. V. Liming acid soils: a technical publication on general lime use. North Carolina Agricultural Extension Service. Extension circular no. 495. 24 p.
9. BASCONES, L. Estudios sobre rotación de cultivos en los trópicos. *Agro (Venezuela)* 10(36):5-11. 1955.
10. BAZAN, R. *et al.* Desarrollo de sistemas de producción agrícola, una necesidad para el trópico. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1974. 26 p.
11. BISHOP, C. E. y TOUSSAINT, W. D. Introducción al análisis de economía agrícola. México, Limusa, 1977. 262 p.

12. BLEVINS, R. L., THOMAS, G. W. y CORNELIUS, P. L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. *Agronomy Journal* 69:383-386. 1977.
13. BLUE, W. G. y DANTZMAN, C. L. Soil chemistry and root development in acid soils. *Soil and Crop Science Society of Florida. Proceedings* 36:9-15. 1977.
14. BORNEMISZA, E. Conceptos modernos de la acidez del suelo. *Turrialba (Costa Rica)* 15(1):20-24. 1965.
15. BREMMER, J. M. Total nitrogen. *In Black, C. A. et al, eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 1148-1178.*
16. BRENES, E. y PEARSON, R. W. Root responses of three gramineae species to soil acidity in an Oxisol and an Ultisol. *Soil Science* 116(4):295-302. 1973.
17. CAMARGO, P., FREIRE, E. S. y VENTURINI, W. R. Efeito da calagem e de diversas adubacoes na batata-doce e no cará em solos de baixa fertilidade, derivados do arenito Botucatu. *Bragantia (Brasil)* 21(11):143-161. 1962.
18. _____. Influencia de granulometría de tres materiais corretivos, na neutralizaçao da acidez do solo. *Bragantia (Brasil)* 35(2):Nota no. 20:101-106. 1976.
19. CHIRIBOGA, C. Adaptabilidad y estabilidad de 8 variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en cinco localidades de la sierra ecuatoriana. Tesis Ing. Agr. Quito, Ecuador, Universidad Central. Facultad de Agronomía y Medicina Veterinaria, 1972. 80 p.
20. CHRISTENSON, D. R. y DOLL, E. C. Magnesium uptake from exchangeable and non exchangeable sources in soil as measured by intensive cropping. *Soil Science* 126(3):166-168. 1978.
21. COCHRAN, W. G. y COX, G. M. Diseños experimentales. México, Trillas, 1976. 661 p.
22. COLEMAN, N. T., RAGLAND, J. L. y CRAIG, D. An unexpected reaction between Al-clay or Al-soil and CaCl_2 . *Soil Science Society of America Proceedings* 24(5):419-420. 1960.
23. COOKE, G. W. Long-term fertilizer experiments in England: the significance of their results for agricultural science and for practical farming. *Annales Agronomiques* 27(5-6):503-536. 1977.

24. DAHIYA, S. S. y SINGH, M. Effect of CaCO_3 and iron application on the availability of manganese in light-textured soil. *Plant and Soil* 46(1):239-246. 1977.
25. DE ROSO, E. Encalamiento en suelos de zonas cálidas y húmedas de Colombia. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 13(1):190-205. 1971.
26. DIAZ-ROMEY, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Proyecto Centro Americano de Fertilidad de Suelos. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1978. 62 p.
27. FASSBENDER, H. W. Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rica soils. *Agrochimica* 12(6):512-521. 1968.
28. _____. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1978. 398 p.
29. FAUCK, R., MOREAUX, C. y THOMANN, C. Bilans de l'evolution des sols de Sefa (Casamance, Senegal) apres quinze aunees de culture continue. *Agronomie Tropicale* 24(3):263-301. 1969.
30. FOX, R. L. y PLUCKNETT, D. L. Overliming Hawaiian soils creates problems. *Hawaii Farm Science* 13(3):9-10. 1964.
31. FOY, C. D. y BROWN, J. C. Toxic factor in acid soils: I Characterization of aluminum toxicity in cotton. *Soil Science Society of America Proceedings* 27(4):403-407. 1963.
32. _____. Effects of aluminum on plant growth. In Carson, E. W., ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, Virginia, University Press, 1974. pp. 601-642.
33. GAMBOA, J. y BLASCO, M. Dinámica del nitrógeno en el suelo después de cinco fertilizaciones consecutivas. *Turrialba (Costa Rica)* 24(4):414-419. 1974.
34. _____ y BLASCO, M. Dinámica del fósforo en el suelo después de cinco fertilizaciones consecutivas. *Turrialba (Costa Rica)* 26(2):150-155. 1976.
35. GARGANTINI, H. Efeitos da granulometria, formas e quantidades de materiais corretivos na acidez do solo. *Bragantia (Brasil)* 33:87-96. 1974.
36. GASTAL, E. La administración rural y el desarrollo. Bogotá, Colombia, IICA-CIRA, 1968. 63 p.

37. GRANT, P. H. Lime as a factor in maize production. I. The efficiency of liming. *Rhodesia Agricultural Journal* 67(3): 73-80. 1970.
38. GUPTA, V. C., CALDER, F. W. y MacLED, L. B. Influence of added limestone and fertilizers upon the micro-nutrient content of forage tissue and soil. *Plant and Soil* 35(2):248-256. 1971.
39. _____. Effects of manganese and lime on yield and on the concentrations of manganese, molybdenum, boron, copper and iron in the boot stage tissue of barley. *Soil Science* 114(2): 131-136. 1972.
40. HARDY, F. *Edafología tropical*. México, D.F., IICA, 1970. 416 p.
41. HARWOOD, R. R. Toward the well-being of the small tropical farmers. In *Importancia de la investigación en fertilidad de suelos como componente de los estudios en sistemas integrados de producción agrícola*. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1977. 12 p.
42. HIROCE, R. et al. Efeito residual da adubação mineral e orgânica na composição química do solo e na composição de folhas de cafeeiro cultivado em Mococa (Brasil). *Bragantia* (Brasil) 35(2):Nota no. 35:169-175. 1976.
43. HOLDRIDGE, L. R. *Life zone ecology*. Ed. rev. San José, Costa Rica, Tropical Science Center, 1964. 206 p.
44. HOYT, P. B. Effects of organic matter content on exchangeable Al and pH dependent acidity of very acid soils. *Canadian Journal of Soil Science* 57(2):221-222. 1977.
45. JARAMILLO, E. E. Absorción de nutrimentos por maíz (Zea mays L.) y camote (Ipomoea batatas (L) Lam) en asociación y su fertilización con nitrógeno. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1977. 194 p.
46. JIMENEZ, F. Estudio de absorción de nutrimentos en un agrosistema de producción de frijol (Phaseolus vulgaris L.), maíz (Zea mays L.) y yuca (Manihot esculenta G.). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1976. 90 p.
47. JOLLEY, Von D. y PIERRE, W. H. Soil acidity from long-term use of nitrogen fertilizer and its relationship to recovery on the nitrogen. *Soil Science Society of America Journal* 41(2): 368-373. 1977.
48. JONES, M. J. Effects of three nitrogen fertilizer and lime on pH and exchangeable cation content at different depths in cropped soils at two sites in the Nigerian Savanna. *Tropical Agriculture* 53(3):243-254. 1976.

49. JUO, A. S. y BALLAUX, J. C. Retention and leaching of nutrients in a limed Ultisol under cropping. *Soil Science Society of America Journal* 41(4):757-761. 1977.
50. KAMPRATH, E. J. Soil acidity and response to liming. Raleigh, North Carolina State University. Technical Bulletin no. 4. 1967. 22 p.
51. _____. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 34(2):252-254. 1970.
52. _____ y FOY, C. D. Lime fertilizer plant interactions in acid soils. In Olson, *et al.*, eds. *Fertilizer technology and use*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1971. 611 p.
53. _____. Potential detrimental effects from liming highly weathered soils to neutrality. *Soil Crop Science of Florida Proceedings* 31:200-203. 1971.
54. _____. Soil acidity and liming soil of the humid tropic. Washington, D.C., National Academy of Sciences, 1972. pp. 126-128.
55. _____. Acidez del suelo y encalado. In Sánchez, P. A., ed. *Un resumen de las investigaciones edafológicas en la América Latina Tropical*. North Carolina State University. Soil Science Department. Technical Bulletin 219. 1973. pp. 137-143.
56. KENG, J. K. C. y UEHARA, G. Chemistry, mineralogy and taxonomy of Oxisols and Ultisols. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings* 33:119-126. 1973.
57. LAROCHE, F. A. A calagem em solos tropicais de clima umido. *Fitotecnia Latinoamericana (Costa Rica)* 3:83-97. 1966.
58. LEON, A. Teorías modernas sobre la naturaleza de la acidez del suelo. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 3(1):1-23. 1971.
59. LOTERO, J. *et al.* Respuesta de gramíneas y leguminosas forrajeras al encalado. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 3(1):210-239. 1970.
60. MacLEOD, L. B. y JACKSON, L. P. Effects of concentration of the Al ion on root development and establishment of legume seedling. *Canadian Journal of Soil Science* 45:221-234. 1965.
61. MARIN, M. G. Recomendaciones tentativas para la fertilidad y encalado de varios cultivos de acuerdo con análisis de suelos; primera aproximación. *Revista ICA (Colombia)* 3:91-102. 1968.

62. MARTINI, J. A. Algunas notas sobre el problema de encalado en los suelos del trópico. Turrialba (Costa Rica) 18(3):249-259. 1968.
63. MASCARENHAS, A. A. et al. Efeitos da colagem as características químicas do solo e na nutrição de soja em latossolo roxo distrófico de cerrado. Bragantia (Brasil) 35(2):273-278. 1976.
64. MATE, S. L. Effect of liming and fertilizer on the yield of wheat and maize in a 4 year rotation on a pseudogley Podsol. Analela Institutului de Cercetari Pentru Cereale Si Plante Tehnice 41:127-134. 1976.
65. McCOY, D. A. y WEBSTER, G. R. Acidification of a Luvisolic soil caused by low-rate, long-term applications of fertilizer and its effects on growth of alfalfa. Canadian Journal of Soil Science 57(2):119-127. 1977.
66. MITCHELL, B. D., FARMER, V. C. y McHARDY, W. Amorphous inorganic material in soils. Advances in Agronomy 16:327-383. 1964.
67. MORELLI, M., IGUE, K. y FUENTES, R. Efecto del encalado en el complejo de cambio y movimiento de calcio y magnesio. Turrialba (Costa Rica) 21(3):317-322. 1971.
68. MURCIA, H. H. Guía para la administración y planeación de empresas agropecuarias. Guatemala, Convenio IICA-ZN/ROCAP, 1974. 113 p. (Publicación miscelánea no. 112).
69. NAIR, P. K. R., SINGH, A. y MODGAL, S. C. Maintenance of soil fertility under intensive multiple cropping in northern India. Indian Journal of Agricultural Science 43(3):250-255. 1973.
70. NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. Annual report 1973. Raleigh, 1973. pp. 14-23.
71. PALENCIA, J. A. y MARTINI, J. A. Características morfológicas, físicas y químicas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas en Centro América. Turrialba (Costa Rica) 20(3): 325-332. 1970.
72. PARRA, J. H. El encalamiento de cinco cultivos en suelos de cenizas volcánicas, experimentación en zona cafetera. Cenicafé (Colombia) 20(3):91-109. 1969.
73. PEARSON, R. W. Problemas de acidez en el subsuelo. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 13(1):294-309. 1971.
74. ———. Soil acidity and liming in the humid tropics. New York, Cornell International Agriculture. Bulletin 30. 1975. 66 p.

75. REEVE, N. C. y SUMMER, M. E. Lime requirements of natal Oxisol based on exchangeable aluminum. Soil Science Society of America Proceedings 34:595-598. 1970.
76. REID, D. A. Genetic potentials for solving problems of soil mineral stress. Aluminum and manganese toxicities in the cereal grams. In Workshop on plant adaptation to mineral stress in problem soil. Beltsville, Maryland, 1976. Proceedings. s.n.t. pp. 55-64.
77. RICH, C. I. Conductometric and potentiometric nitration of exchangeable aluminum. Soil Science Society of America Proceedings 34:31-37. 1970.
78. RICHMOND, T. D. A., WILLIAMS, J. y DATT, U. Influence of drainage on pH. Sulphate content and mechanical strength of a potential acid sulphate soil in Fiji. Tropical Agriculture 52(4):325-334. 1975.
79. RIOS, M. A. y PEARSON, R. W. The effect of some chemical environmental factors on cotton root behavior. Soil Science Society of America Proceedings 28(2):232-235. 1964.
80. SADANANDAN, N. y MAHAPATRA, I. C. A study of the changes in potassium status of soil due to multiple cropping. Agricultural Research Journal of Kerala 19(1):5-9. 1972.
81. _____ y MAHAPATRA, I. C. A study of the effect of multiple cropping on the phosphorus content of Upland alluvial soils. Agricultural Research Journal of Kerala 10(2):71-74. 1972.
82. _____ y MAHAPATRA, I. C. Studies in multiple cropping balance sheet of nitrogen in various cropping patterns. Indian Journal of Agronomy 18(3):323-327. 1973.
83. _____ y MAHAPATRA, I. C. Studies on multiple cropping balance sheet of total and available phosphorus in various cropping patterns. Indian Journal of Agronomy 18(4):459-463. 1973.
84. _____ y MAHAPATRA, I. C. Influence of multiple cropping on the water stable aggregates of Upland rice soils. Agricultural Research Journal of Kerala 12(1):14-18. 1974.
85. _____ y MAHAPATRA, I. C. Studies in multiple cropping balance sheet of total and exchangeable potassium in soil in various cropping patterns. Indian Journal of Agronomy 19(2):136-140. 1974.
86. SAIZ DEL RIO, J. R. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. 107 p.

87. SALINAS, J. G. et al. Residual effects of lime rates and depths of incorporation. In North Carolina State University. Annual report 1975. Raleigh, 1976. pp. 16-26.
88. SALMON, R. C. y ARNOLD, P. W. The uptake of magnesium under exhaustive cropping. *Journal of Agricultural Science* 61:421-465. 1963.
89. SANCHEZ, A. P. Properties and management of soils in the tropics. New York, John Wiley, 1976. pp. 223-253.
90. SOARES, W. B. et al. Encalado en los suelos del cerrado brasileño. In Bornemisza, E. y Alvarado, A., eds. Manejo de suelos en la América Tropical. Raleigh, North Carolina State University, 1975. pp. 287-302.
91. STEEL, R. G. y TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics, with special reference to the biological sciences. New York, McGraw Hill, 1960. 481 p.
92. THOMAS, G. W. The relationship between organic matter content and exchangeable aluminum in acid soil. *Soil Science Society of America Proceedings* 39(3):591-596. 1975.
93. TOOGOOD, J. A., LAVERTY, D. H. y NYBORD, M. The value on annual soil testing of Luvisolic soils. *Canadian Journal of Soil Science* 55:35-42. 1975.
94. TOSI JUNIOR, J. A. Mapa ecológico de Costa Rica. San José, Costa Rica, Centro Científico Tropical, 1969. Esc. 1:750.000, color.
95. UEHARA, G. y KENG, J. Relaciones entre la mineralogía y el manejo de suelos en la América Latina. In Bornemisza, E. y Alvarado, A., eds. Manejo de suelos en la América Tropical. Raleigh, North Carolina State University, 1975. pp. 357-369.
96. VAN BAREN, F. A. The pedological aspects of the reclamation of tropical soils in humid regions. In Tropical soils and vegetation. Symposium. Abidjan, 1959. *Sols et végétation des régions tropicales*. París, UNESCO, 1961. pp. 65-67.
97. VERLENGIA, F. y GARCANTINI, H. Estudio sobre la eficiencia de diferentes frações granulométricas de calcario no solo. *Bragantia (Brasil)* 31:119-128. 1972.
98. VILLACHICA, J. H., LOPEZ, C. E. y SANCHEZ, P. A. Continuous cropping experiment. In North Carolina State University. Annual report 1975. Raleigh, 1976. pp. 152-166.

99. WADE, H. K. y SANCHEZ, P. A. Liming monoculture and intercropped systems. In North Carolina State University. Annual report 1975. Raleigh, 1976. pp. 152-166.
100. WESTIN, F. C. y DE BRITO, J. G. Phosphorus fractions of some venezuelan soils as related to their stage of weathering. Soil Science 107(3):194-203. 1969.

9. A P E N D I C E

Cuadro 1A. Análisis químico de suelos antes de la aplicación de cal

Trat. Neutraliz Al.	Prof. cm.	pH H ₂ O	pH KCl	mg/100 ml de suelo				Σ	% Sat.	µg/ml de suelo					%		Relaciones		
				Ca	Mg	K	Acidez			Acidez	P	Fe	Mn	Zn	Cu	H ₂ O	N	Ca/Mg	Mg/K
			12.5																
0% RI	0-15	5.1	4.4	2.6	0.9	0.11	1.35	4.86	27.8	2.9	170.2	90.1	3.2	24.9	5.7	0.26	3.25	7.27	
	15-30																		
0% RII	0-15	5.2	4.4	3.7	1.3	0.19	0.90	6.09	14.8	3.0	155.2	150.0	3.4	29.5	4.8	0.22	2.85	6.84	
	15-30																		
0% RIII	0-15	5.5	4.6	3.6	1.7	0.26	0.63	6.19	10.2	2.5	150.2	149.9	2.8	27.2	4.9	0.20	2.12	6.54	
	15-30																		
50% RI	0-15	5.0	4.3	2.3	0.9	0.16	1.53	4.89	31.3	4.0	176.0	84.0	3.5	27.0	5.5	0.34	2.56	5.63	
	15-30																		
50% RII	0-15	5.1	4.3	3.4	1.4	0.21	0.99	6.00	16.5	3.0	159.5	234.2	3.3	2.99	4.4	0.23	2.43	6.67	
	15-30																		
50% RIII	0-15	5.5	4.5	4.8	2.3	0.38	0.50	7.98	6.3	2.5	183.0	147.5	3.8	29.0	5.4	0.26	2.09	6.05	
	15-30																		
100% RI	0-15	5.2	4.5	3.2	1.1	0.29	1.08	5.67	19.1	3.5	193.5	153.6	4.1	29.3	6.2	0.27	2.91	3.78	
	15-30																		
100% RII	0-15	5.2	4.4	3.3	1.0	0.14	0.90	5.34	16.9	2.9	166.4	95.6	3.0	26.0	5.0	0.25	3.30	7.14	
	15-30																		
100% RIII	0-15	5.3	4.3	3.4	1.3	0.18	0.90	5.78	15.6	3.5	190.5	282.4	4.1	31.7	5.0	0.28	2.62	7.22	
	15-30																		
200% RI	0-15	5.1	4.4	2.9	0.9	0.16	1.26	5.22	24.1	2.9	165.2	111.4	3.6	27.0	5.0	0.25	3.22	5.63	
	15-30																		
200% RII	0-15	5.1	4.3	2.8	0.9	0.14	1.44	5.28	27.3	3.5	208.8	106.5	3.4	32.2	5.2	0.17	3.11	6.43	
	15-30																		
200% RIII	0-15	5.4	4.4	4.4	1.9	0.24	0.54	7.08	7.6	3.5	162.9	290.4	4.3	32.2	5.2	0.26	2.32	7.92	
	15-30																		

Cuadro 2A. Análisis químico de suelos después del cultivo de maíz (primera siembra).

Trat. Neutraliz Al.	Prof. cm.	pH H ₂ O	pH KCl	mg/100 ml de suelo				Σ	% Sat.	µg/ml de suelo					%		Relaciones		
				Ca	Mg	K	Acidez			Acidez	P	Fe	Mn	Zn	Cu	H ₂ O	N	Ca/Mg	Mg/K
			12.5																
0% RI	0-15	5.2	4.2	2.5	0.8	0.12	1.4	4.82	29.0	4.0	198.3	59.0	1.7	23.4	6.4	0.28	3.13	6.67	
	15-30	5.1	4.3	2.9	1.0	0.06	1.2	5.16	23.3	2.5	181.8	50.6	1.9	25.4	5.1	0.14	2.90	16.67	
0% RII	0-15	5.4	4.3	3.4	1.0	0.10	0.9	5.40	16.7	2.5	155.9	79.8	2.3	24.8	4.8	0.24	3.40	10.00	
	15-30	5.5	4.5	4.0	1.0	0.04	0.6	5.64	10.6	1.0	104.4	40.0	1.7	18.7	3.4	0.16	4.00	25.00	
0% RIII	0-15	5.5	4.5	5.3	1.8	0.15	0.5	7.75	6.5	2.5	174.9	111.7	5.2	25.8	6.3	0.29	2.94	12.00	
	15-30	5.5	4.4	4.8	2.0	0.23	0.4	7.43	5.4	2.9	159.3	108.3	5.3	24.2	5.7	0.27	2.40	8.70	
50% RI	0-15	5.3	4.3	2.7	0.8	0.10	1.2	4.80	25.0	3.5	197.6	58.9	2.0	22.0	6.0	0.28	3.38	8.00	
	15-30	5.2	4.3	2.6	0.9	0.06	1.1	4.66	23.6	2.9	203.8	50.5	1.9	23.6	5.8	0.27	2.89	15.00	
50% RII	0-15	5.5	4.3	4.0	1.4	0.12	0.6	6.12	9.8	3.0	189.5	152.3	3.3	31.9	4.8	0.24	2.86	11.67	
	15-30	5.4	4.4	4.4	1.4	0.08	0.5	6.38	7.8	2.5	196.0	163.8	3.1	32.1	4.2	0.23	3.14	17.50	
50% RIII	0-15	5.6	4.5	4.9	2.7	0.33	0.3	8.23	3.6	3.0	205.8	157.6	4.0	32.8	5.4	0.25	1.81	8.18	
	15-30	5.5	4.5	5.2	2.2	0.19	0.3	7.89	3.8	2.0	147.9	113.0	4.0	27.1	4.6	0.23	2.36	11.58	
100% RI	0-15	5.4	4.4	4.2	1.4	0.10	0.8	6.50	12.3	2.9	187.4	138.1	2.6	29.8	5.1	0.25	3.00	14.00	
	15-30	5.3	4.3	3.4	0.9	0.19	1.2	5.69	21.1	7.0	209.6	98.2	2.7	26.2	5.6	0.26	3.78	4.74	
100% RII	0-15	5.5	4.4	3.9	1.1	0.11	0.8	5.91	13.5	2.5	142.0	55.6	2.3	21.9	5.2	0.25	3.55	10.00	
	15-30	5.4	4.4	4.0	0.9	0.06	0.7	5.66	12.4	2.5	140.8	43.3	2.1	22.0	4.2	0.19	4.44	15.00	
100% RIII	0-15	5.5	4.4	4.2	2.0	0.25	0.6	7.05	8.5	4.0	219.8	289.8	4.7	35.1	6.0	0.26	2.10	8.00	
	15-30	5.4	4.4	3.7	1.6	0.12	0.9	6.32	14.2	3.5	188.1	242.6	3.5	31.6	4.2	0.21	2.31	13.33	
200% RI	0-15	5.4	4.3	3.5	0.7	0.20	1.1	5.50	20.0	7.8	194.3	81.3	2.4	25.9	5.6	0.27	3.00	3.50	
	15-30	5.2	4.4	3.8	1.2	0.07	0.7	5.77	12.1	2.0	132.7	67.8	2.2	25.7	4.0	0.20	3.17	17.14	
200% RII	0-15	5.3	4.3	2.8	0.7	0.10	1.5	5.10	29.4	2.9	165.7	63.3	2.1	22.0	5.7	0.24	4.00	7.00	
	15-30	5.3	4.3	2.8	0.8	0.06	1.3	4.96	26.2	1.0	119.8	46.8	1.6	19.3	3.8	0.17	3.50	13.33	
200% RIII	0-15	5.5	4.4	4.6	2.0	0.23	0.5	7.33	6.8	2.9	174.2	230.0	3.7	27.8	5.7	0.26	2.30	8.70	
	15-30	5.5	4.5	4.0	1.5	0.09	0.5	6.09	8.2	2.5	168.9	189.8	3.6	29.9	4.5	0.24	2.67	16.67	

Cuadro 3A. Análisis de variancia de las características químicas de las parcelas antes de la aplicación de cal.

Prof. (cm)	F.V.	P ^H H ₂ O	P ^H KCl	Ca	Mg	K	Acidez	Σ	% S.Al	P	Fe	Mn	Zn	Cu	M.O.	N	Ca/Mg	Mg/K
0 - 15	R	**	NS	NS	*	NS	*	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	* *	NS
	T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS NS	NS

Cuadro 4A. Análisis de variancia de las características químicas de las parcelas después del cultivo de maíz (primera siembra).

Prof. (cm)	F.V.	P ^H H ₂ O	P ^H KCl	Ca	Mg	K	Acidez	Σ	% S.Al	P	Fe	Mn	Zn	Cu	M.O.	N	Ca/Mg	Mg/K
0 - 15	R	*	*	*	*	*	*	*	*	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	*	NS
	T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
15 - 30	R	*	NS	NS	**	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	**	NS
	T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

R = Repeticiones

F.V. = Fuente de variación

* Significativo al 5%

T = Tratamientos

NS = No significativo

** Significativo al 1%

Cuadro 5A. Análisis químico de suelos después del cultivo del frijol (segunda siembra).

Trat. Neutraliz. Al.	Prof. cm.	pH H ₂ O	pH KCl 1:2.5	meq/100 ml de suelo				Σ	% Sat. Acidez	µg/ml de suelo					%		Relaciones	
				Ca	Mg	K	Acidez			P	Fe	Mn	Zn	Cu	H ₂ O	N	Ca/Mg	Mg/K
0% RI	0-15	5.2	4.3	3.1	1.0	0.10	1.4	5.60	25.00	3.0	164.9	70.9	3.7	23.5	5.5	0.27	3.1	10.00
	15-30	5.3	4.3	3.6	1.1	0.06	1.0	5.76	17.4	2.0	165.2	76.0	4.3	28.2	5.3	0.22	3.3	18.33
0% RII	0-15	5.3	4.2	3.5	1.1	0.11	0.5	5.21	9.6	2.9	155.6	94.4	2.4	24.7	4.6	0.23	3.2	10.00
	15-30	5.3	4.3	4.1	1.1	0.05	1.0	6.25	16.0	2.0	119.3	77.1	1.8	24.4	4.1	0.17	3.7	22.00
0% RIII	0-15	5.5	4.4	4.3	1.8	0.23	0.7	7.03	10.0	5.1	146.5	120.3	2.3	25.5	6.0	0.25	2.4	7.33
	15-30	5.6	4.4	4.7	1.8	0.15	0.6	7.25	8.3	3.5	170.0	139.9	2.3	26.7	5.4	0.25	2.6	12.00
50% RI	0-15	5.3	4.3	3.0	1.0	0.11	1.4	5.51	25.4	3.5	172.8	64.6	4.8	24.0	6.1	0.28	3.0	9.09
	15-30	5.3	4.3	2.8	1.0	0.07	1.2	5.07	23.7	2.9	179.9	48.4	4.9	25.8	5.1	0.24	2.8	14.29
50% RII	0-15	5.4	4.3	4.5	1.5	0.13	0.7	6.71	10.4	4.5	141.7	140.7	3.2	26.0	4.8	0.23	3.0	11.54
	15-30	5.5	4.4	4.7	1.6	0.08	0.7	7.08	9.9	3.0	119.9	154.9	2.6	26.4	4.5	0.23	2.9	20.00
50% RIII	0-15	5.6	4.4	5.0	2.3	0.36	0.5	8.16	6.1	5.1	155.7	162.9	3.6	27.9	5.5	0.25	2.2	6.39
	15-30	5.6	4.5	4.8	2.5	0.31	0.5	8.11	6.2	4.0	147.2	162.8	3.2	27.9	4.3	0.24	1.9	8.06
100% RI	0-15	5.3	4.3	4.0	1.0	0.16	1.3	6.46	20.1	4.0	192.3	110.6	5.6	26.9	6.0	0.28	4.0	6.75
	15-30	5.4	4.3	4.2	1.3	0.09	0.9	6.49	13.9	2.9	196.3	124.3	5.5	27.6	5.5	0.26	3.2	14.44
100% RII	0-15	5.4	4.3	3.9	1.0	0.17	1.5	6.57	22.8	4.5	161.0	69.5	2.8	23.5	5.7	0.28	3.9	5.88
	15-30	5.4	4.3	4.0	1.0	0.13	0.8	5.93	13.5	4.0	181.7	79.3	3.3	31.2	5.0	0.24	4.0	7.69
100% RIII	0-15	5.4	4.4	4.5	1.6	0.13	0.8	7.03	11.4	5.1	163.8	146.4	3.7	30.8	5.7	0.27	2.8	12.31
	15-30	5.5	4.4	4.3	1.7	0.16	0.6	6.76	8.9	3.5	145.2	193.9	2.9	28.6	4.8	0.24	2.5	10.63
200% RI	0-15	5.2	4.3	4.2	1.0	0.11	1.1	6.41	17.2	3.5	155.1	84.7	4.9	25.4	5.0	0.25	4.2	9.09
	15-30	5.3	4.4	4.5	1.3	0.08	0.9	6.78	13.3	2.9	162.7	81.2	5.7	33.8	4.8	0.22	3.5	16.25
200% RII	0-15	5.3	4.2	3.5	0.9	0.08	0.9	5.38	16.7	2.9	141.9	65.8	2.0	23.7	5.3	0.23	3.9	11.75
	15-30	5.3	4.2	2.7	0.7	0.05	1.4	4.85	28.9	2.9	123.5	53.1	1.7	24.4	4.3	0.17	3.9	14.00
200% RIII	0-15	5.4	4.4	4.9	1.6	0.25	1.3	8.05	16.1	5.0	149.2	254.0	3.6	28.3	5.6	0.28	3.1	6.46
	15-30	5.4	4.4	4.6	1.7	0.06	0.8	7.16	11.2	4.0	167.7	146.5	2.0	23.4	5.3	0.26	2.7	28.33

Cuadro 6A. Análisis químico de suelos después del cultivo de maíz (tercera siembra).

Trat. Neutraliz. Al.	Prof. cm.	pH H ₂ O	pH KCl 1:2.5	meq/100 ml de suelo				Σ	% Sat. Acidez	µg/ml de suelo					%		Relaciones	
				Ca	Mg	K	Acidez			P	Fe	Mn	Zn	Cu	H ₂ O	N	Ca/Mg	Mg/K
0% RI	0-15	5.1	4.2	2.5	0.7	0.09	1.8	5.09	35.4	7.8	239.8	41.0	2.3	28.6	6.2	0.29	3.57	7.78
	15-30	5.3	4.3	3.0	0.8	0.05	1.1	4.95	22.2	5.7	183.6	31.4	2.1	26.2	5.3	0.24	3.75	16.00
0% RII	0-15	5.1	4.3	3.9	1.0	0.07	1.4	6.37	22.0	5.1	186.0	66.6	3.2	29.2	4.7	0.16	3.90	14.29
	15-30	5.2	4.0	4.1	0.9	0.04	0.8	5.84	13.7	4.0	133.3	42.2	2.6	23.8	3.4	0.14	4.56	22.50
0% RIII	0-15	5.2	4.3	3.8	1.6	0.17	1.2	6.77	17.7	6.5	185.0	67.6	3.4	30.3	5.0	0.22	2.38	9.41
	15-30	5.2	4.3	3.6	1.4	0.11	0.9	6.01	15.0	4.5	187.9	60.6	3.4	31.2	4.8	0.19	2.57	12.73
50% RI	0-15	5.2	4.3	2.7	0.8	0.08	1.3	4.88	26.6	7.8	239.2	43.0	5.3	29.1	6.7	0.28	3.38	10.00
	15-30	5.1	4.3	2.3	0.7	0.04	1.5	4.54	33.0	6.0	174.7	30.8	2.7	21.1	5.0	0.25	3.29	17.30
50% RII	0-15	5.0	4.2	4.0	1.1	0.08	1.5	6.68	22.5	7.5	188.2	82.2	3.8	29.4	5.4	0.24	3.64	13.75
	15-30	5.2	4.4	4.7	1.3	0.07	0.8	6.87	11.6	6.0	180.1	71.7	4.0	32.5	4.1	0.21	3.62	18.57
50% RIII	0-15	5.3	4.4	4.2	2.3	0.27	0.7	7.47	9.4	5.1	163.6	99.6	4.6	30.8	5.0	0.23	1.83	8.52
	15-30	5.2	4.4	3.8	2.0	0.19	0.7	6.69	10.5	5.1	165.1	93.1	4.2	32.4	4.3	0.20	1.90	10.53
100% RI	0-15	5.2	4.2	3.7	0.9	0.10	1.4	6.10	23.0	7.0	219.8	76.4	3.0	28.6	5.9	0.25	4.11	9.00
	15-30	5.2	4.2	4.1	1.1	0.08	1.4	6.68	21.0	6.0	221.8	124.7	3.0	29.8	5.0	0.24	3.73	13.75
100% RII	0-15	5.3	4.4	4.3	1.2	0.15	1.2	6.85	17.5	7.8	191.3	48.0	3.6	27.4	5.9	0.28	3.58	8.00
	15-30	5.3	4.4	4.4	1.0	0.12	0.9	6.12	14.7	7.5	227.4	44.7	4.5	33.8	5.6	0.26	4.10	8.33
100% RIII	0-15	5.2	4.3	4.2	1.9	0.20	1.0	7.30	13.7	5.7	177.6	129.6	4.2	30.5	6.1	0.25	2.21	9.50
	15-30	5.2	4.3	3.9	1.7	0.13	0.9	6.63	13.6	5.0	175.8	116.4	4.4	32.1	4.4	0.23	2.29	13.08
200% RI	0-15	5.1	4.2	4.0	0.7	0.10	1.7	6.50	26.2	7.8	230.2	69.7	3.2	28.5	5.8	0.27	5.71	7.00
	15-30	5.1	4.2	3.8	0.9	0.08	1.6	6.38	25.1	6.5	240.0	71.5	3.1	29.9	5.5	0.26	4.22	11.25
200% RII	0-15	5.1	4.3	3.1	0.7	0.07	1.8	5.67	31.7	6.0	241.2	49.6	3.4	31.3	5.7	0.24	4.43	10.00
	15-30	5.1	4.3	2.8	0.6	0.05	1.5	4.95	30.3	5.0	175.3	38.0	2.7	25.4	4.1	0.15	4.67	12.00
200% RIII	0-15	5.2	4.2	4.5	1.4	0.17	0.7	6.77	10.3	7.5	230.4	141.7	5.2	35.9	6.2	0.27	3.21	8.24
	15-30	5.3	4.4	4.6	1.5	0.11	0.8	11.4	11.4	6.0	179.9	113.1	4.6	34.4	4.1	0.24	3.07	13.64

Cuadro 7A. Análisis de variancia de las características químicas de las parcelas después del cultivo de frijol (segunda siembra).

Prof. (cm)	F.V.	P ^H		Ca	Mg	K	Acidez	%		P	Fe	Mn	Zn	Cu	M.O.	N	Ca/Mg	Mg/K
		H ₂ O	KCl					Σ	S.Al									
0 - 15	R	**	**	*	**	NS	NS	*	NS	**	*	NS	**	*	NS	NS	**	NS
	T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS
15 - 30	R	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	*	NS	*	**	NS	NS	NS	**	NS
	T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS

Cuadro 8A. Análisis de variancia de las características químicas de las parcelas después del cultivo de maíz (tercera siembra).

Prof. (cm)	F.V.	P ^H		Ca	Mg	K	Acidez	%		P	Fe	Mn	Zn	Cu	M.O.	N	Ca/Mg	Mg/K
		H ₂ O	KCl					Σ	S.Al									
0 - 15	R	NS	NS	NS	**	**	*	*	*	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	**	NS
	T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS
15 - 30	R	NS	NS	NS	**	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	**	NS
	T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS

R = Repeticiones

F.V. = Fuente de variación

* Significativo al 5%

T = Tratamientos

NS = No significativo

** Significativo al 1%

Cuadro 9A. Análisis químico de suelos después del cultivo de camote (tercera siembra).

Trat. Neutraliz. Al.	Prof. cm.	pH H ₂ O	pH KCl	mg/100 ml de suelo				E	% Sat.	µg/ml de suelo					%		Relaciones	
				Ca	Mg	K	Acidos			Acidos	P	Fe	Mn	Zn	Cu	H ₂ O	N	Ca/Mg
0Z RI	0-15	5.0	4.2	2.1	0.5	0.23	1.9	4.73	40.2	8.0	188.4	39.9	3.7	29.2	4.8	0.26	4.20	2.17
	15-30	5.2	4.3	3.0	0.8	0.07	1.0	4.87	20.5	5.0	145.3	37.3	3.2	31.2	4.1	0.19	3.75	11.43
0Z RII	0-15	5.0	4.2	2.5	0.6	0.19	1.9	5.19	36.6	7.8	199.1	39.2	3.4	30.2	5.4	0.23	4.17	3.16
	15-30	5.1	4.3	2.9	0.8	0.07	1.3	5.07	25.6	6.5	222.2	32.3	3.3	31.8	4.7	0.21	3.63	11.43
0Z RIII	0-15	5.2	4.3	4.8	1.5	0.37	0.8	7.47	10.7	7.0	193.2	64.7	4.1	32.3	5.8	0.27	3.20	4.05
	15-30	5.2	4.3	5.3	2.1	0.13	0.7	8.23	8.5	6.0	196.1	55.2	4.4	36.2	5.7	0.24	2.52	16.15
50Z RI	0-15	5.0	4.2	2.4	0.6	0.25	1.4	4.65	30.1	6.0	156.2	37.2	3.6	25.0	6.0	0.25	4.00	2.60
	15-30	5.2	4.3	2.8	0.8	0.08	1.0	4.08	21.4	5.7	168.5	26.4	3.2	24.4	5.1	0.25	3.50	10.00
50Z RII	0-15	5.1	4.2	3.4	1.0	0.25	1.3	5.95	21.8	7.0	152.4	93.1	3.6	28.3	5.0	0.25	3.40	4.00
	15-30	5.1	4.2	3.8	1.3	0.12	1.0	6.22	16.1	6.0	186.8	99.2	4.1	35.6	4.9	0.23	2.92	10.83
50Z RIII	0-15	5.3	4.4	4.7	1.8	0.30	0.6	7.40	8.1	5.7	153.9	83.4	3.6	28.9	5.6	0.26	2.61	6.00
	15-30	5.4	4.5	5.1	2.4	0.14	0.3	7.94	3.8	5.0	164.8	72.0	4.0	35.8	4.3	0.21	2.13	17.14
100Z RI	0-15	5.1	4.2	3.4	0.7	0.18	1.5	5.78	26.0	7.8	221.2	50.3	2.9	30.8	6.0	0.28	4.86	3.89
	15-30	5.2	4.3	3.6	1.0	0.07	1.0	5.67	17.6	5.1	225.2	71.4	3.7	35.1	5.5	0.26	3.60	14.29
100Z RII	0-15	5.1	4.2	3.6	0.7	0.15	1.3	5.75	22.6	7.0	191.1	38.7	3.7	32.2	5.0	0.22	5.14	4.67
	15-30	5.1	4.3	3.4	0.8	0.05	1.2	5.45	22.0	5.1	126.5	31.5	1.7	27.6	4.1	0.19	4.25	16.00
100Z RIII	0-15	5.0	4.2	4.2	1.3	0.21	1.4	7.11	19.7	8.8	253.4	99.2	4.9	37.1	6.1	0.27	3.23	6.19
	15-30	5.2	4.3	4.4	1.5	0.08	0.8	6.78	11.8	5.7	170.8	75.8	3.4	32.5	5.0	0.25	2.93	18.75
200Z RI	0-15	5.0	4.3	3.4	0.5	0.20	1.3	5.40	24.1	7.5	176.4	47.8	3.6	31.2	5.5	0.26	6.80	2.50
	15-30	5.1	4.3	3.3	0.9	0.09	1.0	5.29	18.9	5.7	183.5	50.1	4.9	39.1	5.2	0.21	3.67	10.00
200Z RII	0-15	5.2	4.3	3.7	0.6	0.10	1.4	5.80	24.1	7.5	199.4	26.3	3.3	32.2	5.4	0.23	4.17	6.00
	15-30	5.1	4.2	3.0	0.6	0.04	1.3	4.94	26.3	5.1	185.1	23.0	2.4	31.9	3.9	0.12	5.00	15.00
200Z RIII	0-15	5.3	4.4	5.3	1.5	0.22	0.7	7.72	9.1	6.5	139.0	81.0	3.9	30.8	4.9	0.23	3.53	6.82
	15-30	5.2	4.4	5.3	2.1	0.09	0.6	8.09	7.4	6.0	159.9	88.0	4.1	34.2	4.8	0.23	2.52	23.33

Cuadro 10A. Análisis de variancia de las características químicas de las parcelas después del cultivo de camote (tercera siembra).

Prof. (cm)	F.V.	P ^H		Ca	Mg	K	Acidez	Σ	%		P	Fe	Mn	Zn	Cu	M.O.	N	Ca/Mg	Mg/K
		H ₂ O	KCl						S.Al										
0 - 15	R	NS	*	**	**	*	*	**	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	*
	T	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS
15 - 30	R	NS	**	**	NS	**	**	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*
	T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

R = Repeticiones

F.V. = Fuente de variación

* Significativo al 5%

T = Tratamientos

NS = No significativo

** Significativo al 1%

Cuadro 11A. Análisis de variancia para el rendimiento de los cultivos en Kg/ha.

Fuente de variación	Maíz		Frijol	Maíz	Camote
	Elote	Grano seco			
Bloques	NS	NS			
Tratamientos	NS	NS			
Bloques			NS		
Tratamientos			NS		
Bloques				NS	NS
Tratamientos				NS	NS

NS = No significativo

Cuadro 12A. Curvas de regresión lineal entre acidez del suelo y Ca, Mg, K y P en el suelo superficial (0 - 15 cm).

Flemento	Sin cal	1 ^a Siembra Maíz	2 ^a Siembra Frijol	3 ^a Siembra Maíz + Camote	
Calcio	r = -0,9376**	r = -0,9272**	r = -0,3999 NS	r = -0,6448*	r = -0,8888**
Magnesio	r = -0,8954**	r = -0,8928**	r = -0,5924*	r = -0,8417**	r = -0,8382**
Potasio	r = -0,7050*	r = -0,6175*	r = -0,2747NS	r = -0,8299**	r = -0,5081NS
Fósforo	r = 0,5167NS	r = 0,2982NS	r = -0,1915NS	r = 0,3039NS	r = 0,6532*

Cuadro 13A. Curvas de regresión lineal entre acidez del suelo y Ca, Mg, K y P en el sub-suelo (15 - 30 cm).

Elemento	Sin cal	1 ^a Siembra Maíz	2 ^a Siembra Frijol	3 ^a Siembra Maíz + Camote	
Calcio		r = -0,7866**	r = -0,8952**	r = -0,6047*	r = -0,8578**
Magnesio		r = -0,7876**	r = -0,8684**	r = -0,6964*	r = -0,9291**
Potasio		r = -0,3273NS	r = -0,7156**	r = -0,5353NS	r = -0,7835**
Fósforo		r = 0,1627NS	r = -0,5649NS	r = 0,2599NS	r = 0,0739NS

NS = No significativo

* Significativo al 5%

** Significativo al 1%

Cuadro 14A. Costos de producción promedio de maíz por ha (primera siembra).

Elementos de costo	Cantidad kg	Jornales	Costo/ha			
COSTOS FIJOS						
1. Preparación de la tierra ¢28/jornal		10				¢280,00
2. Fertilizantes						
2.1 Fertilizante: 10-30-10 ¢80/50 kg	150,00					¢240,00
2.2 Fertilizante: 18-10-6-5 ¢95/50 kg	210,00					¢399,00
2.3 Nitrato de amonio (33,5% de N) ¢77,25/50 kg	66,11					¢102,00
2.4 Muriato de K (51% K ₂ O) ¢73,70/50 kg	43,05					¢ 63,50
2.5 Valor de aplicación de fertilizantes (¢28/jornal)		3				¢ 84,00
3. Siembra						
3.1 Semilla ¢7,60/1 kg	20,00					¢152,00
3.2 Mano de obra para la siembra ¢28/jornal		6				¢168,00
4. Prácticas culturales						
4.1 Limpia y aporque de maíz ¢28/jornal		8				¢224,00
4.2 Raleo (¢28/jornal)		2				¢ 56,00
5. Aplicación de herbicidas						
5.1 Gramoxone 3,78 l/¢200	2,00					¢106,00
5.2 Mano de obra		1				¢ 28,00
6. Control de plagas y enfermedades						
6.1 Aldrin, ¢8,50/0,5 kg	4,40					¢ 74,80
6.2 Elocrón, ¢78,57/kg	0,42					¢ 32,69
6.3 Tokafeno, ¢20/1	0,92					¢ 18,32
6.4 Costo de aplicación		3				¢ 84,00
7. Renta de la tierra por 3 meses						¢113,00
8. Interés sobre capital invertido (12% anual)						¢267,00
Total costos fijos						¢2492,34
COSTOS VARIABLES						
Elementos de costo	Cantidad kg	Jornales	Costo de tratamiento (¢)			
			0	50	100	200
9. Carbonato de Ca y mano de obra requeri- da para su apli- cación						
0	-	-	-	-	-	-
50	402,8	2,0	-	117,76	-	-
100	805,6	2,5	-	-	193,57	-
200	1611,2	3,0	-	-	-	331,00
(¢7,67/50 kg de CaCO ₃)						
10. Cosecha						
10.1 Cosecha elote		10	280,00	280,00	290,00	300,00
11. Interés sobre capital invertido (12% anual)			33,60	47,80	58,00	75,72
Total costo variable			313,60	445,56	541,57	706,72
Total costo de producción			2805,60	2937,55	3033,57	3198,72

1 jornal = 8 horas

Cuadro 15A. Costos de producción promedio de frijol por ha (segunda siembra).

Elementos de costo	Cantidad kg	Jornales	Costo/ha
COSTOS FIJOS (CF)			
1. Preparación de la tierra Ø28/jornal		5	Ø140,00
2. Fertilizantes			
2.1 Fertilizante 10-30-10 Ø80/50 kg	100		Ø160,00
2.2 Muriato de K (51% de K ₂ O) Ø73,70/50 kg	12,5		Ø 19,00
2.3 Nitrato de amonio (33,5% de N) Ø77,25/50 kg	172,5		Ø266,00
2.4 Valor de aplicación de ferti- lizantes		3	Ø112,00
3. Siembra			
3.1 Semilla: Ø344/qq	50,00		Ø344,00
3.2 Mano de obra para la siembra		8	Ø224,00
4. Prácticas culturales			
4,1 Raleo		2	Ø 56,00
5. Aplicación de herbicida			
5.1 Gramoxone Ø200/3,78 l	3,6 l		Ø190,00
5.2 Mano de obra		1	Ø 28,00
6. Control de plagas y enfermedades			
6.1 Aldrín Ø8,50/0,5 kg	4,4		Ø 74,80
6.2 Serrú Ø53,25/kg	1,44	2	Ø 76,68
6.3 Costo de aplicación		2	Ø 56,00
7. Renta de la tierra por 4 meses			Ø150,00
8. Interés sobre capital invertido (12% anual)			Ø230,88
Total costos fijos			Ø2154,88

COSTOS VARIABLES

Elementos de costo	Cantidad kg	Jornales	Costo de tratamiento (Ø)			
			0	50	100	200
9. Cosecha						
9.1 Mano de obra		10	280,00	300,00	320,00	280,00
9.2 Trilla		5	140,00	150,00	170,00	140,00
9.3 Otros		2	56,00	56,00	56,00	56,00
10. Interés sobre capital invertido (12% anual)			57,12	60,72	65,52	57,12
Total costo variable			533,12	566,72	611,52	533,12
Total costo de producción			2688,00	2721,60	2776,40	2688,00

1 jornal = 8 horas

Cuadro 16A. Costos de producción promedio de maíz por ha (tercera siembra).

Elementos de costo	Cantidad kg	Jornales	Costo/ha			
COSTOS FIJOS						
1. Preparación de la tierra ¢32/jornal		5				¢160,00
2. Aplicación de fertilizantes						
2.1 Fertilizante: Superfosfato simple ¢103/50 kg	22,50					¢463,50
2.2 Nitrato de amonio (33,5% de N) ¢77,25/50 kg	111,00					¢171,50
2.3 Muriato de K (51% K ₂ O) ¢73,70/50 kg	73,30					¢108,04
2.4 Fertilizante 18-10-6-5 ¢95/50 kg	210,00					¢399,00
2.5 Costo de aplicación ¢32/jornal		4				¢128,00
3. Siembra						
3.1 Semilla ¢7,6/kg	20,00					¢152,00
3.2 Mano de obra: ¢32/jornal		5				¢160,00
4. Prácticas culturales						
4.1 Limpia y sporque: ¢32/jornal		6				¢192,00
4.2 Chapla: ¢32/jornal		3				¢ 96,00
4.3 Doblado de maíz		2				¢ 64,00
4.4 Raleo: ¢32/jornal		2				¢ 64,00
5. Aplicación de herbicida						
5.1 Gramoxone ¢200/3,78 l	5,60 l					¢296,00
5.2 Mano de obra ¢32/jornal		1				¢ 32,00
6. Control de plagas y enfermedades						
6.1 Aldrín ¢8,50/0,5 kg	4,44					¢ 75,48
6.2 Diazinón ¢107/l. l	0,33					¢ 35,48
6.3 Mano de obra: ¢32/jornal		2				¢ 64,00
7. Renta de tierra						¢100,00
8. Interés sobre capital invertido (12% anual)						¢331,32
Total costos fijos						¢3092,32
COSTOS VARIABLES						
Elementos de costo	Cantidad kg	Jornales	Costo de tratamiento (¢)			
			0	50	100	200
9. Cosecha						
9.1 Mano de obra: ¢32/jornal		10	320,00	350,00	340,00	340,00
9.2 Desgrane ¢32/jornal		5	160,00	160,00	160,00	160,00
10. Interés sobre capital invertido (12% anual)			57,60	61,20	60,00	60,00
Total costo variable			537,60	571,20	560,00	560,00
Total costo de producción			3629,92	3663,52	3652,32	3652,32

Cuadro 17A. Costos de producción promedio de camote por ha (tercera siembra).

Elementos de costo	Cantidad kg	Jornales	Costo de tratamiento (¢)			
			0	50	100	200
COSTOS FIJOS						
1. Preparación de la tierra ¢32/jornal		5				¢160,00
2. Fertilizantes						
2.1 Fertilizante: Superfosfato simple ¢103/50 kg	450,00					¢927,00
2.2 Nitrato de amonio 33,5% de N ¢77,25/50 kg	223,33					¢345,04
2.3 Muriato de K (51% K ₂ O) ¢73,70/50 kg						¢432,37
2.4 Mano de obra: ¢32/jornal		5				¢160,00
3. Siembra						
3.1 Semilla						
3.2 Mano de obra: ¢32/jornal		10				¢320,00
4. Prácticas culturales						
4.1 Limpia con machete: ¢32/jornal		6				¢192,00
4.2 Segunda limpia		3				¢ 96,00
5. Aplicación de herbicidas						
5.1 Gramoxone (¢200/3,78 l)	7,1 l					¢375,00
5.2 Mano de obra (¢32/jornal)		4				¢128,00
6. Control de plagas y enfermedades						
6.1 Aldrín (¢8,50/0,5 kg)	4,4					¢ 74,00
6.2 Diazinón (¢107,50/l)	0,39 l					¢ 41,93
6.3 Costo de aplicación		2				¢ 64,00
7. Renta de tierra por 5 meses						¢187,50
8. Interés sobre capital invertido (12% anual)						¢444,34
Total costos fijos						¢4147,18
COSTOS VARIABLES						
9. Cosecha						
9.1 Mano de obra ¢32/jornal		12	384,00	390,00	380,00	380,00
9.2 Otros		2	64,00	64,00	64,00	64,00
10. Interés sobre capital invertido (12% anual)			53,76	54,48	53,28	53,28
Total costo variable			501,76	508,48	497,28	497,28
Total costo de producción			4648,94	4655,66	4644,46	4644,46