

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA
ÁREA DE POSTGRADO

//
COMPARACION DE TRES PRACTICAS AGRONOMICAS PARA EL MANEJO Y
CONSERVACION DE SUELOS EN LADERA, BAJO EL SISTEMA FRIJOL-MAIZ
EN TURRIALBA, COSTA RICA

Tesis sometida a la consideración del comité técnico de Postgrado y Capacitación
del Programa de Enseñanza en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro
Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

Magister Scientiae

POR

NELSON ANTONIO ✓ARRIAZA VALLEJO

CATIE

Turrialba, Costa Rica

1995

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

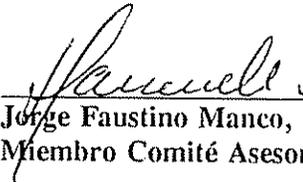
FIRMANTES:



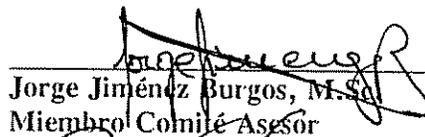
Donald Lieber Kass, Ph.D.
Profesor Consejero



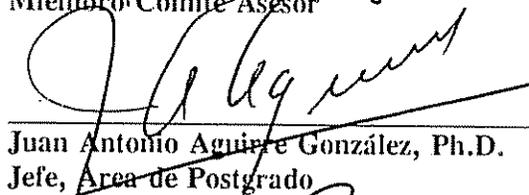
Pedro Oñoro Cerra, Ph.D.
Miembro Comité Asesor



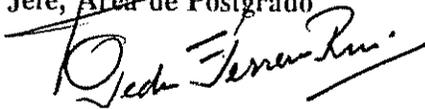
Jorge Faustino Manco, M.Sc.
Miembro Comité Asesor



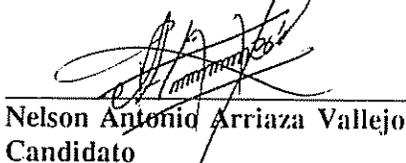
Jorge Jiménez Burgos, M.Sc.
Miembro Comité Asesor



Juan Antonio Aguirre González, Ph.D.
Jefe, Area de Postgrado



Pedro Ferreira Rossi, Ph.D.
Director del Programa de Enseñanza



Nelson Antonio Arriaza Vallejo
Candidato

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso

A mi querida madre, Rosa Felina
por su apoyo incansable, reflejo
de su gran corazón

A mis hermanos, Irma, Julio, Armando
y Mario, por su confianza

A la memoria de mi hermano Balmore
Q.D.D.G., por su recuerdo inolvida-
ble

Al pueblo Salvadoreño

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus agradecimientos a las siguientes personas e instituciones:

Al CATIE y al proyecto RENARM/BOSQUES NATURALES, por la adjudicación de la beca que hicieron realidad mis estudios de postgrado.

Al Dr. Donald Kass, Consejero Principal, por su constante ayuda a través de sus múltiples sugerencias y su amistad incondicional y sincera.

A los miembros de mi comité asesor el Dr. Pedro Oñoro, Jorge Faustino M. Sc. y Jorge Jiménez M. Sc., por sus recomendaciones acertadas y valiosos consejos en la conducción del estudio.

Al Dr. Francisco Jiménez, por sus valiosos comentarios y constante disposición.

Al Dr. Gerardo Budowski, por sus acertadas sugerencias.

A Galileo Rivas M. Sc. y Alex Tineo M. Sc., por su amistad y la ayuda incondicional en la revisión del documento.

A mis compañeros y amigos de promoción 93-94, por los agradables e inolvidables momentos compartidos.

A los compañeros de la promoción 94-95 y 95-96, por su amistad.

Al personal del Centro de Cómputo, en especial a Gustavo López y Jhonny Pérez por la colaboración en los análisis de datos.

Al Ing. Jorge Huevo, por su valioso apoyo y amistad.

Al CENTA y al Gobierno de El Salvador, por concederme la oportunidad de realizar los estudios de Postgrado.

A los compañeros de trabajo del CENTA, por animarme siempre.

A Patricia Leandro, Carlos Fernández y Carlos Castillo, por su amistad y apoyo en los análisis de suelos.

A Gloria Muñoz, por su amistad y valiosos consejos.

Al personal de Postgrado y Capacitación por su permanente colaboración y amistad brindada.

Al personal de la Biblioteca Conmemorativa Orton, por su constante colaboración.

A Doña Cristina Fernández y familia, por su invalorable amistad.

Al personal de campo en especial a Adolfo Camacho, por su ayuda.

A toda la comunidad del CATIE, por ofrecerme apoyo cuando más lo necesité.

Al pueblo Costarricense, por su hospitalidad.

A todas aquellas personas que de una u otra forma me ayudaron para salir adelante en esta tarea. Encuentro difícil mencionar uno por uno, pero a todos y cada uno de ustedes los recordaré y siempre tendrán un lugar en mi corazón.

Mil gracias

CONTENIDO

Página

RESUMEN	viii
SUMARY	x
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE ANEXOS	xiv
I. INTRODUCCION	1
Objetivos	3
Hipótesis	4
II. REVISION DE LITERATURA	5
2.1. Conservación de suelos	5
2.2. Erosión hídrica	6
2.2.1. Causas de la erosión de suelos.....	8
2.2.2. Tolerancia a la pérdida de suelo.....	8
2.3. Uso de leguminosas en sistemas agroforesta- les	10
2.4. Escorrentía superficial y pérdida de suelo bajo prácticas agroforestales	12
2.4.1. El sistema de cultivo en callejones..	14
2.4.1.1. Mejoramiento de la fertili- dad	14
2.4.1.2. Control de la erosión	17
2.5. Sistemas de cobertura en la conservación de suelos	21
2.5.1. Coberturas vivas	21
2.5.2. Mantillo o cobertura muerta	26
III. MATERIALES Y METODOS	29
3.1. Ubicación del experimento	29
3.2. Clima	29
3.3. Suelos	29
3.4. Antecedentes del experimento	31
3.5. Tratamientos	31
3.5.1. Descripción de los tratamientos	32
3.6. Manejo de los cultivos	35
3.6.1. Frijol	35
3.6.2. Maíz	37
3.7. Análisis de laboratorio	38
3.8. Diseño y unidad experimental	39

3.9.	Variables evaluadas	41
3.9.1.	Coeficiente de escorrentía	41
3.9.2.	Pérdida de suelo	41
3.9.3.	Pérdida de nutrimentos	43
3.9.3.1.	Por el suelo erosionado	43
3.9.3.2.	Por escorrentía superficial y lixiviación	43
3.9.3.3.	Extracción por los cultivos...	46
3.9.4.	Aporte de nutrimentos	46
3.9.5.	Dinámica del Ca, Mg, K, P, nitrógeno inor- gánico, saturación de Al y pH, a través del perfil de suelo después de un proce- so de encalado	47
3.9.6.	Rendimiento de grano de los cultivos...	48
3.9.6.1.	Frijol	48
3.9.6.2.	Maíz	50
3.10.	Análisis estadístico	50
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	52
4.1.	Precipitación, evapotranspiración y temperatura	52
4.2.	Producción de biomasa de los árboles (<i>E.berteroana</i> Urb.) y la Cobertura viva (<i>Mucuna deeringianum</i>)	54
4.3.	Rendimiento de los cultivos	55
4.3.1.	Rendimiento de frijol	55
4.3.2.	Rendimiento de maíz	58
4.4.	Erosión de suelos	60
4.4.1.	En el ciclo de frijol	60
4.4.2.	En el ciclo de maíz	63
4.5.	Coeficiente de escorrentía (E)	66
4.5.1.	En el ciclo de frijol	66
4.5.2.	En el ciclo de maíz	67
4.6.	Concentración de nitratos ($N-NO_3^{-1}$) y amonio ($N-NH_4^{+}$) en el suelo	69
4.7.	Concentración de nutrimentos en el perfil de suelo 42 meses después del proceso de encalado.	74
4.7.1.	Bases intercambiables (Ca, Mg y K).....	74
4.7.2.	Fósforo (P)	77
4.7.3.	Saturación de Al (%)	78
4.7.4.	pH del suelo	81
4.8.	Efecto del encalado en el comportamiento de algunos elementos a través del tiempo	81
4.8.1.	Bases intercambiables (Ca, Mg y K)	81
4.8.2.	Fósforo (P)	82
4.8.3.	Saturación de Al (%)	87
4.8.4.	pH del suelo	87
4.9.	Balance de nutrimentos	88
4.9.1.	Nitrógeno (N)	88
4.9.2.	Fósforo (P)	89
4.9.3.	Potasio (K)	91
4.9.4.	Calcio (Ca)	92

4.9.5. Magnesio (Mg)	94
V. CONCLUSIONES	98
VI. RECOMENDACIONES	100
VII. BIBLIOGRAFIA	102
VIII. ANEXOS	110

ARRIAZA V., N. A. 1995. Comparación de tres prácticas agronómicas para el manejo y conservación de suelos en ladera, bajo el sistema frijol-maíz en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C. R., CATIE, 125 p.

Palabras claves: Conservación de suelos, erosión hídrica, escorrentía superficial, lixiviación, cultivo en callejones, cobertura viva, mantillo, "mulch", balance de nutrimentos, parcela de escorrentía, frijol, maíz, encalado.

RESUMEN

En la presente investigación se cuantificó la pérdida de suelo y de nutrimentos causada por la erosión hídrica, escorrentía superficial y lixiviación, y se evaluó su efecto sobre la producción de maíz y frijol en relevo, bajo la práctica de cultivo en callejones, uso de mantillo y cobertura viva, en tierras de ladera. El estudio se realizó entre octubre de 1993 y septiembre de 1994, en la localidad de San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, en las faldas del volcán Turrialba, en un suelo clasificado como Acrudoxic Melanudand.

Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron: cultivo en callejones de *Erythrina berteroana* Urb., con espaciamiento entre hileras de árboles de 4 m, 6 m, y 12 m (doble hilera); cultivo bajo cobertura viva de *Mucuna deeringianum*; cultivo con mantillo o "mulch" de *E. berteroana* Urb.; cultivo tradicional con vegetación natural y suelo desnudo. Los cultivos fueron frijol cv. negro huasteco y maíz cv. tuxpeño. La unidad experimental estuvo definida por parcelas de escorrentía de 22 m de largo x 2 m de ancho. Las variables evaluadas fueron: coeficiente de escorrentía (E), pérdida de suelo, aporte y pérdida de nutrimentos (balance), rendimiento de grano de los cultivos y dinámica de bases intercambiables, P, saturación de Al y pH, a los 42 meses después de un proceso de encalado con 2.6 t/ha de CaCO₃.

Se determinó que la pérdida de suelo (< 0.15 t/ha/año) y la escorrentía superficial (E < 1%), no representaron un problema mientras el suelo estuvo protegido por algún tipo de cobertura. Sin embargo, en el suelo desnudo esta pérdida sobrepasó las 10 t/ha/año.

Dentro de los procesos hídricos estudiados, la lixiviación fue el que más influyó en la pérdida de nutrimentos del sistema. Los árboles en los cultivos en callejones no produjeron biomasa suficiente (< 1.4 t de MS/ha/año), para aportar cantidades adecuadas de nutrimentos que suplieran las necesidades de los cultivos asociados, principalmente en el caso del maíz. El rendimiento de grano de frijol y maíz bajo estos sistemas, no mostró diferencias significativas en relación con el cultivo tradicional o testigo.

A través de la cobertura viva y el mantillo, se adicionaron mayores cantidades de biomasa (3.5 t de MS/ha/año) y de

nutrimentos, en relación con los otros tratamientos. Además, en estos sistemas se presentaron las menores pérdidas de suelo (< 40 kg/ha/año) y de escorrentía superficial ($E < 0.5\%$), y fueron superiores en rendimiento de grano para ambos cultivos.

En general, el proceso de encalado mostró su efectividad, principalmente en la capa superficial del suelo (de 0 a 20cm) al aumentar la concentración de las bases intercambiables y disminuir consecuentemente el porcentaje de saturación de aluminio.

SUMARY

ARRIAZA V., N. A. 1995. Comparison of three agronomic practices for hillslope soil conservation and management under a maize-bean cropping system in Turrialba, Costa Rica. Mag. Sc. Thesis. CATIE. Turrialba, C. R. 125 p.

Key words: soil conservation, water erosion, surface runoff, leaching, mulch, green manure, alley farming, nutrient, balance, runoff plots, beans, maize, liming.

In the present research activity, soil and nutrient loss caused by water erosion, surface runoff, and leaching was quantified and its effect determined on the production of maize and beans, grown in sequence with either alley farming, mulch, or green manure. The study took place between October, 1993, and September, 1994, in the locality of San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, on the slope of the Turrialba volcano on a soil clasified as a Acrudoxic Melanudand.

A completely randomized block design was utilized with three repetitions. Treatments evaluated were alley farming with *Erythrina beteroana* Urb. in four or six meter wide single and twelve meter wide double rows, a green manure of *Mucuna deeringianum*, a mulch of leaves and branches of *E. berteroana*, cropping without amendments, and a bare plot. The maize cultivar was Tuxpeño. The bean cultivar was Negro Huasteco. Erosion was measured in plots of 2m X 22m. The following variables were evaluated: runoff coefficient (E); soil loss; nutrient input and outgo (balance); crop grain yield; and changes in levels of exchangeable bases, available (modified Olsen) P, Aluminum saturation and pH 42 months after applying 2.6 t/ha of a locally available limestone.

It was found that soil loss (<0.15 t ha/yr), surface runoff (E< 1%), did not represent a problem as long as the soil was protected by some form of cover. Nevertheless, soil loss on the bare soil was in excess of 10 t/ha/yr.

Among the processes studied, leaching was most responsible for the loss of nutrients from the system. Trees in the alley farming treatments did not produce sufficient biomass (<1.4 t dry matter/ha/yr to supply the needs of the associated crops, principally in the case of maize. Grain yields of maize and beans in these systems were not significantly different than those in the unamended control.

The green manure and mulch treatments produced greater quantities of biomass (3.5 t DM/ha/yr) and nutrients. These treatments also resulted in the smallest soil losses (<40 kg ha/yr) and surface runoff (E< 0.5%) and produced the highest yields of both crops.

In general, liming only affected the upper 20 cm of the soil in the first 42 months after surface application, increasing base concentration and reducing percent aluminum saturation.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°	Título	Página
1.	Pérdida de suelo en los sistemas agroforestales con cultivo de maíz. Nigeria, Africa Oeste, 1989. ...	19
2.	Pérdida de suelo en sistemas agroforestales. Patancheru, India, 1991.	20
3.	Tratamientos evaluados. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	32
4.	Aporte de calcio a través del encalado y otros procesos. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1994.	47
5.	Muestreos realizados a través del perfil de suelo. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	48
6.	Producción total de biomasa y aporte de nutrimentos en los tratamientos con árboles y coberturas. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	55
7.	Erosión de suelos por tratamiento durante el ciclo de frijol. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1993-1994.	62
8.	Lluvias erosivas para el ciclo de frijol. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	63
9.	Erosión de suelos durante el ciclo de maíz. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	64
10.	Lluvias erosivas para el ciclo de maíz. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	65
11.	Comparación de medias para coeficiente de escorentía en frijol. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	67
12.	Comparación de medias para coeficiente de escorentía en maíz. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	68
13.	Balance general de nutrimentos. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	96

LISTA DE FIGURAS

Figura N°	Título	Página
1.	Plano del CATIE y localización del experimento. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	30
2.	Disposición de bloques y tratamientos del experimento. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1994... ..	40
3.	Diseño de parcelas de escorrentía. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	42
4.	Distribución del área cosechada de frijol (a) y de maíz (b) dentro de la parcela de escorrentía en los diferentes tratamientos. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	49
5.	Distribución de la precipitación, evapotranspiración y temperatura. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	53
6.	Rendimiento de frijol. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	56
7.	Rendimiento de maíz. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	59
8.	Concentración de nitratos a diferentes profundidades de suelo. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	70
9.	Concentración de amonio a diferentes profundidades de suelo. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	73
10.	Concentración de calcio (A), magnesio (B) y potasio (C) a las profundidades estudiadas 42 meses después de la aplicación de 2.6 t/ha de CaCO ₃ . San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	76
11.	Comportamiento del fósforo (A), saturación de aluminio (B) y pH (C), 42 meses después de la aplicación de 2.6 t/ha de CaCO ₃ . San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	80
12.	Concentración de elementos en el tratamiento Testigo para las profundidades estudiadas a 0, 18 y 42 meses después de aplicar 2.6 t/ha de CaCO ₃ . San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	83

13.	Concentración de elementos en el tratamiento Mucuna para las profundidades estudiadas a 0, 18 y 42 meses después de aplicar 2.6 t/ha de CaCO ₃ . San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	84
14.	Concentración de elementos en el tratamiento Mulch para las profundidades estudiadas a 0, 18 y 42 meses después de aplicar 2.6 t/ha de CaCO ₃ . San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	85
15.	Concentración de elementos en el tratamiento S.desnudo para las profundidades estudiadas a 0, 18 y 42 meses después de aplicar 2.6 t/ha de CaCO ₃ . San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	86
16.	Entradas (+) y salidas (-) de nitrógeno en kg/ha. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	90
17.	Entradas (+) y salidas (-) de fósforo en kg/ha. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	90
18.	Entradas (+) y salidas (-) de potasio en kg/ha. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	93
19.	Entradas (+) y salidas (-) de calcio en kg/ha. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	93
20.	Entradas (+) y salidas (-) de magnesio en kg/ha. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	95

LISTA DE ANEXOS

Anexo N°	Título	Página
1.	Distribución mensual de la precipitación (PP), evapotranspiración potencial (ETP) y temperatura (T). San Juan Sur, Turrialba Costa Rica. 1994.	111
2.	Análisis de varianza para rendimiento de frijol...	111
3.	Análisis de varianza para rendimiento de maíz.....	111
4.	Análisis de varianza para erosión de suelos en el cultivo de frijol.	112
5.	Análisis de varianza para erosión de suelos en el cultivo de maíz.	112
6.	Análisis de varianza para el coeficiente de escorrentía en el cultivo de frijol.	112
7.	Análisis de varianza para el coeficiente de escorrentía en el cultivo de maíz.	112
8.	Análisis de varianza para el contenido de nitratos a diferentes profundidades.	113
9.	Análisis de varianza para contenido de amonio a diferentes profundidades.	114
10.	Análisis de varianza para la concentración de calcio.	115
11.	Análisis de varianza para la concentración de magnesio.	115
12.	Análisis de varianza para la concentración de potasio.	115
13.	Análisis de varianza para concentración de fósforo.	116
14.	Análisis de varianza para saturación de aluminio...	116
15.	Análisis de varianza para pH del suelo.	116
16.	Valor de Fc y significancia para los diferentes nutrimentos a 5 cm de profundidad.	117

17.	Valor de Fc y significancia para los diferentes nutrimentos a 10 cm de profundidad.	117
18.	Valor de Fc y significancia para los diferentes nutrimentos a 15 cm de profundidad.	117
19.	Valor de Fc y significancia para los diferentes nutrimentos a 20 cm de profundidad.	118
20.	Valor de Fc y significancia para los diferentes nutrimentos a 25 cm de profundidad.	118
21.	Valor de Fc y significancia para los diferentes nutrimentos a 30 cm de profundidad.	118
22.	Valor de Fc y significancia para los diferentes nutrimentos a 60 cm de profundidad.	119
23.	Prueba Duncan para los diferentes nutrimentos a 5 cm de profundidad.	119
24.	Prueba Duncan para los diferentes nutrimentos a 10 cm de profundidad.	119
25.	Prueba Duncan para los diferentes nutrimentos a 15 cm de profundidad.	120
26.	Prueba Duncan para los diferentes nutrimentos a 20 cm de profundidad.	120
27.	Prueba Duncan para los diferentes nutrimentos a 25 cm de profundidad.	120
28.	Prueba Duncan para los diferentes nutrimentos a 30 cm de profundidad.	121
29.	Prueba Duncan para los diferentes nutrimentos a 60 cm de profundidad.	121
30.	Concentración de nutrimentos a través del perfil de suelo, 42 meses después de la aplicación de CaCO ₃ (2.6 t/ha). San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	122
31.	Relaciones entre las bases cambiables, 42 meses después de la aplicación de CaCO ₃ (2.6 t/ha). San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	123
32.	Correlaciones entre las variables evaluadas. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.	124
33.	Balance anual de nutrimentos en una rotación frijol-maíz. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994. ..	125

I. INTRODUCCION

En el trópico húmedo, la pérdida de suelo agrícola causada por la erosión hídrica es un fenómeno muy generalizado, que se acelera aún más con el escaso empleo de técnicas de conservación de suelos, y la utilización inadecuada de labores de cultivo en los diferentes sistemas de producción.

América Central se caracteriza por presentar un relieve muy irregular, por lo que los agricultores muchas veces tienen que enfrentarse a condiciones de producción desfavorables, como es el cultivo en pendientes pronunciadas. El principal problema que la actividad agrícola genera bajo esta situación, es la pérdida de suelo y nutrimentos; en consecuencia, la degradación y la baja sostenibilidad son características propias de estos sistemas. Las prácticas de conservación de suelos son, en este sentido, básicas para mantener la productividad de las zonas de ladera y a la vez, disminuyen su ritmo de degradación.

Las investigaciones relacionadas con la pérdida de suelo y de nutrimentos causada por la erosión hídrica, se han enfocado hacia los sistemas tradicionales de producción: cultivos, pastos y bosques. Muy pocas evaluaciones específicas se han realizado en sistemas de cultivo bajo prácticas agroforestales y de cobertura.

El cultivo en callejones y el uso de coberturas vivas y muertas, han cobrado importancia en los últimos años a nivel de investigación, como opciones para el mejoramiento de las condiciones de fertilidad del suelo, y el control de la

degradación físico-químico-biológica. La evaluación de estas prácticas en terrenos experimentales y posteriormente en las condiciones propias del agricultor, se torna entonces urgente para evitar que el problema siga creciendo y alcance proporciones de difícil manejo.

El cultivo en callejones es un sistema de producción que intercala hileras de árboles de rápido crecimiento y fácil recuperación a las podas continuas con cultivos alimenticios, como maíz y frijol (Kang et al. 1981). Por otra parte, la utilización de coberturas vivas (CIDICCO 1991) o de mantillo (FAO 1989), contribuyen a la estabilización del sistema de producción, dado que el aporte de material orgánico de estas especies, mejora las condiciones de fertilidad y ayuda a disminuir la erosión de los suelos, problema grave en zonas de ladera. En este sentido, se justifica la investigación de sistemas de coberturas orientadas hacia la conservación de suelos bajo estas condiciones.

OBJETIVOS

General

Comparar el efecto del cultivo en callejones, el uso de cobertura viva y la aplicación de mantillo, en el manejo y conservación de suelos en ladera bajo el sistema frijol-maíz

Específicos

1- Determinar la pérdida de suelo y escorrentía superficial causadas por la erosión hídrica, bajo el sistema de cultivo en callejones de *Erythrina berteroana*, cobertura viva de *Mucuna deeringianum* y mantillo de *E. berteroana*, en una rotación frijol-maíz en condiciones de ladera.

2- Cuantificar los rendimientos de maíz y frijol bajo los diferentes sistemas de cultivo.

3- Realizar un balance de nutrimentos (diferencia entre entradas y salidas) y correlacionarlo con el rendimiento en grano de frijol y maíz.

4- Evaluar el efecto del encalado sobre la dinámica de las bases intercambiables (Ca, Mg y K), P, saturación de Al, nitrógeno mineral y pH, a través del perfil de suelo bajo los diferentes tratamientos.

HIPOTESIS DE TRABAJO

General

El cultivo en callejones, la cobertura viva y la aplicación de mantillo o "mulch", favorecen el manejo y la conservación de suelos en ladera bajo el sistema de cultivo frijol-maíz.

Específicas

1- La escorrentía superficial y la pérdida de suelo, se reducen con la práctica de cultivo en callejones, coberturas vivas y el mantillo.

2- El rendimiento en grano de los cultivos, bajo las prácticas agronómicas de conservación de suelos, son superiores al sistema tradicional de cultivo.

3- El contenido de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) disponibles en el suelo, está directamente relacionado con el rendimiento de grano de los cultivos.

4- La respuesta del encalado en relación con el mejoramiento de la fertilidad del suelo, es más eficiente en los sistemas agroforestales y/o de cobertura que en la práctica tradicional de cultivo.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Conservación de suelos

La FAO define el suelo como " la capa superior de la tierra que se ha formado lentamente por la descomposición del material rocoso subyacente (roca madre), bajo la acción de condiciones atmosféricas (clima) y de la vegetación, o mediante depósitos de materiales acarreados por los ríos, mares (suelos aluviales) o por el viento (suelos de cenizas volcánicas)" (García 1989). Otros autores lo definen como la capa de materiales orgánicos y minerales que cubren la corteza terrestre y en la cual, las plantas desarrollan sus raíces y toman los elementos necesarios para su nutrición (Suárez de Castro 1979).

La degradación del recurso suelo es un proceso que disminuye paulatinamente su capacidad actual y potencial para producir bienes y servicios, en la cantidad y calidad adecuadas. Los principales procesos de degradación del suelo (frecuentemente interactuantes) son: erosión hídrica, erosión eólica, exceso de sales y degradación física, química y biológica (García 1989).

La conservación de suelos se refiere a toda acción orientada al uso adecuado del mismo, disminuyendo su degradación, inutilización y en general, la pérdida irremediable de un recurso natural muy valioso (Faustino 1986).

Existen dos tendencias de la investigación en conservación de suelos: a) la tradicional, que se asociaba únicamente con el control de la erosión. Las medidas de conservación fueron dirigidas a reducir las tasas de pérdida de suelo y aceptar límites adecuados "erosión tolerable". Actualmente, se sabe que la erosión reduce la productividad no sólo por la disminución en la profundidad del suelo, sino también por los efectos en la pérdida de nutrimentos, declinación en la materia orgánica, degradación de las propiedades físicas; y b) la tendencia actual que considera la erosión como una de las formas de la degradación edáfica. Así la declinación en fertilidad y sus causas (físicas, químicas y biológicas), son de igual o mayor importancia. Estos factores interactúan, física y económicamente, y la conservación debe considerarlas a ambas. La conservación de suelos implica entonces, el control de la erosión aunado al mantenimiento de la fertilidad (Kirkby 1984; Young 1987).

2.2. Erosión hídrica

La erosión hídrica afecta en forma incalculable la capacidad productiva del suelo. Entre los efectos negativos pueden citarse: la disminución de la capacidad de retención de agua, ocasionando "stress" cada vez más frecuente y crítico; la pérdida de nutrimentos orgánicos, arrastrados junto con las partículas de suelo y que originan deficiencias en los cultivos, aumentando los costos de producción; la degradación de la estructura del suelo, aumentando la erodabilidad a causa de la reducción de la infiltración del agua; la disminución de la

tropicales generalmente es escasa, por esta razón se requiere de un mayor número de investigaciones, para obtener información necesaria y desarrollar prácticas de manejo apropiadas que contribuyan a conservar el suelo (Hudson 1971).

2.2.1. Causas de la erosión de suelos

Las causas que aceleran la erosión del suelo en el trópico, se relacionan con la utilización y manejo de los recursos naturales, lo cual conduce a una alteración de la vegetación original. Las principales son: la deforestación, el sobrepastoreo y el manejo inadecuado de la agricultura migratoria (roza-tumba-quema). La práctica intensiva y excesiva de estas actividades aceleran el proceso erosivo del suelo, principalmente en áreas con alta precipitación y pendientes pronunciadas. La erosión afecta las propiedades físicas del suelo así como la densidad aparente, la textura, la estructura y la profundidad efectiva, entre otras, las cuales influyen en el almacenamiento y transporte de agua, calor, aire y nutrientes en la relación suelo-planta (Sánchez 1990 citado por López 1993).

2.2.2. Tolerancia a la pérdida de suelo

El suelo es un ente dinámico de evolución lenta, por lo que algún grado de erosión es permisible siempre que éste no sea mayor al suelo que se está formando. Esto significa que

cuando el suelo es removido más rápido que su tasa de formación, su calidad y valor disminuyen. La tolerancia a la pérdida de suelo es la tasa máxima de erosión de suelo, que permite que se sostenga un alto valor de productividad. La tolerancia para suelos específicos en los Estados Unidos, ha sido analizada en varios seminarios en donde se les asignaron valores de tolerancia; por lo general, los suelos profundos, de textura media, moderadamente permeables y que tienen características de subsuelo para el crecimiento de las plantas, permiten tolerancias de $1.1 \text{ kg/m}^2/\text{año}$. A los suelos con una zona radical superficial u otras características de detrimento, se les asignaron tolerancias inferiores (Kent y Bubenzer 1984).

La tolerancia sobre la pérdida de suelo depende del tipo de suelo, profundidad y de sus características físicas. Los límites aceptables raras veces exceden 12.5 t/ha/año ; la Federación Centroafricana no acepta más de 10 y 12.5 t/ha/año para suelos arenosos y arcillosos respectivamente. Estas cifras se encuentran relacionadas con las prácticas agronómicas recomendadas por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Hudson 1982). Sin embargo, en los suelos del trópico, las reservas de nutrimentos están concentradas generalmente en un horizonte delgado, superficial y además, los suelos son infértiles; esto implica que una pérdida de unos pocos centímetros, puede resultar en serias reducciones en los rendimientos (Lal 1976).

2.3. Uso de leguminosas en sistemas agroforestales

La utilización de leguminosas en los sistemas agroforestales es un aspecto que ha cobrado importancia en los últimos años, lo que ha sido tema de investigación en proyectos agroforestales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Asimismo, la utilización de coberturas vivas ha sido abordada recientemente, para el control de la erosión, y para el control de malezas y la conservación de la humedad del suelo (Sánchez 1993).

Según Unger (1987), para la selección de una especie de árbol o arbusto con fines agroforestales, se deben considerar criterios como: condiciones ambientales, fenología, fijación de nitrógeno, profundidad de raíces y otros, además, se deben tomar en cuenta las condiciones normales de desarrollo del cultivo.

Los trabajos iniciales con el uso de esas especies, se enfocaron hacia el mejoramiento de la productividad de los cultivos asociados en los sistemas agroforestales, o a productos directos que podrían obtenerse de las mismas. Así, en un experimento realizado por Budowski et al. (1985) en el CATIE, se cuantificó la productividad de una cerca viva de *Erythrina berteroana* Urb. de cuatro años de edad, con ocho meses después de su última poda. La producción fue de 75.2 y 243.8 kg por 100 m de cerca, distribuidos en hojas y tallos

respectivamente, con una concentración de nitrógeno de 4.2% en hoja y 1.3% en tallo.

Se han hecho estudios sobre el uso de *E. berteriana* en sistemas agroforestales. En el CATIE, se realizaron evaluaciones de crecimiento y producción del ñame alado (*Dioscorea alata* cv "6322"), utilizando poró (*E. berteriana* Urb.) y madero negro (*Gliricidia sepium* Jacq.), como soporte vivo (Jiménez et al. 1992). Los resultados del estudio demuestran que es factible la utilización de estas especies como soportes vivos.

Existen muchas especies de árboles y arbustos que pueden combinarse sin problema con los cultivos, esto depende de los objetivos del productor. Entre éstas, el género *Erythrina* ha presentado buen potencial para tal propósito, mejorando las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo. El árbol de *E. berteriana* "poró enano" o "poró de cerca", es pequeño, puede alcanzar de 6 a 8 m de altura y 30 cm de diámetro; caducifolio, de tronco ramificado y con fuertes aguijones, presenta amplia copa y follaje ralo; su corteza es de color castaño, ligeramente verrugosa. Sus hojas son trifoliadas, con hojuelas anchas romboide-ovaladas o romboide-orbiculares de 5 a 15 cm de largo y de 4 a 12 cm de ancho. Sus flores presentan sables y cálices tubulares. Los frutos son legumbres de 10 a 30 cm de largo, con semillas rojas o con una línea negra que se extiende desde el "hilum". La especie se distribuye desde el sur de México hasta Panamá y Colombia. Hace mucho tiempo se

introdujo en Cuba, Haití y fue naturalizada en Puerto Rico. Ha sido plantada al sur de Florida, Islas Vírgenes y en la zona tropical del viejo mundo (Holdridge y Poveda 1975).

El rápido crecimiento, la alta producción de biomasa, la fácil propagación por estacas, la capacidad de resistir podas periódicas y el rápido desarrollo de rebrotes, son características que confieren a esta leguminosa un gran atractivo como componente para sistemas agroforestales (Russo 1981). Es una de las especies de uso más frecuente en cercas vivas (Lozano 1962). Sin embargo, ha sido muy poco estudiada (Sánchez et al. 1989), sobre todo en lo que se refiere a su potencialidad para el control de la erosión de suelos en ladera. Aunque, evidentemente, es importante su caracterización como mejorador de la productividad de cultivos como el maíz, es indispensable iniciar investigaciones que permitan ampliar sus usos, específicamente en la conservación de suelos, aspecto en el que parece ser bastante promisorio.

2.4. Escorrentía superficial y pérdida de suelo bajo prácticas agroforestales

La escorrentía y la erosión aumentan rápidamente sobre los suelos con menos del 70% de cubierta vegetal (Copeland 1965 citado por Evans 1984). En las regiones semiáridas, donde la cubierta vegetal a menudo se encuentra por debajo de un 20%, la escorrentía y erosión están relacionados directamente con la

cantidad de terreno desnudo (Branson y Owen 1970, citados por Evans 1984).

Las pérdidas de materia orgánica y el empobrecimiento de los suelos a partir de procesos hídricos, han sido estudiadas a través de mucho tiempo. Así, Knoblauch et al. (1942), plantean que las pérdidas de materia orgánica son dependientes de la erosión de suelos.

Ives (1951), utilizando parcelas de escorrentía en terrenos con pendientes de 16 a 45%, reportó valores máximos de 0.30% de escorrentía superficial y 6 t/ha/año de pérdida de suelo.

Bermúdez (1980), midió la erosión y la escorrentía en cafetales con sombra de poró, poró-laurel y sin sombra. Encontró promedios de escorrentía de 1.36%; 2.07% y 1.44%; y pérdidas de suelo de 71.5, 127, y 439 kg/ha/año, respectivamente para los tres tratamientos. Por otra parte, Apolo (1980), al evaluar las pérdidas por escorrentía y erosión en un pastizal previamente sometido a pastoreo durante cinco años, utilizó tratamientos con árboles aislados de poró y de laurel, determinó un escurrimiento promedio para todos los tratamientos de 7.4%, y 1,900 kg/ha/año como pérdida de suelo.

En Colombia, Vega et al. (1987), en un experimento con barreras vivas de *Gliricidia sepium*, encontraron que se redujo

la cantidad de suelo perdido en un 49% y en un 56% sobre terrenos con pendientes promedios de 45 a 75%, respectivamente. Los autores atribuyeron los resultados al efecto del mantillo procedente de las podas, y al material leñoso que se depositó en la base de las barreras.

2.4.1. El sistema de cultivo en callejones

El cultivo en callejones o "alley cropping" es una práctica agroforestal donde generalmente se siembran cultivos anuales en los espacios entre las hileras de árboles o callejones de una especie leñosa, por lo general leguminosa, que es podada a intervalos regulares para evitar competencia y proveer mantillo a los cultivos (Kang y Wilson 1987). El mantillo sirve para controlar malezas (Yamaoah et al. 1986) y proveer nutrientes para el mejoramiento del suelo (Kang et al. 1981). Por otra parte cuando la parcela se deja en descanso, el follaje de los árboles cubre rápidamente los callejones, evitando la erosión (Geilfus 1985, IITA 1987).

2.4.1.1 Mejoramiento de la fertilidad

Young (1989), basado en una revisión de literatura sobre el aporte de nitrógeno de algunas de las especies arbóreas utilizadas en sistemas agroforestales en climas húmedos y subhúmedos, concluyó que bajo la técnica de cultivo en callejones, *Leucaena* y *Gliricidia* son capaces de suministrar de 100 a

200 kg/ha/año de nitrógeno o aún más, siempre y cuando toda la biomasa sea distribuida en el terreno; esta cantidad es aproximadamente la misma removida del sistema o exportada por la cosecha de los cultivos agrícolas.

Por otra parte, Russo y Budowski (1986), en Turrialba, encontraron en una poda anual de *Erythrina poeppigiana* asociada con café, valores de 273.2 kg de N, 24.1 kg de P, 130 kg de K, 224.7 kg de Ca y 56.1 kg de Mg. Cuando se hicieron dos podas al año, las cantidades de N, P y K fueron similares; no obstante, el Ca y Mg se redujeron y cuando se hicieron tres, la cantidad de los nutrimentos en estudio disminuyó en forma considerable. Trabajando con la misma especie, en cultivo en callejones en "La Montaña" (CATIE), Kass et al. (1989), reportan producciones de 4.82 t/ha/poda de materia seca (dos podas por año), a una densidad de 555 árboles por hectárea, con un aporte de 139, 12, 78, 41, 17 kg/ha/poda de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

Kang y Mulongoy (1987), proponen el uso de la especie *Gliricidia sepium* como alternativa en el trópico húmedo y sub-húmedo, en cultivo en callejones para suelos no muy ácidos, aportando cantidades de biomasa que oscilan de 5 a 15 t/ha/año, rica en nutrimentos (4.2% de N, 0.29% de P, 3.43% de K 1.4% de Ca y 0.40 de Mg.)

Atta-Krah y Sumberg (1987), indican que *G. sepium* plantada en un alfisol degradado y utilizada como especie arbórea en un sistema de cultivo en callejones, produjo 5.98 y 5.78 t/ha/año de materia seca con dos podas anuales, incorporándose 189 y 173

kg de N/ha/año, para el primero y segundo año después de plantado, respectivamente.

Kass *et al.* (1989) realizaron un estudio después de seis años de cultivar maíz y frijol en callejones de *E. poepigiana* en Turrialba, Costa Rica, y concluyeron que los cambios en las características del suelo fueron mínimos durante el experimento, los únicos parámetros que mostraron diferencias significativas a causa de los tratamientos fueron el carbono orgánico y potasio extraído por Olsen; estos aumentaron significativamente bajo la presencia de residuos de *Erythrina*, hasta una profundidad de 40 cm.

Por otra parte existen resultados menos prometedores sobre esta misma técnica; por ejemplo en Yurimaguas, Perú, ensayos conducidos en un suelo ácido, los rendimientos de los cultivos en estudio, a excepción de Caupí fueron bajos. El rendimiento de los cultivos en callejones fue igual o menor al obtenido en la parcela control. Szott (1987), citado por Nair (1993), concluyó que el pobre comportamiento de los cultivos en callejones del experimento anterior, fue la competencia a nivel radicular y el sombreamiento del cultivo. Otra explicación expone el mismo autor, es que el "mulch" obstaculiza físicamente la emergencia de la plántula y además, existe disminución temporal en la disponibilidad de nutrimentos a causa de la descomposición del mismo, esto ocurre durante la etapa más crítica de desarrollo del cultivo.

2.4.1.2. Control de la erosión

Según Young (1987), cuando se habla del componente arbóreo en el control de la erosión, se debe combinar la capacidad de protección contra la erosión con otras funciones productivas o de servicio, particularmente la producción de leña y forrajes; además, es necesario considerar técnicas de conservación y manejo del agua.

El efecto regulador que una cobertura vegetal tiene sobre los procesos hidrológicos, se inicia con el fenómeno de intercepción. Así, Zambrana (1975), determinó que un bosque puede interceptar hasta 19 mm de lluvia, y un promedio de 16% de la precipitación anual en las condiciones de Turrialba. Un pastizal con árboles forma un sistema intermedio, con los beneficios de una buena protección contra la erosión por parte del estrato bajo, si no se sobrepastorea, y una mejora en la infiltración por efecto de las raíces de los árboles, a profundidades mayores que las gramíneas.

Morrón (1967), examina la interacción entre la lluvia y el suelo, resaltando que la intensidad de la erosión se reduce en gran medida, por la presencia de una cubierta vegetal, causada principalmente por el amortiguamiento del impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo.

Nair (1987), citado por Garzón (1991), argumenta que la pérdida de suelo no se reduce por medio del dosel de los árboles, cuando el suelo está completamente desprotegido, debido a que aunque puede interceptar y controlar el impacto de la lluvia, si la estructura del dosel está a una altura consi-

derable, la acumulación del agua en las hojas origina un goteo constante, con un aumento en la energía de caída, además de que el tamaño de la gota es más grande (fenómeno de coalescencia).

Según Budowski (1994) (com. per.), este fenómeno sucede cuando los árboles son de una altura considerable, no así en las especies utilizadas para cultivo en callejones, donde la altura del árbol no excede a los 2.5 m.

Young (1988), expone que el cultivo en callejones es una práctica que presenta potencial para el control de la erosión y además, abarca objetivos múltiples. El mismo autor plantea que las hileras de árboles bajo esta técnica y en suelos con pendientes, cumplen entre otras funciones las siguientes: disminuir la pérdida de suelo a través de la cobertura; reducir el agua de escorrentía al incrementar su infiltración; mantener una alta producción de materia orgánica, a partir de la descomposición del material podado y residuos de raíces; contribuir al desarrollo progresivo de terrazas, debido a la acumulación de sedimentos arriba de la hilera de árboles.

En la región de Urabá, Colombia, Eijk-bos y Moreno (1986), investigaron la pérdida de suelo bajo el cultivo en callejones de *Gliricidia sepium*, en pendientes de 45% y 75%, sobre un suelo de textura franco-arcillosa y estructura granular, con una precipitación media anual de 4000 mm. La biomasa obtenida de las podas de los árboles se aplicó como mantillo y la parte leñosa, se colocó en la base de los árboles para disminuir la fuerza de las corrientes de agua. La cantidad de suelo perdido en las parcelas con una pendiente de 45% fue mayor que en las de 75%. La presencia de barreras vivas redujo la cantidad de suelo perdido en un 49 y 56% para las parcelas con 45 y 75% de

pendiente, respectivamente. Los autores indican que el material leñoso depositado en la base de la hilera de árboles, impidió en parte la corriente del agua y el desprendimiento de suelo.

Lal (1989), reporta que las pérdidas de suelo para un período de seis años (1982-87), en la parte suroeste de Nigeria, para un Alfisol con una pendiente de 7%, precipitación promedio anual de 1200 mm y con seis períodos de cultivo de maíz, presentaron valores muy variables (Cuadro 1).

La reducción promedio de la erosión de suelo en el ciclo del maíz por los sistemas agroforestales (SAF) fue de 92% para los tratamientos con *Leucaena* y de 86% para los tratamientos con *Gliricidia*.

Cuadro 1. Pérdida de suelo en los sistemas agroforestales con cultivo de maíz. Nigeria, Africa Oeste, 1989.

Tratamientos	Suelo perdido (t/ha)
Labranza	4.30
Gliricidia- 4m	0.64
Gliricidia- 2m	0.60
Leucaena- 4m	0.57
Leucaena- 2m	0.10
Cero labranza	0.10

Fuente: Lal, 1989

Rao et al. (1991), realizaron un experimento en Patancheru, India, durante cuatro años (1984-88), en una zona con 2% de pendiente, en un alfisol, con una precipitación promedio anual de 765 mm (Cuadro 2).

Cuadro 2. Pérdida de suelo en sistemas agroforestales. Patancheru, India, 1991.

Tratamientos	Suelo perdido (t/ha)	
	Sin mulch	Con mulch
Cultivo tradicional	0.45	0.22
Leucaena - 5.4m	0.33	0.10
Leucaena- 3m	0.22	0.06
Leucaena monocultivo	0.10	0.02

Fuente: Rao et al. 1991

El género *Leucaena*, en monocultivo, redujo la pérdida de suelo en un 78% en comparación con el cultivo tradicional. Los cultivos en callejones con *Leucaena* a 3 m y 5.4 m fueron más efectivos en controlar la erosión, especialmente al principio de la estación lluviosa. Las parcelas donde la poda de los árboles se aplicó como "mulch", mostraron menor pérdida de suelo que los mismos callejones pero sin aplicación de este material. Los resultados indican que los cultivos en callejones juegan un papel bien definido en la conservación del suelo.

Ghosh et al. (1989), midió las pérdidas de suelo bajo un sistema de cultivo en callejones en la India, utilizando como especies arbóreas los géneros *Eucalyptus* y *Leucaena*, y como cultivo yuca. Encontró que la pérdida de suelo en los diferentes sistemas fue: 8.3, 4.54, 1.83 y 3.59 t/ha, para suelo desnudo, yuca en monocultivo, *Eucalyptus* + yuca y *Leucaena* + yuca, respectivamente.

Alegre y Fernández (1991), en Perú, encontraron pérdidas de suelo de 13 t/ha en el suelo desnudo, 0.07 t/ha para el bosque, 2.3 t/ha en suelos cultivados de arroz-caupí, y para el

sistema de cultivo en callejones con *Inga edulis* la pérdida fue de 0.6 t/ha. Por otra parte, el mismo autor cuantificó el coeficiente de escorrentía y obtuvo valores de 4.4, 4.4, 0.3 y 0.8% para el suelo desnudo, cultivo continuo de arroz-caupí, bosque y cultivo en callejones, respectivamente.

2.5. Sistemas de cobertura en la conservación de suelos

La conceptualización de cobertura es relativamente amplia. Se refiere a la capa de material vegetal que existe en forma natural o artificial sobre la superficie del suelo. Se incluyen además plásticos, papel, cartón, piedras, residuos vegetales, así como la cobertura muerta que proporciona las malezas que crecen en el sitio (Domínguez 1990).

2.5.1. Coberturas vivas

Algunas coberturas actúan como abonos verdes cuando después de un adecuado desarrollo, son cortadas e incorporados al suelo en el mismo sitio donde crecieron. Además, los abonos verdes principalmente de leguminosas, están destinados a incrementar la actividad microbiana del suelo, mejorando la estructura de éste mediante los productos intermedios que se forman en el transcurso de su descomposición (Guiberteau y Labrador 1992).

Según Voelkner (1979), Skerman *et al.* (1988) y Guiberteau y Labrador (1992), los efectos favorables de la utilización de coberturas como abonos verdes son: estimular la actividad biológica del suelo y mejorar su estructura por la acción mecánica de las raíces; proteger el suelo de la erosión y la

deseccación; acelerar la mineralización del humus y reemplazarlo por humus joven y más activo; enriquecer el suelo en nitrógeno (cuando se trata de leguminosas) e impedir la lixiviación de elementos fertilizantes; permitir una mejor descomposición de los residuos de los cereales por mantener el medio húmedo y equilibrar la relación C/N; competir con malas hierbas y reducir su población; mejorar la circulación del agua en el suelo al mejorar la estructura y aumentar su porosidad; servir algunas veces, de alimento para ganado.

El potencial de las plantas leguminosas como coberturas vivas se conoce desde hace mucho tiempo, principalmente para mantener o mejorar la fertilidad de los suelos y para la protección contra la erosión (Duke 1981). Estas coberturas mejoran los rendimientos de los cultivos, controlan malas hierbas, mantienen la textura y estructura del suelo, y reducen los costos de producción de los cultivos asociados (CIDICCO 1991).

Son muchas las especies que pueden utilizarse como coberturas y abonos verdes, y su selección en cada ocasión depende de las condiciones climáticas, costo de la semilla, objetivos del agricultor, entre otros. Una de las especies que se está estudiando por sus buenas características es el frijol abono (*Mucuna deeringianum*), conocida también como nescafé, mucuna o frijol terciopelo. Esta es una especie de hábito trepador, anual, que está bien adaptada a las condiciones del trópico cálido-húmedo, donde se desarrolla con rapidez, cubriendo el terreno con sus ramificaciones. Tiene un ciclo vegetativo de seis a diez meses, dependiendo de la época de siembra. La producción de biomasa (peso seco) de esta leguminosa es de 4 a 5 t/ha/año. Su capacidad para fijar nitrógeno

es elevada, debido a sus raíces largas, con abundantes nódulos para la fijación de nitrógeno atmosférico. La especie muere después de florecer, dejando sus restos sobre el terreno, que adquiere buenas condiciones para la producción, además, mejora su estructura (Arévalo y Jiménez-Osornio 1988).

El "nescafé" o "pica pica mansa" (*M. deeringianum*) se conoce bajo diferentes nombres dentro de la clasificación botánica; se puede encontrar bajo los géneros *Mucuna* y *Stizobolium*, asignándosele además en diferentes especies, como: *M. deerengiana*, *S. deeringianum*, *S. aterrimum*, *S. aterrinum*, *M. aterrima*, *M. pruriens* var. *utilis*, *M. utilis* y *S. niveum* (Calvino 1952; Gohl 1982; Halvard-Duclos 1979, y Skerman 1977, citados por Arévalo y Jiménez-Osornio 1988).

En el presente trabajo, de acuerdo con Buckles (1994), se determinó usar el nombre de *Mucuna deeringianum*. Sin embargo, se respetan los sinónimos que los autores consultados refieran.

La utilización de coberturas de leguminosas constituye una práctica empírica y es utilizada por grupos campesinos de México y América Central. En Honduras se ha reportado la utilización del frijol terciopelo (*Mucuna deeringianum*) por los agricultores. Se ha determinado que esta actividad proporciona muchas ventajas como: aumento en el rendimiento del maíz por unidad de área, el control de malezas, ahorro en la utilización de mano de obra y el mejoramiento de las características físicas del suelo (Flores 1989).

El programa regional del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) para Centroamérica y El Caribe, realizó experimentos para la evaluación regional de factores de

manejo, de cultivo y prácticas de control de la erosión, bajo varios sistemas de producción de maíz. Los experimentos con el asocio maíz-leguminosas mostraron que existe amplia adaptabilidad de tres especies leguminosas (*Canavalia ensiformis*, *Vigna unguiculata* y *Mucuna* spp.), en asocio temprano con maíz. Cada una de estas especies presentó ventajas y desventajas bajo este sistema. Para el caso de *Mucuna* se catalogó como una leguminosa con poco potencial para socios tempranos con maíz, lo cual se debe a su hábito de crecimiento trepador y agresivo, característica que la hace muy competitiva con el maíz por agua, nutrimentos y luz. Esto se refleja en una disminución de los rendimientos de grano de entre 0.6 a 0.7 t/ha. Sin embargo, esta especie ha demostrado buen potencial cuando se siembra en relevo o rotación con maíz, en el trópico húmedo, principalmente en la costa atlántica de Honduras, México y Guatemala (Barreto 1992).

En países tropicales, esta especie se siembra al inicio de la estación lluviosa, y en países subtropicales y templados al inicio de la primavera y en verano (Calvino 1952). Este mismo autor reporta que esta especie cubre de manera eficiente el terreno, pudiendo usarse como forraje o como abono verde.

En Guatemala, la idea de acelerar y mejorar el período de barbecho, hizo que los campesinos sembraran el frijol de abono (*S. deeringianum*) al voleo, con lo que redujeron los períodos de descanso de cinco a dos años o menos (Buckles 1993). Los campesinos guatemaltecos llevaron la semilla desde Honduras hace 20 años y han difundido su utilización.

Según Suárez de Castro (1979), el frijol terciopelo (*S. deeringianum*) es una planta anual, que crece vigorosamente y sus tallos generalmente son enredadores. La producción en una zona de Colombia (23°C de temperatura y 2500 mm de lluvia) fue de 40 t/ha/año de material fresco, entre tallos y hojas.

Aparte de esta especie, el uso de leguminosas de cobertura ha sido experimentado en diversos centros de investigación en el trópico. En el CATIE, en Turrialba, Costa Rica, se ha estudiado la utilización de mantillo ó "mulch" y de coberturas vivas de leguminosas en cultivos perennes, específicamente café y cacao. En estas investigaciones se ha evaluado el efecto del "mulch" y de las coberturas sobre el control de las malezas y la humedad del suelo, y también como una estrategia para controlar la erosión en tierras de ladera, en sistemas agroforestales (SAF).

El uso de coberturas vivas en otros países, africanos específicamente, han tenido éxito con la utilización de *Pueraria phaseoloides*, *Centrosema pubescens*, *Psophocarpus palustris* y *Stylosanthes guianensis*, como cultivos de cobertura en plantaciones comerciales de caucho, sisal y palmeras (Akobundu 1982, citado por Domínguez y de La Cruz 1990).

Un estudio realizado por Sánchez (1993), en el campo experimental de La Montaña (CATIE), determinó el comportamiento de diferentes leguminosas como cobertura, en el establecimiento del cultivo de plátano. Las leguminosas estudiadas fueron nueve: *Vigna unguiculata*, *Desmodium ovalifólium*, *Centrosema pubescens*, *Centrosema macrocarpum*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna pruriens*, *Arachis pintoi*, *Neonotonia wightii* y *Pueraria*

phaseoloides. Todas fueron estudiadas durante un año, evaluando su potencial como coberturas para el control de malezas. También los factores edáficos fueron estudiados, principalmente el aporte de nutrimentos y la materia orgánica adicionada al suelo. Se concluyó que las leguminosas mantuvieron los niveles de nutrimentos, pues no se presentaron cambios en la fertilidad (Sánchez 1993).

En relación con estos estudios, De la Cruz (s.f.) concluye que las coberturas contribuyen con el buen desarrollo de las plantas cultivadas; además, facilitan la conservación del suelo y mejoran su retención de humedad. Sugiere un mayor énfasis en la investigación sobre tales coberturas, principalmente bajo las condiciones de los pequeños agricultores, que en la mayoría de los casos, no cuentan con terrenos de buena calidad.

2.5.2. Mantillo o cobertura muerta

La aplicación de residuos vegetales es una práctica importante para el mantenimiento de los niveles de nutrimentos y el mejoramiento de las propiedades físicas de los suelos, para la producción sostenible de los cultivos (Baldock y Musgrave 1980). Esta es una actividad que se realiza en los trópicos donde el uso de fertilizantes es limitado, principalmente por razones económicas (Kang y Wilson 1987).

Por otra parte, las coberturas muertas o mantillo presentan un gran potencial en la conservación de suelos. Los estudios con mulch de árboles en sistemas agroforestales se iniciaron en el CATIE desde 1982. El material es dispersado sobre el terreno de cultivo, actuando principalmente como

phaseoloides. Todas fueron estudiadas durante un año, evaluando su potencial como coberturas para el control de malezas. También los factores edáficos fueron estudiados, principalmente el aporte de nutrimentos y la materia orgánica adicionada al suelo. Se concluyó que las leguminosas mantuvieron los niveles de nutrimentos, pues no se presentaron cambios en la fertilidad (Sánchez 1993).

En relación con estos estudios, De la Cruz (s.f.) concluye que las coberturas contribuyen con el buen desarrollo de las plantas cultivadas; además, facilitan la conservación del suelo y mejoran su retención de humedad. Sugiere un mayor énfasis en la investigación sobre tales coberturas, principalmente bajo las condiciones de los pequeños agricultores, que en la mayoría de los casos, no cuentan con terrenos de buena calidad.

2.5.2. Mantillo o cobertura muerta

La aplicación de residuos vegetales es una práctica importante para el mantenimiento de los niveles de nutrimentos y el mejoramiento de las propiedades físicas de los suelos, para la producción sostenible de los cultivos (Baldock y Musgrave 1980). Esta es una actividad que se realiza en los trópicos donde el uso de fertilizantes es limitado, principalmente por razones económicas (Kang y Wilson 1987).

Por otra parte, las coberturas muertas o mantillo presentan un gran potencial en la conservación de suelos. Los estudios con mulch de árboles en sistemas agroforestales se iniciaron en el CATIE desde 1982. El material es dispersado sobre el terreno de cultivo, actuando principalmente como

aportador de nutrimentos. Los primeros estudios se realizaron con coberturas de *Gliricidia sepium*, *Erythrina poeppigiana*, *E. fusca*, *Inga densiflora*. Se ha determinado que *E. poeppigiana* ofrece una cobertura que permanece mayor tiempo sobre el terreno, en comparación con la de *G. sepium* (Kass et al. 1989).

Veloz (1987), estudió en la Cordillera Central en República Dominicana diez tratamientos, considerando varias prácticas (zanjas de ladera, fajas de pasto, muros de piedra, mantillo) y diferentes asociaciones de cultivo (maíz, frijol, guandul). Los resultados preliminares indicaron que la opción más viable para controlar la erosión en aquellas pendientes de suelos erodables, fue el mantenimiento de la cobertura muerta sobre la superficie. Knoblauch et al. (1942), reportó pérdidas de 397 kg/ha/año en suelos franco arenosos en EE.UU., cuando los suelos estaban protegidos por una cobertura muerta, mientras que en las parcelas sin cobertura las pérdidas fueron de 1,287 kg/ha/año.

Lattanzi y Meyer (1974), encontraron que la escorrentía no dependía del grado de pendiente del terreno, pero fue ligeramente reducida por el "mulch" en una tasa de 2 t/ha/año y disminuyó ampliamente cuando este aumentó hasta 8 t/ha/año.

El estudio de Garzón (1991), realizado en San Juan Sur, Turrialba en un suelo Andisol Typic Fulvudand, textura franco arcillosa, con 2600 mm de precipitación promedio, indicó que los datos de erosión durante el ciclo de maíz varían entre 0.1 t/ha/año para las parcelas con mulch a 1.2 t/ha/año para el suelo desnudo. La protección ofrecida por el mulch disminuyó la erosión en un 92% respecto al suelo desnudo.

Investigaciones conducidas en Nigeria e Indonesia han demostrado que en parcelas con pendientes mayores al 15%, con la utilización de mulch se redujo considerablemente la pérdida de suelo y la escorrentía (Lal 1978 y Abujamin 1985 citados por FAO 1989).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación del experimento

El trabajo de investigación se desarrolló en el Huerto Latinoamericano de Arboles Fijadores de Nitrógeno (AFN), en el CATIE, distrito de San Juan Sur, cantón de Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica. La altitud del sitio es de 950 msnm y sus coordenadas geográficas son 9°53' de latitud Norte y 83°38' longitud Oeste (Fig. 1).

3.2. Clima

El sitio presenta una precipitación media anual de 2623 mm, con una época de menor precipitación desde enero hasta abril y una temperatura promedio anual de 20.5°C (Jiménez 1993). De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1987), el sitio experimental corresponde a bosque muy húmedo-Premontano (bmh-P).

3.3. Suelos

Según Aguirre (1971), los suelos pertenecen a la serie Birrisito, orden Inceptisol y suborden Andept. Son profundos, bien drenados y desarrollados, de textura franco arcillosa y con presencia de material alófono. Kass (s.f.), citado por Garzón (1991), lo clasifica como Andisol Typic Fulvudand, con mucha materia orgánica; sin embargo, ISRIC (1994), lo cataloga como un Andisol Acrudoxic Melanudand.

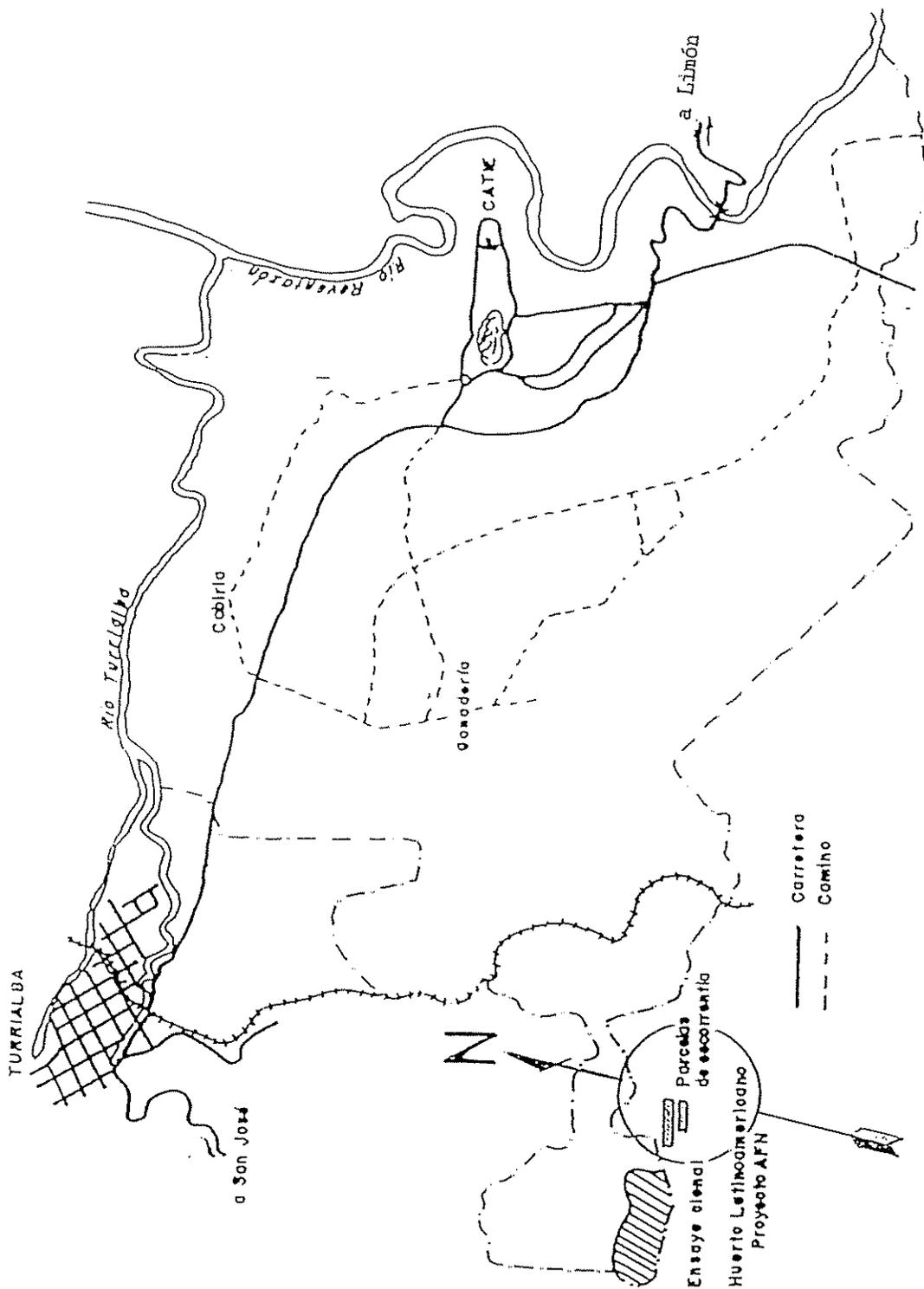


Figura 1. Plano del CATIE y localización de las parcelas de escorrentía, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1994.

3.4. Antecedentes del experimento

El ensayo inició en 1990, con el objetivo de estudiar la pérdida de suelo por efecto de la erosión hídrica (Garzón 1991). Posteriormente se realizaron otros trabajos donde se consideró el objetivo anterior y además, se cuantificó la pérdida de nutrimentos bajo los diferentes tratamientos (Tineo 1993). La especie arbórea utilizada al inicio del experimento fue poró (*Erythrina fusca* Lour.), que presentó, en investigaciones previas y bajo las mismas condiciones, un alto potencial para la producción de biomasa. Sin embargo, después de tres años se comprobó su inadaptabilidad al sitio, que se reflejó en la baja producción de material vegetativo. En consecuencia, al iniciar el presente trabajo, *E. fusca* fue sustituida por el clón 2674 de *Erythrina berteroana* Urb., considerando que esta última presentaba buenas características de adaptación bajo las condiciones del experimento (Pérez 1990). Para mantener cierta continuidad del ensayo, el distanciamiento para la plantación de la especie arbórea no se modificó. Otro cambio que se efectuó en este estudio fue la sustitución del "mulch" de *Inga edulis*, por la cobertura viva de *Mucuna deeringianum*, conocido como frijol abono (CIDICCO 1990), que ha mostrado buenos resultados como cultivo de cobertura.

3.5. Tratamientos

Se evaluaron seis tratamientos bajo el sistema de producción frijol-maíz y un tratamiento que correspondió al suelo desnudo (Cuadro 3).

3.5.1. Descripción de los tratamientos

a. Cultivo tradicional con vegetación natural

En este tratamiento no se aplicó ningún tipo de cobertura, únicamente la maleza que se desarrolló en el período de barbecho. Se consideró como el cultivo tradicional o testigo.

Cuadro 3. Tratamientos evaluados. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Tratamiento	Identificación
Cultivo tradicional con vegetación natural	Testigo
Cultivo en callejones - 4 m entre hileras	CC- 4m
Cultivo en callejones - 6 m entre hileras	CC- 6m
Cultivo en callejones - 12 m entre hileras dobles	CC- 12m
Cultivo con cobertura de <i>M. deeringianum</i>	Mucuna
Cultivo con mantillo de <i>Erythrina berteroana</i>	Mulch
Suelo desnudo	S.desnudo

b. Cultivo en callejones con 4 m entre hileras

Se utilizó *Erythrina berteroana* Urb., la que se plantó a una separación de 4 m entre hileras sencillas y 0.5 m entre estacas. Este espaciamiento permitió el desarrollo del cultivo. Durante la poda de los árboles se dejaron los brotes de origen basal, para formar una barrera contra la erosión y la escorrentía superficial. El material proveniente de la poda de los árboles, se distribuyó uniformemente entre las hileras, una

semana antes de la siembra del cultivo. Se cuantificó la biomasa producida y aplicada con base en tres partés de la planta: hojas, tallo tierno y tallo leñoso. Además, en cada parcela se obtuvo una muestra al azar (aproximadamente de 400 g) de cada una de ellas, para el posterior análisis de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en el laboratorio.

c. Cultivo en callejones con 6 m entre hileras

Se plantaron hileras sencillas de árboles de *E. berte-roana*, formando callejones de 6 m de ancho para permitir el desarrollo del cultivo asociado; el distanciamiento entre estacas fue de 0.5 m. El manejo de la poda se realizó de la misma forma que en el cultivo en callejones de 4 m.

d. Cultivo en callejones con 12 m entre doble hilera

Utilizando la misma especie arbórea pero dispuesta en hileras dobles, se formaron callejones de 12 m de ancho con 0.5 m entre estacas; este espaciamiento concentró los árboles en un mismo espacio.

e. Cultivo con cobertura viva de Mucuna deeringianum

La cobertura viva utilizada fue *Mucuna deeringianum*. El manejo que recibió fue el siguiente: se estableció dos meses antes de la siembra, tanto de frijol como de maíz, utilizando densidades de 80,000 plantas por hectárea en frijol y 200,000 plantas por hectárea en maíz. Es importante aclarar que la mayor densidad utilizada en el cultivo del maíz, se debió principalmente a que se notó que el desarrollo del frijol

terciopelo, durante un período corto, permitía una mayor población de plantas. Aproximadamente cuatro días antes de la siembra del cultivo, se cortó y se distribuyó sobre el terreno. Previo a ello, se tomaron cuatro muestras de 1 m², en forma sistemática a lo largo de la parcela, para cuantificar la producción de biomasa. Posteriormente, se hizo un submuestreo en cada uno de estos puntos para determinar la composición nutricional.

f. Cultivo con mantillo de E. berteroana Urb.

Sobre las parcelas correspondientes se aplicaron 8,000 kg/ha de biomasa fresca (aproximadamente 2,000 kg/ha de materia seca), principalmente en hojas y tallos tiernos. Este material se recolectó en una cerca viva de *E. berteroana* próxima al ensayo. La cantidad aplicada ha sido la misma en ensayos anteriores (Tineo 1993).

La aplicación del mantillo se realizó una semana antes de la siembra de cada cultivo. Además, se recolectó una muestra al azar (aproximadamente de 400 g) para la cuantificación de nutrimentos en el laboratorio.

g. Suelo desnudo

Se incluyó un tratamiento con suelo desnudo; sin embargo, su evaluación no se realizó con todas las variables estudiadas. Las parcelas correspondientes a este tratamiento se conservaron libres de cualquier tipo de cobertura desde que inició el ensayo.

En todos los tratamientos, con excepción del suelo desnudo, se cultivó frijol y maíz en relevo; los residuos de ambos fueron reincorporados al sistema.

3.6. Manejo de los cultivos

3.6.1. Frijol

La preparación del suelo para el cultivo de frijol se efectuó en el mes de diciembre de 1993, y consistió en el control de malezas con la aplicación del herbicida Round-up 48% C.S. (Glifosato).

La siembra se realizó con "espeque", utilizando el cultivar " negro huasteco", por ser una de las más utilizadas por el agricultor costarricense (Monge 1989). El distanciamiento de siembra fue de 40 cm entre surco por 25 cm entre postura o "golpe"; se depositaron tres semillas por postura. Se efectuó un raleo a los 15 días después de la siembra (dds), con el objetivo de mantener una población de 200,000 plantas/ha para el caso del monocultivo. En los tratamientos con cultivo en callejones, el surco más próximo al árbol se sembró a 40 cm, lo que representó una densidad de plantas menor para estos tratamientos, comparado con el monocultivo.

Durante la siembra se aplicó el insecticida nematocida Furadán 5% G (Carbofurán). Además, se fertilizó únicamente con fósforo a los 14 dds; se aplicaron 50 kg/ha de P_2O_5 , utilizando como fuente triple superfosfato (46% de P_2O_5). La competencia del cultivo con las malezas fue mínima, debido a que su

eliminación se hizo oportunamente; se realizaron dos controles manuales durante todo el ciclo (30 dds y 60 dds).

El ataque de plagas durante el desarrollo del cultivo no fue un problema; únicamente al inicio se presentaron daños por babosas (*Vaginulus* spp.), pero se controlaron utilizando trampas con caracolicida (metaldehído), distribuidas a lo largo de la parcela (tres trampas/parcela). Para prevenir enfermedades y controlar el ataque de gusanos cortadores (*Agrotis* spp.), se hicieron tres aplicaciones con una mezcla de Malathion (Malati6n), Trimiltox (Folpet) y Benlate (Benomil), a las dosis recomendadas. Estas aplicaciones se hicieron a intervalos de dos semanas, la primera a los 23 dds.

La floraci6n del cultivo inici6 a los 50 dds. En esta fase fue evidente el ataque de virosis, pero debido al estado fisiol6gico (pr6ximo a madurez) que presentaba la planta, no influy6 en su rendimiento.

3.6.1.1. Madurez fisiol6gica del frijol

Se realiz6 un muestreo a la madurez fisiol6gica (72 dds), que consisti6 en arrancar 30 posturas (aproximadamente 60 plantas) en monocultivos y 27, 28, y 28 posturas para los CC-4 m, CC-6 m y CC-12 m, respectivamente. Los surcos muestreados fueron de 12 m lineales dispuestos a lo largo de la parcela. Con esta muestra se cuantific6 la cantidad de biomasa fraccionada en: raíz, tallo + hoja y vaina. De cada una de estas partes se obtuvo una submuestra para determinar, a nivel de laboratorio, el porcentaje de materia seca y la concentraci6n de N, P, K, Ca y Mg.

3.6.2. Maíz

La preparación del suelo se hizo en mayo de 1994, con la aplicación de herbicida Round-up (Glifosato) para el control de malezas. Se realizó la poda de los árboles y la aplicación de mantillo en los tratamientos respectivos.

La siembra se realizó con "espeque" el 1 de junio de 1994. Se utilizó el cultivar "Tuxpeño". El distanciamiento de siembra fue de 1 m entre surcos y 0.40 m entre "golpes", depositando tres semillas por golpe a una profundidad aproximada de 5 cm. Fue necesario efectuar un raleo a los 15 dds para conservar una población de 50,000 plantas/ha. Es importante aclarar que este no es el distanciamiento utilizado con mayor frecuencia en la zona; sin embargo, se prefirió su uso para mantener la misma densidad de plantas entre los tratamientos. Al momento de la siembra se hizo una aplicación de Furadán 5% G (Carbofurán), en forma localizada para prevenir el ataque de plagas del suelo, principalmente del "joboto" o gallina ciega (*Phyllophaga* sp.).

En el caso de los tratamientos con cultivo en callejones, el surco más cercano a la hilera de árboles se sembró a 0.50 m.

Se realizó una fertilización con fósforo a los 15 dds en dosis de 50 kg/ha de P_2O_5 , utilizando como fuente triple superfosfato (46% de P_2O_5).

La competencia con malezas fue insignificante, debido a que se controlaron oportunamente. Durante el ciclo del cultivo se realizaron dos deshierbas o controles manuales.

Hubo ataque severo de "joboto" o gallina ciega (*Phyllophaga* sp.), en la mayoría de las parcelas. Para controlar esta plaga se hicieron dos aplicaciones de Volatón 2.5 G en la base de la planta, y se efectuó una resiembra para restablecer las plantas dañadas. La floración del cultivo ocurrió a los 70 dds.

3.6.2.1. Madurez fisiológica del maíz

El muestreo de madurez fisiológica se efectuó a los 112 dds y consistió en extraer tres posturas (aproximadamente seis plantas) representativas de cada parcela. Esta muestra se dividió en cinco partes: mazorca, flor, tallo, hoja y raíz. Al igual que en el frijol, se recolectaron submuestras para el análisis respectivo, determinándose el porcentaje de materia seca y su composición nutricional (N, P, K, Ca y Mg).

3.7. Análisis de laboratorio

Los análisis de suelo, tejido vegetal y aguas de escorrentía y percolación, se realizaron en el Laboratorio de Suelos del CATIE, siguiendo las siguientes metodologías.

a. Análisis de suelos

- Materia Orgánica: se determinó por el método de Walkley y Black, mediante la técnica propuesta por Saíz del Rio y Bor-

nemisza (1961).

- pH: en agua, con potenciómetro.
- Nitrógeno total: se efectuó por el método de semi-micro-Kjendahl, según Díaz Romeu (1977).
- Calcio y magnesio: determinados con solución extractiva de KCl 1N y absorción atómica (Díaz Romeu y Hunter 1978).
- Fósforo: por el método de Olsen modificado y colorimetría con azul de molibdeno. (Díaz Romeu y Hunter 1978)
- Acidez extraíble: se utilizó solución extractora de KCl 1N y titulación (Díaz Romeu y Hunter 1978)
- Nitratos y amonio: se realizó una destilación con óxido de magnesio y con aleación de Devarda, para la determinación de nitratos y amonio, respectivamente; además, se utilizó la metodología descrita por Keeney y Nelson (1982).

b. Análisis de tejido vegetal

- Nitrógeno total: se realizó por el método de semi-micro-kjendahl (Díaz Romeu 1977).
- Fósforo, potasio, calcio y magnesio: se realizó una digestión nítrico perclórica (Bateman 1970), y posteriormente se utilizó colorimetría para P y absorción atómica para K, Ca y Mg.

3.8. Diseño y unidad experimental

Los tratamientos se dispusieron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones; el criterio que se consideró para el bloqueo fue la pendiente, formándose tres bloques con 35, 25 y 15% de pendiente promedio, identificados como bloque A, B y C, respectivamente (Fig. 2).

ENSAYO CLONAL
AFN

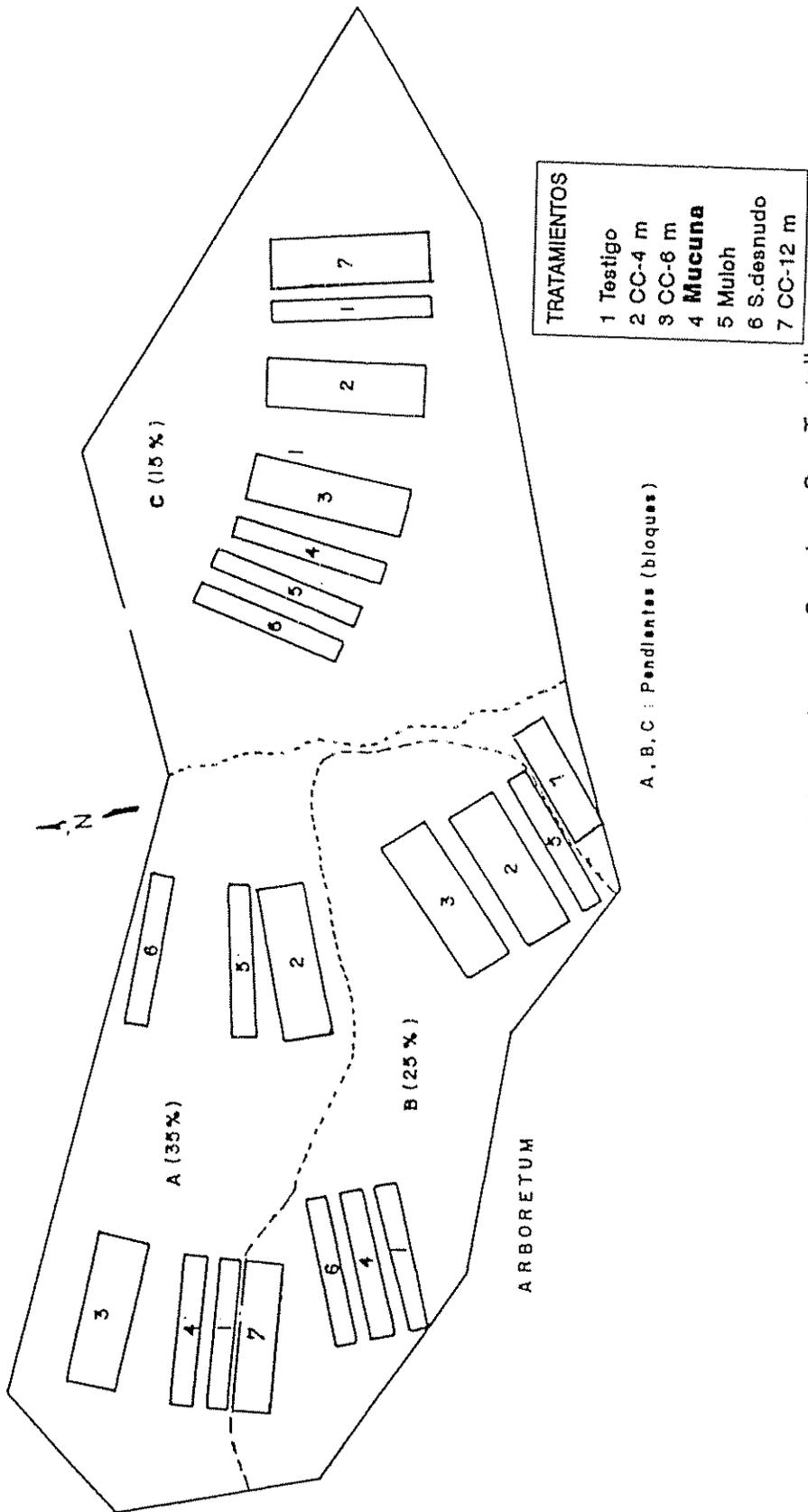


Figura 2. Disposición de bloques y tratamientos del experimento, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1994.

La unidad experimental estuvo definida por parcelas de escorrentía, con dimensiones de 2 m de ancho y 22 m de largo. El tamaño total de la parcela (parcela de escorrentía más el borde), en los tratamientos sin árboles fue de 3 x 22 m y para los restantes de 7 x 22 m.

3.9. Variables evaluadas

3.9.1. Coeficiente de escorrentía

En cada parcela se recolectó el agua de escorrentía debida a la precipitación, a través del sistema recolector formado por una caja metálica y de uno hasta tres estañones; estos últimos fueron necesarios en lluvias fuertes (Fig. 3). Tomando como base la cantidad de agua precipitada medida por el pluviómetro y el agua que escurrió en cada parcela, se calculó el coeficiente de escorrentía en porcentaje (E); este valor indicó la proporción de la precipitación que perdió por escorrentía superficial. La fórmula utilizada fue:

$$E = \frac{L \text{ (mm)}}{P \text{ (mm)}} * 100$$

donde:

L (mm): lámina de agua que escurre

P (mm): lámina de agua precipitada

3.9.2. Pérdida de suelo

La cantidad de suelo erosionado se cuantificó a partir de los sólidos depositados en la canoa de recolección (Fig. 3),

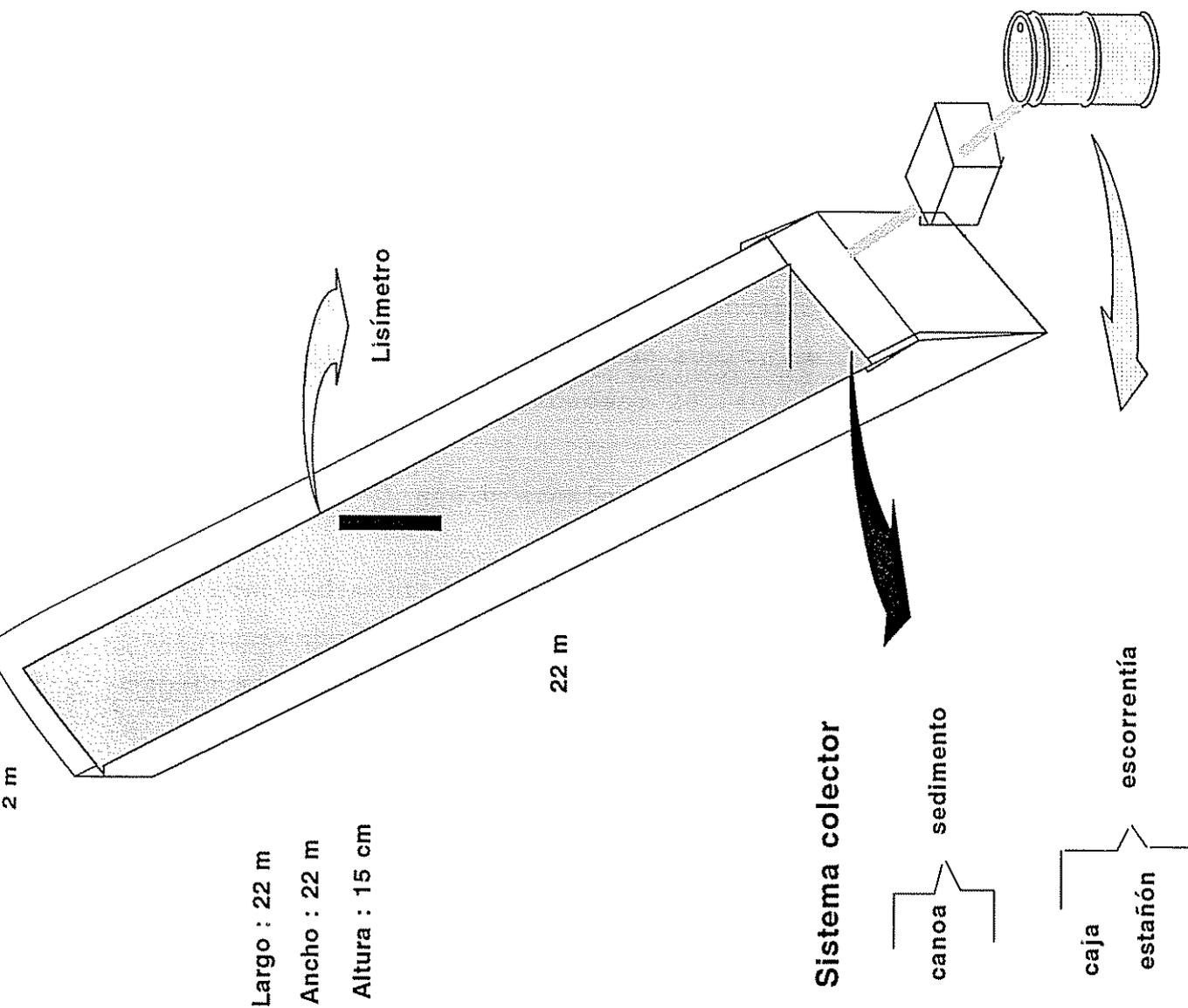


Figura 3. Diseño de parcelas de escorrentía. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

sin considerar los sólidos disueltos en el agua de escorrentía, debido a que las cantidades depositadas eran mínimas. El suelo se colocó en bolsas debidamente identificadas, luego se secó y pesó para determinar la cantidad (kg) erosionada por hectárea. Esta actividad se realizó para cada evento de lluvia, desde octubre de 1993 hasta septiembre de 1994.

3.9.3. Pérdida de nutrimentos

Para cuantificar la pérdida de nutrimentos se consideraron cuatro procesos: suelo erosionado, escorrentía superficial, lixiviación y extracción por los cultivos. Para determinar la dinámica de algunos nutrimentos, principalmente los nitratos y el amonio a través del perfil de suelo, se realizó un muestreo a las siguientes profundidades: 20, 40, 60, y 80 cm.

3.9.3.1. Por el suelo erosionado

Los sedimentos recolectados en el período del estudio, pertenecientes a la misma parcela, se mezclaron y se obtuvo una muestra homogénea para su análisis respectivo en el laboratorio de suelos del CATIE. Para cada muestra se determinó la concentración de N, P, K, Ca y Mg, y con base en el total de suelo, se obtuvo la cantidad de nutrimentos que se perdieron por este proceso.

3.9.3.2. Por escorrentía superficial y lixiviación

Para determinar la cantidad de nutrimentos que se perdieron por escorrentía y lixiviación, se seleccionaron dos lluvias dentro del ciclo de maíz: una en el primer mes de

desarrollo y otra en la etapa de floración, con el criterio adicional de que la precipitación elegida provocara escorrentía en todas las parcelas. El primer muestreo se realizó a los 13 dds; para el caso del agua de escorrentía se recolectaron 100 ml del agua depositada en las cajas. Para cuantificar la pérdida de nutrimentos por el proceso de lixiviación, se realizó la extracción de 100 ml de la solución del suelo, para ello, se aplicó una succión de 70 centibares a las cápsulas lisimétricas instaladas en cada parcela a 70 cm de profundidad. La concentración de los macroelementos (N, P, K, Ca y Mg) en las muestras, se determinó en el laboratorio de suelos. Para conocer la cantidad de agua que percoló a través del perfil de suelo, se utilizó la ecuación general del balance hídrico, que se deriva del principio de la conservación del agua precipitada (P), o aplicada por riego (R).

La ecuación general entre dos fechas es la siguiente (Maraux y Rapidel 1990):

$$P + R = \Delta H + E + ET + D$$

donde:

P = agua precipitada

R = agua de riego

ΔH = cambio en el contenido de humedad del perfil de suelo

E = agua de escorrentía

ET = agua evapotranspirada

D = drenaje o percolación

Esta información se obtuvo de la siguiente forma:

a. Precipitación

La precipitación se midió directamente con un pluviómetro para lecturas diarias, y por medio de un pluviógrafo de bandas bimensuales, pero con una resolución similar a una banda diaria, ubicados en el sitio experimental. Para el análisis de la precipitación se consideró la información desde el 1° de octubre de 1993 hasta el 30 de septiembre de 1994.

b. Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial (ETP) se cuantificó por el método de Penman, utilizando la información siguiente: temperatura, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento. Estos datos se obtuvieron de la estación meteorológica del CATIE. Sin embargo, se hizo una transformación de la temperatura, debido a la diferencia de altura que presentan estos dos sitios. Se consideró un gradiente de temperatura de 0.6 °C por cada 100 m de diferencia en altura. El cálculo de la evapotranspiración se realizó utilizando el software 'AGROCLIM' (Maraux y Rapidel 1990).

c. Escorrentía superficial

La cuantificación de la lámina de agua que escurre a través de la superficie del terreno, se obtuvo de la misma forma a la que se explicó en el numeral 3.9.1.

d. Percolación

El agua de percolación se determinó calculando la reserva útil para las plantas entre la capacidad de campo (0.33 bares de presión) y el punto de marchitez permanente (15 bares de presión) y considerando un perfil de suelo de 60 cm de profundidad. El exceso de humedad sobre la capacidad de retención máxima de agua útil, se consideró agua percolada. Para la toma de muestras se utilizó el procedimiento descrito por Forsythe (1980).

3.9.3.3. Extracción por los cultivos

Se cuantificó la cantidad de nutrimentos que salen del sistema a través de la cosecha de los cultivos. Para esto, se obtuvo una muestra de grano de frijol y de maíz, cuando estos alcanzaron la madurez fisiológica y se determinó su composición. Con la concentración de los elementos y el rendimiento de grano de cada cultivo, se determinó la cantidad de nutrimentos que fueron extraídos.

3.9.4. Aporte de nutrimentos

El aporte de nutrimentos para cada tratamiento se realizó a partir de cuatro procesos: lluvia, fertilización, aplicación de "mulch" y residuos de cosecha. En el caso de la lluvia, se recolectaron muestras de agua del pluviómetro; con respecto a la aplicación de mantillo para el caso de los cultivos en callejones, se cuantificó la biomasa de hoja, tallo tierno y tallo leñoso y su concentración de nutrimentos (N, P, K, Ca y

Mg). Además, se evaluó la producción y composición de la biomasa de los cultivos al alcanzar la madurez fisiológica.

3.9.5. Dinámica del Ca, Mg, K, P, nitrógeno inorgánico, saturación de Al y pH a través del perfil de suelo después de un proceso de encalado

Garzón en 1990, determinó, a través de un análisis de suelos, que el contenido de calcio en el sitio donde se realizó la investigación era muy bajo (0.33 meq/100 ml de suelo), con alta saturación de aluminio (> 70%). Por tal razón, se realizó un encalado en todos los tratamientos, a excepción del suelo desnudo, se utilizaron 2.6 t/ha de CaCO₃ (Cuadro 4).

Cuadro 4. Aporte de calcio a través del encalado y otros procesos. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1994.

Compuesto o proceso	Cantidad (kg/ha)	Concentración (% Ca)	Aporte de Ca (kg/ha)
CaCO ₃	2392	57.2	1368.2
CaSiO ₄	65	30.3	9.7
TSP*	50	17.0	8.5
Lluvia	-	-	3.1
Total			1389.5

* Superfosfato triple

3.9.5.1. Muestreos

Se realizaron cuatro muestreos para determinar el movimiento de las bases intercambiables: Ca, Mg, K, así como el comportamiento de nitratos, amonio, fósforo, saturación de Al y pH a diferentes profundidades de suelo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Muestreos realizados a través del perfil de suelo. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Mes	Año	Observaciones
Mayo	1990	Muestreo inicial a 20 cm de profundidad
Agosto	1990	Se encaló el suelo con 2.6 t/ha
Febrero	1992	Muestreo 18 meses después del encalado *
Febrero	1993	Muestreo 30 meses después del encalado **
Febrero	1994	Muestreo 42 meses después del encalado ***

* El muestreo se efectuó en los tratamientos Testigo, Mucuna, Mulch y S.desnudo a las profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, y 15-20 cm.

** Muestreo realizado en todos los tratamientos a excepción del CC-12 m a las profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm. (no se consideró en el análisis por la inconsistencia de algunos datos)

*** Muestreo realizado en todos los tratamientos en estudio a las profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 y 30-60 cm.

3.9.6. Rendimiento de grano de los cultivos

3.9.6.1. Frijol

La cosecha de frijol se realizó a los 90 dds, considerando una parcela útil de 12 m² en todos los tratamientos. Para el caso de monocultivos, se cosecharon 30 surcos centrales de 1 m de largo (4 posturas), totalizando 120 posturas. En el tratamiento CC-4 m, se cosecharon tres callejones completos, o sea 27 surcos (9 surcos por callejón) de 1 m de largo (4 posturas). En el CC-6 m, se cosechó el callejón central completo (14 surcos) y 7 surcos en cada uno de los callejones adyacentes, o sea 112 posturas (28 surcos de 4 posturas). En el CC-12 m cosechó un callejón completo (28 surcos de 4 posturas) (Fig. 4a).

En cada parcela se obtuvo: número de posturas, número de plantas, peso fresco del grano y porcentaje de humedad; basado en esta información y considerando un 14% de humedad, se expresaron los rendimientos de grano en t/ha.

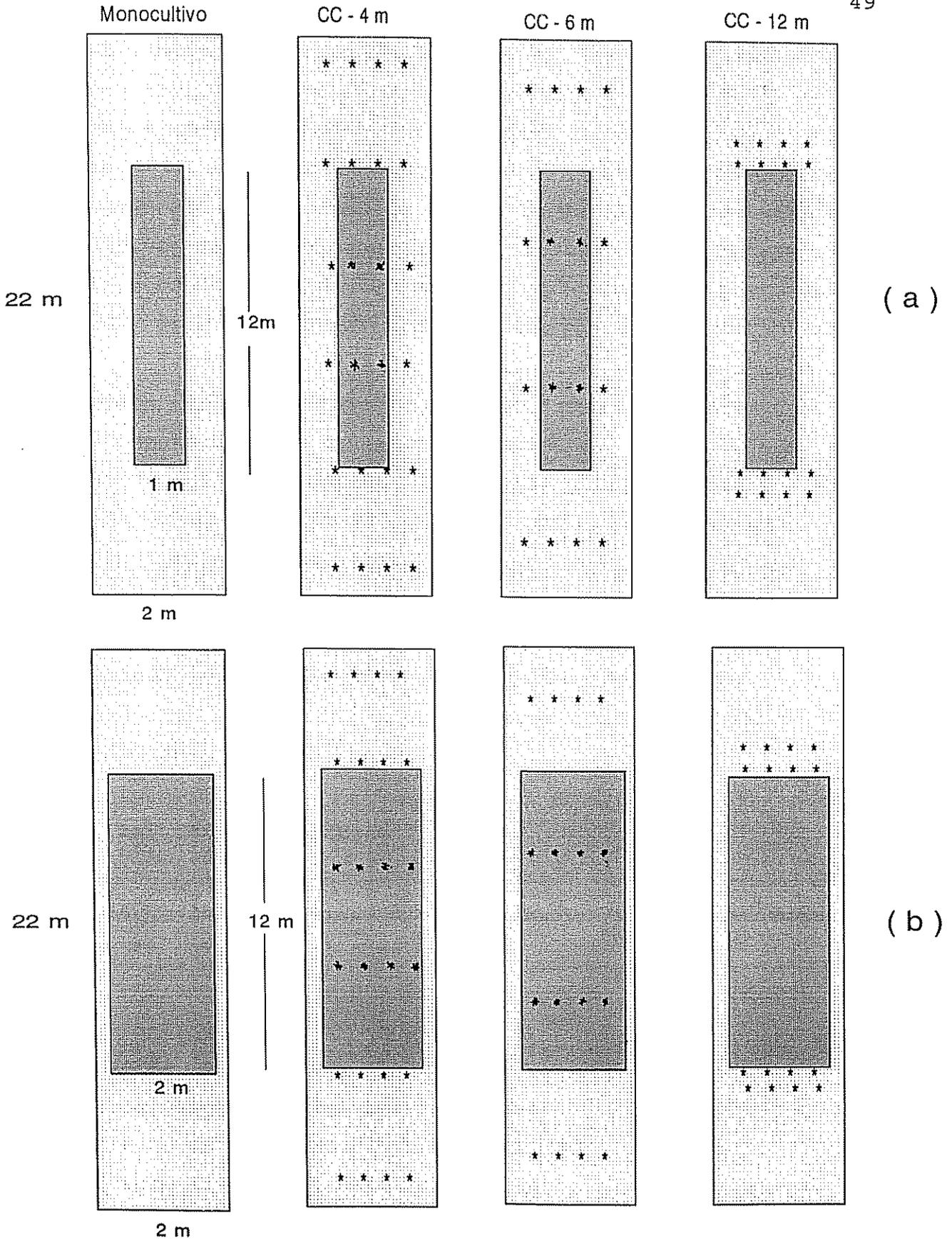


Figura 4. Distribución del área cosechada (más oscura) de frijol (a) y maíz (b) dentro de la parcela de escorrentía en los diferentes tratamientos. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994. (* = árbol)

3.9.6.2. Maíz

En la cosecha de maíz se consideró un área de 24 m² como parcela útil en todos los tratamientos; esto corresponde en forma general, a 12 surcos de 2 m de largo (5 posturas). En el monocultivo se cosecharon los 12 surcos centrales de la parcela, con un total de 60 posturas (12 surcos x 5 posturas). Para el resto de tratamientos, el número de surcos fue el mismo, variando únicamente la distribución de éstos dentro de la parcela de la siguiente forma: para el tratamiento CC-de 4 m, se cosecharon tres callejones completos. En el CC-6 m, se cosechó un callejón completo (6 surcos) y tres surcos en cada callejón adyacente; en el caso del CC-12 m, se cosechó un callejón completo (Fig. 4b).

En cada parcela se registró el número de posturas, número de plantas, peso y número de mazorcas buenas y malas, peso y porcentaje de humedad del grano. Posteriormente, se extrapoló el rendimiento a kg/ha.

3.10. Análisis Estadístico

Las variables evaluadas se analizaron mediante el modelo de bloques completos al azar:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + T_j + \epsilon_{ij};$$

donde:

Y_{ij} = Variable aleatoria observable

μ = Media general de las observaciones

β_i = Efecto del i -ésimo bloque, $i = 1, 2, 3$

T_j = Efecto fijo del j -ésimo tratamiento, $j = 1, 2, \dots, 7$

ϵ_{ij} = Error aleatorio de la ij -ésima observación.

Se hicieron pruebas de correlación entre las variables estudiadas. La comparación de medias se realizó a través de la prueba de amplitud múltiple de Duncan; además, para algunas variables se compararon grupos de tratamientos por medio de contrastes ortogonales.

Para el contenido de nutrimentos, a través del perfil de suelo el análisis se hizo en dos partes: (a) para el último muestreo realizado en 1994 (42 meses después del encalado), se utilizó un diseño de parcelas divididas, considerando la práctica de conservación como parcela grande y la profundidad como subparcela; y (b) se hizo un análisis a través del tiempo, considerando la práctica de conservación como parcela grande, la profundidad como subparcela y el año como sub-subparcela; se incluyeron en el análisis únicamente los tratamientos muestreados en ambas fechas (18 y 42 meses después del encalado), que fueron: Testigo, Mucuna, Mulch y suelo desnudo y hasta una profundidad de 20 cm.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Precipitación, evapotranspiración y temperatura

La distribución de la precipitación, evapotranspiración y temperatura ocurrida durante el período del estudio, mostró que durante los meses de enero hasta abril la evapotranspiración fue mayor que la precipitación, generándose un período de estrés hídrico. Los meses con mayor precipitación fueron diciembre y junio con 409 y 354 mm, respectivamente. Es importante notar que la mayor precipitación promedio ocurrió en el mes de diciembre, sin embargo, más del 50% de la misma se registró el día 10 de ese mes (241 mm) (Fig. 5). La precipitación anual fue de 2411 mm, una media mensual de 200 mm con variaciones desde 46 mm (febrero) hasta 409 mm (diciembre). La temperatura promedio mensual se mantuvo constante entre 20 y 21 °C. En el Anexo 1 aparecen los valores promedios de temperatura, precipitación y evapotranspiración para el período de estudio.

Si se compara la precipitación anual total que se registró en el sitio, con las obtenidas en los años inmediatamente anteriores, se obtiene que esta disminuyó en un 7%; sin embargo, se mantuvo la tendencia general durante todo el año.

Considerando la información recolectada de distribución de la lluvia de la zona y la que se generó en trabajos anteriores, particularmente en el sitio, se determinó que en los meses desde enero hasta abril se produjeron condiciones de humedad limitada o estrés hídrico; esta misma tendencia fue reportada

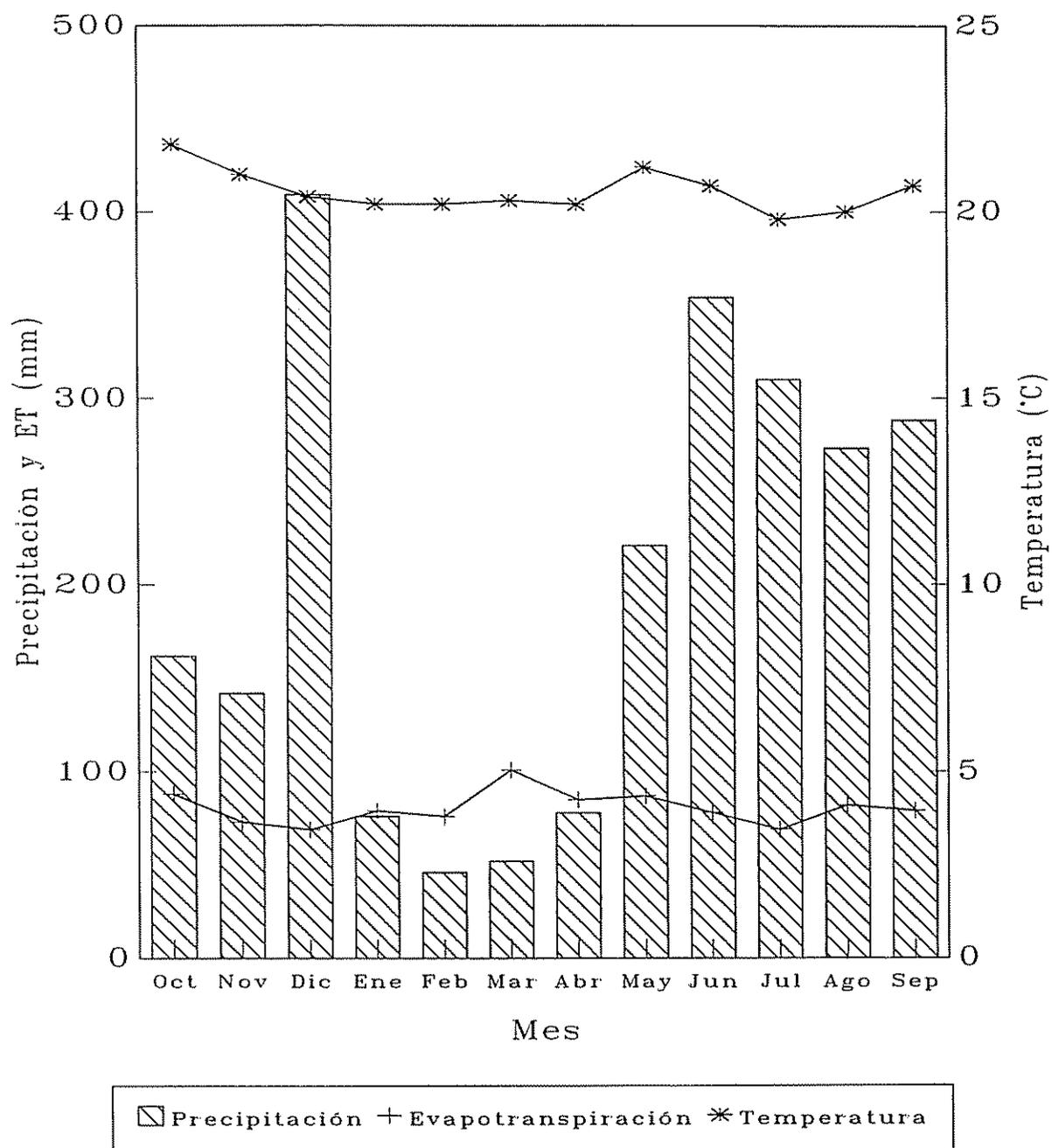


Figura 5. Distribución de la precipitación, evapotranspiración y temperatura, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

por Garzón (1991). En este sentido, es importante tener presente estas variaciones, debido a que en general, esta época coincide con el período en el cual el cultivo de frijol requiere las mayores cantidades de agua, para los procesos de floración y llenado del grano. La alta capacidad de retención de humedad de estos suelos y la formación de rocío durante la noche, son probablemente los factores más importantes que permitieron que el cultivo se desarrollara normalmente, y no sufriera estrés por la falta del líquido.

4.2. Producción de biomasa por la especie arbórea (*E.berteroana* Urb.) y la Cobertura viva (*Mucuna deeringianum*)

La especie arbórea fue afectada negativamente por el período seco, el cual se reflejó en la baja producción de biomasa, principalmente en el ciclo del maíz (Cuadro 6). Es importante considerar que las podas se realizaron a los 2.5 y 7 meses después de haber sido plantada; este fue otro factor que influyó en el pobre desarrollo de la planta. En este sentido Russo (1983), concluyó que podando cada seis meses los árboles de *E. poeppigiana*, éstos no alcanzan su máximo potencial de producción y desarrollo.

La producción de biomasa de la cobertura viva, *M. deeringianum*, en ambos ciclos de cultivo, se presenta en el Cuadro 6.

Las condiciones de humedad aparentemente no tuvieron efectos negativos en su desarrollo; esto concuerda con lo encontrado por Duke (1981), citado por Buckles (1994), quien afirma que la mayoría de las especies *Mucuna* presentan una razonable tolerancia a condiciones de humedad limitada. La densidad de 80,000 y 200,000 plantas/ha que se utilizó de esta cobertura

para frijol y maíz respectivamente, fue el principal factor que originó diferencias muy marcadas en la producción de materia seca, que fue de 1,257 kg/ha en frijol y 2,158 kg/ha en maíz. La producción de biomasa verde por año fue de 20,900 kg/ha, con dos meses de desarrollo por cada ciclo; la concentración de N promedio fue de 4.0% con base en materia seca (MS), aportando 138 kg de N/ha/año. Este contenido es parecido a los reportados en otros trabajos (Bunch 1994), pero las diferencias en la producción de biomasa total se deben principalmente al manejo que ésta recibe y los objetivos de su establecimiento.

Cuadro 6. Producción total de biomasa y aporte de nutrimentos en los tratamientos con árboles y coberturas. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Tratamiento	Materia seca	N	P	K	Ca	Mg
	----- (kg/ha/año) -----					
CC-4 m	1372	39.7	2.7	22.3	10.4	2.8
CC-6 m	1257	37.2	2.5	20.5	8.4	2.4
CC-12 m	955	32.2	2.2	17.2	6.8	2.6
Mucuna	3415	137.6	6.9	47.9	43.8	6.9
Mulch	3676	132.8	7.7	74.4	31.6	10.4

4.3. Rendimiento de los cultivos

4.3.1. Rendimiento del frijol

El análisis de varianza para esta variable mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.01$) (Anexo 2).

Los tratamientos con el mayor rendimiento fueron el cultivo con mantillo de *E. berteriana* (1,694 kg/ha) y con *M. deeringianum* (1,537 kg/ha); estos dos tratamientos superaron al testigo (1,209 kg/ha) en un 40% y 27%, respectivamente. La comparación de medias utilizando la prueba Duncan mostró que el rendimiento del testigo fue inferior a los cultivos con coberturas, pero no detectó diferencias estadísticamente significativas ($p>0.05$) con los tratamientos de cultivos en callejones (Fig. 6).

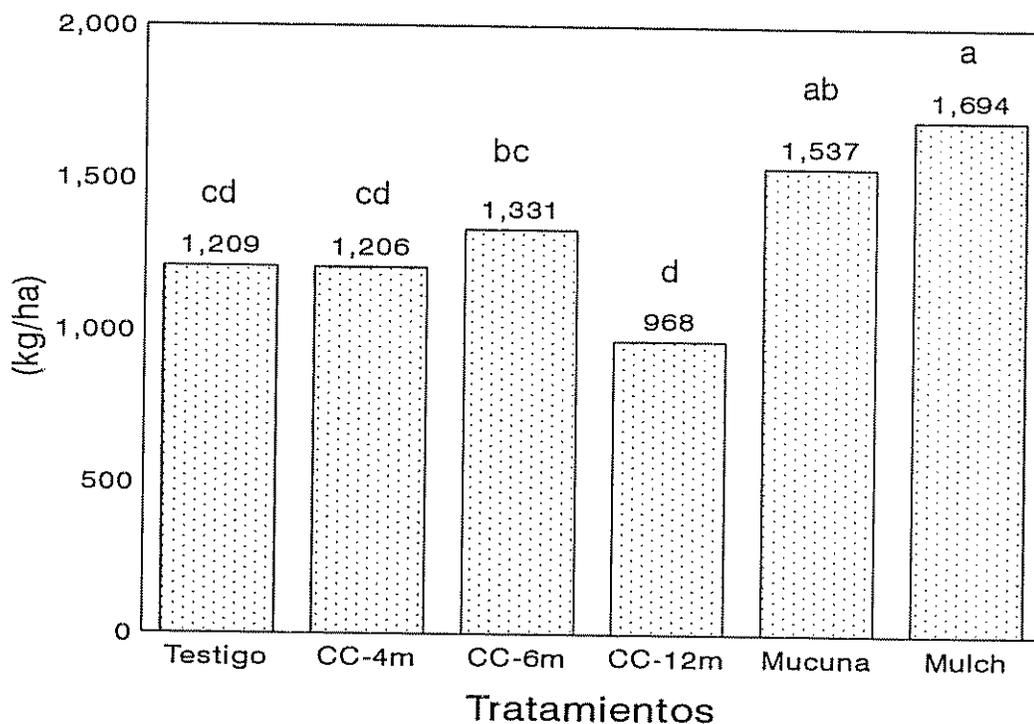


Figura 6. Rendimiento de frijol. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994. (Medias con letras iguales no difieren significativamente, prueba Duncan al 5%)

Cuando se compararon grupos de tratamientos utilizando contrastes ortogonales, los sistemas de cobertura mostraron el rendimiento promedio más alto superando a los cultivos en callejones y testigo. Además, no hubo diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre el testigo y el resto de tratamientos.

La media general para rendimiento de frijol fue de 1324 kg/ha, cifra que superó en 84% al promedio que reporta Monge (1989), de 720 kg/ha para la región Atlántica de Costa Rica.

Los árboles en los tratamientos con callejones disminuyeron parte del área potencial para frijol, esta disminución fue del 10% para el CC-4 m y 7% para el CC-6 m y CC-12 m. En consecuencia, el rendimiento del frijol se afectó negativamente debido a la menor densidad de plantas que estos presentaron. Esta reducción en el rendimiento no se compensó con una mayor producción por planta, a causa de la adición de nutrimentos al suelo. Los árboles en los tratamientos con callejones aportaron menos de 1 t de MS/ha. El mismo efecto fue observado por Lebeuf (1993) y Rosecrance et al. (1992).

Las posibles razones de la superioridad en los rendimientos del cultivo bajo las coberturas (Mucuna y Mulch), sobre los demás tratamientos, son la mayor adición de nutrimentos principalmente nitrógeno y la ausencia de competencia interespecífica (Cuadro 6). Resultados parecidos fueron encontrados por Kass et al. (1989) y Garzón (1991), cuando compararon rendimientos de frijol y maíz bajo tratamientos de cultivo en callejones y mantillo "mulch"; encontraron que los tratamientos con mantillo son favorecidos por proveer una mayor cantidad de

material, sin sufrir los efectos negativos de la competencia por nutrimentos, luz y agua, como sucede en el cultivo en callejones.

4.3.2. Rendimiento de maíz

El análisis de varianza realizado para el rendimiento del maíz, mostró que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.01$) (Anexo 3).

El rendimiento del testigo no fue estadísticamente diferente de los tres arreglos de la práctica de cultivos en callejones (CC-4m, CC-6m y CC-12m), ($p > 0.05$). Los tratamientos con cobertura viva y mantillo superaron significativamente a los demás tratamientos ($p < 0.05$). Los mayores rendimientos se lograron con la cobertura viva (2469 kg/ha) y el tratamiento con mantillo (2452 kg/ha) (Fig. 7).

Los rendimientos de maíz obtenidos en los tratamientos de cultivos en callejones y el testigo, se consideran bajos; según FAO (1993), el rendimiento promedio de maíz en Costa Rica para 1993, fue de 1756 kg/ha; esto indica que únicamente los tratamientos con cobertura (Mucuna Y Mulch) presentaron rendimientos aceptables.

Al comparar los rendimientos de frijol y maíz existió la misma tendencia en el comportamiento de los tratamientos; esto significa que los tratamientos con mayor rendimiento de frijol también presentaron altos rendimientos de maíz.

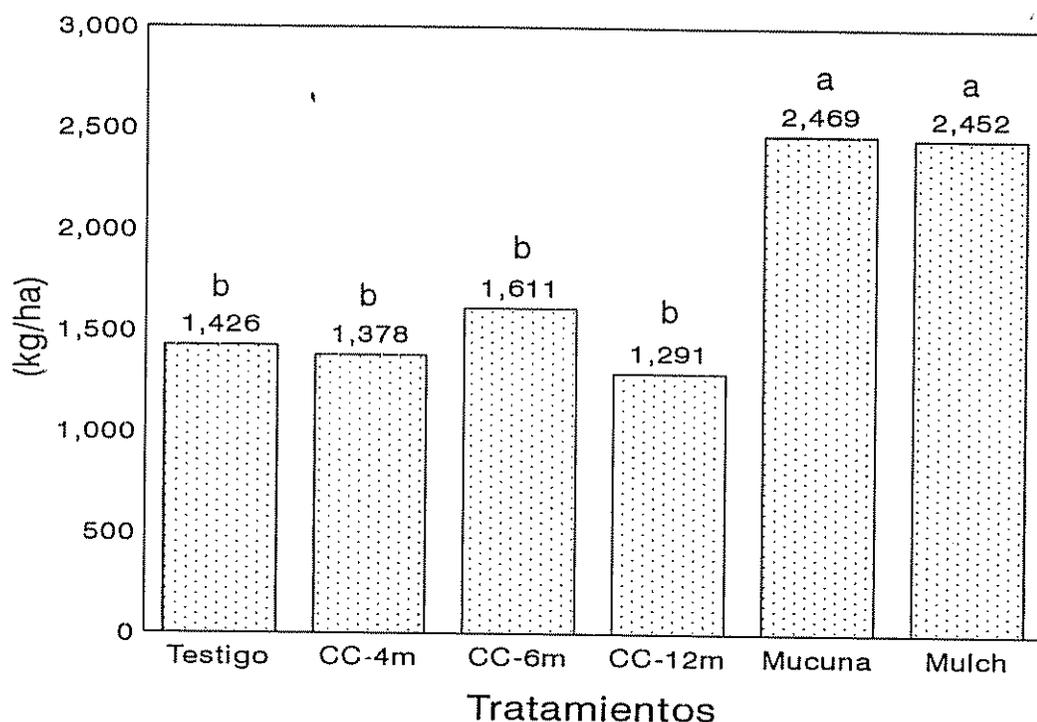


Figura 7. Rendimiento de maíz. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994. (Medias con letras iguales no difieren significativamente, prueba Duncan al 5%)

La diferencia de rendimiento entre los tratamientos se atribuyen principalmente a la cantidad de biomasa aplicada. El material procedente de las podas de los árboles, en los cultivos en callejones (Cuadro 6), no fue suficiente como para establecer diferencias en el rendimiento respecto al testigo. Esto concuerda con lo encontrado por Lebeuf (1993) y Tineo (1993), quienes afirmaron que la baja producción de biomasa por parte de los árboles en los cultivos en callejones, fue la causa principal de los bajos rendimientos de los cultivos en estos tratamientos.

Otro factor que posiblemente afectó negativamente el rendimiento de maíz, fue la competencia por luz y nutrimentos entre el cultivo y el árbol; aunque este efecto no se cuantificó, se observó claramente que los surcos más próximos al árbol presentaron menor vigor y bajo rendimiento de grano. Resultados similares fueron encontrados por Limón (1993). Por otra parte, el ataque de *Phyllophaga* spp. hizo que disminuyera considerablemente el rendimiento de este cultivo.

En los tratamientos con cobertura (Mucuna y Mulch), la cantidad de material seco aportado fue superior al aplicado en el resto de tratamientos (Cuadro 6) y por consiguiente se aportaron mayores cantidades de nutrimentos (principalmente nitrógeno), que fueron aprovechados en mejor forma por los cultivos.

Observaciones de campo mostraron que la descomposición del material aplicado por la cobertura de *Mucuna*, fue relativamente rápida, ya que aproximadamente a los 25 ó 30 días de su aplicación era difícil su observación en el terreno. Esto podría indicar que existe una liberación rápida y oportuna de nutrimentos para el aprovechamiento adecuado por parte del cultivo.

4.4. Erosión de suelos

4.4.1. En el ciclo del frijol

En los tratamientos con algún tipo de cobertura, no se presentaron pérdidas de suelo importantes, éstas fueron inferiores a 100 kg/ha, durante un período de seis meses. Caso contrario ocurrió en el suelo desnudo o desprotegido, donde la

pérdida fue superior a 10,000 kg/ha. Esto confirma que la cobertura disminuye el efecto negativo causado por la lluvia sobre el suelo. En los suelos protegidos, la pérdida de suelo no sobrepasó el 1% de la ocurrida en el suelo desnudo (Cuadro 7). Estas pérdidas aparentemente son insignificantes, pero hay que considerar que se erosiona la capa más fértil del suelo, que podría tener como consecuencia una disminución en la productividad de los cultivos.

Para el análisis de varianza no se incluyó el suelo desnudo, debido a que la erosión en este tratamiento fue indudablemente mucho más alta en comparación con el resto. A los datos incluidos en el análisis se les aplicó una transformación logarítmica.

Hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), (Anexo 4), siendo la menor pérdida de suelo en el cultivo con la cobertura de *M. deeringianum*, mientras que el resto de los tratamientos no presentó diferencias estadísticamente significativas. Además, se observó que un alto porcentaje de suelo erosionado durante todo el período, se originó por la lluvia del 10 de diciembre de 1993, que fue la lluvia de mayor intensidad y duración que ocurrió durante el período del cultivo de frijol (Cuadro 7).

Observaciones de campo revelaron la importancia de acumular el material leñoso procedente de la poda, en la base de los árboles transversal a la pendiente, para permitir la formación de pequeños bancales, que con el tiempo se convertirán en terrazas permanentes y de bajo costo.

Cuadro 7. Erosión de suelos durante el ciclo de frijol. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1993-1994.

Tratamiento	Erosión (kg/ha)	Comparación con el suelo desnudo (%)	Erosión del 10 de diciembre respecto al total (%)
Testigo	61 a*	0.59	54
CC-4m	94 a	0.92	80
CC-6m	41 a	0.40	60
CC-12m	94 a	0.91	53
Mucuna	4 b	0.03	24
Mulch	33 a	0.32	40
S.desnudo	10276	100.00	98

* Tratamientos con letras iguales no difieren significativamente al aplicar Duncan al 5%

Esto corrobora lo señalado por Tacio (1988), quien explica que para obtener un eficiente control de la erosión, es necesario que materiales como piedras, residuos de cosecha y otros, sean colocados en la base de las hileras de árboles para permitir la formación de terrazas a mediano plazo.

Considerando el total de lluvias ocurridas en el ciclo del cultivo del frijol, solamente ocho fueron las causantes de la pérdida de suelo (lluvias erosivas) (Cuadro 8). La intensidad de las lluvias en el trópico son mayores que en las zonas templadas y un sólo evento puede causar grandes pérdidas de suelo (Sánchez 1981). Se observó además que las tres últimas lluvias ocurridas durante este período, produjeron una mínima erosión, principalmente por la baja capacidad erosiva de las mismas y la poca humedad antecedente que presentó el suelo.

Cuadro 8. Lluvias erosivas para el ciclo de frijol. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Fecha	Lluvia (mm)	Suelo erosionado por tratamiento (kg/ha)						
		Testigo	CC-4m	CC-6m	CC-12m	Mucuna	Mulch	S.desn
14-10-93	48.0	10.5	0.0	0.0	11.4	0.0	9.4	78.5
07-11-93	28.7	3.0	5.3	1.5	4.2	0.7	3.0	21.2
18-11-93	29.7	6.2	6.0	2.9	16.6	0.9	3.8	42.0
10-12-93	241.3	32.9	75.9	24.8	49.9	0.9	13.1	10027.7
12-12-93	61.0	4.2	3.9	8.5	6.4	0.5	1.6	80.0
06-01-94	37.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7
17-01-94	11.2	3.5	2.8	2.4	4.0	0.6	1.6	11.8
30-03-94	33.0	0.5	0.4	0.9	0.0	0.1	0.1	10.1
Total	491.0	61.0	94.0	41.0	94.0	4.0	33.0	10276.0

4.4.2. En el ciclo del maíz

Al igual que en el ciclo del frijol, no se presentaron pérdidas importantes de suelo en los diferentes tratamientos que incluyeron algún tipo de cobertura, considerando también al testigo, cuya biomasa de malezas desarrollada en el período de barbecho (dos meses), ejerció esta función. Estos tratamientos presentaron pérdidas menores a 100 kg/ha, cifra que desde el punto de vista físico es relativamente pequeña (Cuadro 9).

A través del análisis de varianza (Anexo 5) se estableció que existen diferencias significativas entre los tratamientos estudiados ($p > 0.05$).

La prueba Duncan ubicó a la cobertura viva y al mantillo, como los tratamientos con menor erosión de suelos (14 y 4 kg/ha, respectivamente).

Cuadro 9. Erosión de suelos por tratamiento durante el ciclo de maíz. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1994.

Tratamiento	Erosión (kg/ha)	Comparación con el suelo desnudo (%)	Erosión Anual (kg/ha)
Testigo	84 a	14	145 a
CC-4m	43 a b	7	137 a
CC-6m	34 a b	6	75 a
CC-12m	55 a b	9	149 a
Mucuna	14 b c	2	18 b
Mulch	4 c	1	37 a
S.desnudo	615	100	10891

* Tratamientos con letras iguales no difieren significativamente al aplicar Duncan al 5%

Sin embargo, no se presentaron diferencias entre los cultivos en callejones y la cobertura viva de *Mucuna deeringiana* (Mucuna).

Es importante notar que, en la comparación de los diferentes tratamientos (Cuadro 9), la erosión en el testigo representó el 14% de la ocurrida en el suelo desnudo, esto indica un posible efecto positivo que ejercen los árboles sobre el control de la erosión de suelo. Sin embargo, el análisis de varianza no estableció diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los cultivos en callejones y el testigo.

En relación con la erosividad de las lluvias, se registró un total de 26 lluvias erosivas durante el ciclo del maíz (Cuadro 10), el 35% de estos eventos se presentó en el mes de junio, que en este caso también fue el mes de mayor precipitación dentro de este período.

Cuadro 10. Lluvias erosivas para el ciclo de maíz. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Fecha	Lluvia (mm)	<u>Suelo erosionado por tratamiento (kg/ha)</u>						
		Testigo	CC-4m	CC-6m	CC-12m	Mucuna	Mulch	S.desn
01-05-94	45.7	2.8	1.1	1.9	3.9	1.2	0.2	40.5
23-05-94	29.7	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	3.0
29-05-94	56.4	0.7	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	7.9
30-05-94	22.9	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.7
01-06-94	29.2	1.1	0.3	0.4	1.2	0.0	0.0	10.3
06-06-94	37.8	2.4	2.3	2.1	4.0	1.0	0.4	36.5
10-06-94	39.9	11.3	6.2	4.4	10.3	2.1	0.8	69.8
14-06-94	52.8	6.1	3.6	2.8	1.7	1.4	0.5	26.3
15-06-94	22.1	0.3	0.1	0.1	0.3	0.0	0.0	1.2
18-06-94	18.0	1.2	0.5	0.6	0.1	0.2	0.1	4.9
24-06-94	48.5	11.6	6.2	4.8	9.6	2.8	0.6	65.2
29-06-94	32.5	8.7	6.1	3.8	2.8	1.9	0.7	23.7
30-06-94	18.8	0.5	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	4.5
16-07-94	39.4	14.9	5.8	4.9	6.8	1.7	0.6	56.0
17-07-94	42.9	1.5	0.4	0.3	0.8	0.0	0.0	5.0
22-07-94	36.6	2.5	0.6	0.6	0.7	0.2	0.0	12.9
24-07-94	17.5	2.5	1.0	0.9	1.1	0.5	0.2	13.9
04-08-94	19.1	0.8	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	5.1
06-08-94	46.7	0.8	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	9.5
08-08-94	20.3	0.7	0.3	0.1	0.3	0.1	0.0	6.6
14-08-94	41.4	5.5	4.1	3.5	2.5	0.8	0.3	69.2
06-09-94	27.4	1.3	1.1	0.6	0.7	0.0	0.0	5.5
24-09-94	20.1	1.0	0.5	0.3	0.3	0.0	0.0	4.9
25-09-94	28.4	0.8	0.6	0.7	4.6	0.1	0.0	69.9
26-09-94	28.7	2.1	0.4	0.5	1.9	0.0	0.0	42.4
27-09-94	19.6	2.7	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	18.7
Total	842.0	84.0	43.0	34.0	55.0	14.0	4.0	615.0

El ámbito de precipitación para los eventos erosivos fluctuó entre 17.0 mm a 56 mm; el límite inferior coincide con criterios considerados por Wischmeier y Smith (1958), quienes determinaron que, en general, lluvias menores de 13 mm no producían erosión medible.

Se observó que las precipitaciones altas (mayor cantidad de lluvia en mm) no implica mayor poder erosivo, debido a que precipitaciones bajas en muchos casos causaron pérdidas de

suelo mayores que éstas. Las condiciones de humedad antecedente y de intensidad del aguacero fueron posiblemente los responsables de este comportamiento. La precipitación total en este ciclo fue de 1524 mm, de ésta el 55% (842 mm) formó parte de las lluvias erosivas. Lo anterior indica que cerca del 50% de la precipitación se distribuyó en un número indeterminado de eventos sin capacidad erosiva.

4.5. Coeficiente de escorrentía (E)

4.5.1. En el ciclo de frijol

El coeficiente de escorrentía presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$) (Anexo 6). Los cultivos en callejones de cuatro y seis metros mostraron los valores más altos de E, con 1.6% y 1.4% respectivamente.

Por otra parte las coberturas y el cultivo en callejones de 12 m presentaron los valores más bajos de E (Cuadro 11). Esta misma tendencia fue observada por Tineo (1993), quien trabajó en las mismas parcelas. Por otra parte, Garzón (1991), quien consideró el E únicamente para las lluvias erosivas obtuvo valores de 0.14 a 6.27; Lebeuf (1993) y Tineo (1993), encontraron rangos de coeficientes de escorrentía de 0.04 a 0.25 y 0.1 a 1.26%, respectivamente.

El coeficiente de escorrentía fluctuó de 0.5 a 1.6%. El promedio general fue de 0.9%, valor que se considera bajo, por que no superó el 1% del agua precipitada en este período. La mayor parte del agua se perdió por percolación.

Los bajos niveles de escurrimiento que se presentaron en todos los tratamientos se debieron, probablemente, a la permeabilidad del suelo. Según Silvestre *et al.* (1993), citado por Tineo (1993), estos suelos presentan altas tasas de percolación (234 mm/h) e infiltración (864 mm/h).

Cuadro 11. Comparación de medias para coeficiente de escorrentía en frijol. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Tratamiento	Coefic. escorrentía (%)
CC- 6m	1.6 a*
CC- 4m	1.4 a b
S. desnudo	1.1 a b c
Testigo	0.8 b c
Mulch	0.8 b c
CC- 12m	0.6 c
Mucuna	0.5 c

* Tratamientos con letras iguales no difieren significativamente al aplicar Duncan al 5%

No hubo correlación entre la erosión de suelos y el coeficiente de escorrentía ($p < 0.05$) (Anexo 32). Esto indica, que en un suelo protegido contra el impacto directo de las gotas de lluvia, por cualquier tipo de cobertura, podría originarse escorrentía superficial pero no necesariamente erosión. Sin embargo, el anterior comportamiento pudo estar influenciado por los valores relativamente bajos obtenidos para las dos variables y al mismo error experimental.

4.5.2. En el ciclo del maíz

El análisis de varianza (Anexo 7) mostró que existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$). El

suelo desnudo presentó relativamente los valores más altos de coeficiente de escorrentía; sin embargo, no mostró diferencias con el CC-4m (Cuadro 12).

Cuadro 12. Comparación de medias para coeficiente de escorrentía en maíz. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Tratamiento	Coeficiente de escorrentía (%)	
	Maíz	Anual
S. desnudo	0.37 a*	0.64 a
CC- 4m	0.22 a b	0.66 a
Testigo	0.20 b	0.43 a b
Mulch	0.17 b	0.40 a b
CC- 6m	0.16 b	0.68 a
Mucuna	0.14 b	0.28 b
CC- 7m	0.06 b	0.26 b

* Tratamientos con letras iguales no difieren significativamente al aplicar Duncan al 5%

La escorrentía en este sitio parece no ser de importancia, ya que el mayor valor del E fue 0.37% o sea que no escurrió ni el 0.5% de la lluvia caída en el este período.

Los sistemas de cobertura y los cultivos en callejones, a través del aporte de biomasa, son vitales para la conservación de suelos, pero su efecto más importante, bajo las condiciones del estudio, se observó principalmente cuando se presentaron lluvias anormales (10 dic. 1993). En estas situaciones, se encontraron evidentes diferencias entre tratamientos. Es decir, según los resultados de este estudio, las lluvias en San Juan Sur no son eminentemente erosivas, pero si se presentan eventos de precipitación extraordinaria, el cultivo en callejones y las

coberturas pueden proveer de buena protección contra la pérdida de suelo.

Al igual que en el frijol, la correlación no fue significativa ($p > 0.05$), entre el coeficiente de escorrentía y la pérdida de suelo (Anexo 32); esto en forma general indica que, a medida que aumentan los valores de escorrentía no se obtiene un incremento en las pérdidas de suelo.

4.6. Concentración de nitratos ($N-NO_3^{-1}$) y Amonio ($N-NH_4^{+}$) en el suelo

La concentración de nitratos a través del perfil de suelo fue mayor en el suelo desnudo. La capa superficial (0-20 cm de profundidad), mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.01$). La prueba Duncan ubicó al suelo descubierto como el de mayor concentración de nitratos para este nivel, y con un comportamiento estadísticamente igual a los tratamientos Mucuna y Testigo. Además, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos restantes. A medida que la profundidad aumentó se observó una disminución en el contenido de nitratos en todos los tratamientos; esta reducción ocurrió muy levemente en el suelo desnudo, pero a partir de los 40 cm, la concentración en este tratamiento aumentó considerablemente. Caso contrario ocurrió en el resto de tratamientos, incluyendo al testigo, donde las concentraciones disminuyeron hasta los 40 cm y posteriormente, hubo una tendencia a mantener constantes los niveles de concentración de nitratos (Fig. 8).

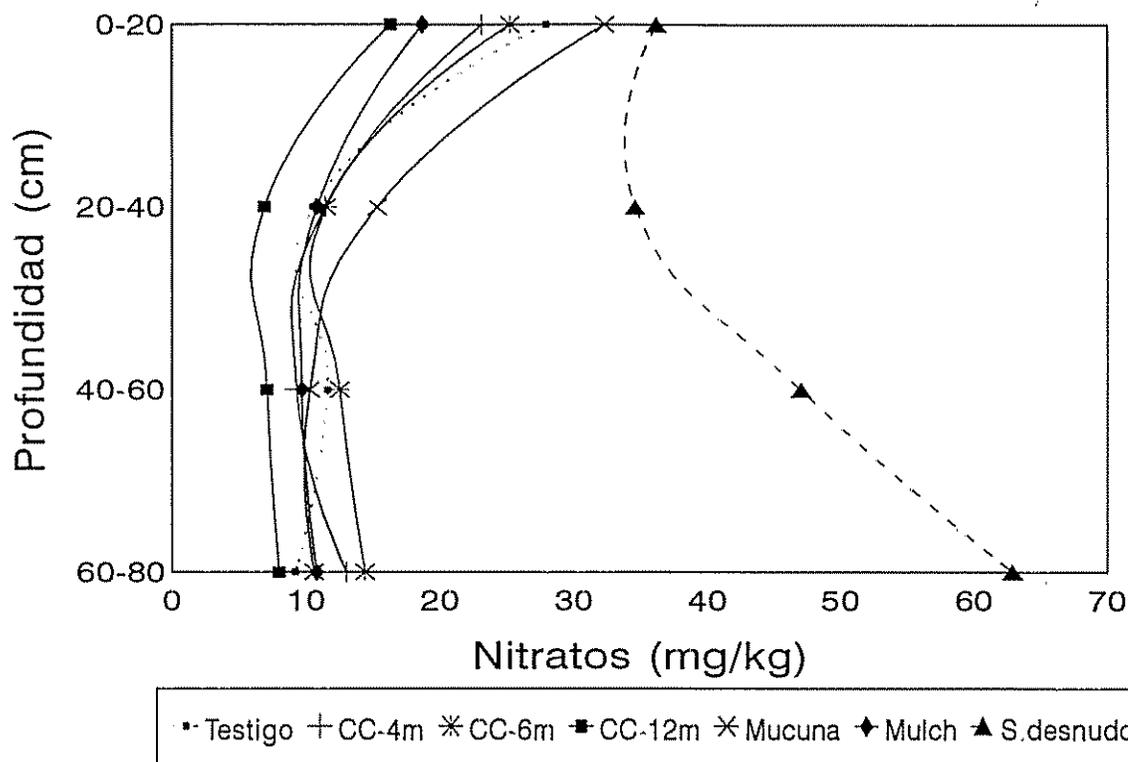


Figura 8. Concentración de nitratos a diferentes profundidades de suelo. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

El análisis de varianza para el contenido de nitratos a diferentes profundidades, determinó que la tendencia cuadrática explica el comportamiento de los tratamientos, a excepción del Mulch y CC-12 m que no presentaron una tendencia definida (Anexo 8).

Las mayores concentraciones de nitratos que se presentaron en el suelo desnudo en comparación con el resto de tratamientos, tienen relación con el proceso de encalado que se realizó en este experimento (2.6 t/ha de CaCO_3). Según Fassbender y

Bornemisza (1987), la acumulación de nitratos puede ocurrir tanto en suelos descubiertos como en cultivados. El mismo autor, explica que este fenómeno no está completamente aclarado, pero se han propuesto diferentes mecanismos, como la fotonitrificación, debido a que la acumulación es alta en suelos desnudos y se produce, principalmente, en los primeros centímetros de la superficie.

La mayor retención de nitratos en el suelo desnudo, según Kass 1994 (com. pers.), pudo deberse a la carga positiva que este presenta y a la ausencia de absorción por parte de los cultivos. El mismo autor concluye que aparentemente la pérdida de nitratos por lixiviación o lavado no fue importante en este tratamiento.

Resultados similares fueron encontrados por Matson et al. (1987), en un experimento realizado en CATIE, que incluyó parcelas en sucesión secundaria reciente y de 5 años de edad, bosque secundario y suelo desnudo, para conocer las diferentes transformaciones de nitrógeno. Como en la presente investigación, se encontró que en el suelo desnudo hubo una mayor acumulación de los nitratos en el rango de profundidad 40-85 cm. Parece ser que gran parte de este nitrógeno fue fijado por intercambio aniónico. Estos autores consideran que la retención de nitratos en las capas inferiores del suelo con carga positiva, es un mecanismo importante para evitar las pérdidas de nitratos por lixiviación en suelos tropicales (Matson et al. 1987). En el presente estudio con el encalado en este tipo de suelos, la carga positiva evidenciada por la presencia de aluminio desapareció, y los suelos no retuvieron más nitratos a mayores profundidades. Así, el encalado de suelos con carga

positiva puede resultar en mayores pérdidas de nitratos por lixiviación .

Otro mecanismo que podría estar influyendo en el contenido de nitratos es la actividad microbiana. Fassbender y Bornemisza (1987), explican que algunos microbiólogos han tratado de verificar esta posibilidad, pero al controlar los microorganismos no se produce la fotonitrificación. Esto sustenta la hipótesis de que la acumulación estacional de nitratos se debe a variaciones de la actividad microbiana. Greenland (1958) citado por Fassbender y Bornemisza (1987), aclara que durante la estación seca ocurre una esterilización parcial del suelo y una acumulación de N-nitrificable, el cual se convierte lentamente en nitritos, cuya producción se agiliza al inicio de las lluvias.

El tratamiento Mucuna presentó un mayor contenido de nitratos en la superficie, en comparación con la aplicación de mantillo y el cultivo en callejones, esto se explica en parte por la constante caída de hojas que ocurre durante el desarrollo de la misma, o a la fijación a través del sistema radicular; esto indica que hay adición continua de nitrógeno. En los cultivos en callejones esta adición sucede únicamente cuando se realiza la poda del árbol y en la cobertura muerta cuando se realiza la aplicación de mantillo; actividades aún no realizadas para la fecha de muestreo.

Para el caso del amonio se puede observar que en general, la concentración disminuye a medida que la profundidad aumenta, a excepción del suelo desnudo, donde se produce un aumento hasta los 40 cm (Fig. 9). Este comportamiento se explicó por

un modelo lineal. Únicamente el suelo desnudo no presentó un comportamiento definido (Anexo 9).

La prueba Duncan detectó diferencias significativas ($p < 0.01$) únicamente a la profundidad de 0 a 20 cm, donde el suelo desnudo presentó los contenidos de amonio más bajos; esto se puede explicar por la ausencia de entradas de este nutrimento a través de la descomposición de la materia orgánica.

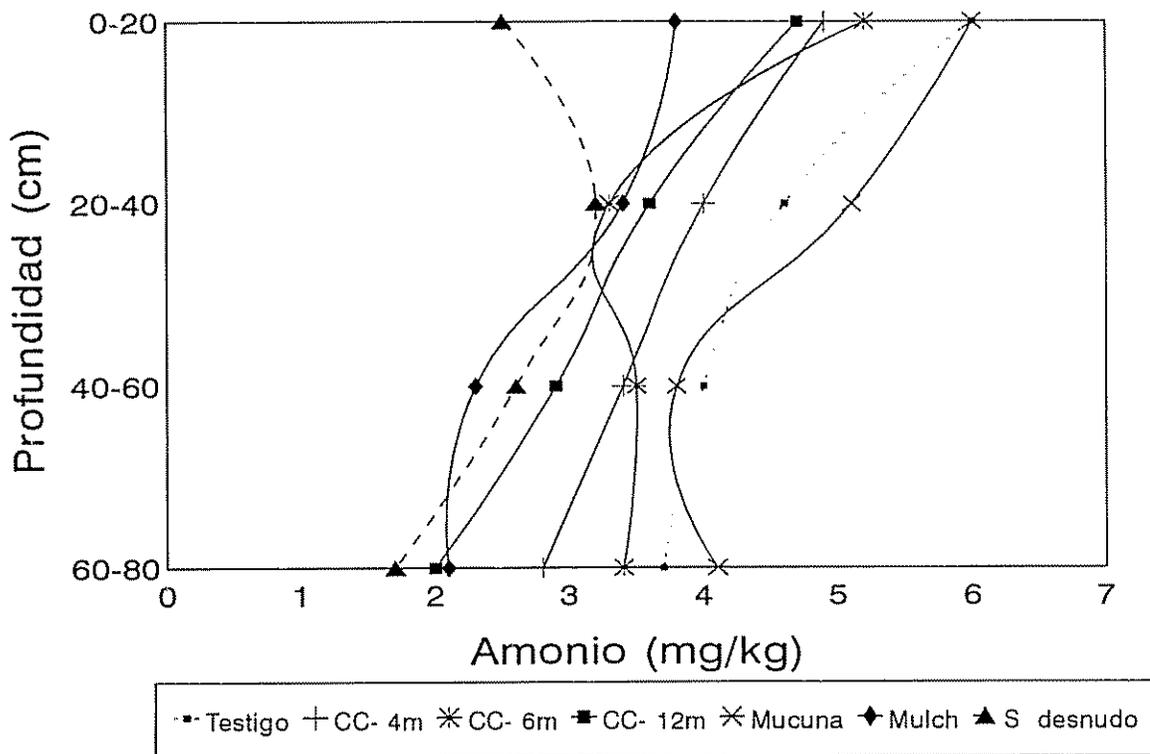


Figura 9. Concentración de amonio a diferentes profundidades de suelo, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Lo importante de estos resultados fue observar que el tratamiento con suelo descubierto, mostró una condición inversa entre el contenido de amonio y de nitratos. La baja

concentración de amonio que existió en este tratamiento, posiblemente fue producto de la escasa actividad microbiana que existe en la capa superficial, la cual tiende a disminuir aún más cuando la profundidad aumenta.

Las figuras 8 y 9 muestran que el tratamiento Mucuna presentó mayor concentración de nitratos y de amonio en la mayor parte del perfil.

4.7. Concentración de nutrimentos en el perfil de suelo 42 meses después del proceso de encalado

4.7.1. Bases intercambiables (Ca, Mg y K)

Las Figuras 10A, 10B y 10C, muestran la tendencia del calcio, magnesio y potasio, a través del perfil de suelo respectivamente, después de 42 meses de haberse realizado el encalado. Lo primero que se destaca es una diferencia entre tratamientos, respecto a la concentración de estos nutrimentos, principalmente el calcio en las capas más superficiales del suelo (hasta 20 cm) (Anexos 10, 16-18). En el caso del calcio las diferencias fueron más evidentes con el Testigo cuya concentración en dicho perfil fue mayor significativamente ($p < 0.05$) en relación con el resto de tratamientos. Esto se explica porque en este tratamiento (forma tradicional de cultivo), la extracción de calcio se ha realizado a través del tiempo, únicamente por las cuatro cosechas de frijol y tres de maíz. En los tratamientos Mucuna y Mulch que presentaron esta misma condición (monocultivo), las concentraciones de calcio fueron inferiores, lo que podría explicarse por la mayor extracción por parte de los cultivos debido a los rendimientos

de grano relativamente altos que se han obtenido en estos tratamientos, y la descomposición del material aplicado "mulch" posiblemente facilitó la lixiviación de nutrimentos.

Por otra parte, es evidente que el movimiento de estas bases cambiabiles es descendente a través del perfil de suelo; sus concentraciones disminuyen a un nivel tal, que para profundidades mayores de 20 cm, no existieron diferencias significativas entre tratamientos, con excepción del S. desnudo (tratamiento que no fue encalado), que presentó diferencias significativas ($p < 0.05$), a través de todo el perfil. Estos nutrimentos continuaron su movimiento descendente hasta la profundidad de 60 cm (máxima profundidad muestreada), donde aún fueron detectables pero en concentraciones muy bajas.

La concentración promedio de calcio fue menor al nivel crítico aceptable (4 meq/100ml de suelo) (Bertsch 1987), a excepción del testigo que en la capa superficial (0-5 cm) superó muy poco este nivel (4.3 meq/100ml). Lo anterior podría indicar la necesidad de realizar otro encalado; sin embargo, según Kass (1995), (com. pers.), para este nutrimento se puede aceptar un nivel crítico de 2 meq/100ml de suelo.

El magnesio presentó una concentración baja en todos los tratamientos, el nivel más alto se encontró en el CC-12m en la capa superficial del suelo (0.3 meq/100ml).

Según Bertsch (1987), un nivel menor a 1 meq de magnesio por 100ml de suelo se considera deficiente.

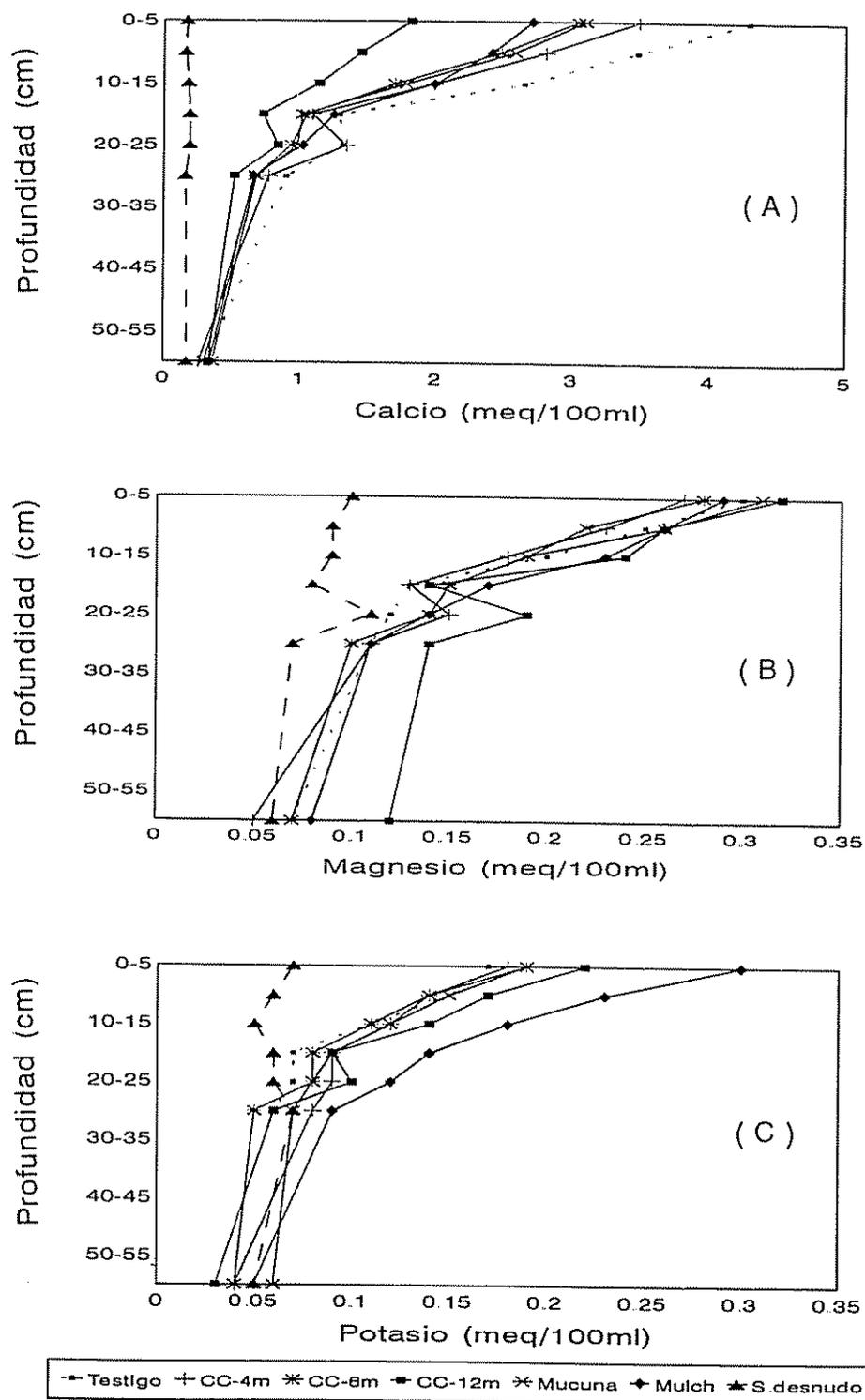


Figura 10. Concentración de calcio (A), magnesio (B) y potasio (C) a las profundidades estudiadas 42 meses después de la aplicación de 2.6 t/ha de cal (CaCO_3). San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Para el caso del potasio, considerando un nivel crítico de 0.2 meq/100ml, únicamente los tratamientos de CC-12 m y Mulch a la profundidad de 0-5 cm y 0-10 respectivamente fueron los que superaron dicho nivel (Anexo 30).

Las relaciones de estos tres nutrimentos para las diferentes profundidades mostró un desbalance principalmente entre Ca/Mg y Mg/K.

Esto se debe principalmente al proceso de encalado, ya que se aplicó una fuente con alta concentración de calcio y con mínimo contenido de Mg. Sin embargo, las relaciones Ka/K y $(Ca+Mg)/K$, se encontraron dentro del ámbito recomendado, según Bertsch (1986) (Anexo 31).

El modelo cuadrático fue el que más se ajustó a las concentraciones de las bases intercambiables, a través del perfil en todos los tratamientos, a excepción del S. desnudo, que no presentó una tendencia definida para calcio y potasio, y tuvo un comportamiento lineal respecto al magnesio.

4.7.2. Fósforo (P)

El análisis de varianza (Anexo 13) para el fósforo no detectó diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), en ninguna de las profundidades estudiadas, pero sí hubo diferencias altamente significativas entre profundidades ($p < 0.01$); la concentración de este nutrimento disminuye a medida que se profundiza en el suelo (Fig. 11A) y esta tendencia fue explicada por un modelo cuadrático.

4.7.3. Saturación de aluminio (%)

El análisis de varianza para esta variable mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre tratamientos, profundidades y entre la interacción tratamiento por profundidad (Anexo 14). La saturación de Al aumenta a medida que se profundiza en el perfil de suelo (Fig. 11B). Esta tendencia se explica en forma general por un modelo cuadrático; además, para cada profundidad estudiada (5, 10, 15, 20, 25, 30 y 60 cm), hubo diferencias significativas ($p < 0.01$) entre tratamientos.

La disminución de la saturación de aluminio fue más evidente en las capas superficiales del suelo (hasta 20 cm). Los tratamientos S. desnudo y el CC-12 m mostraron los mayores porcentajes de saturación de Al, estos se diferenciaron significativamente entre sí y con el resto de los tratamientos. Entre CC-4m, CC-6m, las coberturas y el testigo no se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$) (Anexos 23-26).

Cuando se analizó la profundidad de 60 cm (máxima profundidad muestreada), no se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos CC-6m, CC-12m, Mucuna y Mulch. Por otra parte, el CC-4m y el Testigo se diferenciaron de los cuatro tratamientos anteriores pero no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) respecto al suelo descubierto (Anexo 29).

En general, se observó que las bases intercambiables principalmente el calcio, profundizaron en la mayoría de tratamientos, causando una disminución en la saturación de Al. Esto sugiere que el efecto de la cal, después de 42 meses de su

aplicación bajo estas condiciones de suelo, podría sobrepasar los 60 cm. Datos similares fueron encontrados por Gill *et al.* (1987), donde se muestreó un suelo un año después de haberse encalado y se observó una disminución significativa en la saturación del Al, hasta los 60 cm de profundidad con respecto al nivel inicial.

El comportamiento similar del CC-4m con el suelo desnudo a 60 cm de profundidad, podría explicarse por la densidad relativamente alta de árboles en este tratamiento (5,000 árboles/ha), que trae como consecuencia una mayor concentración de raíces, principalmente en la parte superficial del suelo; esto posiblemente contribuyó al mayor reciclaje de nutrientes, disminuyendo de esta forma, en el caso particular del calcio, su lavado hacia las capas profundas del suelo. El Testigo presentó el mismo comportamiento pero sin árboles. La explicación podría estar relacionada por la ausencia de mantillo, el cual en los tratamientos donde es aplicado, forma un microclima lo cual facilita su descomposición y liberación de nutrientes que favorecen la movilidad de otros que como el calcio, presentan mayor facilidad para lixivarse.

Según Bertsch (1987), cuando la saturación de Al es mayor al 60%, la cantidad de Al intercambiable en la solución del suelo alcanza 1 ppm que constituye un nivel tóxico para el desarrollo de la mayoría de especies cultivadas. Todos los tratamientos presentaron valores inferiores a dicho nivel, lo que mostró la eficiencia del encalado, principalmente en las capas superficiales (0-15 cm), donde la saturación de Al disminuyó de 80% que presenta el suelo desnudo, a 20% en los tratamientos que recibieron (CaCO_3) .

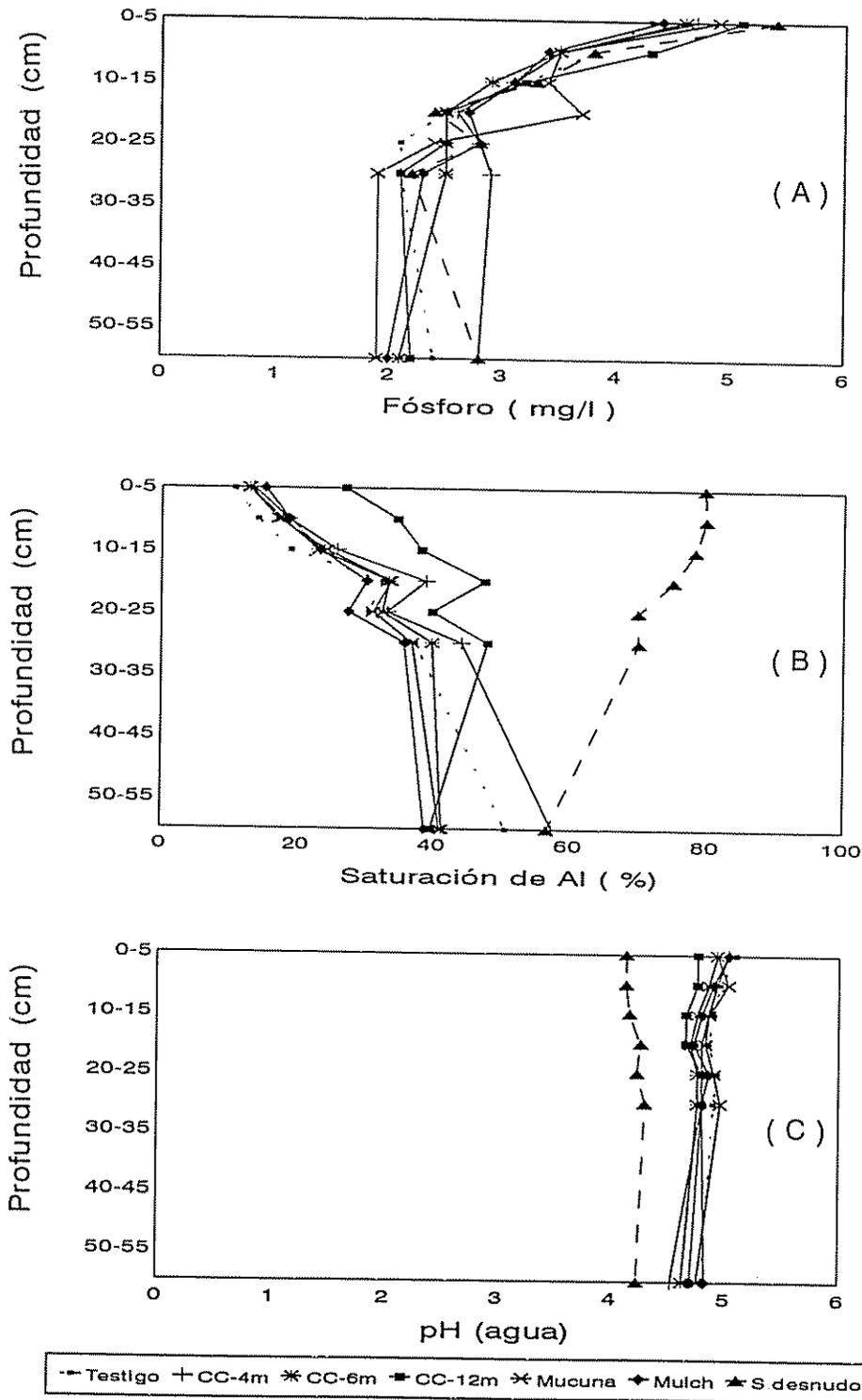


Figura 11. Comportamiento del fósforo (A), saturación de Al (B) Y pH (C), 42 meses después de la aplicación de 2.6 t/ha de cal (CaCO_3). San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

4.7.4. pH del suelo

En la Figura 11C se nota la influencia del encalado sobre el pH del suelo. El análisis de varianza mostró que existen diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos y profundidades (Anexo 15). Existieron además, diferencias entre tratamientos para cada profundidad estudiada (Anexos 16-22).

Cabe destacar que no se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$) dentro de los tratamientos que recibieron CaCO_3 . Sin embargo, estos sí se diferenciaron significativamente ($p < 0.05$) con el suelo desnudo en todas las profundidades (Anexos 23-29).

4.8. Efecto del encalado en el comportamiento de algunos elementos a través del tiempo

4.8.1. Bases intercambiables (Ca, Mg y K)

Las Figuras 12, 13, 14 y 15 muestran la tendencia de algunos elementos a través del tiempo, para los tratamientos Testigo, Mucuna, Mulch y suelo desnudo, respectivamente. Se enfatizará en este análisis, el comportamiento del calcio y sus efectos sobre el porcentaje de saturación de aluminio.

El efecto del encalado ocasionó incrementos en el contenido de calcio en el suelo, pero fue necesario considerar su comportamiento a través del tiempo. El análisis de varianza no mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las fechas

de muestreo, lo que indica que el contenido de calcio se mantuvo constante a través del tiempo en los 20 cm superficiales de suelo. Como se observa en las Figuras 12, 13 y 14 y siendo más evidente en el tratamiento con mantillo, a los 18 meses, el contenido de este macroelemento era menor en las capas más profundas (10 a 20 cm), sin embargo, a los 42 meses, aumenta su presencia en las mismas, lo que indica que únicamente hubo una redistribución en el perfil de este elemento. La prueba Duncan muestra que la concentración de calcio es estadísticamente igual en los tratamientos que recibieron cal y estos difieren significativamente del suelo desnudo, el que no recibió.

El calcio en el suelo desnudo se mantuvo constante durante los 42 meses que abarcó el estudio (Fig. 15); por el contrario, la saturación de aluminio en este mismo suelo aumentó en un 14%, con respecto al muestreo inicial en los primeros 20 cm de suelo.

4.8.2. Fósforo (P)

El análisis de varianza para la concentración de P mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre las profundidades y entre fechas de muestreo; sin embargo, no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos.

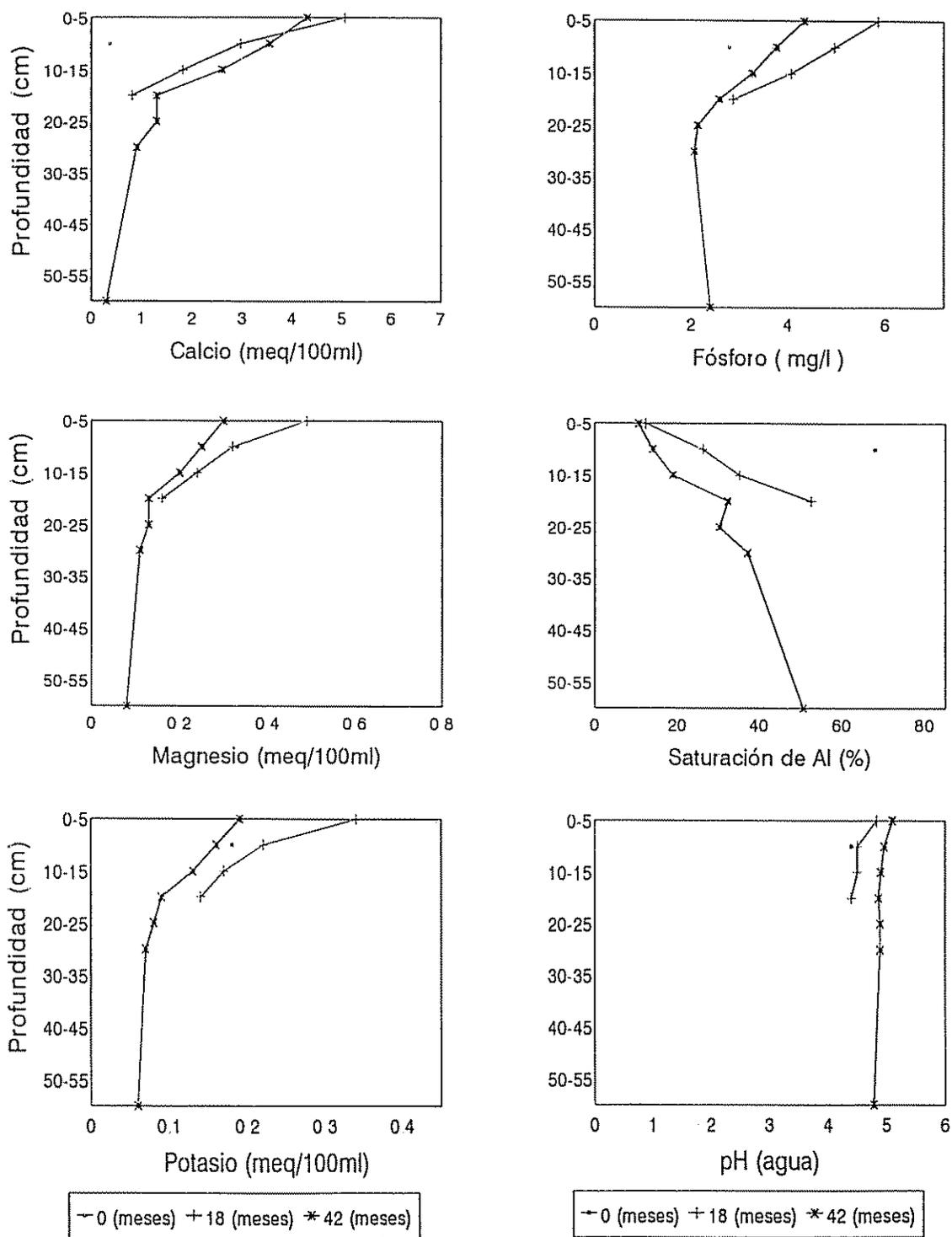


Figura 12. Concentración de elementos en el tratamiento Testigo para las profundidades estudiadas, a 0, 18 y 42 meses después de aplicar 2.6 t/ha de CaCO₃. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

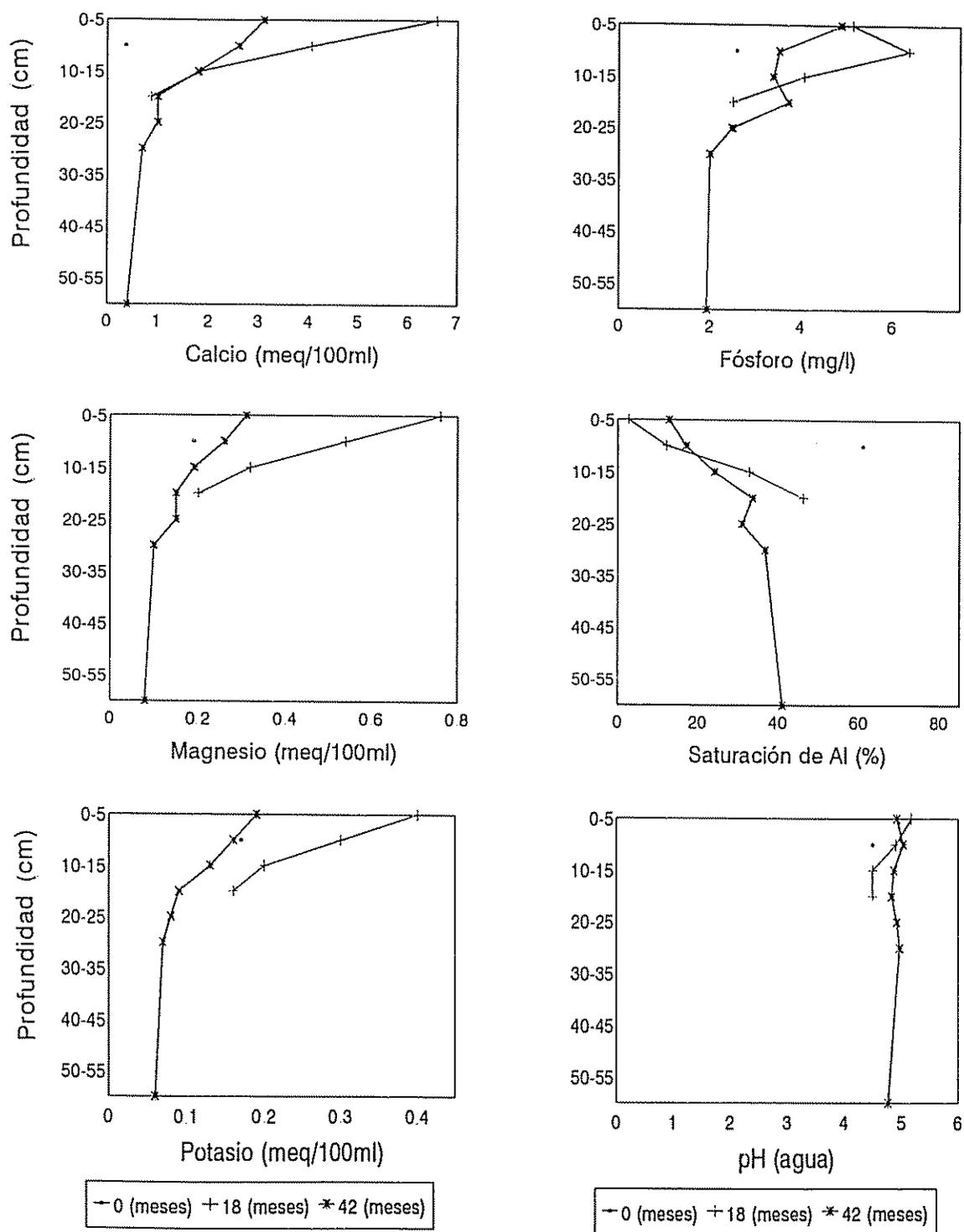


Figura 13. Concentración de elementos en el tratamiento *Mucuna* para las profundidades estudiadas, a 0, 18 y 42 meses después de aplicar 2.6 t/ha de CaCO_3 . San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

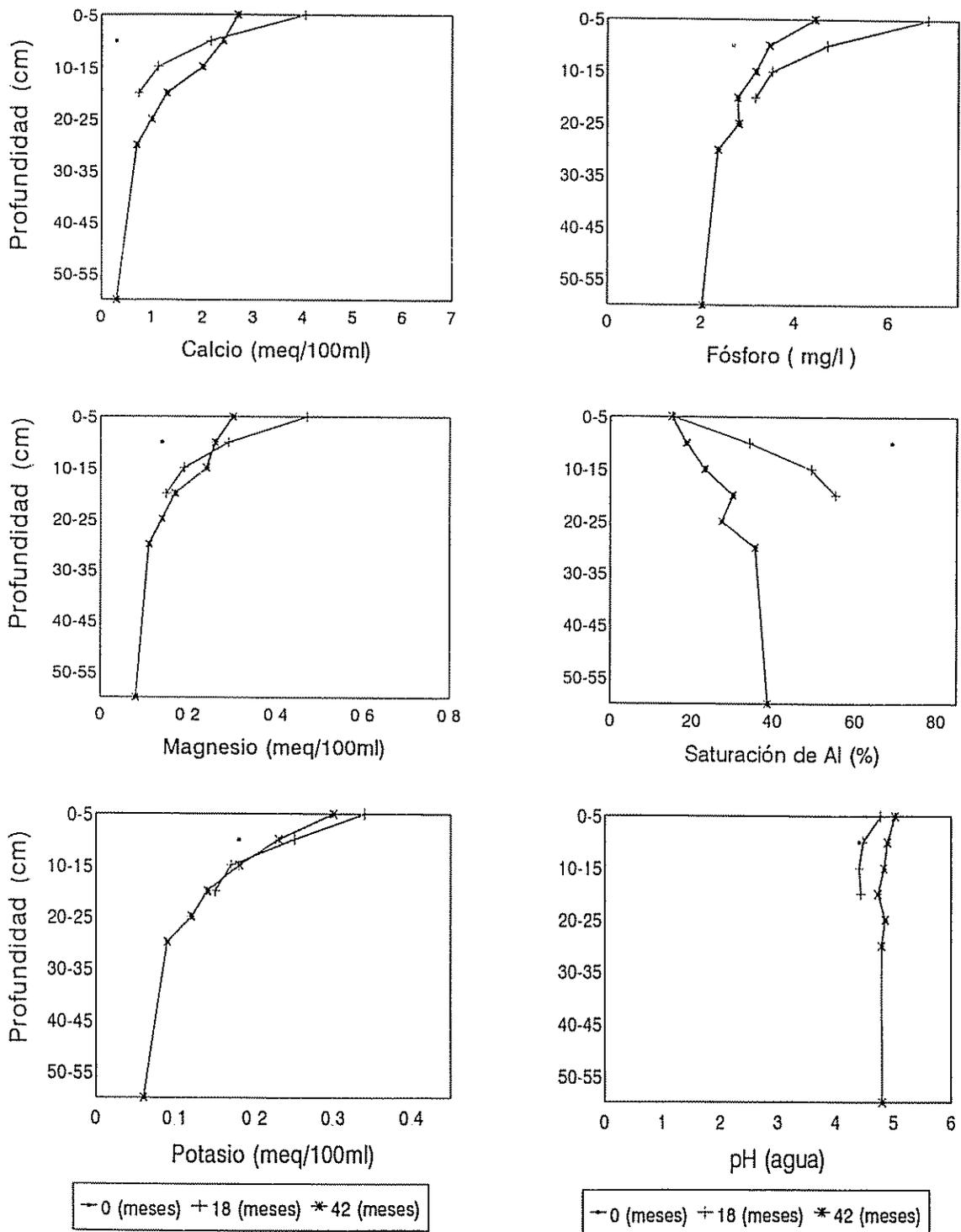


Figura 14. Concentración de elementos en el tratamiento Mulch para las profundidades estudiadas, a 0, 18 y 42 meses después de aplicar 2.6 t/ha de CaCO_3 . San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

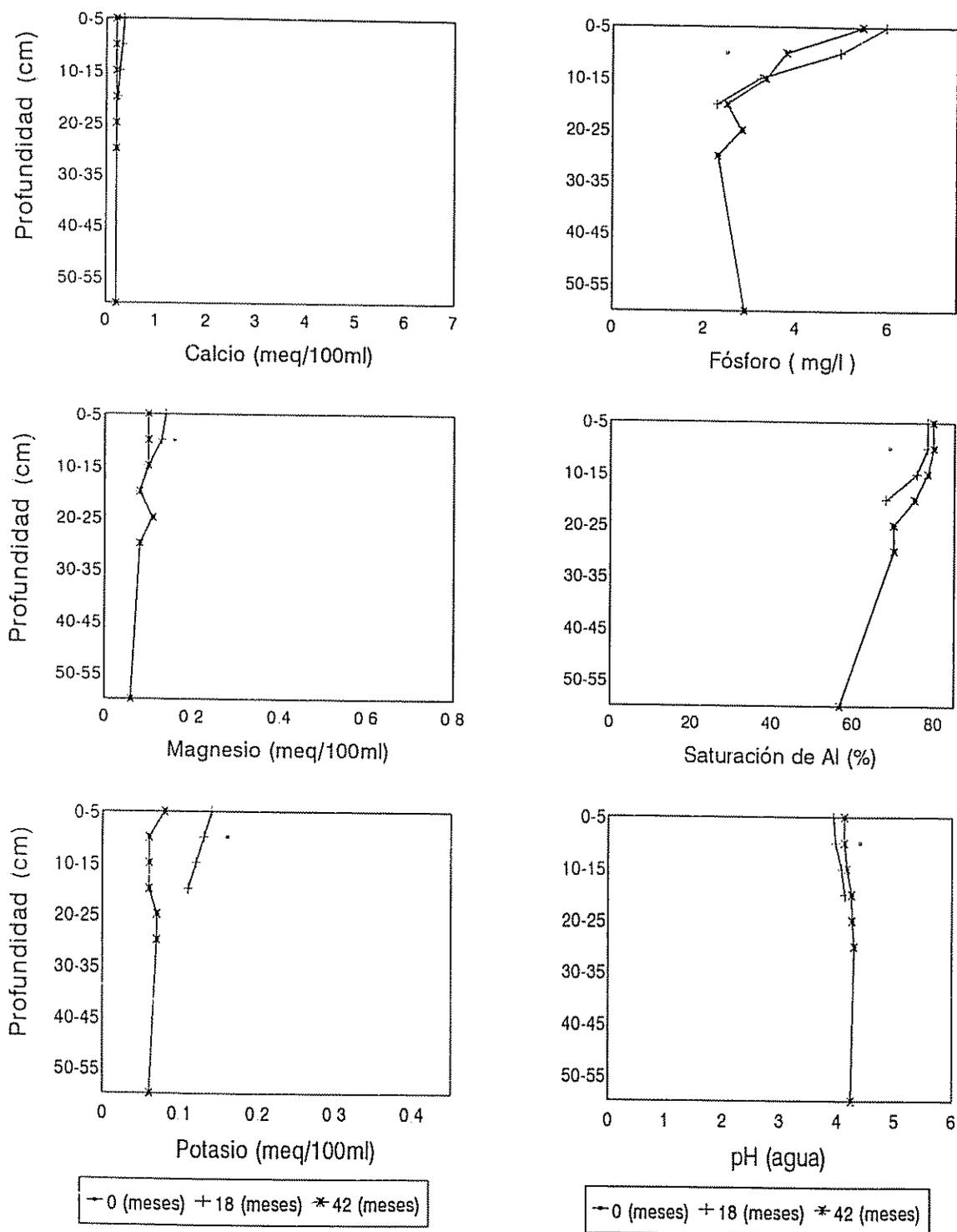


Figura 15. Concentración de elementos en el tratamiento S. desnudo para las profundidades estudiadas. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Es importante destacar que el fósforo disminuyó significativamente ($p < 0.05$) en el último muestreo (42 meses), con respecto al que se realizó a 18 meses después del encalado. Esta disminución podría interpretarse como una consecuencia de la extracción por parte del cultivo, o a problemas de fijación de este elemento. Para Sánchez (1981) la disminución del fósforo aprovechable donde existen cultivos agrícolas, no está bien definida y coincide en que podría ser causada por fijación y/o remoción por parte del cultivo.

La aplicación que se realizó tres meses antes del muestreo (50 kg/ha de P_2O_5), es relativamente baja y aparentemente no se manifestó en el análisis.

4.8.3. Saturación de aluminio (%)

El objetivo de realizar el encalado fue disminuir la saturación de aluminio, a un nivel que no presente toxicidad para los cultivos agrícolas ($< 60\%$). Se observó claramente en los tres tratamientos estudiados, que la saturación de Al disminuyó a través del tiempo, encontrándose valores hasta de 10.7%, principalmente en las capas más superficiales del suelo. Es importante recalcar que a pesar de que el calcio se mantuvo constante en el suelo desnudo la saturación de Al presentó cierto incremento (Fig. 15).

4.8.4. pH del suelo

Los valores de pH del suelo fueron mayores en el último muestreo, y presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$),

entre las fechas muestreadas (18 y 42 meses después del enca-lado). El pH del suelo está inversamente relacionado con el porcentaje de saturación de aluminio.

4.9. Balance de nutrimentos

4.9.1. Nitrógeno (N)

Las entradas de nitrógeno en los diferentes sistemas de cultivo, ocurrieron principalmente por el material procedente de la poda de los árboles (Mulch) y la biomasa, en el caso de las coberturas y los residuos de cosecha (Fig. 16).

Es necesario aclarar que el balance de todos los nutri-mentos estudiados, no incluyó el suelo desnudo, por lo ina-propiado que sería esta comparación.

De acuerdo con el análisis de varianza para la entrada de nitrógeno, se detectaron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.01$); asimismo, al aplicar la prueba Duncan se determinó que los tratamientos que tuvieron la mayor entrada de nitrógeno, fueron el cultivo con *M. deeringianum* y el cultivo con mantillo de *E. berteriana*, con aportes totales de 205 kg/ha y 200 kg/ha, respectivamente. El menor aporte lo presentó el testigo (52 kg/ha), en el cual los residuos de los cultivos fue la única fuente de entrada.

Es importante destacar la correlación altamente signi-ficativa ($p < 0.01$), entre la entrada total de nitrógeno y el rendimiento de maíz y frijol ($r = 0.77$ y 0.75 , respectivamente)

(Anexo 32), lo que indica que los tratamientos con mayor aporte de nitrógeno presentan los mayores rendimientos de grano.

En relación con la salida de nitrógeno, no hubo diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos.

En el balance general (diferencia entre el total de entradas y el total de salidas), el nitrógeno presentó un valor positivo en las coberturas (Mucuna y Mulch). Sin embargo, en el resto de tratamientos el balance fue negativo (Cuadro 13).

La pérdida de N por el suelo erosionado, así como por escorrentía superficial, no constituyó un problema en ninguno de los tratamientos; aproximadamente el 60% de N se perdió por el proceso de lixiviación y el 40% fue extraído por el cultivo (frijol y maíz) a través de la cosecha (Fig. 16).

4.9.2. Fósforo (P)

La fertilización con 50 kg/ha de P_2O_5 constituyó la fuente de mayor importancia en la adición de fósforo al sistema, ya que más del 80% de las entradas se deben a dicho proceso (Fig. 17).

La biomasa aplicada (mulch) y los residuos de cosecha (cultivo) constituyeron otras fuentes importantes en la adición de P, principalmente en los tratamientos Mucuna y Mulch, los cuales fueron superiores significativamente con respecto a la entrada de este nutrimento, en relación con los otros tratamientos.

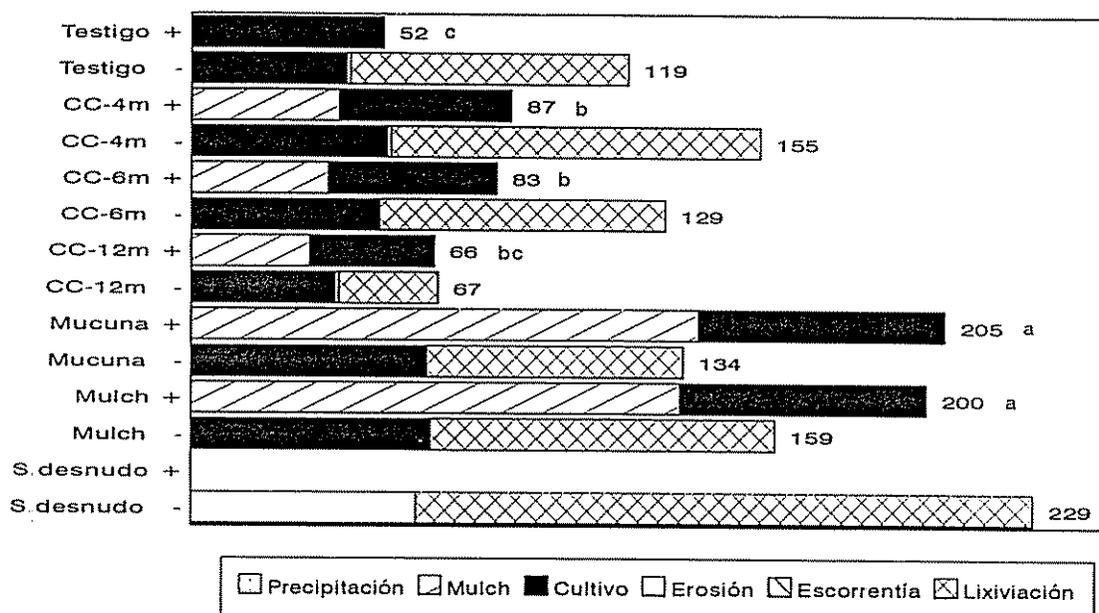


Figura 16. Entradas (+) y salidas (-) de nitrógeno en kg/ha. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

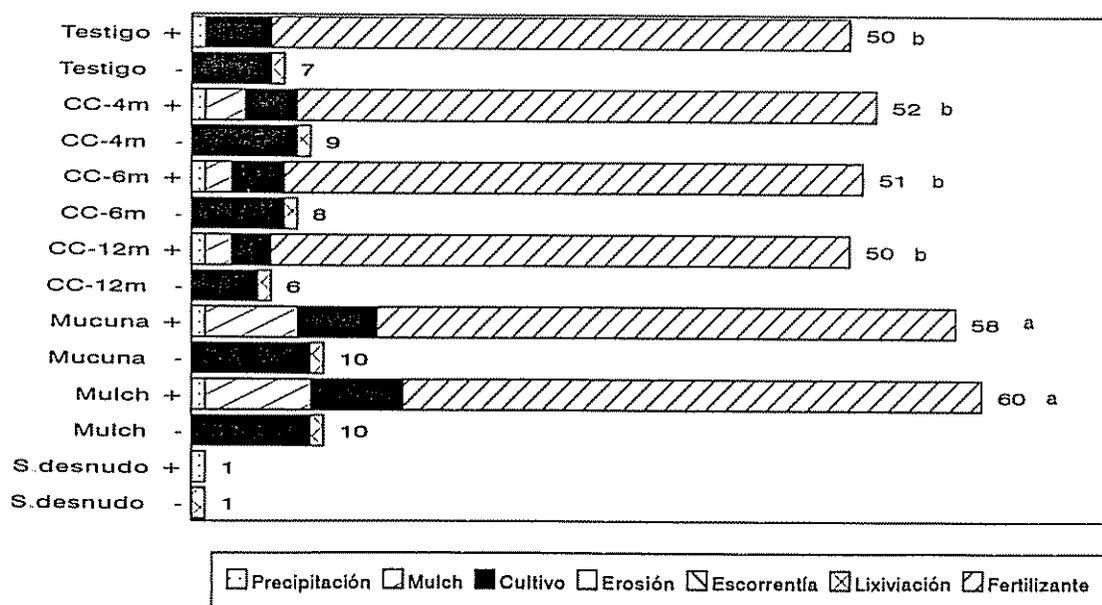


Figura 17. Entradas (+) y salidas (-) de fósforo en kg/ha. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994. (Medias con letras iguales no difieren significativamente, prueba Duncan al 5%)

La salida de este elemento no presentó diferencias significativas entre tratamientos. La extracción por parte de los cultivos representa más del 85% de las salidas totales en los diferentes tratamientos. La lixiviación, erosión y escorrentía no constituyeron un problema en la pérdida de fósforo.

Todos los tratamientos presentaron un balance general positivo, con excepción del suelo desnudo, en el cual únicamente existe una pequeña entrada de P a través de la lluvia (Cuadro 13).

4.9.3. Potasio (K)

El análisis de varianza para la entrada de potasio, presentó diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre tratamientos. La mayor adición (140 kg/ha) correspondió al tratamiento con cobertura muerta (Mulch), y la menor se obtuvo con el testigo (35 kg/ha) (Fig. 18).

En los cultivos en callejones, aproximadamente el 36% de este elemento es aportado por la biomasa procedente de la poda, y el 56% se debe a la adición por los residuos de cosecha. Caso contrario ocurrió en las coberturas donde el 50% es aportado por el mantillo y el resto por los residuos de cosecha.

Existió correlación entre la entrada de K y el rendimiento de los cultivos $r = 0.80$ y $r = 0.76$, para frijol y maíz, respectivamente (Anexo 32).

El análisis de varianza para la salida de K no determinó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos. Es interesante observar que, en general la extracción por parte del cultivo, contribuyó en más del 80% de las salidas del sistema de este nutrimento.

El balance general de este nutrimento (Cuadro 13) para todos los tratamientos fue positivo a excepción del suelo desnudo. Los valores oscilaron entre -19 kg/ha y + 91 kg/ha para el suelo desnudo y el cultivo con mantillo (Mulch), respectivamente.

4.9.4. Calcio (Ca)

El análisis de varianza para la entrada de calcio presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.05$). Los residuos de cosecha fueron una fuente importante de entrada de este nutrimento (Fig. 19).

Las pérdidas de calcio no fue diferente significativamente entre tratamientos ($p > 0.05$). El suelo desnudo no incluido en el ANDEVA, presentó la menor pérdida de este nutrimento (29 kg/ha/año). Esta cantidad, relativamente baja de calcio, que se perdió en este suelo, fue consecuencia del bajo contenido del mismo, que desde un inicio se presentó en estas parcelas, aunado a que no fue encalado.

Existió una correlación positiva entre la entrada de calcio y el rendimiento de frijol ($r=0.79$) y maíz ($r=0.84$), lo que indicó la importancia del encalado (Anexo 32).

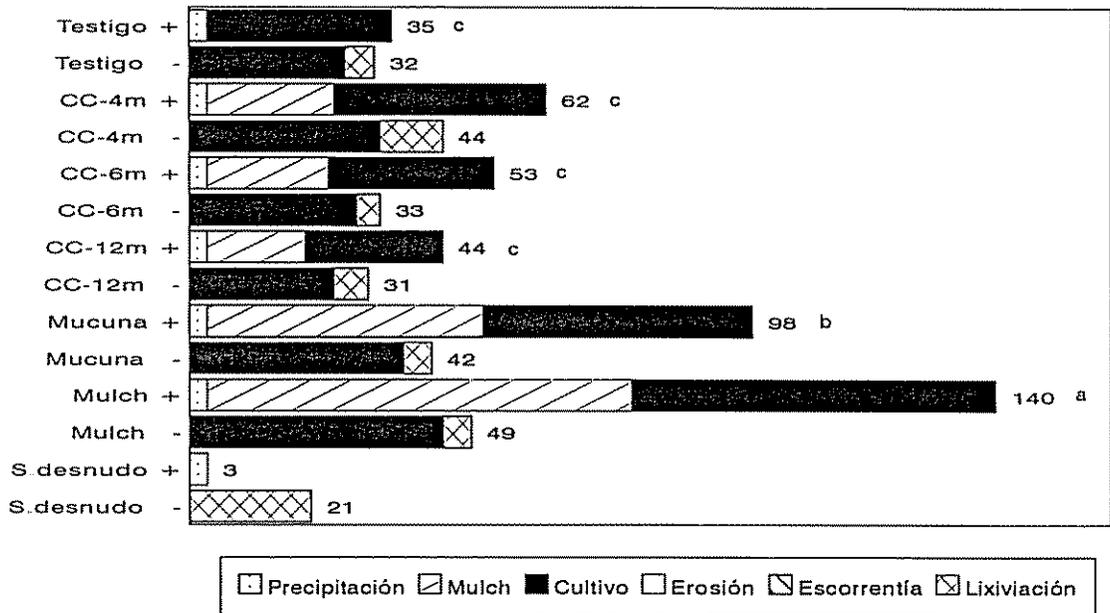


Figura 18. Entradas (+) y salidas (-) de potasio en kg/ha. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

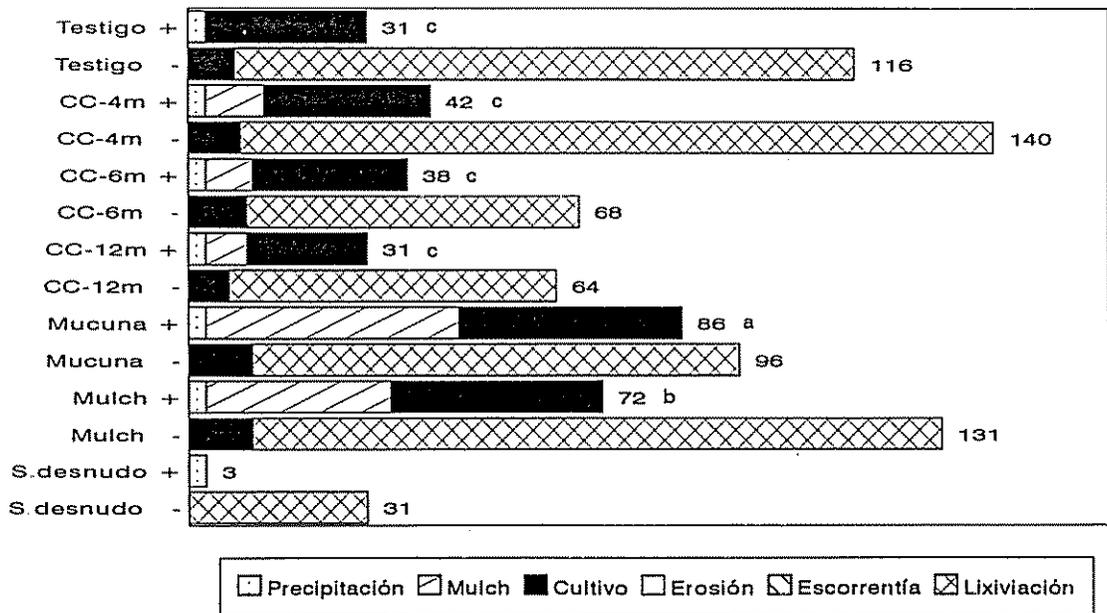


Figura 19. Entradas (+) y salidas (-) de calcio en Kg/ha. San Juan Sur, Turrialba Costa Rica. 1994. (Medias con letras iguales no difieren significativamente, prueba Duncan al 5%)

El balance general para este nutrimento (Cuadro 13), mostró que los tratamientos en su totalidad, presentaron una pérdida de calcio, lo que indica que a medida que pasa el tiempo el suelo se tornará más deficiente, en relación con este nutrimento. Es importante observar que el 90% de las pérdidas de calcio se deben al proceso de lixiviación.

A través del proceso de encalado, el Ca logró niveles adecuados en la solución del suelo; en consecuencia las pérdidas fueron relativamente altas, generando un balance negativo en todos los tratamientos.

4.9.5. Magnesio (Mg)

El análisis de varianza para la entrada de Mg mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.01$). Las mayores entradas de magnesio se presentaron en los tratamientos con cobertura viva (*Mucuna*) y mantillo o "mulch". Los residuos de cosecha contribuyeron en más del 50% a la entrada de este nutrimento (Fig. 20).

Hubo correlación entre la entrada de Mg y el rendimiento de maíz y frijol ($r = 0.81$ y $r = 0.86$, respectivamente) (Anexo 32).

La salida de Mg no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p > 0.05$). Además, la erosión y la escorrentía no representaron un problema en la pérdida de este nutrimento, la extracción por los cultivos y la lixiviación fueron los procesos que más influyeron en la salida del sistema.

El balance general de Mg mostró que los únicos tratamientos que presentaron valores positivos, fueron los sistemas de cobertura (Mucuna y Mulch) (Cuadro 13).

Las fuentes más específicas de entradas y salidas para todos los nutrientes se presentan en el Anexo 33.

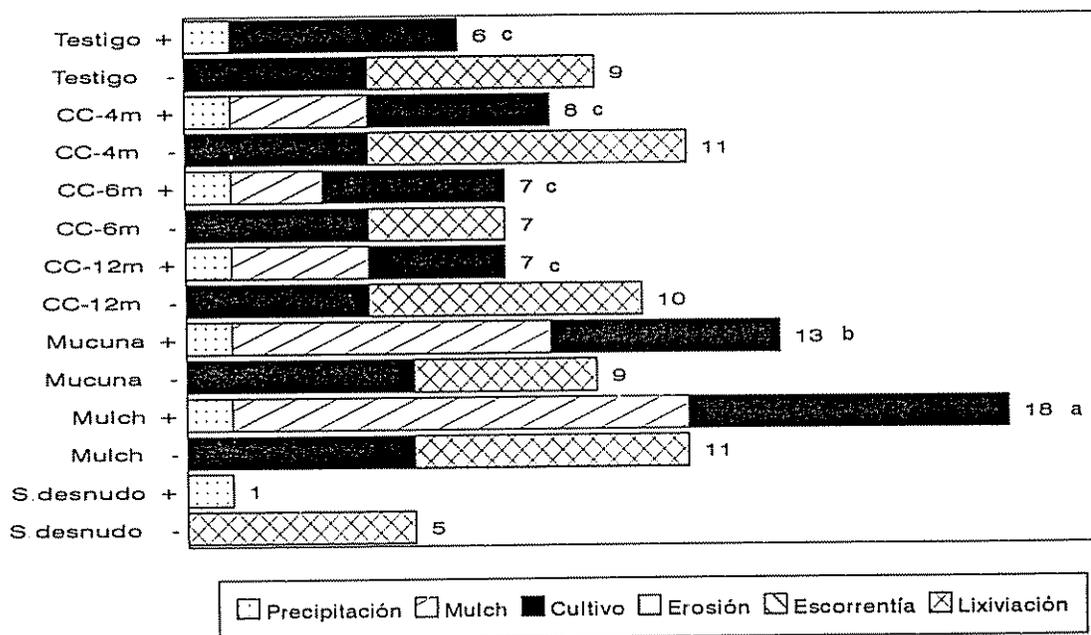


Figura 20. Entradas (+) y salidas (-) de magnesio en kg/ha. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994. (Medias con letras iguales no difieren significativamente, prueba Dunacan al 5%)

Con el análisis anterior no se pretende establecer parámetros absolutos de entradas y salidas de nutrientes, se consideran como parámetros indicativos de lo que en un momento dado se presentó en el suelo. Además, las sustancias que el suelo contiene y que utiliza la planta para su desarrollo, no se almacenan en el suelo en forma estática. En este sentido, hay que considerar que el suelo es un sistema que está en continua actividad, y existen muchos factores que intervienen en la utilización de nutrientes por parte de la planta.

Cuadro 13. Balance general de nutrientes. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Tratamiento	Nutrientos (kg/ha)				
	N	P	K	Ca	Mg
Testigo	- 67	+ 42	+ 3	- 85	- 3
CC- 4m	- 68	+ 43	+ 19	- 98	- 3
CC- 6m	- 46	+ 43	+ 20	- 30	0
CC- 12m	- 1	+ 43	+ 14	- 34	- 3
Mucuna	+ 71	+ 47	+ 56	- 10	+ 4
Mulch	+ 40	+ 50	+ 91	- 60	+ 7
S. desnudo	- 229	0	- 19	- 29	- 4

Es importante recalcar que la lixiviación de nutrientes es un proceso hídrico, que debe recibir mucha atención en los trabajos de investigación. El componente arbóreo juega un papel importante en este sentido, por que permite un bombeo de nutrientes desde capas profundas del suelo hacia la superfi-

cie, de esta forma se recuperará parte de los nutrimentos que se han perdido en el agua de percolación.

V. CONCLUSIONES

1. La pérdida de suelo fue baja (< 150 kg/ha/año) mientras existió protección por algún tipo de cobertura; de igual manera, la escorrentía superficial no representó un problema aún en el suelo desnudo ($E < 0.7\%$).
2. El rendimiento de grano de los cultivos fue superior en los sistemas con cobertura viva y mantillo. La práctica de cultivo en callejones no fue significativamente diferente al testigo en relación con esta variable.
3. La cobertura de *Mucuna deeringianum* utilizada como abono verde, adicionó cantidades importantes de biomasa (3,415 kg de MS/ha/año) y de nutrimentos, principalmente nitrógeno (138 kg/ha/año). Como cobertura, presentó alta capacidad de protección del suelo.
4. La utilización de 8 t/ha por ciclo de cultivo (3,676 kg de MS/ha/año) de mantillo, aportó al sistema 133 kg de N/ha/año y al igual que en la cobertura viva, la pérdida de suelo (< 40 kg/ha/año) y escorrentía superficial ($E < 0.5\%$), fueron bajas.
5. Los árboles en los cultivos en callejones presentaron baja producción de materia seca (< 1.4 t/ha/año). La edad de los mismos (un año) y las condiciones de humedad limitada, durante su período de establecimiento (enero-abril), influyeron notoriamente en este comportamiento.

6. Los cultivos en callejones se comportaron de manera similar en la mayoría de las variables evaluadas, con excepción del CC-12 m, que presentó el menor rendimiento de grano de frijol y la tasa más baja de escorrentía superficial.

7. Los mayores aportes de N, P, K, Ca y Mg, se presentaron en los sistemas con cobertura, además de que se encontró una correlación positiva entre la entrada de estos nutrimentos y el rendimiento de maíz y frijol.

8. Dentro de los tres procesos hídricos estudiados que influyeron en la pérdida de nutrimentos del sistema, la lixiviación fue cuantitativamente el más importante, principalmente en la pérdida de Ca y N.

9. La mayor acumulación de nitratos se presentó en el suelo descubierto (no encalado) y aumentó en las capas más profundas del mismo, lo que resaltó la importancia de mantener una cubierta vegetal que aproveche estos nutrimentos. Además, la carga positiva del suelo a mayores profundidades parece ser un mecanismo importante para evitar la pérdida de nitratos, proceso que desaparece con el encalado de estos suelos.

10. La fertilidad de la capa superficial del suelo (0 a 20 cm), mejoró después del proceso de encalado en todos los tratamientos; el efecto positivo de esta práctica aún persistió después de 42 meses de haberse realizado.

VI. RECOMENDACIONES

1. Mantener la superficie del suelo siempre protegida con alguna cobertura vegetal, para evitar altas pérdidas de suelo principalmente en caso de eventos de lluvia especiales de alta capacidad erosiva (alta intensidad, cantidad y duración).
2. Para la práctica del cultivo en callejones, seleccionar una especie arbórea adaptada a las condiciones del sitio y que aporte cantidades altas de materia seca y nutrimentos. Además, la primera poda debe efectuarse cuando esté bien establecida.
3. Cuando el aporte de nutrimentos a través de los árboles u otro tipo de cobertura vegetal al suelo sea bajo, complementar con fertilizantes sintéticos, para mantener en equilibrio los diferentes nutrimentos y favorecer el desarrollo y producción de los cultivos.
4. Efectuar muestreos de suelos frecuentes para corroborar la evolución del balance para los diferentes nutrimentos.
5. En futuros experimentos estudiar la combinación de la práctica de cultivo en callejones y la cobertura viva (*Mucuna deeringianum*), únicamente en la fase de establecimiento de la especie arbórea.
6. Continuar las evaluaciones a nivel de agricultores, de la práctica de coberturas (viva y mantillo), considerando condiciones ambientales y de manejo similares.

7. Realizar una evaluación económica y financiera de las diferentes prácticas y tratamientos estudiados.

VII. BIBLIOGRAFIA

- AGUIRRE, V. 1971. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigaciones, IICA, Turrialba Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA. 145 p.
- ALEGRE, J. C.; FERNANDEZ, E. C. 1991. Runoff and erosion losses under forest low-input and alley-cropping on slopes: Y-433B. TropSoils Technical Report. 1988-1989: 227-228.
- APOLO, W. A. 1980. Evaluación de la escorrentía superficial y la erosión en un pastizal con árboles aislados en La Suiza, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., UCR/CATIE. 69 p.
- AREVALO, J.; JIMENEZ-OSORNIO, J. 1988. Nescafé (*Stizolobium pruriens* (L) Medic. var. *utilis* Wall ex Wightt como un ejemplo de experimentación campesina en el trópico húmedo mexicano. In Cuatro estudios sobre sistemas tradicionales. Ed. S. del Amo México, Instituto Nacional Indigenista, p. 75-89.
- ATTA-KRAH, A. N.; SUMBERG, J.E. 1987. Studies with *Gliricidia sepium* for crop/livestock production system in west Africa. In *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.: Management and improvement (1987, Turrialba, C.R.) Proceedings. Eds. D. Withington; N.Glover; J.L. Brewbaker. Honolulu, Hawai, NFTA. p. 31-43.
- BALDOCK, J. O.; MUSGRAVE, R.B. 1980. Manure and mineral fertilizer effects in continuous and rotational crop sequencies in central New York. *Agronomy Journal* (EE .UU.) 72: 511-518.
- BARRETO, H. J. 1992. Evaluación y utilización de diferentes mantillos y cultivos de coberturas en la producción de maíz en Centroamérica. In Taller sobre Prácticas de Corte y Cobertura (1992, Turrialba, C.R.). Turrialba, C.R., CATIE.
- BATEMAN, J. V. 1970. Nutrición animal: manual de métodos analíticos. México, Herrero. 488 p.
- BERMUDEZ, M. M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema café (*Coffea arabica* L.), poró (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook, y laurel (*Cordia alliodora* (R. P.) Cham.), en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., UCR/CATIE. 74 p.

- BERTSCH, F. 1987. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. 2 ed. San José, Universidad de Costa Rica. 79 p.
- BUCKLES, D. 1993. La revolución de los abonos verdes. Pasos (Méx.) 5:30-33.
- . 1994. El frijol terciopelo: una planta "nueva" con historia. México, D. F. CIMMYT. 26 p.
- BUDOWSKI, G.; RUSSO, R. O.; MORA H., E. 1985. Productividad de una cerca viva de *Erythrina berteroana* Urb. en Turrialba, Costa Rica. Turrialba (C.R.) 35 (1):83-86.
- BUNCH, R. 1994. El potencial de coberturas muertas en el alivio de la pobreza y la degradación ambiental. In Los sistemas de siembra con cobertura. Eds. H.D. Thurston; M. Smith; G. Abawi; S. Kearl. Cornell University, EE.UU. 330 p.
- CALVINO, M. 1952. Plantas forrajeras tropicales y subtropicales. México, Trucco. p. 193-204.
- CIDICCO. 1990. Noticias sobre el uso de los cultivos de cobertura. Carta trimestral año 1. no 2. Tegucigalpa, Honduras. 4 p.
- . 1991. Noticias sobre el uso de los cultivos de cobertura. Carta no 1, Rev. setiembre, 1991. Honduras. 4p.
- COOK, H. L. 1987. Soil conservation on steep in the tropics. In Anatomy, physiology and psychology of erosion. Ed. E.G. Hall Swarch. Great Britain, J. Willey. 176 p.
- DIAZ ROMEU, R. 1977. Determinación de nitrógeno total en suelos; método semi-microKjeldahl. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 2 p.
- ; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal de investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Proyecto Centroamericano de Suelos. 62 p.
- DOMINGUEZ, A.; DE LA CRUZ, R. 1990. Competencia nutricional de *Arachis pintoii* Pinto como cultivo de cobertura durante el establecimiento de pejibaye *Bactris gasipaes* H.B. K. Manejo Integrado de Plagas (C.R.) 18:1-7.

- DOMINGUEZ V., J. A. 1990. Leguminosas de cobertura en cacao (*Theobroma cacao* L.) y pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K. en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 85 p.
- DUKE, J.A. 1981. Handbook of legumes of world economic importance. Maryland, Plenum Press. 345 p.
- EIJK-BOS, C.V.; MORENO, L.A. 1986. Barreras vivas de *Gliricidia sepium* (jacq) Steud. y su efecto sobre la pérdida de suelo en terrenos de colinas bajas, Urabá, Colombia. CONIF Informa (Col.) 6:1-16.
- EVANS, R. 1984. Mecanismos de la erosión hídrica y sus controles espaciales y temporales: punto de vista empírico. In Erosión de suelos. Eds. M.J. Kirkby ; R.P.C. Morgan. Trad. J. Hurtado. México, Limusa. p. 141-163.
- FAO. 1989. Soil conservation for small farmers in the humid tropics. FAO Soil Bulletin no. 60. 104 p.
- 1993. Anuario de producción 1993. Estadística no. 117. Roma, Italia. vol 47, p. 77.
- FASSBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. 1987. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. IICA. Colección de Libros y Materiales Educativos no. 81, C. R. 420 p.
- FAUSTINO, J. 1986. Elementos de conservación de suelos y aguas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. s.p.
- FLORES, M. 1989. Utilización del frijol terciopelo *Mucuna pruriens* por los agricultores de las aldeas del departamento de Cortez, Honduras, para la producción de maíz. In Simposio sobre Tecnología Apropiada y Agricultura Biológica para un Desarrollo Rural Alternativo (1, 1989, San José, Costa Rica). Memoria. Eds. M. Bolaños; I. Bolaños. CIDICCO - UCR. p. 53-57.
- FORSYTHE, W. 1980. Física de suelos: manual de laboratorio. San José, Costa Rica, IICA. 212 p.
- GARCIA C., J. 1989. Los sistemas vitales suelo, agua y bosque: su degradación y restauración. España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Hojas Divulgadoras, no. 3/89 HD. 20 p.
- GARZON S., H. 1991. Evaluación de la erosión hídrica y la escorrentía superficial bajo sistemas agroforestales en tierras de ladera, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 121 p.

- GEILFUS, F. 1985. Sistemas integrados de conservación de suelos adaptados a los pequeños agricultores en zonas húmedas y sub-húmedas. Santo Domingo, R.D., IICA. p. 44-47.
- GHOSH, S. P. ; MOHANKUMAR, B.; KABEERATHUMMA, S.; NAIR, G. M. 1989. Productivity, soil fertility an soil erosion under cassava based agroforestry systems. Agroforestry Systems (Holanda) 8:67-82.
- GUIBERTEAU C., A.; LABRADOR M., J. 1992. Técnicas de cultivo en agricultura ecológica. España. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Hojas divulgadoras, no 3/91 HD. 20p.
- GILL, D. W.; KASNO, A.; KAMPRATH, E.J. 1987. Response of upland crops to potassium and lime applications. Trop-Soils Technical Report 1986-1987: 176-180.
- GREENLAND, D.J.; LAL, R. 1979. Soil conservation and management in the humid tropics. International Conference on Soil Conservation and Management in the humid tropics, held in Ibadan, Nigeria. In June 1975. a Willey-Interciencia Publication. 283 p.
- HOLDRIDGE, L.R.; POVEDA, L. 1975. Arboles de Costa Rica. San José, C. R. Centro Científico Tropical, v.1. 160 p.
- . 1987. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- HUDSON, N. 1971. Soil conservation. New York, Cornell University. 319 p.
- . 1982. Conservación del suelo. Trad. J.M. García Ruiz. Barcelona, España, Editorial Reverté. 335 p.
- IITA. 1987. Annual report and research highlights for 1986. Ibadan, Nigeria. p. 27-35.
- ISRIC. 1994. Soil reference profiles of Costa Rica. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, the Netherlands (In press). 37 p.
- IVES, N. 1951. Soil in water runoff studies in a tropical region. Turrialba (Costa Rica) 1(5):240-244.
- JIMENEZ, J. M.; VIQUEZ, E.; KASS, D. L.; CHAVARRIA, R. 1992. Uso de *Erythrina berteroana* y *Gliricidia sepium* como soportes vivos de ñame alado (*Dioscorea alata* L. c.v. 6322). El Chasqui (C.R) 29:6-11.

- JIMENEZ, F. 1993. Resumen acumulado de datos metereológicos hasta 1992, Estación metereológica de CATIE, Turrialba, Costa Rica, CATIE. 1 p.
- KANG, B.T.; WILSON, G.F.; SIPKENS, L. 1981. Alley cropping maize (*Zea mays* L.) and *Leucaena* (*Leucaena leucocephala* Lam.) in Southern Nigeria. Plant and Soil (Holanda) 63:165-179.
- .; WILSON, G.F. 1987. The development of alley cropping as promising agroforestry technology. In Steppler, H.A.; Nair, P.K. (eds) Agroforestry: a decade of development. Nairobi, ICRAF. p. 227-243.
- KANG, B.T.; MULONGOY, R. 1987. *Gliricidia sepium* as a source of green manure in an alley cropping system. In *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.: Management and improvement (1987, Turrialba, C.R.) Proceedings. Eds. D. Withington; N.Glover; J.L. Brewbaker. Honolulu, Hawai, NFTA. p. 50-58.
- KASS, D. L.; BARRANTES, A.; BERMUDEZ, W.; CAMPOS, W.; JIMENEZ, M.; SANCHEZ, J. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivo en callejones (alley cropping) en "La Montaña", Turrialba, Costa Rica. El Chasqui (C.R) 19:5-24.
- KENT M, J.; BUBENZER, G. D. 1984. Estimación de la pérdida de suelo. In Erosión de suelos. Eds. M.J. Kirkby; R.P.C. Morgan. Trad. J. Hurtado. México, Limusa. p. 35-88.
- KEENEY, D. R.; NELSON, D.W. 1982. Nitrogen-inorganic forms. Methods of soil analysis. 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy Monograph no.9. p. 643- 661.
- KIRKBY, J. J. 1984. El problema de la erosión. In Erosión de suelos. Eds. M.J. Kirkby; R.P.C. Morgan. Trad. J. Hurtado. México, Limusa. p. 15-33.
- KNOBLAUCH, H. C.; KOLODNYL, L.; BRILL, G. D. 1942. Erosion losses of major plants nutrients and organic matter from collington sandy loam. Soil Science (EE.UU) 53: 369-378.
- LAL, R. 1976. Soil erosion problems on an alfisol in Western Nigeria and their control. Ibadan, Nigeria, IITA. 188 p.
- LAL, R. 1978. Influence of with-and between-row mulching on soil temperature, soil moisture root development and yield of maize (*Zea mays* L.) in a tropical soil. Field Crops Research. 1:127-139.

- LAL, R. 1989. Agroforestry system and soil surface management of a tropical alfisol; water runoff, soil erosion and nutrient loss. *Agroforestry Systems (Holanda)* 8: 97-111.
- LATTANZI, A. D.; MEYER, L. D. 1974. Influences of mulch and slope steepness on interill erosion. *Proceedings of Soil Science Society of America.* (EE.UU) 38: 946-950.
- LEBEUF L., I. T. 1993. Sistemas agroforestales con *Erythrina fusca* Lour. y sus efectos sobre la pérdida de suelo, la escorrentía superficial y la producción de los cultivos anuales en tierras de ladera, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 112 p.
- LIMON, L. A. 1993. Comportamiento de genotipos de maíz y frijol en cultivos en callejones con *Erythrina poeppigiana*, *Calliandra calothyrsus* y *Gliricidia sepium*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 126 p.
- LOPEZ M., J. 1993. Conservación y productividad de suelos en ladera de la Frailesca Chiapas. Tesis Mag. Sc. Montecillo, México, Colegio de Postgraduados. 177 p.
- LOZANO J., O. R. 1962. Postes vivos para cercos. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA. 77 p.
- MARAUX, F.; RAPIDEL, B. 1990. Paquete 'AGROCLIM': guía del usuario. Turrialba, Costa Rica, CATIE/CIRAD/ORSTOM. 48 p.
- MATZON, P. A.; VITOUSEK, P. M.; EWEL, J.J.; MAZZARINO, M. J. 1987. Nitrogen transformations following tropical forest felling and burning on a volcanic soil. *Ecology* 68(3):491-502.
- MONGE V., L. A. 1989. Cultivo del frijol. 2 ed. San José, Costa Rica, EUNED. p. 139-192.
- MORRON, T. M. 1967. Conservación del suelo a través del bosque. *Revista Nacional de Agricultura (Colombia)* 61(478):46-47.
- NAIR, P. K. 1993. An introduction to agroforestry. Kluwer Academic Publishers. Holanda. P. 123-139.
- PEREZ, E. E. 1990. Evaluación del ensayo clonal de *Erythrina* spp. en San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 111 p.

- RAO, M. R.; ONG, C. K.; PHATHAK, P.; SHARMA, M. M. 1991. Productivity of annual cropping and agroforestry system on a shallow alfisol in semi-arid India. *Agroforestry Systems* (Holanda) 15: 51-63.
- ROSECRANCE, R. C.; ROGERS, S.; TOFINGA, M. 1992. Effects of alley cropped *Calliandra calothyrsus* and *Gliricidia sepium* hedges on weed growth, soil properties, and taro yield en Western Samoa. *Agroforestry System* (Holanda) 19 (1): 57-66.
- RUSSO A., R. O. 1981. *Erythrina* un género versátil en sistemas agroforestales. Turrialba, C.R., CATIE. 10 p.
- , 1983. Efecto del la poda de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook (poró), sobre la nodulación, producción de biomasa y contenido de nitrógeno en el suelo en un sistema agroforestal "Cafe-Poró". Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 108 p.
- ; BUDOWSKI, G. 1986. Effect pollarding frequency on biomass of *Erythrina poeppigiana* as a coffee shade tree. *Agroforestry System* (Holanda) 4:145-162.
- SAIZ DEL RIO, J. F.; BORNEMISZA, E. 1961. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA. p. 94-96.
- SANCHEZ, P. A. 1981. Suelos del trópico, características y manejo. Trad E. Camacho. San José, Costa Rica, IICA. 634 p.
- SANCHEZ, G.; ESNAOLA, M.; RUSSO, R.; VIQUEZ, E. 1989. Rendimiento de poró enano (*E. berteroana*) establecido por estacas bajo tres frecuencias de corte. In Informe técnico final del proyecto *Erythrina* sp. Fase I. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 26-29.
- SANCHEZ, H. 1993. Comportamiento de leguminosas de cobertura en el establecimiento de plátano (*Musa* AAB grupo, subgrupo plátano, c.v. Curraré). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 72 p.
- SKERMAN, P. J.; CAMERON, D. G.; RIVEROS, F. 1988. Tropical forage legumes. FAO. Plant Production and Protection Series. no.2. 692 p.
- SUAREZ DE CASTRO, F. 1979. Conservación de suelos. 3 ed. San José, Costa Rica, IICA. 315 p. (Serie de libros y materiales educativos no 37)

- TACIO, H. D. 1988. Sloping agricultural land technology. ILEIA Newsletter (Holanda) 4(1):8-9.
- TINEO B., A. L. 1993. Erosión hídrica y análisis de transferencia de N, P, K, Ca y Mg, en una rotación frijol maíz con prácticas agronómicas de conservación de suelos, en tierras de ladera, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 134 p.
- UNGER, P. W. 1987. Possibilities of zero tillage for small scale farmers in the tropics. ILEIA Newsletter (Holanda) 3(3):12-13.
- VEGA, L. E. ; EIJK-BOS, C. V.; MORENO, L. A. 1987. Alley cropping with *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp and its effect on the soils losses on hillslopes in Uraba, Colombia. In *Gliricidia sepium* (Jacq). Walp: management and improvement (1987, Turrialba, C.R.). Proceedings. Eds. D. Wit thington; N. Glover; J.L. Browbaker. Nitrogeno Fixing Tree Asociation (EE.UU.). Special Publication tion no. 87-01. p. 68.
- VELOZ, R. 1987. Erosion research on steep lands en the Dominican Republic. In Conservation farming on steep lands. Ed. by Moldenahuer and Hudson. EE.UU. p. 215-227.
- VOELKNER, H. 1979. Vegently needed on ideal green mulch crop for the tropics. World Crops (EE.UU) 2: 76-78.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Amer. Proc. 33:131-137.
- YAMAOAH, C. F.; AGBOOLA, A. A.; MULONGOY, K. 1986. Descomposition, nitrogen reléase and weed control by prunings Of selected alley cropping shrubs. Agroforestry Systems (Holanda) 4:239-246.
- YOUNG, A. 1987. The potential of agroforestry for soil conservation and sustainable land use. Nairobi, Kenya, ICRAF. 16 p. (ICRAF reprint no.39)
- , 1988. Agroforestry in the control of soil erosion by water. Agroforestry Abstracts. (G.B.) 1:39-48.
- , 1989. Agroforestry for soil conservation. CAB/ICRAF. 275 p.
- ZAMBRANA, H. A. 1975. Comparación y evaluación de la intercepción de lluvias en dos tipos de bosques tropicales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 61 p.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Distribución mensual de la precipitación (PP), evapotranspiración potencial (ETP) y temperatura (T). San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Mes	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
PP (mm)	162	142	409	76	46	52	78	221	354	310	273	288
ETP (mm)	88	73	69	79	76	101	85	87	78	69	82	79
T (°C)	22	21	20	20	20	20	20	21	21	20	20	21

Anexo 2. Análisis de varianza para rendimiento de frijol.

Fuente de var.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc
Bloque	2	219066	109533	6.34 *
Tratamiento	5	1008437	201687	11.68 **
Error	10	172680	17268	
Total	17	1400184		

* Significativo ($p < 0.05$), ** Significativo ($p < 0.01$)

$R^2 = 88 \%$

C.V. = 10 %

Anexo 3. Análisis de varianza para rendimiento de maíz.

Fuente de bar.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc
Bloque	2	4393061	2196530	19.93 **
Tratamiento	5	4442340	888468	8.06 **
Error	10	1101901	110190	
Total	17	9937302		

* Significativo ($p < 0.05$); ** Significativo ($p < 0.01$)

$R^2 = 89 \%$;

C.V. = 18 %

Anexo 4. Análisis de varianza para erosión de suelos en el cultivo de frijol.

Fuente de var.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc
Bloque	2	2.733	1.366	2.21 ns
Tratamiento	5	20.333	4.067	6.58 **
Error	10	6.181	0.618	
Total	17	29.254		
C.V. = 23%		R ² = 0.79		media= 3.38

Anexo 5. Análisis de varianza para erosión de suelos en el cultivo de maíz.

Fuente de var.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc
Bloque	2	7.043	3.521	3.84 Ns
Tratamiento	5	21.270	4.254	4.64 *
Error	10	9.159	0.915	
Total	17	37.473		
C.V. = 32%		R ² = 0.76		media 2.96

Anexo 6. Análisis de varianza para el coeficiente de escorrentía en el cultivo de frijol.

Fuente de var.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc
Bloque	2	0.712	0.356	2.63 Ns
Tratamiento	6	3.015	0.503	3.71 *
Error	12	1.624	0.135	
Total	20	5.352		
C.V. = 38%		R ² = 0.70		media = 0.95

Anexo 7. Análisis de varianza para el coeficiente de escorrentía en el cultivo de maíz.

Fuente de var.	g.l.	S.C.	C.M.	Fc
Bloque	2	0.054	0.027	3.07 Ns
Tratamiento	6	0.173	0.029	3.30 *
Error	12	0.105	0.008	
Total	20	0.332		
C.V.= 49%		R ² = 70%		media= 0.19

Anexo 8. Análisis de varianza para el contenido de nitratos.
a diferentes profundidades.

F DE V	gl	S.C.	C.M.	Fc	P>Fc
Trat	6	10420	1737	19.08	0.0001 **
Trat*rep(a)	14	1274	91		
Prof	3	1641	547	15.61	0.0001 **
Lineal	1	457	457	13.03	0.0008 **
Cuadrático	1	1077	1077	30.74	0.0001 **
Cúbico	1	107	107	3.06	0.0877 Ns
Trat*prof	18	2587	144	4.10	0.0001 **
Testigo (lineal)	1	454	454	12.96	0.0008 **
CC-4m (lineal)	1	158	157	4.50	0.0398 *
CC-6m (lineal)	1	149	148	4.25	0.0456 *
Mucuna (lineal)	1	734	733	20.94	0.0001 **
Mulch (lineal)	1	93	93	2.66	0.1107 Ns
S.desn (lineal)	1	1280	1280	36.52	0.0001 **
CC-12m (lineal)	1	90	90	2.58	0.1157 Ns
Testigo (cuad)	1	168	167	4.79	0.0342 *
CC-4m (cuad)	1	181	180	5.16	0.0284 *
CC-6m (cuad)	1	183	182	5.21	0.0275 *
Mucuna (cuad)	1	225	225	6.43	0.0150 *
Mulch (cuad)	1	61	61	1.73	0.1957 Ns
S.desn (cuad)	1	230	230	6.56	0.0141 *
CC-12m (cuad)	1	80	80	2.29	0.1377 Ns
Testigo (cúbico)	1	73	73	2.10	0.1551 Ns
CC-4m (cúbico)	1	2	2	0.06	0.8082 Ns
CC-6m (cúbico)	1	28	28	0.80	0.3756 Ns
Mucuna (cúbico)	1	7	6	0.20	0.6610 Ns
Mulch (cúbico)	1	3	3	0.10	0.7544 Ns
S.desn (cúbico)	1	17	17	0.49	0.4886 Ns
CC-12m (cúbico)	1	12	12	0.34	0.5628 Ns
Rep*prof (trat)	42	1472	35		
Total	83	17393			

R²= 92%

CV = 32%

Media general= 18.5

Anexo 9. Análisis de varianza para contenido de amonio a diferentes profundidades.

F DE V	gl	S.C.	C.M.	Fc	P>Fc
Trat	6	49	8.2	0.69	0.6620 Ns
Trat*rep(a)	14	167	11.9		
Prof	3	43	14.4	25.28	0.0001 **
Lineal	1	42	42.0	74.12	0.0001 **
Cuadrático	1	1	1.0	1.70	0.1991 Ns
Cúbico	1	0	0.0	0.03	0.8706 Ns
Trat*prof	18	11	0.6	1.05	0.4323 Ns
Testigo (lineal)	1	8.76	8.76	15.33	0.0003 **
CC-4m (lineal)	1	6.84	6.84	11.97	0.0013 **
CC-6m (lineal)	1	4.03	4.03	7.06	0.0111 **
Mucuna (lineal)	1	7.54	7.54	13.19	0.0008 **
Mulch (lineal)	1	5.90	5.90	10.33	0.0025 **
S.desn (lineal)	1	1.11	1.11	2.95	0.1703 Ns
CC-12m (lineal)	1	11.58	11.58	20.28	0.0001 **
Testigo (cuad)	1	0.83	0.83	1.47	0.2331 Ns
CC-4m (cuad)	1	0.06	0.06	0.12	0.7328 Ns
CC-6m (cuad)	1	2.18	2.18	3.82	0.0572 Ns
Mucuna (cuad)	1	1.03	1.03	1.82	0.1849 Ns
Mulch (cuad)	1	0.03	0.03	0.06	0.8140 Ns
S.desn (cuad)	1	1.91	1.91	3.35	0.0745 Ns
CC-12m (cuad)	1	0.02	0.02	0.04	0.8525 Ns
Testigo (cúbico)	1	0.03	0.03	0.06	0.8109 Ns
CC-4m (cúbico)	1	0.01	0.01	0.02	0.8759 Ns
CC-6m (cúbico)	1	0.89	0.89	1.56	0.2182 Ns
Mucuna (cúbico)	1	0.75	0.75	1.31	0.2583 Ns
Mulch (cúbico)	1	0.36	0.36	0.63	0.4306 Ns
S.desn (cúbico)	1	0.13	0.13	0.23	0.6383 Ns
CC-12m (cúbico)	1	0.06	0.06	0.12	0.7357 Ns
Rep*prof*(trat)	42	24.00	0.57		
Total	83	293.00			
R ² = 0.92		C.V.= 20%		Media general = 3.65	

Anexo 10. Análisis de varianza para la concentración de calcio.

F. V.	gl	SC	CM	Fc
Bloque	2	4.35	2.17	1.39 ns
trat	6	44.95	7.49	4.80 **
Error (a)	12	18.76	(1.56)	
Prof	6	94.06	15.67	96.63 **
Trat*prof	36	25.04	0.69	4.29 **
Error (b)	84	13.63	(0.16)	
Total	146			
$R^2 = 0.93$		CV = 30.2%		Media general = 1.33

Anexo 11. Análisis de varianza para la concentración de magnesio.

F. V.	gl	SC	CM	Fc
Bloque	2	0.1984	0.0992	7.40 *
trat	6	0.1729	0.0288	2.15 ns
Error (a)	12	0.1609	(0.0134)	
Prof	6	0.5783	0.0963	60.50 **
Trat*prof	36	0.0863	0.0023	1.50 **
Error (b)	84	0.1310	(0.0015)	
Total	146			
$R^2 = 0.89$		CV = 24.2%		Media general = 0.164

Anexo 12. Análisis de varianza para la concentración de potasio.

F. V.	gl	SC	CM	Fc
Bloque	2	0.0234	0.0117	1.44 ns
trat	6	0.1049	0.0174	2.16 ns
Error (a)	12	0.0972	(0.0081)	
Prof	6	0.3098	0.0516	90.60 **
Trat*prof	36	0.0701	0.0019	3.42 **
Error (b)	84	0.0478	(0.00056)	
Total	146			
$R^2 = 0.93$		CV = 21.8%		Media general = 0.109

Anexo 13. Análisis de varianza para concentración de fósforo.

F. V.	gl	SC	CM	Fc
Bloque	2	6.8838	3.4419	4.94 *
trat	6	2.1749	0.3624	0.52 ns
Error (a)	12	8.3638	(0.6969)	
Prof	6	103.1473	17.1912	36.98 **
Trat*prof	36	11.5040	0.3595	0.69 ns
Error (b)	84	39.0400	(0.4648)	
Total	146			
$R^2 = 0.77$		CV = 22.0%		Media general = 3.09

Anexo 14. Análisis de varianza para saturación de aluminio.

F. V.	gl	SC	CM	Fc
Bloque	2	956.9	478.3	1.92 ns
trat	6	34413.3	5735.5	22.99 **
Error (a)	12	2993.8	(249.4)	
Prof	6	8573.5	1428.9	88.22 **
Trat*prof	36	6857.3	190.5	11.76 **
Error (b)	84	1360.5	(16.2)	
Total	146			
$R^2 = 97$		CV = 10.9 %		Media general = 36.6

Anexo 15. Análisis de varianza para pH del suelo.

F. V.	gl	SC	CM	Fc
Bloque	2	0.3119	0.1559	2.91 ns
trat	6	7.6108	1.2684	23.63 **
Error (a)	12	0.6442	(0.0536)	
Prof	6	0.5565	0.0927	11.40 **
Trat*prof	36	0.6595	0.0183	2.25 **
Error (b)	84	0.6838	(0.0081)	
Total	146			
$R^2 = 0.93$		CV = 1.9 %		Media general = 4.74

Anexo 16. Valor de Fc y significancia para los diferentes nutrimentos a 5 cm de profundidad.

Nutrimento	Ca	Mg	K	P	SatAl	pH
Bloque	1.48ns	9.22**	1.76ns	1.75ns	2.02ns	1.74ns
Tratamiento	4.88**	2.83ns	3.81*	0.32ns	43.41**	23.37**
R ²	0.72	0.74	0.69	0.31	0.95	0.92
C.V.	39.00	29.10	31.10	25.30	26.70	2.45
Promedio	2.66	0.26	0.19	4.80	24.50	4.84

Anexo 17. Valor de Fc y significancia para los diferentes nutrimentos a 10 cm de profundidad.

Nutrimento	Ca	Mg	K	P	SatAl	pH
Bloque	1.29ns	8.67**	0.90ns	0.12ns	1.43ns	2.00ns
Tratamiento	4.90**	2.78ns	2.75ns	0.64ns	26.60**	14.00**
R ²	0.72	0.73	0.60	0.25	0.93	0.88
C.V.	38.00	28.00	34.10	16.60	27.60	2.94
Promedio	2.19	0.22	0.15	3.71	28.60	4.80

Anexo 18. Valor de Fc y y significancia para los diferentes nutrimentos a 15 cm de profundidad.

Nutrimento	Ca	Mg	K	P	SatAl	pH
Bloque	0.89ns	6.98**	0.75ns	0.21ns	1.61ns	2.45ns
Tratamiento	4.94**	2.31ns	2.10ns	0.32ns	25.09**	14.06**
R ²	0.72	0.70	0.53	0.16	0.92	0.88
C.V.	37.20	28.90	37.10	14.30	21.70	2.50
Promedio	1.63	0.19	0.12	3.20	33.00	4.70

* Significativo (p < 0.05), ** Significativo (p < 0.01)
 Ns no significativo (p > 0.05)

Anexo 19. Valor de Fc y significancia para los diferentes nutrimentos a 20 cm de profundidad.

Nutrimento	Ca	Mg	K	P	SatAl	pH
Bloque	0.58ns	2.55ns	0.72ns	0.39ns	0.16ns	3.86ns
Tratamiento	2.31ns	1.97ns	1.12ns	1.01ns	11.00**	8.40**
R ²	0.55	0.58	0.40	0.36	0.84	0.82
C.V.	45.70	26.80	45.90	27.50	19.90	2.57
Promedio	0.94	0.13	0.08	2.70	41.50	4.60

Anexo 20. Valor de Fc y significancia para los diferentes nutrimentos a 25 cm de profundidad.

Nutrimento	Ca	Mg	K	P	SatAl	pH
Bloque	2.95ns	3.90*	4.51*	0.47ns	1.87ns	4.15ns
Tratamiento	4.11*	0.74ns	1.67ns	1.32ns	12.18**	23.65**
R ²	0.71	0.50	0.61	0.42	0.86	0.92
C.V.	34.30	35.40	28.90	15.10	19.30	1.78
Promedio	0.94	0.14	0.08	2.50	37.70	4.70

Anexo 21. Valor de Fc y significancia para los diferentes nutrimentos a 30 cm de profundidad.

Nutrimento	Ca	Mg	K	P	SatAl	pH
Bloque	1.37ns	5.28*	1.20ns	4.09*	0.85ns	1.73ns
Tratamiento	4.71*	1.51ns	0.86ns	2.85ns	8.07**	8.39**
R ²	0.72	0.62	0.38	0.67	0.80	0.81
C.V.	29.80	26.70	30.11	14.50	16.60	2.72
Promedio	0.62	0.11	0.07	2.30	44.47	4.70

* Significativo (p < 0.05),
Ns no significativo (p > 0.05)

** Significativo (p < 0.01)

Anexo 22. Valor de Fc y significancia para los diferentes nutrimentos a 60 cm de profundidad.

Nutrimento	Ca	Mg	K	P	SatAl	pH
Bloque	5.29*	2.48ns	1.17ns	6.95**	5.18*	0.23ns
Tratamiento	2.13ns	1.97ns	1.31ns	0.83ns	9.67**	9.14**
R ²	0.66	0.58	0.45	0.61	0.85	0.82
C.V.	26.04	56.30	37.23	29.60	9.80	2.58
Promedio	0.29	0.07	0.05	2.30	46.50	4.60

* Significativo (p < 0.05), ** Significativo (p < 0.01)
Ns no significativo (p > 0.05)

Anexo 23. Prueba Duncan para los diferentes nutrimentos a 5 cm de profundidad.

Tratam	Ca	Mg	K	P	SatAl	pH
Testigo	4.30a	0.30a	0.17bc	4.33a	10.7c	5.1a
CC-4m	3.49ab	0.27a	0.18bc	4.73a	13.4c	5.0a
CC-6m	3.05ab	0.28a	0.19abc	4.66a	12.9c	4.9ab
CC-12m	1.81bc	0.32a	0.22ab	5.13a	27.0b	4.7b
Mucuna	3.10ab	0.31a	0.19ab	4.90a	12.8c	4.9ab
Mulch	2.71ab	0.29a	0.30a	4.43a	15.1c	5.0a
S.desn	0.17c	0.10b	0.07c	5.46a	79.7a	4.1c

Medias con igual letra no difieren al aplicar Duncan al 5%

Anexo 24. Prueba Duncan para los diferentes nutrimentos a 10 cm de profundidad.

Tratam	Ca	Mg	K	P	SatAl	pH
Testigo	3.48a	0.25a	0.15ab	3.77a	14.1c	4.9a
CC-4m	2.81ab	0.23a	0.14ab	3.57a	18.5c	4.9a
CC-6m	2.48ab	0.22a	0.14ab	3.57a	17.5c	4.9a
CC-12m	1.45bc	0.26a	0.17a	4.30a	34.6b	4.8a
Mucuna	2.58ab	0.26a	0.15ab	3.53a	17.0c	5.0a
Mulch	2.41ab	0.26a	0.23a	3.47a	18.7c	4.9a
S.desn	0.17c	0.09b	0.06b	3.80a	79.8a	4.1b

Medias con igual letra no difieren al aplicar Duncan al 5%

Anexo 25. Prueba Duncan para los diferentes nutrimentos a 15 cm de profundidad.

Tratam	Ca	Mg	K	P	SatAl	pH
Testigo	2.65a	0.20a	0.12ab	3.27a	18.9c	4.9a
CC-4m	1.99ab	0.18ab	0.12ab	3.07a	25.7bc	4.9a
CC-6m	1.70ab	0.19ab	0.11ab	2.97a	23.0c	4.8a
CC-12m	1.14bc	0.24a	0.14ab	3.20a	38.2b	4.7a
Mucuna	1.78ab	0.20ab	0.13ab	3.40a	24.2c	4.9a
Mulch	1.99ab	0.23a	0.18a	3.17a	23.3c	4.8a
S.desn	0.18c	0.09b	0.06b	3.33a	78.3a	4.1b

Medias con igual letra no difieren al aplicar Duncan al 5%

Anexo 26. Prueba Duncan para los diferentes nutrimentos a 20 cm de profundidad.

Tratam	Ca	Mg	K	P	SatAl	pH
Testigo	1.29a	0.13ab	0.07a	2.57a	32.5bc	4.9a
CC-4m	1.08a	0.13ab	0.09a	2.60a	38.8bc	4.8a
CC-6m	1.05a	0.15a	0.08a	2.53a	33.3bc	4.7a
CC-12m	0.73ab	0.14ab	0.09a	2.50a	47.4b	4.6a
Mucuna	1.02a	0.15ab	0.09a	3.70a	33.8bc	4.8a
Mulch	1.25a	0.17a	0.14a	2.76a	30.1c	4.7a
S.desn	0.19b	0.08b	0.06a	2.47a	75.1a	4.2b

Medias con igual letra no difieren al aplicar Duncan al 5%

Anexo 27. Prueba Duncan para los diferentes nutrimentos a 25 cm de profundidad.

Tratam	Ca	Mg	K	P	SatAl	pH
Testigo	1.31a	0.12a	0.07ab	2.13a	30.4b	4.9a
CC-4m	1.34a	0.15a	0.09ab	2.86a	33.1b	4.8a
CC-6m	0.94a	0.14a	0.08ab	2.50a	32.4b	4.8a
CC-12m	0.83a	0.19a	0.10ab	2.50a	39.8b	4.8a
Mucuna	0.98a	0.14a	0.08ab	2.46a	31.0b	4.9a
Mulch	1.02a	0.14a	0.12a	2.80a	27.4b	4.9a
S.desn	0.20b	0.11a	0.06b	2.80a	70.0a	4.2b

Medias con igual letra no difieren al aplicar Duncan al 5%

Anexo 28. Prueba Duncan para los diferentes nutrimentos a 30 cm de profundidad.

Tratam	Ca	Mg	K	P	SatAl	pH
Testigo	0.89a	0.11ab	0.06a	2.10b	37.2b	4.9a
CC-4m	0.77ab	0.11ab	0.08a	2.93a	44.1b	4.8a
CC-6m	0.66ab	0.10ab	0.05a	2.50ab	39.7b	4.8a
CC-12m	0.52b	0.14a	0.06a	2.06b	47.9b	4.8a
Mucuna	0.67ab	0.10ab	0.07a	1.96b	36.8b	5.0a
Mulch	0.66ab	0.11ab	0.09a	2.33ab	35.6b	4.8a
S.desn	0.16c	0.07b	0.07a	2.26b	70.0a	4.3b

Medias con igual letra no difieren al aplicar Duncan al 5%

Anexo 29. Prueba Duncan para los diferentes nutrimentos a 60 cm de profundidad.

Tratam	Ca	Mg	K	P	SatAl	pH
Testigo	0.32a	0.07ab	0.03a	2.40a	50.6a	4.8a
CC-4m	0.26ab	0.05b	0.04a	2.80a	57.5a	4.5b
CC-6m	0.30ab	0.07ab	0.04a	2.10a	41.3b	4.6ab
CC-12m	0.33a	0.12a	0.03a	2.23a	39.6b	4.7ab
Mucuna	0.36a	0.07ab	0.06a	1.96a	41.0b	4.8a
Mulch	0.34a	0.08ab	0.05a	2.03a	38.7b	4.8a
S.desn	0.17b	0.06b	0.05a	2.86a	56.7a	4.2c

Medias con igual letra no difieren al aplicar Duncan al 5%

Anexo 30. Concentración de nutrimentos a través del perfil de suelo, 42 meses después de la aplicación de CaCO₃ (2.6 t/ha). San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Tratamiento	Profundidad (cm)	Calcio ()	Magnesio Meq/100ml	Potasio ()	Fósforo (mg/l)	Sat. Al (%)	pH
Testigo	0-5	4.30	0.30	0.17	4.3	10.67	5.1
	5-10	3.48	0.25	0.15	3.8	14.07	5.0
	10-15	2.65	0.20	0.12	3.3	18.97	4.9
	15-20	1.29	0.13	0.07	2.6	32.47	4.9
	20-25	1.31	0.12	0.08	2.1	30.37	4.9
	25-30	0.90	0.11	0.07	2.1	37.20	4.9
	55-60	0.32	0.07	0.03	2.4	50.63	4.8
CC-4m	0-5	3.49	0.27	0.18	4.7	13.43	5.0
	5-10	2.81	0.23	0.15	3.6	18.50	4.9
	10-15	1.99	0.18	0.12	3.1	25.73	4.9
	15-20	1.09	0.13	0.09	2.6	38.83	4.8
	20-25	1.34	0.15	0.09	2.9	33.07	4.8
	25-30	0.77	0.11	0.08	2.9	44.07	4.8
	55-60	0.26	0.05	0.05	2.8	57.50	4.5
CC-6m	0-5	3.05	0.22	0.19	4.7	12.87	4.9
	5-10	2.48	0.22	0.15	3.6	17.53	4.9
	10-15	1.70	0.19	0.11	3.0	23.00	4.8
	15-20	1.05	0.16	0.08	2.5	33.33	4.7
	20-25	0.94	0.14	0.08	2.5	32.37	4.8
	25-30	0.67	0.10	0.05	2.5	39.73	4.8
	55-60	0.30	0.07	0.05	2.1	41.30	4.6
CC-12m	0-5	1.82	0.32	0.22	5.1	27.00	4.8
	5-10	1.45	0.27	0.17	4.3	34.60	4.8
	10-15	1.14	0.24	0.14	3.2	38.17	4.7
	15-20	0.73	0.14	0.09	2.5	47.43	4.7
	20-25	0.84	0.19	0.10	2.5	39.77	4.8
	25-30	0.52	0.14	0.07	2.1	47.90	4.8
	55-60	0.33	0.12	0.04	2.2	39.57	4.7
Mucuna	0-5	3.10	0.31	0.19	4.9	12.80	4.9
	5-10	2.58	0.26	0.16	3.5	17.00	5.0
	10-15	1.78	0.20	0.13	3.4	24.17	4.9
	15-20	1.02	0.15	0.09	3.7	33.67	4.8
	20-25	0.98	0.15	0.08	2.5	31.03	4.9
	25-30	0.68	0.10	0.07	2.0	36.77	5.0
	55-60	0.36	0.07	0.06	2.0	41.00	4.8
Mulch	0-5	2.71	0.30	0.30	4.4	15.13	5.0
	5-10	2.41	0.26	0.23	3.5	18.73	4.9
	10-15	1.99	0.24	0.18	3.2	23.27	4.8
	15-20	1.25	0.18	0.14	2.8	30.13	4.7
	20-25	1.02	0.14	0.12	2.8	27.43	4.9
	25-30	0.66	0.11	0.09	2.3	35.60	4.8
	55-60	0.35	0.08	0.06	2.0	38.70	4.8
S. desnudo	0-5	0.18	0.10	0.08	5.5	79.70	4.1
	5-10	0.17	0.09	0.06	3.8	79.83	4.1
	10-15	0.18	0.09	0.06	3.3	78.33	4.2
	15-20	0.19	0.08	0.06	2.5	75.10	4.3
	20-25	0.20	0.11	0.07	2.8	69.97	4.2
	25-30	0.16	0.07	0.07	2.3	70.07	4.3
	55-60	0.17	0.06	0.06	2.9	56.73	4.2

Anexo 31. Relaciones entre las bases intercambiables, 42 meses después de la aplicación de CaCO₃. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Tratamiento	Profundidad (cm)	Ca/Mg (2-5)	Mg/K (2.5-15)	Ca/K (5-25)	(Ca+Mg)/K (10-40)
Testigo	0-5	14.3	1.7	24.8	26.5
	5-10	13.9	1.7	23.2	24.8
	10-15	13.0	1.7	22.7	24.4
	15-20	9.9	1.8	17.6	19.4
	20-25	10.6	1.6	17.1	18.7
	25-30	8.2	1.6	13.4	15.1
	55-60	4.4	2.4	10.7	13.1
CC - 4 m	0-5	12.8	1.5	19.4	20.9
	5-10	12.2	1.6	19.2	20.7
	10-15	10.8	1.5	16.6	18.1
	15-20	8.2	1.5	12.1	13.6
	20-25	8.9	1.6	14.4	16.0
	25-30	7.0	1.4	9.7	11.0
	55-60	4.9	1.1	5.6	6.7
CC - 6 m	0-5	10.9	1.5	16.1	17.5
	5-10	11.1	1.5	16.9	18.4
	10-15	9.0	1.7	15.5	17.2
	15-20	6.7	2.0	13.2	15.1
	20-25	6.7	1.8	11.8	13.5
	25-30	6.5	1.9	12.5	14.4
	55-60	4.1	1.6	6.4	8.0
CC - 12 m	0-5	5.7	1.4	8.1	9.6
	5-10	5.4	1.6	8.5	10.1
	10-15	4.8	1.7	8.0	9.6
	15-20	5.1	1.6	8.1	9.7
	20-25	4.4	1.8	8.1	9.9
	25-30	3.7	2.1	7.8	10.0
	55-60	2.7	3.4	9.1	12.5
Mucuna	0-5	10.0	1.6	16.1	17.7
	5-10	9.8	1.7	16.5	18.1
	10-15	9.1	1.6	14.1	15.6
	15-20	6.8	1.6	10.9	12.5
	20-25	6.7	1.8	12.3	14.1
	25-30	6.5	1.5	9.7	11.1
	55-60	4.9	1.2	5.7	6.8
Mulch	0-5	9.1	1.0	8.9	9.9
	5-10	9.2	1.1	10.3	11.5
	10-15	8.4	1.3	10.9	12.1
	15-20	7.1	1.3	9.0	10.2
	20-25	7.3	1.1	8.3	9.4
	25-30	5.8	1.3	7.3	8.6
	55-60	4.3	1.4	6.1	7.5
S.desnudo	0-5	1.8	1.3	2.3	3.6
	5-10	1.8	1.5	2.6	4.1
	10-15	1.9	1.6	3.2	4.8
	15-20	2.4	1.3	3.2	4.5
	20-25	1.8	1.6	2.9	4.6
	25-30	2.2	1.0	2.2	3.2
	55-60	2.8	1.1	3.0	4.1

Anexo 32. Correlaciones entre las variables evaluadas. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

	RendF	RendM	PerSueF	PerSueM	EF	EM	EntradaN	SalidaN	EntradaP	SalidaP	EntradaK	SalidaK	EntradaCa	SalidaCa	EntradaMg	SalidaMg
RendF	1.00000															
	0.00000															
RendM	0.82874	1.00000														
	0.0001	0.00000														
PerSueF	-0.4679	-0.3129	1.00000													
	0.0502	0.2062	0.00000													
PerSueM	-0.7357	-0.4868	0.53444	1.00000												
	0.0005	0.0405	0.0223	0.00000												
EF	-0.1661	-0.211	0.4238	0.31603	1.00000											
	0.51	0.4007	0.0797	0.2014	0.00000											
EM	0.0034	-0.2201	0.12747	0.09479	0.41725	1.00000										
	0.9893	0.3802	0.6142	0.7083	0.0849	0.00000										
EntradaN	0.76979	0.75259	-0.5337	-0.6456	-0.3485	-0.0551	1.00000									
	0.0902	0.0003	0.0225	0.0038	0.1564	0.828	0.00000									
SalidaN	0.38417	0.03584	-0.2375	-0.4743	0.05836	0.09978	0.25341	1.00000								
	0.1155	0.8877	0.3426	0.0467	0.8181	0.6936	0.3103	0.00000								
EntradaP	0.78417	0.7157	-0.4443	-0.656	-0.3604	-0.0052	0.94567	0.28308	1.00000							
	0.0001	0.0008	0.0547	0.0031	0.1418	0.9838	0.0001	0.255	0.00000							
SalidaP	0.64792	0.65251	-0.3227	-0.4041	-0.2946	0.12674	0.65398	0.02441	0.73233	1.00000						
	0.0036	0.0033	0.1916	0.0963	0.2354	0.6163	0.0032	0.9234	0.0005	0.00000						
EntradaK	0.80108	0.75918	-0.2896	-0.6599	-0.2918	-0.0149	0.90579	0.17779	0.93444	0.67439	1.00000					
	0.0001	0.0003	0.2438	0.0029	0.24	0.9533	0.0001	0.4803	0.0001	0.0021	0.00000					
SalidaK	0.63948	0.65536	-0.0979	-0.4178	-0.2673	-0.0002	0.6438	0.23363	0.74443	0.83462	0.76519	1.00000				
	0.0043	0.0032	0.6993	0.0845	0.2836	0.9993	0.0039	0.3508	0.0004	0.0001	0.0002	0.00000				
EntradaCa	0.79307	0.84171	-0.5733	-0.6001	-0.3372	-0.0862	0.95435	0.20375	0.91601	0.72513	0.85555	0.70688	1.00000			
	0.0001	0.0001	0.0129	0.0085	0.1712	0.7337	0.0001	0.4174	0.0001	0.0007	0.0001	0.0001	0.00000			
SalidaCa	0.23835	-0.0662	-0.1407	-0.398	-0.0909	-0.0734	0.08501	0.866	0.10484	-0.146	0.03266	0.09977	0.0218	1.00000		
	0.3409	0.7942	0.5776	0.1019	0.72	0.7721	0.7373	0.0001	0.6789	0.5632	0.8976	0.6937	0.9316	0.00000		
EntradaMg	0.81295	0.85888	-0.2478	-0.5962	-0.3022	-0.1339	0.90561	0.18471	0.89925	0.65952	0.95948	0.75952	0.86583	0.07649	1.00000	
	0.0001	0.0001	0.3214	0.009	0.2229	0.5963	0.0001	0.4631	0.0001	0.0029	0.0001	0.0003	0.0001	0.7629	0.00000	
SalidaMg	0.33421	0.48018	0.22083	-0.1924	-0.1846	-0.256	0.24216	0.35919	0.31127	0.4146	0.27692	0.62018	0.32514	0.40438	1.00000	
	0.1753	0.0437	0.3786	0.4444	0.4633	0.3051	0.333	0.1432	0.2086	0.0871	0.2659	0.006	0.188	0.096	0.0707	0.00000

Mg = magnesio

K = potasio
Ca = calcio

N = nitrógeno
P = fósforo

Sue = suelo
E = coefic. de escorrentia

Rend = rendimiento
Per = pérdida

F = frijol
M = maiz

Anexo 33 Balance anual de nutrimentos en una rotación frijol-maíz. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. 1994.

Tratamiento	Entradas (kg/ha)				Salidas (kg/ha)				Balance		General								
	Mulch-F	Mulch-M	Resid-F	Resid-M	Precipit	Fertil	Vaina-F	Mazorca-M	Resid-M	Eros-F		Eros-M	Esc-F	Esc-M	Lix-F	Lix-M	Entradas	Salidas	
NITROGENO																			
Testigo	0.00	0.00	25.70	26.31	0.00	0.00	15.90	14.80	11.14	0.36	0.00	0.01	0.00	25.94	50.45	52.0	119.2	-67.2	
CC-4m	23.11	16.60	26.43	20.23	0.00	0.00	18.22	20.23	14.47	0.48	0.21	0.03	0.01	34.00	66.67	86.4	154.3	-67.9	
CC-6m	26.32	10.84	24.71	21.11	0.00	0.00	17.09	19.65	14.06	0.25	0.21	0.05	0.01	26.12	51.45	83.0	128.9	-45.9	
CC-12m	45.38	92.23	28.52	37.15	0.00	0.00	17.94	27.72	17.99	0.59	0.39	0.05	0.01	9.29	18.16	66.1	67.2	-1.4	
STIDE	69.20	63.62	28.65	38.06	0.00	0.00	23.58	24.24	16.80	0.20	0.03	0.03	0.01	23.70	46.16	204.3	133.7	70.6	
Mulch	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.49	3.84	0.05	0.02	32.07	62.36	199.5	159.3	40.2	
S.desnudo																			
FOSFORO																			
Testigo	0.00	0.00	1.61	3.36	1.20	43.66	1.73	3.14	1.25	0.00	0.00	0.01	0.00	0.50	1.0	49.8	7.6	42.2	
CC-4m	1.65	1.06	1.74	2.44	1.20	43.66	1.99	3.91	1.68	0.00	0.00	0.01	0.00	0.40	0.8	51.7	8.8	43.0	
CC-6m	1.78	0.67	1.58	2.40	1.20	43.66	1.69	4.39	1.31	0.00	0.00	0.01	0.00	0.41	0.8	51.3	8.6	42.7	
CC-12m	1.75	0.42	1.57	1.18	1.20	43.66	1.74	2.40	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.8	49.8	6.6	43.2	
STIDE	2.79	4.11	1.92	4.22	1.20	43.66	2.01	5.69	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.9	57.9	10.8	47.1	
Mulch	4.18	3.53	1.94	5.47	1.20	43.66	2.65	4.87	1.69	0.00	0.00	0.01	0.00	0.39	0.8	60.0	10.4	49.6	
S.desnudo																			
POTASIO																			
Testigo	0.00	0.00	10.51	21.72	3.13	0.00	7.02	8.57	11.39	0.01	0.01	0.04	0.02	1.76	3.43	35.4	32.2	3.1	
CC-4m	15.33	6.96	13.34	24.03	3.13	0.00	8.31	9.29	15.79	0.01	0.01	0.08	0.02	3.58	7.00	62.8	44.1	18.7	
CC-6m	16.27	4.21	10.69	18.52	3.13	0.00	7.61	9.93	11.51	0.01	0.00	0.04	0.01	1.36	2.68	52.8	33.2	19.7	
CC-12m	14.59	2.60	15.57	8.87	3.13	0.00	8.75	6.03	8.88	0.01	0.00	0.05	0.01	2.14	4.16	44.8	31.0	13.7	
STIDE	19.12	28.80	12.95	34.40	3.13	0.00	8.24	15.35	13.48	0.00	0.00	0.02	0.01	1.76	3.43	98.4	42.3	56.1	
Mulch	41.34	33.06	17.03	45.54	3.13	0.00	13.11	13.94	16.92	0.01	0.00	0.03	0.01	1.72	3.35	140.1	49.1	91.0	
S.desnudo																			
CALCIO																			
Testigo	0.00	0.00	16.31	11.29	3.13	0.00	3.12	1.05	3.62	0.04	0.05	0.23	0.08	36.55	71.09	30.7	115.8	-85.1	
CC-4m	4.73	5.66	21.05	8.18	3.13	0.00	3.25	0.87	4.97	0.06	0.03	0.34	0.09	44.26	86.75	42.8	140.6	-97.9	
CC-6m	5.09	3.33	18.63	8.33	3.13	0.00	3.80	1.12	5.09	0.01	0.01	0.40	0.05	19.55	38.43	38.5	68.5	-30.0	
CC-12m	4.58	2.19	18.07	2.98	3.13	0.00	3.47	0.48	2.99	0.04	0.02	0.33	0.06	19.46	37.98	31.0	64.8	-33.9	
STIDE	15.68	28.10	24.43	14.38	3.13	0.00	3.58	1.67	5.79	0.00	0.00	0.11	0.05	28.68	55.84	85.7	95.7	-10.0	
Mulch	21.65	9.78	20.83	16.02	3.13	0.00	5.27	1.24	4.74	0.02	0.00	0.18	0.06	40.71	79.17	71.6	131.4	-59.8	
S.desnudo																			
MAGNESIO																			
Testigo	0.00	0.00	1.20	3.61	0.72	0.00	0.98	1.48	1.18	0.00	0.00	0.01	0.00	1.79	3.48	5.5	8.9	-3.4	
CC-4m	1.63	1.17	1.52	2.72	0.72	0.00	1.13	1.81	1.41	0.01	0.00	0.01	0.00	2.32	4.53	7.8	11.2	-3.5	
CC-6m	1.99	0.75	1.62	2.57	0.72	0.00	1.10	1.95	1.43	0.00	0.00	0.01	0.00	1.08	2.14	7.4	7.7	-0.4	
CC-12m	1.62	0.67	1.40	1.40	0.72	0.00	1.26	1.04	1.40	0.00	0.00	0.01	0.00	2.06	4.00	6.4	9.8	-3.4	
STIDE	2.70	4.23	1.54	3.91	0.72	0.00	1.16	2.65	1.54	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28	2.50	13.1	9.1	4.0	
Mulch	4.18	6.20	1.54	5.64	0.72	0.00	1.70	2.08	1.24	0.00	0.00	0.01	0.00	2.01	3.91	18.3	10.9	7.3	
S.desnudo																			
M = maíz																			
F = frijol																			

Mulch = biomasa de pajas y coberturas
Precipit = precipitación

Resid = residuos de cosecha
Eros = erosión

Esc = escorrentia
Lix = lixiviación

Fertil = fertilizante