

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**Evaluación agro-económica del efecto del manejo de la
vegetación previo a la siembra para los sistemas
yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y yuca asociada
con frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**

TESIS SOMETIDA A LA CONSIDERACION DE LA COMISION DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS
DE POSGRADO EN CIENCIAS AGRICOLAS Y RECURSOS NATURALES DEL PROGRAMA
CONJUNTO UCR-CATIE PARA OPTAR AL GRADO DE

Magister Scientiarum

HELIO ALMEIDA BURITY

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA

Turrialba, Costa Rica

1979

1/ *Manihot esculenta*. *Phaseolus vulgaris*. Laboreo y no laboreo.

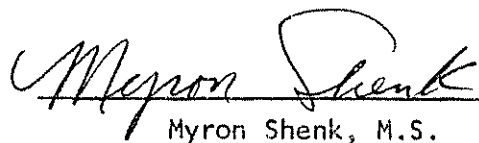
Propiedades químicas y físicas del suelo. Rendimientos. Balance energético.

Rentabilidad, sensibilidad y marginalidad económica.

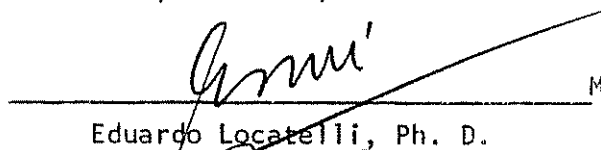
Esta tesis ha sido aceptada en su forma presente por la
Comisión de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto UCR/CATIE
como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

JURADO:




Myron Shenk, M.S. Profesor Consejero




Eduardo Locatelli, Ph. D. Miembro del Comité




Pedro Oñoro, Ph. D. Miembro del Comité




José Fargas, Ph. D. Miembro del Comité



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



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



Hélio Almeida Burity
Candidato

DEDICATORIA

A Verónica, mi esposa,
con amor y cariño, por
su estímulo y comprensión

A Matheus y Sabrina,
mis adorables hijos

A mi madre Alzira y a la
memoria de mi padre
Luiz Gonzaga Burity

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi sincera gratitud:

A mi Profesor Consejero, Dr. Myron Shenk, por brindarme desinteresadamente su amistad, ayuda, orientación, apoyo y crítica constructiva de gran valor.

A los miembros del Comité Consejero Dr. Eduardo Locatelli, Dr. Pedro Oñoro y Dr. José Fargas, por su amistad, enseñanza, valiosas sugerencias y revisión del manuscrito de la presente investigación.

A los compañeros de estudios Ings. Ebenezer Coimbra, Adalberto Martínez, Eduardo Zaffaroni, Amelia Aragón e Inés Briosos por su amistad y estímulo.

A los Dres. Gustavo Enríquez, Marcelino Avila, Luis Navarro por sus consejos, sugerencias y amistad.

Al Dr. Wayne Kussow, International Agricultural Programs, University of Wisconsin, Madison, mi administrador.

A las familias Shenk, Locatelli, Oñoro, Fargas, Enríquez, Coimbra, Martínez, y Zaffaroni por su amistad.

Al Sr. Gustavo López por su ayuda en el procesamiento de los datos y a la Sra. Ligia G. de Jiménez, Flor María Bastos y Leda Celina Avila por su gentileza y eficiencia en el trabajo de mecanografía.

A los Srs. Arnoldo Barrantes, Rigoberto Solano y José Angel Mata Hernández, y todo el personal de "La Montaña" que colaboraron en el mantenimiento del experimento y en la toma de datos.

A la Lic. María José Galrao por sus sugerencias y corrección de la bibliografía.

A la Sra. María Augusta Cardoso Pina mi sincera gratitud y agradecimiento.

Al Dr. Ivonisio Correa da Silva, Dr. Antonio Carlos Sousa Reis, Dr. Mucio de Barros Wanderley, Dr. Paulo Ernany Siqueira y Dr. Luis Bezerra, por el apoyo para la realización de los estudios de posgrado.

A la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária "EMBRAPA", Universidad de Costa Rica y Centro Tropical de Investigación y Enseñanza, cuyo apoyo y confianza hicieron posible la realización de mis estudios de posgrado en el CATIE.

BIOGRAFIA

El autor nació en João Pessoa, Estado de Paraíba, Brasil. Realizó sus estudios primarios y secundarios en el colegio Lins de Vasconcelos de su ciudad natal y los profesionales en la Escola de Agronomía do Nordeste de la Universidade Federal de Paraíba en la ciudad de Areia, graduándose como Ingeniero Agrónomo en diciembre de 1972.

En 1973 trabajó en la Associação Nordestina Crédito y Assistência Rural en Buíque - Pernambuco.

En 1974 trabajó en el Proyecto de Sorgo e Milheto, Instituto de Pesquisa Agropecuaria de Pernambuco en convenio con el Banco do Nordeste do Brasil y Fundación Ford.

En 1975 ingresó en la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria -EMBRAPA- como coordinador del Proyecto Mandioca para el estado de Pernambuco.

En agosto de 1977 ingresó al sistema de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto Universidad de Costa Rica - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica, para graduarse de *Magister Scientiae* en mayo de 1979, con énfasis en Sistemas de Producción.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 Aspectos generales.....	3
2.2 Sistemas de cultivos asociados.....	3
2.2.1 Competencia de los sistemas asociados.....	5
2.3 Asociación yuca + frijol.....	6
2.4 Competencia de malas hierbas con los cultivos.....	9
2.5 Efectos de la práctica de laboreo y no laboreo.....	11
2.5.1 Propiedades físicas del suelo y erosión.....	12
2.5.2 Propiedades químicas del suelo.....	19
2.5.3 Efectos sobre el control de malezas.	24
2.5.4 Efectos sobre los rendimientos de los cultivos.....	26
2.6 Evaluaciones económicas.....	28
3. MATERIALES Y METODOS.....	30
3.1 Descripción del área de experimento.....	30
3.1.1 Localización y uso previo.....	30
3.1.2 Clima.....	30
3.1.3 Suelos.....	31
3.2 Selección de cultivos.....	31
3.3 Densidad, espaciamento, modalidad de siembra y fertilización.....	31
3.4 Diseño experimental	32
3.5 Descripción de los tratamientos.....	33
3.6 Sistemas de cultivos.....	34
3.7 Descripción del glifosato.....	34
3.8 Detalles del experimento.....	35

	Página
3.9 Características químicas y físicas del suelo.....	36
3.10 Recolección de la información por cultivos.	39
3.10a YUCA.....	39
3.10a1 Producción de biomasa total.....	39
3.10a2 Componentes de rendimiento.....	40
- Población de plantas final y número de tallos por planta.....	40
- Biomasa comestible.....	40
- Número de raíces reservantes y comerciablés por planta.....	40
3.10a3 Observaciones sobre facilidad de cosecha.....	41
- Volumen ocupado por las raíces reservantes por planta.....	41
- Área de suelo removida por planta en la cosecha.....	41
- Tiempo de cosecha por parcela....	41
- Número de raíces quebradas por planta y número de raíces que se quedan en el suelo durante la cosecha por planta.....	41
3.10a4 Altura de planta.....	42
3.10a5 Rendimiento total de raíces reservantes.....	42
3.10b FRIJOL.....	42
3.10b1 Rendimiento de granos.....	42
3.10b2 Energía total.....	43
3.10b3 Análisis del crecimiento.....	43
- Biomasa total.....	43
- Altura de planta.....	43
- Área foliar específica.....	43

	Página
3.10b4 Componentes de rendimiento.....	44
- Número de semillas por vaina y número de vainas por planta.....	44
- Población de plantas inicial y final.....	44
3.11 Comparación entre los sistemas.....	44
3.11.1 Biomasa total.....	44
3.11.2 Energía total.....	44
3.11.3 Biomasa comestible.....	45
3.11.4 Índice de eficiencia energética....	45
3.11.5 Índice de energía cosechado.....	45
3.11.6 Índice de eficiencia energética comestible.....	46
3.12 Evaluaciones económicas.....	46
- Análisis de beneficio y costos.....	46
- Análisis de sensibilidad a los ingresos y costos.....	48
- Retornos a los factores de producción (Capital, Mano de Obra, y Tierra).....	48
- Retornos promedio a capital y mano de obra.....	49
- Análisis marginales a capital y mano de obra.....	50
3.13 Producción e infestación de malezas.....	50
4. RESULTADOS.....	51
4.1 Condiciones climáticas.....	51
4.2 Aspectos generales de los cultivos.....	51
4.3 Propiedades químicas y físicas del suelo....	55
4.3.a1 Propiedades químicas del suelo.....	55
4.3.a2 Propiedades físicas del suelo.....	58
4.4 Variables analizadas para la yuca.....	63
4.4.a1 Producción de biomasa total.....	63
4.4.a2 Componentes de rendimiento.....	66

	Página
- Población de plantas final y número de tallos por planta.....	66
- Biomasa comestible.....	67
- Número de raíces reservantes por planta.....	67
- Porcentaje de raíces comerciábiles por parcela.....	67
- Largo y diámetro de las raíces comerciábiles por parcela.....	68
4.4.a3 Observaciones sobre facilidad de cosecha.....	69
- Volumen ocupado por las raíces por planta.....	69
- Área de suelo removida por planta en la cosecha.....	69
- Tiempo de cosecha por parcela.....	69
- Número de raíces quebradas por planta.....	71
- Número de raíces que se quedan en el suelo durante la cosecha por planta.....	71
4.4.a4 Altura de planta.....	72
4.4.a5 Rendimiento total raíces reservantes.....	73
4.4.b Variables analizadas para el frijol.	73
4.4.b1 Rendimiento de granos.....	73
4.4.b2 Energía total.....	76
4.4.b3 Análisis del crecimiento.....	76
- Biomasa total.....	76
- Altura de planta.....	77
- Área foliar específica.....	77
4.4.b4 Componentes de rendimiento.....	77
- Número de semillas por vaina.....	77
- Número de vainas por planta.....	78
- Poblaciones de plantas inicial y final.....	78

	Página
4.5 Comparaciones entre los sistemas.....	79
4.5.1 Biomasa total.....	79
4.5.2 Energía total.....	79
4.5.3 Biomasa comestible.....	81
4.5.4 Índice de eficiencia energética.....	81
4.5.5 Índice de energía cosechada.....	82
4.5.6 Índice de eficiencia energética comestible.....	82
4.6 Producción e infestación de malezas.....	82
- Peso fresco de malezas.....	82
- Conteo de malezas.....	84
4.7 Evaluaciones económicas.....	85
- Análisis de beneficios y costos.....	85
- Análisis de sensibilidad a los ingresos y costos.....	89
- Retribución a los factores de producción (Capital, Mano de Obra y Tierra).....	89
- Retornos promedios a capital y Mano de obra.....	92
- Análisis marginales a capital y mano de obra.....	94
5. DISCUSION.....	96
5.1 Propiedades químicas del suelo.....	96
5.2 Propiedades físicas del suelo.....	97
5.3 Variables analizadas para yuca.....	98
5.4 Observaciones sobre facilidad de cosecha....	102
5.5 Variables analizadas para el frijol.....	103
5.6 Comparaciones entre los sistemas.....	104
5.7 Producción e infestación de malezas.....	106
5.8 Evaluaciones económicas.....	107
6. CONCLUSIONES.....	111
7. LITERATURA CITADA.....	114
8. APENDICE.....	123

RESUMEN

EVALUACION AGRO-ECONOMICA DEL EFECTO DEL MANEJO DE LA VEGETACION
PREVIO A LA SIEMBRA PARA LOS SISTEMAS YUCA (*Manihot esculenta* Crantz)
Y YUCA ASOCIADA CON FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)

El objetivo de este trabajo fue evaluar los diferentes manejos de la vegetación previo a la siembra, tanto desde el punto de vista agronómico como económico.

Se estudiaron cinco sistemas de manejo de la vegetación, tres con laboreo mecánico y dos no mecánico, y dos sistemas de cultivos - yuca en monocultivo y yuca asociada con frijol. Las diferentes maneras de preparación del suelo fueron: 1) una arada y dos rastreadas; 2) una arada, dos rastreadas y posterior aplicación de herbicida; 3) una arada, dos rastreadas y posterior desyerbe manual; 4) roza a ras del suelo más herbicida; 5) roza a altura aproximada de 50 cm más herbicida.

Los rendimientos de yuca asociada y en monocultivo fueron superiores en los tratamientos de laboreo convencional en comparación con los manejos de no laboreo. Los rendimientos de la yuca en monocultivo fueron significativamente superiores al obtenido en el sistema asociado. La producción del frijol fue superior para el sistema de no laboreo. La porosidad total fue incrementada en todos los manejos de la vegetación; sin embargo, para los manejos de no laboreo hubo un incremento en los espacios porosos capilares, caso contrario se encontró para el laboreo convencional del suelo.

Las propiedades químicas modificadas en mayor grado por los manejos para la siembra fueron: el porcentaje de nitrógeno, materia orgánica y la disponibilidad de fósforo que tuvieron aumentos superiores bajo las parcelas con no laboreo, en relación al laboreo mecanizado. El incremento de la reacción del suelo pH fue superior en las parcelas con laboreo tradicional, comparados con los manejos de no laboreo.

Los datos económicos mostraron que los manejos M5, arado con desyerbe, y M2, chapia a 50 cm más herbicida, maximizaron Ingreso Neto e Ingreso Neto Familiar y son menos sensibles a los cambios en ingresos y aumentos de los costos de producción con el sistema yuca en monocultivo. En relación a factores de producción todos los manejos dieron una retribución mayor al costo oportunidad excepto el manejo M3, arado sin control, pero los manejos M2 y M5 fueron las mejores alternativas en retribución al capital efectivo, mano de obra y al factor tierra.

El análisis marginal a capital y mano de obra indica que la mejor opción es el sistema yuca en monocultivo con el manejo M2, puesto que se presenta la mayor tasa marginal de retorno.

SUMMARY

AGRO ECONOMIC EVALUATION OF THE EFFECT OF VEGETATION MANAGEMENT SYSTEMS PRIOR TO PLANTING ON CASSAVA (*Manihot esculenta* Crantz) AND CASSAVA INTERCROPPED WITH BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.)

The objective of this research was to evaluate different vegetation management systems prior to planting, from both an agronomic and economic point of view. The vegetation management systems (soil preparation systems) were: 1) Conventional tillage without additional weed control; 2) conventional tillage plus a herbicide; 3) conventional tillage plus hand weeding; 4) application of herbicide to regrowth 15 days after the vegetation had been cut at ground level; 5) herbicide on regrowth 15 days after vegetation had been cut at 50 cm height.

Cassava yields in both the monocrop and intercropped systems were greater with conventional soil preparation. Also, cassava yields were significantly greater in monocrop than when intercropped. Bean yields were greater with the no tillage management systems.

Total soil porosity increased with all vegetation management systems. However, only with the zero tillage systems was there an increase in capillary pore space, in contrast to the conventional tillage systems which showed a decrease in this factor.

Chemical properties of the soil showing the greatest changes were: organic matter, percent nitrogen and available phosphorus, which all showed greater increases under zero tillage than under conventional

tillage. Soil acidity was less (higher pH) in the conventionally tilled plots.

Net Income and Net Family Income were greater with managements M5, conventional tillage plus hand weeding, and M2, herbicide on regrowth 15 days after vegetation had been cut at 50 cm height, and were less sensitive to changes in income or to increases in costs with monocrop cassava. Return to production factors exceeded opportunity costs for all vegetation managements except M3, conventional tillage without additional weed control. Management systems M2, herbicide on regrowth 15 days after vegetation had been cut at 50 cm height, and M5, conventional tillage plus hand weeding, presented the highest returns to land, labor and cash costs.

Marginal return to labor and capital show that the best alternative is cassava in monoculture with management M5, herbicide on regrowth 15 days after vegetation had been cut at 50 cm height.

LISTA DE CUADROS

	Página	
TEXTO		
Cuadro No.		
1.	Promedio de aumento o disminución de porcentaje de nitrógeno, carbono, materia orgánica, pH, disponibilidad de fósforo, potasio, acidez extraíble, calcio, magnesio y elementos menores entre los resultados iniciales y finales del experimento con prueba DHS.....	56
2.	Promedio de aumento o disminución de densidad aparente, porosidad total, espacio poroso capilar y no capilar entre los resultados iniciales y finales del experimento, y prueba DHS.....	60
3	Promedio de porcentaje de humedad gravimétrica en dos muestreos para cinco manejos de la vegetación y prueba DHS.....	61
4.	Promedio de esfuerzo de penetración en bares para los manejos de la vegetación y prueba DHS.....	63
5.	Promedios de producción de biomasa de yuca, población de plantas, números de tallos, biomasa comestible, número de raíces reservantes, porcentaje de raíces comerciables, largo y diámetro de las raíces comerciables, volumen ocupado y área del suelo removida para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación con prueba DHS.....	64
6.	Promedio de tiempo de cosecha, número de raíces quebradas, número de raíces que quedan en el suelo y altura de plantas para dos sistemas de cultivo y cinco manejos de la vegetación con prueba DHS.....	70

Cuadro No.

7.	Promedio de rendimiento de granos, energía total, análisis de crecimiento y componentes del rendimiento para cinco manejos de la vegetación con prueba DMS.....	74
8.	Promedio de producción de biomasa, energía total, biomasa comestible, índices de eficiencia energética, de energía cosechada y eficiencia energética comestible para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación y prueba DMS.....	80
9.	Promedios de peso fresco de maleza, conteo de maleza a los 30, 90, y 350 días después de la siembra, para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación y prueba DMS.....	83
10.	Análisis económico para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación...	87
11.	Análisis de sensibilidad para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación.....	90
12.	Retribuciones a los factores de producción para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación.....	91
13.	Retornos promedios a capital y mano de obra para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación.....	93
14.	Análisis marginal a capital y mano de obra para dos sistemas de cultivos y manejos de la vegetación promisoros.....	95
APENDICE.....		123
1A.	Datos climáticos mensuales correspondientes al año que se realizó el experimento. Período experimental de diciembre 15, 1977 a diciembre 14, 1978.....	124

	Página
Cuadro No.	
2A. Cuadrados medios, significancia y coeficiente de variación para las diferencias entre los resultados iniciales y finales de las propiedades químicas del suelo.....	125
3A. Cuadrados medios, su significancia y coeficiente de variación para las propiedades físicas del suelo.....	126
4A. Cuadrados medios, significancia y coeficiente de variación para resistencia a penetración y porcentaje de humedad gravimétrica del suelo.....	127
5A. Cuadrados medios, significancia y coeficiente de variación para biomasa, población de plantas, número de tallos, raíces reservantes, porcentaje de raíces comerciábiles, largo y diámetro de las raíces, volumen ocupado y área removida para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación.....	128
6A. Cuadrados medios, significancia y coeficiente de variación para tiempo de cosecha, número de raíces quebradas, rendimiento total de raíces y altura de planta para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación.....	129
7A. Cuadrados medios, significancia y coeficiente de variación del rendimiento de frijol, energía total, análisis de crecimiento y componentes del rendimiento para cinco manejos de la vegetación.....	130
8A. Cuadrados medios, significancia y coeficiente de variación para la producción de biomasa total, energía, índice de eficiencia energética, índice de energía cosechada e índice de eficiencia energética comestible para los dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación.....	131

Cuadro No.

9A.	Cuadrados medios, significancia y coeficiente de variación para peso fresco, conteo total de gramíneas y hoja ancha para dos sistemas de cultivo y cinco manejos de la vegetación.....	132
10A.	Costos variables, costos fijos, costos en efectivo, costo de producción, número de jornales por hectárea para dos sistemas de cultivo y cinco manejos de la vegetación.....	133
11A.	Coefficientes técnicos para las distintas labores.....	135
12A.	Estandar provisional para categorías y límites.....	136
13A.	Características químicas iniciales y finales del suelo de 0 - 20 cm de profundidad, datos promedio de 4 repeticiones.....	137
14A.	Características físicas iniciales y finales del suelo de 0 - 20 cm de profundidad, datos promedio de 4 repeticiones.....	140

LISTA DE FIGURAS

Página

TEXTO

1. Precipitación total mensual y radiación total mensual ocurrida durante el período experimental y promedios de los últimos 13 y 14 años, respectivamente..... 52
2. Temperatura máxima, media y mínima, promedios mensuales ocurridos durante el período experimental y promedios de los últimos 20 años..... 53
3. Porcentaje de humedad relativa, promedios mensuales ocurridos durante el período experimental y promedio de los últimos 20 años..... 54
4. Porcentaje de humedad gravimétrica en dos muestreos para cinco manejos de la vegetación..... 62
5. Biomasa total y biomasa comestible (ton/ha) para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación..... 65
6. Rendimiento total de yuca y frijol (ton/ha) para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación..... 75
7. Ingreso neto y costo de producción para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación..... 88

APENDICE

- 1A. Ubicación del experimento en el área del Programa de Bovinos y Especies Menores del CATIE..... 141

1. INTRODUCCION

La producción de alimentos en los trópicos es ineficiente, debido a que la mayoría de las áreas agrícolas presentan condiciones desfavorables, tales como: a) terreno con fuertes pendientes y muy erosionables; b) limitado acceso a insumos o insuficiente información para manejarlos eficientemente cuando son accesibles; c) mecanización inadecuada o no aplicable debido a excesiva humedad; d) ineficientes métodos para el control de malezas; e) poblaciones y espectros de malezas variable y f) escasez de mano de obra (66).

Las condiciones mencionadas y las evidencias del desbalance entre crecimiento demográfico y la producción de alimentos, determinan la necesidad de realizar investigaciones agrícolas para incrementar los rendimientos, mejorar la calidad de la cosecha y reducir los costos de producción. Para esto es necesario definir los factores más limitantes de la producción.

Experiencias en el campo han demostrado que los estragos causados por las malezas son de igual magnitud o mayores que los ocasionados por insectos y enfermedades y en los trópicos los cultivos pueden llegar a perderse en su totalidad si las malezas no se controlan. Con los métodos integrados de control de malezas se pueden obtener aumentos hasta 20% en rendimiento sobre los métodos convencionales de deshierbas; esto se debe generalmente a que las deshierbas no son oportunas, realizándolas cuando las malezas ya han causado fuerte interferencia en el cultivo (36).

Por otra parte, las labores que consumen más energía son el control de malezas y la preparación del suelo para la siembra.

El control de malezas y la preparación del suelo para la siembra son factores que aumentan significativamente los costos de producción, los cuales, asociados a las condiciones de los agricultores tradicionales, que producen aproximadamente el 70% de la producción de alimentos en el área tropical (12), condujeron a la realización de un experimento en el cual se estudiaron cinco diferentes manejos de vegetación previos a la siembra en dos sistemas de producción, con la finalidad de:

1. Determinar o proporcionar alternativas de manejo de vegetación previo a la siembra y evaluar su influencia sobre:

- Rendimientos de los cultivos
- Factores que influyen en la producción
- Características físicas y químicas del suelo
- Infestación de malezas

2. Comparar económicamente las distintas alternativas en relación a:

- Retribución a algunos factores que pueden ser limitantes
- Análisis de sensibilidad
- Análisis marginal

3. Comparar las alternativas desde el punto de vista energético en relación a:

- Índice de energía cosechada
- Eficiencia energética
- Eficiencia energética comestible

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Aspectos Generales

La yuca, *Manihot esculenta* Crantz, constituye el cultivo de subsistencia más importante para aproximadamente 300 millones de personas de bajos ingresos en los trópicos (110). Es también considerable y creciente su importancia como fuente de alimentos para los animales. Además, sus raíces tienen numerosos usos industriales y algunos de sus productos presentan buenas perspectivas en el mercado internacional (97). El cultivo de la yuca se ha incrementado considerablemente debido al aumento de la población, escasez de otras fuentes energéticas y su alta producción potencial de carbohidratos por unidad de superficie (67).

El frijol común, *Phaseolus vulgaris* L., y otras leguminosas comestibles representan la única fuente de proteína no elaborada almacenable, transportable y de alta concentración, tanto para la población rural como para la urbana (37). La importancia del frijol común en América Latina radica en el hecho de que es un componente mayoritario de la dieta humana, constituyendo además una de las fuentes de proteína más importantes en las regiones tropicales del continente. Aunque en América Latina se cultivan otras leguminosas de grano para consumo directo, el frijol común es el de mayor importancia por el volumen de su producción (37).

2.2 Sistemas de Cultivos Asociados

Los agricultores del trópico han practicado sistemas de cultivos asociados durante siglos; sin embargo, no se les ha dado la debida

importancia en la investigación agrícola y sólo recientemente han comenzado a ser investigados en forma científica. En los sistemas de cultivos asociados se agrega otra dimensión a la investigación agrícola tradicional, o sea, el arreglo espacial y cronológico de los cultivos para lograr la utilización más eficiente de los recursos físicos (21). Sin duda estos sistemas se convertirán en la forma futura de la agricultura, para satisfacer la demanda creciente de alimentos (102).

Según Thung (102), el sistema de cultivos asociados para la producción de alimentos es ampliamente utilizado por agricultores con diversos niveles de tecnología agrícola. Los agricultores de bajos recursos administran sus fincas de tal manera que obtienen producciones relativamente estables, que a pesar de ser bajas cubren sus necesidades de subsistencia.

Bazán y colaboradores (11) señalan que el objetivo de la investigación en sistemas de cultivos, debe ser comparar la eficiencia de producción en los sistemas tradicionales con estos mismos sistemas modificados y desarrollar nuevos sistemas de cultivos que permitan mejorar los aspectos socio-económicos del productor.

Otros investigadores indican que en los sistemas de cultivos múltiples se obtienen rendimientos menores por especie, en comparación al monocultivo de las mismas; sin embargo, el ingreso neto por unidad de superficie y la eficiencia en el uso de la tierra son superiores (65).

En Nigeria (51), los investigadores en sistemas de policultivos asociaron granos básicos con hortalizas, logrando así incrementar la producción de hortalizas y consecuentemente mejorar la dieta del agricultor.

2.2.1 Competencia en los sistemas asociados

Las plantas requieren de diversos factores para el crecimiento: luz, agua, nutrimentos y dióxido de carbono. En los cultivos sembrados aislados se presenta competencia entre las plantas por los recursos. En sistemas de cultivos asociados la competencia se presenta más temprano que en el sistema de monocultivo (102).

Luz y CO₂

En el trópico hay abundante disponibilidad de energía solar, pero ésta puede ser un factor crítico en el sistema de cultivos asociados. Cuando las coberturas de los componentes del sistema se encuentran a la misma altura, la competencia por luz se puede presentar muy temprano. Se considera que las especies que tienen mayor potencial para ser cultivadas en sistemas asociados son las que presentan diferentes alturas de cobertura foliar (102).

Toala (103) concluye que en los sistemas de cultivos asociados la luz es uno de los factores por los que compiten las plantas. De acuerdo con la naturaleza y altura de los cultivos se disminuye la disponibilidad de luz entre las hileras; sin embargo, hay una mejor utilización de la radiación solar, debido al hecho de tener varios estratos de follajes.

La competencia por CO₂ entre los componentes del sistema juega un papel de poca importancia en un cultivo abierto, aunque es teóricamente posible que esto ocurra (102).

Agua y Nutrimientos

Cuando los cultivos se encuentran en estado de plántula, las raíces están bastante distanciadas, pero en poco tiempo esto se cambia. El área superficial del sistema radical puede ser más que 100 veces la de la parte aérea. Luego el fenómeno de competencia entre las raíces se presenta antes que la competencia entre las partes aéreas de las plantas. Por lo tanto, es muy importante tener conocimiento de los sistemas radicales de los componentes del sistema de cultivos asociados (102).

Según Flor y Francis, citados por Jaldin (53), una de las ventajas de los sistemas asociados es el mejor aprovechamiento de nutrientes del suelo.

Por otra parte, Jiménez Lacharme (54) concluye que la absorción de nutrientes fue mayor para frijol en monocultivo que en asocio, al contrario del maíz, que incrementa la absorción, principalmente al asociarse con yuca.

2.3 Asociación Yuca + Frijol

La yuca es productora eficiente de almidón, pero tiene un contenido de proteínas y vitaminas relativamente bajo. Para balancear la dieta humana en una región donde el consumo de yuca es alto, la mejor alternativa de cultivo asociado es yuca + frijol.

Las hojas frescas de la yuca presentan porcentajes deficientes en dos aminoácidos esenciales -Methionina y Triptofano. Sin embargo, los otros aminoácidos aparecen en porcentajes que exceden a los requerimientos mínimos de la FAO. Las hojas y tallos son buenas fuentes de vitamina A y ácido ascórbico (104).

Mahendronathan (69) reporta que en una área del Congo, cuya producción promedio de maíz es 1,5 ton/ha, se obtuvo normalmente 25 ton/ha de raíces netas de yuca, o sea, que produjo cerca de cuatro veces la cantidad de energía que el maíz.

Según Thung (102), para comprender la interacción del sistema yuca + frijol, se debe observar:

1. Época relativa de siembra.
2. Óptima combinación de densidades de población de los dos cultivos.
3. Influencia del genotipo en el sistema asociado.
4. Competencia por luz versus competencia por nutrimentos.

Viegas (108) reporta que varios cultivos investigados en São Paulo, Brasil, en asociación con la yuca, se comportan bien; entre éstos se encuentran: *Arachis hypogaea* L., *Pisum sativum* L., *Ipomoea batatas* L., *Cucurbita pepo* L., *Zea mays* L., y *Phaseolus vulgaris* L. Sin embargo, son más aconsejables las leguminosas.

En experimentos realizados en CATIE asociando yuca con frijol y maíz, con siembra simultánea de los cultivos, se encontró que los cultivos solos producen rendimientos mayores que en las asociaciones y el maíz aparece como el cultivo que ejerce mayor grado de competencia, hecho que se manifiesta por la disminución en rendimiento de los cultivos que lo acompañan en el sistema y que aproximadamente es de 25% para frijol y de 61% para yuca (24).

Los rendimientos de frijol son afectados significativamente cuando se asocia con maíz, pero cuando se asocia con yuca los rendimientos no disminuyen significativamente (26).

En Turrialba (24 y 25), se reporta trabajos de frijol asociado con maíz y frijol asociado con yuca, en que los rendimientos y la biomasa en monocultivo fueron superiores a los obtenidos por los mismos cultivos en asociaciones. Para las asociaciones, las diferencias en ambas características cambian conforme aumenta la diferencia en el ciclo vegetativo de los componentes; son menores en el sistema yuca + frijol que en el maíz + frijol. Es lógico que esto ocurra, puesto que el grado de competencia en absorción de nutrimento es más intenso que en la asociación de cultivos con ciclos muy diferentes, como yuca y frijol.

Thung (102) recomienda sembrar la yuca y el frijol en camellones o camas, debido a que ambos cultivos no toleran excesos de agua. La recirculación de los nutrimentos presentes en los residuos de frijol puede mejorar el balance de nitrógeno en los suelos.

El CIAT (30) reporta que al intercalar la yuca con frijol reduce los rendimientos de ambos cultivos, pero su asociación puede ser eficiente en reducir las malezas, enfermedades e insectos, y en consecuencia, aumentar los ingresos de los agricultores.

Toala (103) trabajando en Costa Rica con asociación yuca + frijol, encontró que el frijol asociado tuvo disminución del rendimiento en 45% y 80% para período seco y lluvioso, respectivamente.

Varios factores afectan la producción de yuca como: enfermedades, bajo nivel de fósforo, alto pH, insectos, cultivos asociados, exceso de lluvia y textura pesada del suelo. El CIAT (31) reporta pérdidas de rendimiento de 590 kg de raíces en un rendimiento promedio de 6,2 ton/ha de raíces, cuando la yuca es sembrada en asociación.

Santos (95) encontró que la yuca sin asociar da rendimientos de raíces totales superiores a la yuca asociada; sin embargo, la producción de raíces comerciales es igual para el sistema de monocultivo y asociada con maíz.

Gallegos (42) trabajando con sistemas de cultivos que incluyen yuca, en Costa Rica, encontró que los rendimientos promedios (kg/ha) de la yuca en monocultivo fue 1,79 veces superior al obtenido por la yuca asociada con camote; 2,29 veces superior al obtenido por la yuca asociada con maíz; 1,45 veces superior al obtenido por la yuca asociada con frijol y 2,65 veces a los rendimientos de la yuca asociada con maíz, frijol y camote.

González (44), trabajando sobre la influencia de la asociación yuca con frijol común y con frijol de costa, encontró que el frijol de costa mostró efecto competitivo, pero no hubo efecto del frijol común.

2.4 Competencia de Malas Hierbas con los Cultivos

Doll (36) publicó que en los trópicos es raro el cultivo que no se pierde en su totalidad si las malezas no se controlan, y con los métodos integrados de control se pueden obtener aumentos del 20% en rendimiento sobre métodos convencionales de deshierbas mecánicas y manuales. Esto se debe a que generalmente las deshierbas no son oportunas y se realizan cuando las malezas ya han causado fuerte competencia con el cultivo.

Ashby y Pfeiffer (5) hicieron un estudio comparando el efecto del control de malezas sobre el rendimiento en los trópicos y zonas

templadas, y concluyeron que en las zonas templadas se consigue un 25% más de rendimiento cuando se controlan las malas hierbas, pero en los trópicos este aumento en el rendimiento del cultivo está en un orden de 100% o más cuando se realiza el control de malezas con métodos apropiados. Esto se debe a que en los trópicos las malezas son uno de los factores que limitan más los rendimientos y son por consiguiente las que más contribuyen junto con la preparación del suelo, para el aumento de los costos de producción (25, 31, 66).

Otros investigadores (48) indican que la alta densidad de cultivos así como tipos de plantas que tengan cobertura del follaje eficiente en el sombreamiento de malezas, incrementan la eficiencia de los métodos de control químicos o mecánicos.

Ensayos realizados en CIAT (29) demostraron que cuanto mayor sea la población de plantas, menor será el grado de control de malezas necesario y también que, cuando el control de malezas se hace en forma intensa, es posible sembrar el campo con densidades menores de plantas.

Soria *et al.* (98) utilizaron varios arreglos espaciales y cronológicos de monocultivos, asociaciones y rotaciones, usando los cultivos de frijol, arroz, maíz, yuca y camote, y determinaron que las asociaciones son más eficientes en reducir la producción de malas hierbas que los cultivos en monocultivo o en rotaciones.

Para obtener el máximo rendimiento es necesario mantener los cultivos de yuca y frijol libres de malezas hasta que se forme una cobertura foliar cerrada. La yuca en monocultivo requiere de 90 a 120 días para que su follaje cubra el suelo. La asociación del frijol entre las hileras de yuca permite la cobertura del suelo en forma más rápida

y, en consecuencia, aumenta la habilidad de los cultivos para competir con las malezas e interceptar mejor la luz.

El control manual de las malezas es muy difícil de lograr en el sistema de cultivo asociado, pero se puede utilizar herbicidas antes de la siembra; es decir, se requiere pre-emergente durante el período de germinación (102).

Con base en los experimentos realizados en el CIAT, se determinó que la mezcla de linuron + fluorodifen fue muy efectiva para el combate de malezas en la asociación de yuca con frijol en suelos de textura arcillosa. Para suelos más livianos se recomienda trifluralina (102).

2.5 Efectos de la Práctica de Laboreo y no Laboreo

Durante siglos, el arado ha sido la herramienta básica de la agricultura, que roturaba y volteaba el suelo en varias operaciones que se conocen como labranza. Sin embargo, en una amplia y creciente área de tierra agrícola, el arado empieza a ser desplazado por un sistema que no involucra la labranza o que reduce grandemente las necesidades de la misma; la siembra para la nueva cosecha es simplemente realizada en el suelo que permanece cubierto con los residuos de la cosecha anterior. El control de las malezas, objetivo primario de la labranza, se asegura principalmente mediante la aplicación de herbicidas y por el hecho de que el cultivo antiguo actúa como recubrimiento que ahoga el crecimiento de las plantas no deseadas. Las principales ventajas de los nuevos métodos estriban en que reducen el costo de producción, reducen la erosión del suelo por el viento y el agua, conserva la humedad del suelo, reduce la temperatura del suelo (63).

Spain (100) afirma que la labranza mínima en suelos tropicales, además de las ventajas reportadas por Larson (63), aumenta las tierras aptas para cultivos, reduce la maquinaria requerida, aumenta el rendimiento del hombre y permite una intensificación de cultivos.

El IITA (52) indica que la técnica de no laboreo es superior al laboreo convencional debido a las siguientes ventajas económicas:

- elimina los costos para trabajos de conservación y mantenimiento del suelo.
- no disminuye la producción del suelo debido a la conservación de la estructura del suelo.
- favorece la ejecución de las operaciones para la siembra más temprano.
- permite economía de combustible.
- minimiza la erosión del suelo.
- mejora el nivel de materia orgánica.
- reduce los daños del suelo por compactación.
- incrementa la retención de agua y reduce la escorrentía.

Según Triplett y Van Doren (106), dentro de pocos años muchas de las tierras cultivables de los países desarrollados se plantarán sin la utilización del arado, y en la mayoría de los casos sembrando sin labranza; en esas condiciones el control de las malas hierbas con herbicida puede ahorrar trabajo, energía, agua y suelo (74).

2.5.1 Propiedades físicas del suelo y erosión

En Nigeria se ha probado que la aplicación de herbicidas, sustituyendo el laboreo convencional en cultivos tradicionales, disminuyó

considerablemente el peligro de exponer el suelo a una erosión severa (3).

Las pérdidas del suelo por erosión y escorrentía son insignificantes con el sistema de no laboreo; sin embargo, en suelos con laboreo son altamente significativas. El mayor contenido de humedad y la temperatura más estable del suelo, son más favorables a los cultivos con el sistema de no laboreo que con el sistema convencional de laboreo del suelo (59).

Según Lal (58), la práctica de no laboreo tiene la ventaja de conservar más la materia orgánica y controlar mejor la erosión que aquéllos sometidos a labranzas convencionales. Como también la no labranza disminuye la temperatura máxima, favorece la humedad del suelo y como resultado estimula la actividad de los microorganismos del suelo.

En trabajos realizados en Brasil, además de las ventajas de disminuir la erosión del suelo e incorporar gradualmente al suelo materia orgánica, el no laboreo permite una mayor infiltración de agua a medida que se reduce la velocidad de escurrimiento (87).

Phillips y Young (85) reportan que la técnica de no laboreo conserva la humedad por mayor absorción y reduciendo la evaporación. En 1967, durante la estación de crecimiento, la humedad del suelo con no laboreo fue superior en 19% a las áreas con laboreo convencional. En 1968, la humedad del suelo fue superior en 5 a 13% en relación a laboreo convencional.

Bennet (14) indica que la temperatura disminuye bajo los residuos de cultivos, reduciéndose la evaporación y la escorrentía en las parcelas de no laboreo; de ello resulta un significativo aumento de humedad disponible para el crecimiento de los cultivos.

Blevins *et al.* (16), trabajando con la influencia de no laboreo sobre el contenido de humedad del suelo, concluyen que el sistema de no laboreo presentó contenido de humedad superior hasta la profundidad de 60 cm durante la estación de crecimiento. En una profundidad de 0 - 8 cm la diferencia promedio fue de 10 a 15% del contenido de humedad en el suelo.

Trabajos realizados en suelo arcillo-arenoso durante tres años, comparando el contenido de humedad del suelo, en parcelas con laboreo tradicional y no laboreo con diferente porcentaje de cobertura de residuos vegetales (5, 45 y 70%), se encontró que a medida que aumenta el porcentaje de cobertura aumenta el contenido de humedad del suelo (105).

Jones *et al.* (55) encontró, en seis años de trabajo en suelo arcillo-arenoso, que el porcentaje de humedad en el suelo durante la estación de crecimiento de maíz fue superior con la práctica de no laboreo, debido a la vegetación muerta, menor evaporación y escurrimiento del agua.

Lal (61) encontró que en los tratamientos con no laboreo del suelo la temperatura bajo los residuos vegetales fue menor en 3°C, que la de las parcelas de laboreo tradicional y el incremento de contenido de humedad en las parcelas de no laboreo fue equivalente a 12,2, 7,2 y 8,2% durante los años 1970, 1971 y 1972, respectivamente.

Algunos autores (71), indican que la práctica de mínima labranza favorece la agregación al suelo del contenido de materia orgánica y así aumenta la porosidad. En esta forma la mínima labranza ayuda al manejo de agua, al control de erosión y la temperatura del suelo (58 y 87), pero otros autores (83) señalan que la no labranza en suelos

aluviales vuelve el suelo más denso o reduce la porosidad total, cambia radicalmente la distribución del espacio poroso y aumenta la resistencia del suelo a la penetración de raíces.

Lal (56) encontró que la densidad aparente en las parcelas no labradas era mayor que en las parcelas labradas recientemente; sin embargo, en poco tiempo estos valores se aproximaban.

Hardy (47) concluye que en general para suelos agrícolas, puede aceptarse provisionalmente un valor crítico de densidad aparente de 1,5 g/ml como valor límite de densidad para una fácil penetración de las raíces.

Cohron (33) indica que las causas externas de compactación del suelo sobre el límite suelo-atmósfera son ocasionadas por el tráfico humano o de ganado, laboreo de las tierras, e impacto de las gotas de agua de lluvia.

La utilización de maquinaria e implementos agrícolas de manera continua degrada el suelo, ya sea destruyendo su estructura básica o aumentando la compactación que impide la infiltración del agua (87).

La compactación del suelo es producida por la manipulación primaria de las partículas y agregados del suelo, debido a tracción de los implementos agrícolas; el laboreo y tráfico de vehículos son considerados como la mayor causa de la compactación (91).

Rosenberg (91) encontró una reducción de 50% en los rendimientos de remolacha azucarera en suelo donde el espacio poroso capilar fue reducido en 2% y un aumento lineal de rendimiento con aumento del espacio poroso capilar.

Smith y Cook, citados por Rosenberg (91), realizaron trabajos en invernaderos con tratamientos de aeración forzada, compactación y

exceso de humedad; encontraron que la compactación redujo en mayor grado los rendimientos de remolacha, mientras que el exceso de humedad los redujo en menor escala que la compactación y la aeración disminuyó los efectos negativos de la compactación.

Richards *et al.* (89) reportaron, en experimentos en suelo arano-arcilloso con dos niveles de compactación, 1,43 g/ml y 1,59 g/ml, que con el incremento de la compactación la capacidad de retención de agua del suelo cambió poco. No obstante, el efecto adverso de la alta densidad aparente fue minimizado por las condiciones beneficiosas de humedad y no hubo diferencia en crecimiento de plantas debido a diferente compactación.

Otros investigadores (17) encontraron, después de cinco años de continuos trabajos con maíz, que la densidad aparente en las parcelas de no laboreo no fue diferente estadísticamente en comparación con las parcelas de laboreo convencional, en suelos arcillo-humoso aluvial.

Melville y Rabb (73) realizaron investigaciones con soya asociada con trigo o asociada con centeno por dos años, en suelos arenosos aluviales; encontraron serios problemas de compactación con el no laboreo del suelo durante los dos años de trabajo.

Macartney *et al.* (68) realizaron investigaciones en Tanzania Central, en suelo arcillo-humoso con diferentes técnicas de laboreo del suelo para la producción de maíz; encontraron que los diferentes laboreos mecánicos del suelo reducen la densidad aparente en iguales magnitudes que en áreas contiguas sin labranza del suelo.

Mallick y Nagarajarao (70) realizaron investigaciones con suelo arano-arcilloso con maíz, empleando diversas técnicas de laboreo mecánico a diferente profundidad; encontraron que hubo una reducción

de la densidad aparente después del laboreo; sin embargo, en condiciones de fuertes lluvias volvieron a tener los valores iniciales.

Ouwerkerk (82) encontró en suelo arcilloso que el laboreo del suelo con tracción animal fue más eficiente en comparación con laboreo de tracción mecánica, en relación a porcentaje de volumen de espacio poroso. Los resultados muestran que hubo una diferencia en favor del laboreo de tracción animal de 1,5% en 1958 y 1,5 a 2,5% en 1961.

Boone *et al.* (19) afirman que en suelo arcilloso el no laboreo del suelo disminuye el volumen de espacio poroso, especialmente en las áreas que antiguamente fueron labradas mecánicamente. Como consecuencia del bajo volumen poroso, el contenido de aire decrece y aumenta el porcentaje del contenido de agua, el cual ocupa un alto volumen poroso, que posiblemente está correlacionado con un suelo muy compactado.

Pidgeon y Soane (86) efectuaron estudios durante siete años con un cultivo de cebada en suelos de textura areno-arcillosa y arcillosa. Se encontraron una mayor densidad aparente en los tratamientos de no laboreo, en comparación con laboreo convencional del suelo y, consecuentemente, una mayor compactación relativa. El aire en espacio poroso fue reducido en la profundidad de 0 - 15 cm, comparado con el laboreo convencional. Con la porosidad total reducida, con la disminución de volumen de aire y el incremento de contenido de humedad, hubo el riesgo de tener condiciones anaeróbicas bajo el no laboreo del suelo durante el período húmedo de crecimiento de las plantas.

Boone y Kuipers (18) afirman que el laboreo influencia el espacio poroso y la homogeneidad de la estructura del suelo. Esta práctica aumenta la aeración y produce una estructura superficialmente

Heterogénea, de modo que el crecimiento de las raíces no es impedido o perjudicado.

Lal (60) encontró que, debido a la alta actividad biológica y a la ausencia de formación de costra en la superficie del suelo, la densidad aparente en los primeros 10 cm de profundidad fue, generalmente, menor para las parcelas de no laboreo, en suelo con textura arenosa.

Burwell, Allmaras y Sloneker (23) realizaron estudios en suelo arcillo-margoso simulando una escorrentía de 5 pulgadas por hora, con tratamientos de diferentes laboreos mecánicos y no laboreo del suelo. El espacio poroso antes del laboreo era equivalente. Sin embargo, después del laboreo hubo un aumento del espacio poroso para los tratamientos con laboreo. Después de la escorrentía simulada el espacio poroso de las parcelas de no laboreo no fue afectado, mientras que, para las parcelas con laboreo, hubo una disminución del espacio poroso.

Tafur (101) trabajando en suelo de origen aluvial, con textura arcillosa, determinó que hubo diferencia significativa para la resistencia a penetración entre tratamientos de laboreo y no laboreo del suelo. El suelo con laboreo presentó mayor resistencia a penetración; además, exhibió un incremento de 6,4 a 17,4 bares durante las estimaciones.

Ouwarkerk y Boone (83) por el contrario, encontraron que la resistencia a penetración en la superficie de las parcelas con no laboreo fue mayor en relación a las parcelas con labranza tradicional. El comportamiento fue similar a 10 - 20 cm de profundidad. Los mismos autores observaron que cuanto menor es el porcentaje de espacio poroso mayor será la resistencia a la penetración y mayor la influencia del

contenido de humedad sobre la resistencia a penetración.

Jones, Moody y Lillard (56), trabajando en suelo arcillolimoso de aluvión utilizando labranza convencional, con y sin cobertura residual de cultivos, y empleando el no laboreo con y sin cobertura residual encontraron que la resistencia a penetración fue menor para los tratamientos de laboreo tradicional en todas las épocas de muestreo. El menor promedio fue para laboreo convencional, de $9,50 \text{ kg/cm}^2$ y el mayor fue para no laboreo con cobertura vegetal, de $22,8 \text{ kg/cm}^2$.

Russel y Gross (92), estudiando la respuesta de crecimiento de las raíces al impedimento mecánico del suelo, concluyeron que para las raíces de cebada una presión de 5 bares fue crítica para su crecimiento.

Lal (60) observó que en la superficie del suelo con laboreo tradicional, después de una fuerte lluvia, hubo formación de una costra de 2 a 5 mm de espesor, que tenía una resistencia a penetración de 2,5 a $2,8 \text{ kg/cm}^2$, mientras que con el no laboreo no hubo formación de costra y la resistencia a penetración fue menor.

Baeumer y Bakermans (7) reportan que varios investigadores encontraron que la densidad de las raíces o peso seco de las raíces observado en diferentes etapas de crecimiento y a diversas profundidades, tiende a ser menor con no laboreo del suelo en comparación con el laboreo tradicional del suelo.

2.5.2 Propiedades químicas del suelo

Bandel *et al.* (8) reportan que, durante el primer año de investigación, hubo una acumulación de nitrógeno en las parcelas sin

labranza, mientras que en parcelas labradas hubo una pérdida de nitrógeno.

Lal (59) encontró que, cuando no se realiza la labranza, la relación carbono/nitrógeno y la capacidad de intercambio catiónico se mantiene. Este mismo autor encontró que la disponibilidad de fósforo y de nitrógeno se incrementa debajo de la cobertura vegetal.

Phillips y Young (85) indican que el incremento de la tasa de nitrógeno con no laboreo del suelo se debe a una abundante infiltración durante la escorrentía y a la reducción de evaporación. Además, citan la nitrificación como otro factor responsable por el aumento de nitrógeno. Para algunos suelos, el incremento de la tasa de nitrógeno con el no laboreo es tan marcada, que solamente se necesita de 20 a 25% de la cantidad recomendada para el laboreo convencional.

Unger, Wiese y Allen (107) realizaron trabajos por varios años en las grandes planicies del sur de los Estados Unidos y afirman que la reducción o eliminación de laboreo del suelo no tuvo efecto consistente sobre las características físicas y químicas del suelo. Durante cuatro años el sistema de cultivos en secuencia, trigo-sorgo-barbecho, no afectaron el pH, la materia orgánica o los microorganismos, pero hubo una disminución de la tasa de nitrógeno.

Lal (60) estudió los efectos del laboreo y no laboreo sobre las propiedades químicas del suelo arenoso y encontró que la práctica de no laboreo, resultó en mayor disponibilidad de fósforo, potasio y nitrato. El contenido de carbono orgánico y la capacidad de intercambio catiónico también fueron superiores en los tratamientos de no laboreo, en comparación con los de laboreo tradicional.

Moschler *et al.* (75) encontraron que la eficiencia de la fertilización fue más alta para la producción continua de maíz, en tres diferentes localidades de Virginia (E.U.A.), con la práctica de no laboreo comparada con el laboreo mecánico del suelo. La disponibilidad de N, P, K y del contenido de materia orgánica, fue mayor en las parcelas de no laboreo a profundidad de 0 - 15 cm, después de varios años de cultivo sucesivo de maíz. A profundidades de 15-30 cm los valores fueron equivalentes para los dos sistemas de manejo.

Otros investigadores (105) condujeron ensayos durante seis años consecutivos en maíz, utilizando tres dosis de fertilizantes nitrogenados, con fósforo y potasio aplicados en dosis uniformes cada año. Los resultados indican que el fósforo en las parcelas de no laboreo permaneció a una profundidad de 2,5 cm, mientras que en las de laboreo convencional permaneció a profundidades de 5 a 13 cm. La concentración de potasio decrece con la profundidad en las parcelas con no laboreo, pero fue muy uniforme a través del perfil para las parcelas con laboreo. En los análisis de plantas se observó que los porcentajes de P y K fueron mayores para las plantas de las parcelas de no laboreo.

Estes (39) estudió el efecto del encalado en suelos arcillo-limosos de origen aluvial, con énfasis en laboreo mecánico y en no laboreo del suelo. Encontró un incremento significativo del pH, principalmente con el no laboreo, con alta tasa de cal dolomítica. El pH en las parcelas de no laboreo fue 6,05, 6,30 y 6,39 con aplicación de cal en tasas de 0, 4 y 8 ton/ha; en cuanto a las parcelas labradas, tuvieron incrementos menores del pH.

Burgos y Meneses (20) reportaron que los niveles de fósforo y potasio en el sistema de mínimo laboreo son menores a mayores profundidades.

En cuanto al contenido de calcio, estuvo mejor distribuido en el perfil del suelo en las parcelas preparadas mecánicamente. En las parcelas con labranza mínima el contenido de calcio fue menor que en las parcelas con laboreo.

Soze *et al.* (99) consideran que la eficiencia de utilización de fertilizantes aplicado superficialmente es alta, principalmente para los elementos fósforo y potasio, porque con la presencia del mulch esta parte del suelo permanece más húmeda y hace posible que las raíces crezcan cercanas a la superficie, permitiendo mayor absorción de estos nutrimentos.

Moschler y Hartens (70) estudiaron la respuesta del maíz a cuatro niveles de nitrógeno y fósforo y tres niveles de potasio, con la práctica de no laboreo y laboreo convencional. Encontraron una tendencia a una baja eficiencia del N en la práctica de no laboreo cuando este elemento fue aplicado en bajos niveles, más cuando este elemento fue aplicado en niveles más altos ocurrió lo contrario.

Solamente hubo pequeños cambios sobre pH y contenido de materia orgánica en una profundidad hasta 30 cm en las parcelas de no laboreo y laboreo mecánico. Con el no laboreo el pH fue incrementado en seis tratamientos y el contenido de materia orgánica fue incrementado en nueve casos.

Reicosky *et al.* (80) afirman que hay un frecuente aumento de la acidez del suelo con el no laboreo continuo. Sin embargo, aplicaciones de encalado evitaron la acidez en la capa superficial del suelo. Los resultados indican que la deficiencia de nitrógeno es fácilmente corregida en la práctica de no laboreo, con aplicaciones de abonos nitrogenados. La aplicación previa de fertilizantes fosforados en la

superficie del suelo sin labranza es más eficiente que la aplicación superficial en el laboreo tradicional.

Baumer y Bakermans (7) mencionan que varios autores afirman que la concentración de P y K en la superficie del suelo es más elevada en las parcelas de no laboreo en comparación con laboreo tradicional. Sin embargo, por lo general los cultivos que desarrollan bajo el no laboreo necesitan de más abono nitrogenado en comparación con los de la práctica de laboreo convencional.

En un sistema de cultivo rotacional, trigo y soya, en Brasil, Banker (9) encontró que a una profundidad de 10 - 20 cm la acidez es equivalente para ambas prácticas de laboreo y no laboreo. Las concentraciones de P y K a la profundidad de 0 - 10 cm se comportaron en forma diferente, con mayor concentración de P y menos concentración de K en las parcelas de no laboreo del suelo en comparación con el laboreo tradicional.

Lal (56) reporta que en parcelas de no laboreo el contenido de carbono fue 2,26%; en las parcelas labradas el valor obtenido fue 1,69%. La disponibilidad de fósforo, nitrógeno en forma de nitrato y capacidad de intercambio de cationes divalentes fue superior en las parcelas con no laboreo en comparación con laboreo mecánico del suelo.

Kuipers y Ellen (57) encontraron que el contenido de materia orgánica, fósforo y potasio es más alto en los primeros 10 cm de profundidad en las parcelas de no laboreo comparado con la práctica convencional de preparación. Los mismos autores encontraron que los niveles de nitrógeno aplicado sin labranza del suelo, con remolacha, fueron desfavorables cuando se evaluó a razón hojas/raíz. Parece que no hubo un buen desarrollo de las raíces.

Sans *et al.* (94) verificaron que, bajo la cobertura de residuos en la práctica de no laboreo, hubo una disminución de los niveles de Ca, Mg, K y el pH, mientras que el nivel de fósforo fue incrementado durante el experimento en la profundidad de 10 cm.

Moschler, Martens y Shear (77), demostraron que después de 11 años consecutivos de producción de maíz, en suelo franco-arcilloso, hubo mayor contenido de materia orgánica, fósforo y calcio en las parcelas de no laboreo comparadas con las parcelas laboreadas convencionalmente. Aunque el contenido de K y Mg fue superior bajo la práctica de laboreo tradicional, el pH fue equivalente para ambas prácticas.

Por lo general, en los suelos no labrados se aplica el fertilizante en la superficie y, debido a la mayor infiltración de agua en el suelo, hay una mejor distribución de nutrimentos y se acondiciona un ambiente radical que resulta en un aprovechamiento más eficiente de los fertilizantes, en comparación con los suelos labrados (76).

2.5.3 Efectos sobre el control de malezas

Soza *et al.* (99) afirman que el control de las malezas con herbicidas es una necesidad básica al usar sistemas de no laboreo. Indican que para sembrar maíz con el método de no laboreo, se emplea un herbicida de contacto y otro con efecto residual para prevenir la germinación de nuevas malezas. De esta manera las malezas anuales tienden a desaparecer; al contrario, las malezas perennes pueden aumentar. En este caso las aplicaciones del glifosato ofrecen un control efectivo de las malezas perennes (7).

Lal (60) indica que la cobertura de residuos vegetales generalmente disminuye el desarrollo vegetativo de las malezas. Encontró

que el peso fresco de malezas, tomado ocho semanas después de sembrar el maíz, fue significativamente mayor bajo el sistema de laboreo tradicional del suelo.

Larson y Swan (62) indican que el control de malas hierbas tiene como propósito la conservación de la humedad y que se puede utilizar control químico o el laboreo del suelo. Pero la preparación del suelo tiende a formar una capa endurecida rápidamente en la estación seca. Los mismos investigadores afirman que el problema del no laboreo en la estación de sequía es que la incorporación adecuada del fertilizante puede ser más importante que la conservación de la humedad.

Los resultados de trabajos realizados por CATIE (28) en la zona Atlántica Húmeda de Costa Rica, con diferentes manejos de la vegetación previos a la siembra, y con predominancia de malezas perennes (*Panicum maximum* y *Paspalum fasciculatum*), muestran que el tratamiento de la aplicación del glifosato sobre los rebrotes produjo los mejores rendimientos de frijol.

Oswald (81) encontró una infestación más temprana y severa de *Panicum* sp. en las parcelas con no laboreo, en comparación con las parcelas laboreadas mecánicamente. Después de la cosecha la infestación de *Panicum* sp. fue también muy severa con la práctica de no laboreo.

Oswald (81) indica que los terrenos agrícolas con infestaciones de malezas perennes no son recomendados para la práctica de no laboreo, debido a la falta de un herbicida efectivo para su control. Ahora con el desarrollo del glifosato, se pueda utilizar tales campos (72).

Otros investigadores (107) afirman que las malezas perennes son difíciles de controlar con la práctica de laboreo convencional y que la práctica de no laboreo reduce la infestación de estas malezas.

Barker (9) afirma que el éxito del no laboreo del suelo depende grandemente del combate de malezas, ambas, las malas hierbas presentes y las que aparecen después del ciclo vegetativo del cultivo.

Intiaz e Ismail (50) reportaron que el laboreo mecánico redujo la infestación de *Imperata cylindrica*, pero hubo un cambio en el complejo de maleza hacia gramíneas; con la práctica de no laboreo más aplicación de paraquat, las malezas fueron mantenidas adecuadamente bajo control.

Phillips (35) afirma que el peso seco de malezas gramíneas fue menor para el sistema de no laboreo, mientras que con las malezas de hojas anchas el peso seco fue 2.5 veces mayor al encontrado en laboreo convencional.

Rockwood (90) encontró que la diferencia de crecimiento y peso de las malas hierbas entre las parcelas con no laboreo y con laboreo convencional, fue extrema; hubo cerca de 40 veces más en peso fresco en las parcelas labradas mecánicamente.

2.5.4 Efectos sobre los rendimientos de los cultivos

Berganza (15) comparó los métodos químicos, mecánicos y manuales de preparación del suelo para la siembra del maíz. El sistema de mínimo laboreo fue efectivo y los rendimientos no se vieron seriamente afectados, en comparación con los resultados obtenidos en la parcela con labranza convencional.

En trabajos realizados por el CATIE, en la zona Atlántica Húmeda de Costa Rica, los rendimientos de maíz obtenidos con tratamientos de laboreo mínimo fueron equivalentes a los obtenidos de parcelas preparadas convencionalmente (20, 66).

En Brasil, los rendimientos de soya fueron de 2,8 ton/ha para el mínimo laboreo contra 2,7 ton/ha para el suelo preparado convencionalmente con máquinas. Sin embargo, el rendimiento del trigo fue mayor en 15% con el sistema de no laboreo que con el sistema convencional de labranza (87).

Jones, Moody y Lillard (56), trabajando con maíz encontraron que las prácticas de no labranza proveyeron protección contra corta sequía por el uso más eficiente del agua en el suelo, y así hubo una mayor tendencia de rendimientos superiores con el no laboreo en relación al laboreo convencional.

Gallaher (41) condujo experimentos para evaluar los rendimientos de maíz y soya, con el no laboreo y la práctica convencional. Los rendimientos de granos de maíz y soya fueron 45,6 y 30,3% mayores, respectivamente, para la práctica de no laboreo.

Soza *et al.* (99) mostraron los rendimientos promedios de maíz en diferentes ensayos de varios años en Carolina del Sur y se observó que en suelos franco limosos y franco arcillosos el aumento fue de 25.6% y 13.7%, respectivamente, para el sistema de no laboreo comparado con el sistema convencional.

Moschler y Martens (76) encontraron que la práctica de no laboreo produce menos mazorcas de maíz pequeñas e incompletas que el laboreo convencional. El incremento de rendimiento del no laboreo sobre el laboreo convencional fue de 19,1; 16,3 y 14,6% para los años en que se efectuaron los ensayos.

Lal (60) y Sánchez (93) condujeron varios trabajos en Nigeria con laboreo y no laboreo del suelo, y observaron que los rendimientos de maíz fueron superiores en 50% en la práctica de no laboreo, en

comparación con laboreo convencional. Los rendimientos de caupí y batata fueron superiores bajo no laboreo, mientras que los rendimientos de soya fueron inferiores en comparación con el sistema de laboreo tradicional.

Kupers y Ellen (57) reportaron que la remolacha azucarera tuvo menos producción de materia seca total con la práctica de no laboreo, en relación con el laboreo tradicional.

En trabajos realizados en Turrialba, Costa Rica, con varios sistemas de preparación del suelo, se observó que la producción de maíz fue significativamente inferior en suelos preparados mecánicamente en condiciones de alta humedad. Los componentes de rendimiento y la producción de la yuca fueron equivalentes para los métodos de no laboreo y laboreo tradicional del suelo (27).

Varios investigadores (45), trabajando en suelos arcillo-limoso aluvión, encontraron que el peso seco de las raíces de maíz fueron mayores en las parcelas de laboreo convencional, en comparación con el peso seco de raíces encontrado en las parcelas de no laboreo.

2.6 Evaluaciones Económicas

La decisión de escoger uno entre los sistemas alternativos de cultivos, para incluirlo dentro de un proceso de producción del agricultor tradicional, se basará, necesariamente, en sus condiciones económicas. Esto significa, el sistema que pueda optimizar dentro de las restricciones tierra, capital y mano de obra del agricultor (66).

Según Gastal (43), es indispensable y de máxima importancia para la investigación agropecuaria un análisis de costos y beneficios

de los nuevos conocimientos generados y los aspectos del análisis a considerar no deben reducirse a evaluaciones de un solo tipo. Además, no se debe olvidar que, si la nueva práctica es aceptada por la mayoría de los agricultores del área en estudio, puede causar modificaciones en el aspecto socio-económico.

Murcia (78) indica que para formular una recomendación económica es importante conocer la sensibilidad de los sistemas bajo estudio. Esto es, en qué medida soportará disminución en el ingreso neto, ya sea por aumento en los costos o por disminución en los ingresos.

Zaffaroni *et al.* (111) describen el índice de retorno más adecuado a las condiciones del agricultor tradicional. Este índice expresa el retorno sobre la inversión hecha por el agricultor; también da énfasis a la tasa marginal de retorno. Según los autores, los agricultores generalmente no están dispuestos a hacer una inversión a menos que la tasa de retorno sea de por lo menos 40% por ciclo de cultivo.

Perrin *et al.* (84) afirman que, para formular recomendaciones que los agricultores adopten, debe conocerse tanto el elemento humano involucrado en el cultivo de la tierra como también los elementos biológicos. Debe pensarse en términos de las metas de los productores y de las restricciones que ellos enfrentan para lograr esas metas.

Por lo tanto, debemos dedicar esfuerzos para lograr mejor productividad de las alternativas propuestas por la investigación, sin olvidar el análisis de rentabilidad de esta tecnología.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del Area del Experimento

3.1.1 Localización y uso previo

El experimento se realizó en el área correspondiente al Programa de Bovinos y Especies Menores del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica. El terreno experimental estuvo en barbecho por dos años antes de realizarse este trabajo de investigación; en el área predominaban malezas perennes, principalmente *Paspalum fasciculatum* y *Panicum maximum*.

Latitud norte: 9° 53'; longitud oeste: 83° 39', con una elevación aproximada de 602 m.s.n.m. En la Figura 1^a se observa la localización del experimento dentro de los límites del referido programa.

3.1.2 Clima

La zona tiene una temperatura* media anual de 22,3°C, máxima 27,1°C y mínima 17,6°C, con promedio de precipitación** de 2662,8 mm, y con un promedio de 251 días de lluvia por año.

El brillo solar diario es de 4,5 horas; la humedad relativa diaria es de 88% en promedio (2). Según Holdridge (49), la zona pertenece a la formación ecológica de bosque muy húmedo tropical premon-
tano.

* Datos de 18 años.

** Datos de 33 años.

3.1.3 Suelos

Los suelos son clasificados por Aguirre (1) como Serie Instituto Arcilloso, fase pedregoso. Son suelos aluviales, de topografía plana o ligeramente ondulada, drenaje moderado a imperfecto, con abundante cantidad de piedras de tamaño variado y fragmentos rocosos. Presenta textura franco arcillosa, ligeramente compacta, susceptible a encharcamiento. Químicamente son de fertilidad mediana a baja, con pH bastante ácido, alto contenido de materia orgánica y nitrógeno, bajo contenido nutricional.

3.2 Selección de Cultivos

Se usaron las siguientes especies y variedades: a) yuca (*Manihot esculenta* Crantz), cultivar 'Valencia' de porte erecto, poco ramificado, con ciclo de 360 días; b) frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar 'Turrialba 4', de porte achaparrado, de grano negro y ciclo de 100 días.

3.3. Densidad, Espaciamiento, Modalidad de Siembra y Fertilización

El período experimental empezó en diciembre de 1977 y finalizó en diciembre de 1978. La siembra de frijol se realizó con espeque*. Se abrieron hoyos de aproximadamente 5 cm de profundidad; en cada uno de los hoyos se aplicó, aproximadamente, 1,0 g de aldrin al 2,5% de principio activo; después se sembraron las semillas de frijol.

La siembra de la yuca se realizó por medio de estacas de aproximadamente 20 a 25 cm de longitud, cortadas de la parte media de

* Pieza de madera de aproximadamente 1,50 m de longitud, cuyo extremo inferior, de hierro en forma cónica, se usa para abrir hoyos en el suelo.

la planta madre. Las estacas se colocaron en hoyos de aproximadamente 15 cm de profundidad, en los que previamente se había colocado el aldrin.

La distancia de siembra fue la siguiente:

Frijol: 0,50 m entre las hileras y 0,20 m entre las plantas, con dos semillas por hoyo, después de 10 días se efectuó el raleo dejando una plántula por hoyo, para tener una densidad de 100,000 plantas por hectárea.

Yuca: 1,00 m entre hileras y 0,60 m entre las plantas, con una estaca por hoyo, con una densidad de 16.666 plantas por hectárea.

Así, había una hilera de frijol a los 25 cm a cada lado de una hilera de yuca.

Aplicación de Fertilizantes

La fertilización se llevó a cabo en dos fechas. La primera aplicación se realizó a la siembra y la segunda 30 a 35 días después del plantío. Por indicaciones del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del CATIE, se usaron 10 kg de N, 30 kg de P_2O_5 y 10 kg de K_2O en la primera aplicación, y 30 kg de N, 10 kg de P_2O_5 y 10 kg de K_2O en la segunda.

3.4 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial con cuatro repeticiones, con dos sistemas de cultivos y cinco manejos de vegetación previo a la siembra, dando un total de 10 tratamientos.

3.5 Descripción de los Tratamientos

3.5.1 Chapia a ras más herbicida (M1)

Chapia a ras, o sea corte de la vegetación a la altura del suelo y 20 días después una aplicación de glifosato* al rebrote, en dosis de 1,5 kg equivalente ácido/ha en 300 litros de agua. Se sembró 10 días después de aplicar el herbicida.

3.5.2 Chapia a 50 cm de altura más herbicida (M2)

Corte de la vegetación a una altura de aproximadamente 50 cm y 20 días después una aplicación de glifosato, en dosis de 1,5 kg equivalente ácido/ha en 300 litros de agua, seguido por la siembra 10 días después.

3.5.3 Arado sin control (M3)

Preparación tradicional del suelo con arado de discos, seguido por una pasada de una rastra excéntrica 10 días después. Se realizó otra rastreada 15 días después, seguida de inmediato por la siembra.

3.5.4 Arado con control (M4)

Preparación tradicional del suelo con arado de discos, seguido por dos rastreadas 10 días después. Se aplicó glifosato al rebrote, después de 15 días, en dosis de 1,5 kg equivalente ácido/ha en 300 litros de agua, seguidos por la siembra.

* N-(fosfonometil) glicina al 36% del ácido equivalente.

3.5.5 Arado con desyerbe manual (M5)

Preparación tradicional del suelo con arado de discos, seguido por una rastreada 8-10 días después. Se rastreó de nuevo y se sembró de inmediato. Posteriormente se realizó un deshierbe manual, después de la cosecha del frijol.

3.6 Sistemas de Cultivos

Se utilizaron un sistema de yuca en monocultivo y un sistema de yuca asociado con frijol. Los cultivos fueron sembrados al mismo día.

<u>Sistemas</u>	<u>Código</u>
Yuca + frijol	S1
Yuca en monocultivo	S2

3.7 Descripción del Glifosato

El glifosato es un herbicida soluble en agua para el control de la mayoría de las malezas anuales, bianuales y perennes. Es un herbicida de acción sistémica que se trasloca hasta las estructuras vegetativas subterráneas ocasionando la muerte total de las generaciones emergidas. Se absorbe a través del follaje y partes fotosintéticamente activas de las plantas. La absorción radical es muy baja, inferior a cualquier otro herbicida (72).

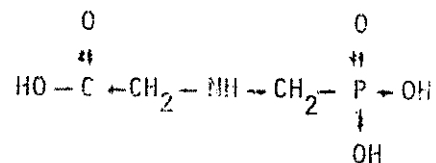
La actividad inicial del glifosato es lenta, y los efectos visuales sobre el follaje sólo empiezan a manifestarse, dependiendo de la especie, tres a cinco días después de la aplicación, por una clorosis leve. Esta clorosis es progresiva y termina con la necrosis total

del follaje y descomposición de las partes subterráneas a los 15 a 45 días después de la aplicación.

El mecanismo de acción es parcialmente conocido. El herbicida parece interferir en la biosíntesis de fenilamina y, más específicamente con el metabolismo del ácido corísmico en la biosíntesis de aminoácidos aromáticos mediante la represión de la mutasa corísmica o deshidratasa prefénica. Estas suposiciones se basan en trabajos realizados con *Lemna gibba* y *Rhizobium japonicum* (72).

Cuando las aspersiones son dirigidas al suelo o cuando las malezas afectadas entran en contacto con el suelo, el glifosato es rápida y totalmente inactivado debido a una moderada a fuerte adsorción por las partículas coloidales del suelo. Sin embargo, la degradación microbiológica es la mayor causa de descomposición del herbicida.

El glifosato es el nombre genérico con que se designa el ácido original, N - (fosfonometil) glicina. La formulación comercial se conoce con el nombre de "Roundup". La estructura química se ofrece a continuación:



3.8 Detalles del Experimento

$$\text{Area del bloque} = 6,5 \text{ m} \times 40,0 \text{ m} = 260,0 \text{ m}^2$$

$$\text{Dimensiones y área del experimento} = 35,0 \text{ m} \times 40,0 \text{ m con}$$

$$\text{calle de } 3,0 \text{ m entre bloques} = 1.400,00 \text{ m}^2$$

Detalles de las parcelas

Dimensiones y Area = $4,0 \times 6,5 \text{ m} = 26,0 \text{ m}^2$

Area útil para yuca = $2,0 \times 5,0 = 10 \text{ m}^2$ las dos hileras centrales, dejando un metro en los bordes.

Area útil para frijol = $2,0 \times 5,0 = 10 \text{ m}^2$, las cuatro hileras centrales dejando un metro en los bordes.

3.9 Características Químicas y Físicas del Suelo

3.9a Características químicas del suelo

Para evaluar la fertilidad del suelo, se realizó un muestreo con cuatro sub-muestras por parcela a la profundidad de 0 - 20 cm.

Posteriormente, para conocer la disponibilidad de los macroelementos y microelementos se hizo un muestreo al final del período experimental.

Los análisis de los diversos elementos, pH, Materia Orgánica, y relaciones Ca/Mg, Ng/K, fueron hechos de acuerdo con el procedimiento descrito por Díaz-Romeu y Hunter (35), utilizado por el Laboratorio de Suelos del CATIE.

3.9b Características físicas del suelo

- Densidad aparente y densidad de partículas

Para determinaciones de densidad aparente se utilizó el cilindro metálico de volumen conocido para obtener la muestra de suelo no alterado; se empleó la técnica indicada por Forsythe (40).

La densidad de partículas o densidad de sólidos, se determinó por la relación que existe entre la masa de las partículas del suelo y el volumen del líquido desplazado que es igual al volumen de partículas;

se empleó el método del Kerosene, indicado por Hardy y Bazán (10).

$$D_p = \frac{M_{ss}}{V_{ss}}$$

donde:

D_p = densidad de partículas (g/ml)

M_{ss} = masa del suelo seco (g)

V_{ss} = Volumen del suelo secado al horno (ml)

- Porosidad total

Con los datos de la densidad aparente y de densidad de partículas se calculó la porosidad total siguiendo la técnica citada por Forsythe (40) mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Porosidad total} = (D_s - D_a) / D_s \times 100$$

donde:

PT = porosidad total

D_s = densidad de partículas o densidad de sólidos

D_a = densidad aparente

- Humedad gravimétrica a 0,33 bares

Para esta determinación se siguió el método de Richards modificado por Forsythe (40). Este método se fundamenta en la utilización de una olla de presión saturada a 0,33 bares.

- Espacio poroso capilar y no capilar

Con los datos de distribución del tamaño de partículas (% de arena) y la humedad gravimétrica a capacidad de campo (0,33 bares) se

calculó el índice de textura. Con el índice de textura multiplicado por la densidad aparente se obtuvo el espacio poroso capilar.

$$IT = S - \frac{1}{5} \% \text{ de arena}$$

donde:

IT = índice de textura

S = humedad gravimétrica a 0,33 bares

% de arena = existente en el análisis de textura

$$EPC\% = IT \times DA$$

donde:

EPC = espacio poroso capilar (%)

IT = índice de textura

DA = densidad aparente

Para obtener el porcentaje de espacio poroso no capilar, se utilizó la fórmula (10)

$$EPNoC \% = PT - EPC$$

donde:

PT = porosidad total %

EPC = espacio poroso capilar %

- Resistencia a penetración

Se utilizó un penetrómetro estático con pistón de acero inoxidable de 5 mm de diámetro, con una línea circunscrita en el pistón a 5 mm del extremo, según el procedimiento de Forsythe (40).

- Humedad gravimétrica

El porcentaje de humedad se determinó de acuerdo con la técnica descrita por Bazán (13), a partir de muestras de suelo fresco, sometidas a secado en horno durante 24 horas de 105 a 110°C.

$$\% \text{ Humedad Gravimétrica} = \frac{M(\text{suelo fresco}) - M(\text{suelo seco})}{M(\text{suelo seco})} \times 100$$

donde:

M(suelo fresco) = masa del suelo fresco

M(suelo seco) = masa del suelo seco de 105 a 110°C

- Clase textural

La distribución del tamaño de partículas se determinó por el método de Bouyoucos modificado por Hardy y Bazán (13). Las fracciones de suelo fueron clasificadas de acuerdo con el Sistema Internacional de la Ciencia del Suelo y las Clases texturales fueron definidas con el triángulo textural FAO (80).

3.10 Recolección de la Información por Cultivos

3.10.a Yuca

3.10.a1 Producción de biomasa total

Al momento de la cosecha se determinaron los pesos frescos de las hojas, tallos con sus pecíolos y de las raíces en cinco plantas por parcela útil, después se sacó una muestra de cada parte de la planta y se colocaron las muestras en estufa a 70°C hasta peso constante para determinar su contenido de materia seca por órgano. La suma de la materia seca de los tres componentes: hojas, tallos con sus pecíolos, y

raíces es la biomasa total.

3.10.a2 Componentes de rendimientos

- Población final de plantas y número de tallos por planta

En la parcela útil se realizó un conteo de plantas que permanecieron hasta el final del experimento. Para conocer el número de tallos por planta, se hizo un conteo del número de tallos por parcela útil.

- Biomasa comestible

Para determinar la biomasa comestible se pesaron en fresco las raíces de cinco plantas, luego se pesó una alícuota de estas mismas raíces, después se secaron en estufa a 70°C hasta peso constante y se determinó su contenido de materia seca, que es la biomasa comestible.

- Número de raíces reservantes y comerciables por planta

El número de raíces reservantes por planta se tomó en cada una de las 18 plantas del área útil por parcela y se expresó por planta. Después de determinar el número de raíces reservantes por planta, se separaron las raíces comerciales por parcela y por planta.

La clasificación de raíz comercial tuvo los patrones siguientes: longitud mayor de 12 cm y diámetro en la parte más gruesa mayor de 3 cm. Estos representan los criterios de calidad del mercado de Turrialba, Costa Rica. Las dimensiones de las raíces fueron tomadas con la ayuda de un calibrador con vernier, para el diámetro, y con una regla para la longitud.

3.10.a3 Observaciones sobre facilidades de cosecha

- Volumen ocupado por las raíces reservantes por planta

Para la determinación de volumen ocupado por las raíces se tomaron las raíces reservantes por planta de cinco plantas de la parcela útil, después se calculó el volumen por cantidad de agua desplazada por las raíces, en seguida se promediaron los volúmenes desplazados por las raíces reservantes de las cinco plantas.

- Area de suelo removida por planta en la cosecha

En la cosecha, se tomaron cinco plantas de la parcela útil, y se determinó el área removida de suelo con motivo de la cosecha, después se promediaron las áreas obtenidas de las cinco plantas.

- Tiempo de cosecha por parcela

Tomando en cuenta las mismas personas encargadas del arranque y recolección del material que se queda en el suelo se cronometró el tiempo de arranque y recolección del material de todas las plantas del área útil, después se sumó el tiempo de cosecha de todas las plantas.

- Número de raíces quebradas por planta y número de raíces que se quedaron en el suelo

Se hizo el conteo por plantas del número de raíces quebradas y que permanecieron en el suelo durante el arranque para todas las plantas de la parcela útil.

3.10.a4 Altura de plantas

Se determinó la altura de las plantas de yuca a los 30, 75, 150 y 350 días después de la siembra. Se tomaron cinco plantas de la parcela útil al azar y la medición se hizo desde el nivel del suelo hasta la máxima altura que alcanzaban las hojas en el tallo más alto.

3.10.a5 Rendimiento total de las raíces reservantes

El peso fresco de las raíces de reserva se pesó al final del ciclo de la yuca en cada sistema de cultivos y manejos de la vegetación. El rendimiento que se obtuvo de las plantas de la parcela útil, se extrapoló por hectárea.

3.10.b Frijol

3.10.b1 Rendimiento de granos

La producción de granos se obtuvo pesando la producción de todas las plantas de la parcela útil. Una muestra de grano fue pesada y secada a estufa a 70°C hasta peso constante para determinar la humedad del grano al momento de la cosecha. Para uniformizar los resultados se corrigió la humedad de cada muestra a 13% con la siguiente fórmula (22).

$$P(13\% \text{ HOH}) = \text{Peso obtenido} \times \frac{100 - M}{100 - D}$$

donde:

P(13% HOH) = peso del grano con 13% de humedad

M = contenido de humedad de la muestra

D = contenido de humedad deseado

Peso obtenido = peso de la muestra

3.10.b2 Energía total

Para el cálculo de la energía total contenida en la biomasa total, se consideró que un gramo de materia seca tiene 4,0 Kcal (64).

3.10.b3 Análisis de crecimiento

- Biomasa total

Datos de biomasa total fueron obtenidos de cuatro plantas de la parcela útil tomadas al azar, al momento de la cosecha.

El material fresco separado en partes - tallos más pecíolos, hojas y granos - fue puesto en la estufa a 70°C hasta peso constante. El peso seco de vainas se obtuvo utilizando la fórmula suministrada por el Laboratorio de Fisiología, Programa de Cultivos Anuales, CATIE.

$$\text{Peso seco de granos} \times 0,2397 = \text{Peso seco de vaina}$$

De la suma del peso seco de las partes se obtuvo el peso seco total por planta, después se expresó por hectárea.

No se consideró el peso seco de raíces por dificultad de su remoción total del suelo.

- Altura de planta

Se determinó la altura promedio de planta de frijol a los 30 y 45 días después de la siembra. Se tomaron cinco plantas de la parcela útil al azar y la medición se hizo desde el nivel del suelo hasta la altura de la hoja más alta.

- Área foliar específica

La determinación del área foliar se hizo 50 días después de la siembra, mediante cálculo de la variación de la superficie foliar

(dm²) por gramo de hoja (g), denominada área foliar específica (AFE). Para encontrar el AFE se tomaron hojas de diferentes tamaños y en forma individual se determinó su área foliar por el método del papel (4) y luego se obtuvo su peso seco. Ambos valores se dividieron para obtener los respectivos AFE.

3.10.b4 Componentes de rendimiento

- Número de vainas por planta y número de semillas por vaina

Se determinó el número de vainas por planta y número de semillas por vaina de 10 plantas de la parcela útil; se promedió el número de vainas por planta. Para el número de semillas por vaina se promedió el número de granos de 30 vainas, escogidas al azar de las 10 plantas.

- Población de plantas inicial y final

En la parcela útil se realizó un conteo de plantas en el inicio y final del ciclo del frijol.

3.11 Comparación entre los Sistemas

3.11.1 Biomasa total

Este dato se obtuvo con la suma de la biomasa total del frijol y de la yuca para el sistema asociado, mientras que para el sistema yuca en monocultivo se obtuvo de acuerdo con el párrafo 3.10.a1.

3.11.2 Energía total

Con los datos de la biomasa total se calculó la energía total, utilizando el factor de conversión de 4,0 Kcal por cada gramo de materia seca (64).

3.11.3 Biomasa comestible

Se determinó biomasa comestible con la suma de la biomasa comestible de la yuca, párrafo 3.10.a2 más la biomasa comestible del frijol (granos) para el sistema asociado, mientras en el sistema yuca en monocultivo fue solamente la biomasa comestible de este componente.

3.11.4 Índice de eficiencia energética

Se define el índice de eficiencia energética como la relación porcentual entre la energía contenida en la biomasa total y la energía fotosintéticamente activa que incidió sobre el sistema de cultivo hasta el final del experimento. Este índice representa la eficiencia del sistema en transformar la energía solar fotosintéticamente activa en materia seca.

$$\text{Índice de Eficiencia Energética} = \frac{\text{Energía biomasa total (Mcal/ha/ciclo)}}{\text{Energía fotosintéticamente activa (Mcal/ha/ciclo)}} \times 100$$

Energía fotosintéticamente activa es la radiación neta disponible para la fotosíntesis que es aproximadamente 39,48% de la radiación total recibida (79).

3.11.5 Índice de energía cosechada

El índice de energía cosechada es la relación porcentual entre la energía de la parte comestible o energía alimenticia y la energía de la biomasa total.

Este índice da una indicación de la característica genética de distribución de la biomasa; o sea, la proporción de la biomasa total es biomasa comestible.

3.11.6 Índice de eficiencia energética comestible

La relación porcentual entre la energía de la biomasa comestible y la energía fotosintéticamente activa, representa el índice de eficiencia energéticamente comestible, que indica la eficiencia del sistema en transformar la energía solar fotosintéticamente activa en energía alimenticia.

3.12 Evaluaciones Económicas

- Análisis de beneficios y costos

Los dos sistemas de cultivos y los cinco manejos de la vegetación fueron evaluados a través de un análisis de beneficios y costos. Las variables a considerar por hectárea, para los análisis de beneficios y costos fueron:

① Costos de Producción (CP): Se emplearon los precios de recursos e insumos durante la época en que se realizó el experimento y precios vigentes en el comercio mayorista de Turrialba, Costa Rica. Los jornales fueron calculados con base en el tiempo requerido para realizar las diferentes actividades en las parcelas, promediando estos datos, con los provenientes de la unidad de economía del CATIE.

Costos Variables (CV): Los gastos de mano de obra, mecanización y materiales necesarios al proceso de producción.

Costos Efectivos (CE): Los gastos en efectivo para maquinaria, materiales (fertilizantes y plaguicidas) sin valorizar la mano de obra. La suposición es que la mano de obra será de la misma familia.

Costos Fijos (CF): Los gastos por intereses sobre préstamos de los costos en efectivo, calculados al 9,0% anual, costo oportunidad de la tierra, e intereses de 6% anual sobre esta renta y depreciación del pulverizador.

Ingreso Total (IT): La producción comercial valorizada monetariamente con base en los precios del mercado de Turrialba y del Consejo Nacional de Producción. La producción comercial de yuca se basó de acuerdo a los criterios de calidad del mercado de Turrialba. Las dimensiones para yuca fueron: longitud más de 12 cm y diámetro más de 3 cm en su parte más gruesa.

Para el cultivo del frijol se consideró comercial todo grano que no estuviera visiblemente afectado por enfermedades o insectos.

Margen Bruto (MB) = IT - CV: El margen bruto representa el retorno bruto a los recursos fijos de la empresa. Esto es lo que el agricultor tiene para compensar los costos fijos y trabajos administrativos.

Ingreso Neto (IN) = MB - CF: Representa la ganancia neta del agricultor, después de compensar todos los costos.

Margen Bruto Familiar (MBF) = IT - CE: Representa el retorno bruto a los recursos de la familia como administración, mano de obra, tierra, etc., después de compensar todos los gastos de maquinaria y materiales.

Ingreso Neto Familiar = MBF - CF: Representa el retorno neto a la mano de obra familiar y administración cuando fueron compensados todos los gastos, con excepción de la mano de obra.

Análisis de sensibilidad a los ingresos y costos: El análisis de sensibilidad representa cuán sensible son los sistemas de cultivos y manejos de la vegetación en estudio a cambios. Esto es, hasta qué medida soportará disminución en los ingresos netos, por aumento en los costos o por disminución en los ingresos, según Avila (6) y Zaffaroni *et al.* (111).

$$X_1 = \left(1 - \frac{CT}{IT}\right) \times 100$$

X_1 = Porcentaje de disminución de los ingresos

CT = Costos Totales = Costos Variables + Costos Fijos

IT = Ingreso Total

$$X_2 = \left(\frac{IT}{CT} - 1\right) \times 100$$

X_2 = Porcentaje de aumento en los costos totales

IT = Ingreso total

CT = Costo total

Retorno a los factores de producción (Capital, Mano de Obra y Tierra)

$$\text{Retribución al Capital Efectivo} = \frac{IT - CE - CF}{CE}$$

Se supone que toda la mano de obra es familiar.

IT = Ingreso Total

CE = Costos Efectivos

CF = Costos Fijos

Indica la retribución neta del proceso productivo por cada unidad monetaria invertida en gastos de mecanización y materiales, Shenk *et al.* (96).

$$\text{Compensación al Jornal Familiar} = \frac{IT - CE - CF}{NJ}$$

NJ = Número de jornales familiares.

Significa la retribución monetaria por cada jornal familiar utilizado en el proceso de producción (96).

$$\text{Retribución a la tierra} = \frac{IT - MO - CE}{ha}$$

ha = cantidad de tierra en hectáreas

MO = costo de mano de obra

Indica la retribución monetaria por área cultivada (96).

Retornos promedios a capital y mano de obra

$$\text{Índice de Retorno Promedio a Capital} = \frac{\text{INGRESO NETO}}{\text{COSTOS EFECTIVOS}}$$

Indica el retorno neto para el agricultor por unidad monetaria invertida en mecanización y materiales.

$$\text{Índice de Retorno Promedio a Mano de Obra} = \frac{\text{INGRESO NETO}}{\text{COSTO DE LOS JORNALES}}$$

Indica el retorno neto por cada unidad monetaria invertida en mano de obra.

Análisis Marginal a Capital y Mano de Obra: El análisis marginal indica la manera en que los ingresos netos de una inversión aumentan a medida que la cantidad invertida crece, cuáles serían los ingresos adicionales y los costos adicionales, Murcia (78).

$$\text{Tasa Marginal de Retorno (TMR)} = \frac{\Delta \text{ IN}}{\Delta \text{ CE}}$$

$\Delta \text{ IN}$ = Incremento marginal en ingreso neto

$\Delta \text{ CE}$ = Incremento marginal en costos efectivos

3.13 Producción e Infestación de Malezas

Se identificaron las principales malezas en el local del experimento. Posteriormente se evaluó la densidad de las malezas a través de conteos y peso fresco en varias fechas según método descrito por Burrill *et al.* (22).

4. RESULTADOS

4.1 Condiciones Climáticas

En las Figuras 1, 2 y 3 se presentan las variaciones mensuales de precipitación, temperatura, radiación solar y humedad relativa que ocurrieron durante el período experimental comprendido entre el 15 de diciembre de 1977 y el 14 de diciembre de 1978. En el Cuadro 1A* aparece el resumen mensual de las condiciones climáticas que prevalecieron durante el mismo período.

4.2 Aspectos Generales de los Cultivos

La emergencia de las primeras hojas de yuca ocurrió alrededor del undécimo día después de la plantación en todas las repeticiones. El frijol germinó alrededor del séptimo día después de la siembra. Debido a la escasez de humedad en los primeros 20 días, la germinación no fue uniforme y fue necesario el replantío.

Se efectuó una aplicación del insecticida Sevin con el objeto de controlar las "vaquitas" (*Diabrotica* sp.) y de Metaldehido** para controlar los moluscos.

Debido a la falta de lluvias a comienzos de enero, se produjo una sequía grave para ambos cultivos, siendo necesario aplicar riego de 10 mm de agua al final de enero. Sin embargo, los cultivos crecieron normalmente y las diferencias que aparecieron fueron diferencias de los tratamientos aplicados.

* Cuando el número de un cuadro es seguido por la letra "A", ésta indica que este cuadro pertenece al Apéndice.

** Ortho-B al 2.5% de ingrediente activo.

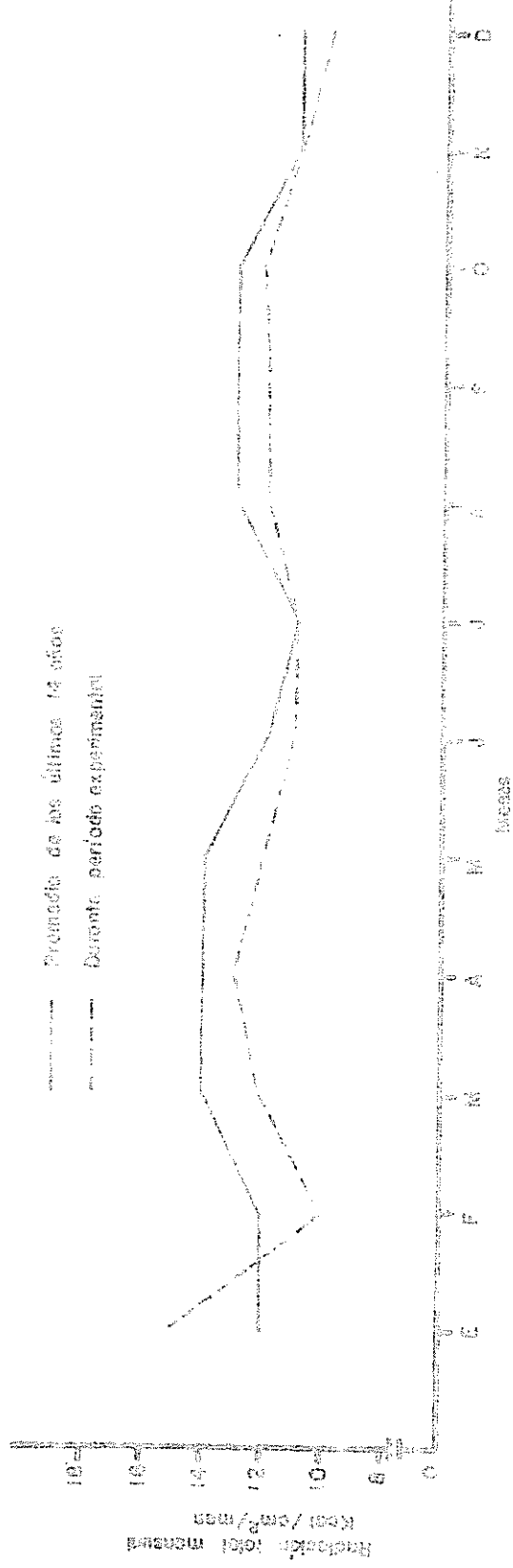
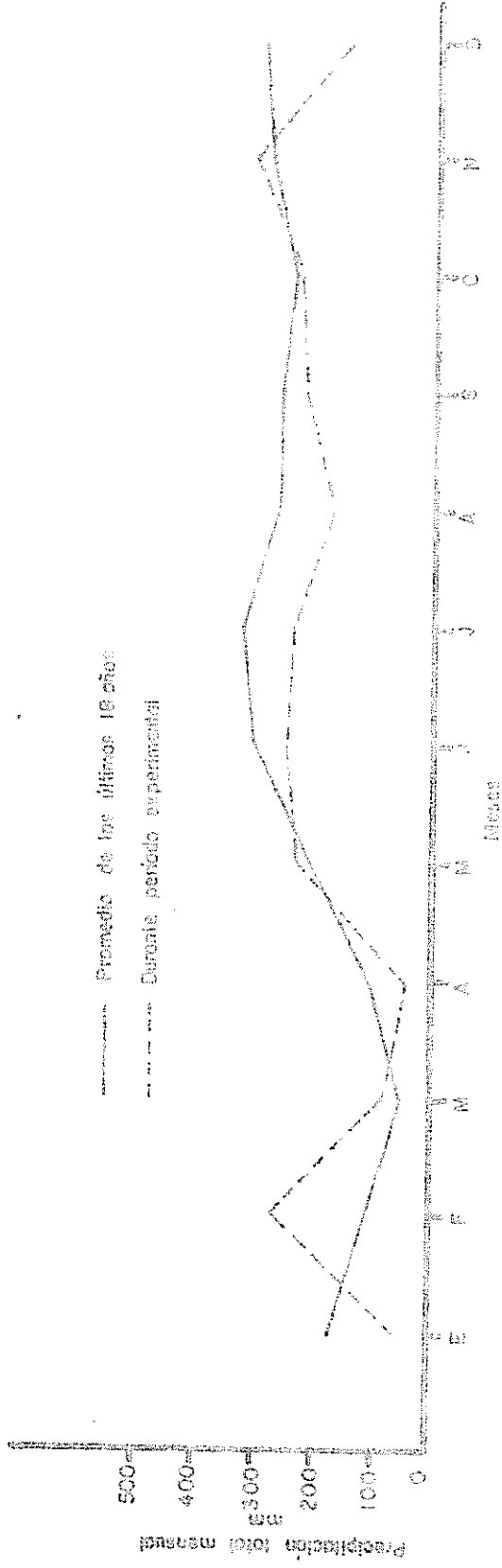


Fig. 1 Precipitación total mensual y radiación total mensual durante el período experimental y promedio de los últimos 18 y 14 años respectivamente

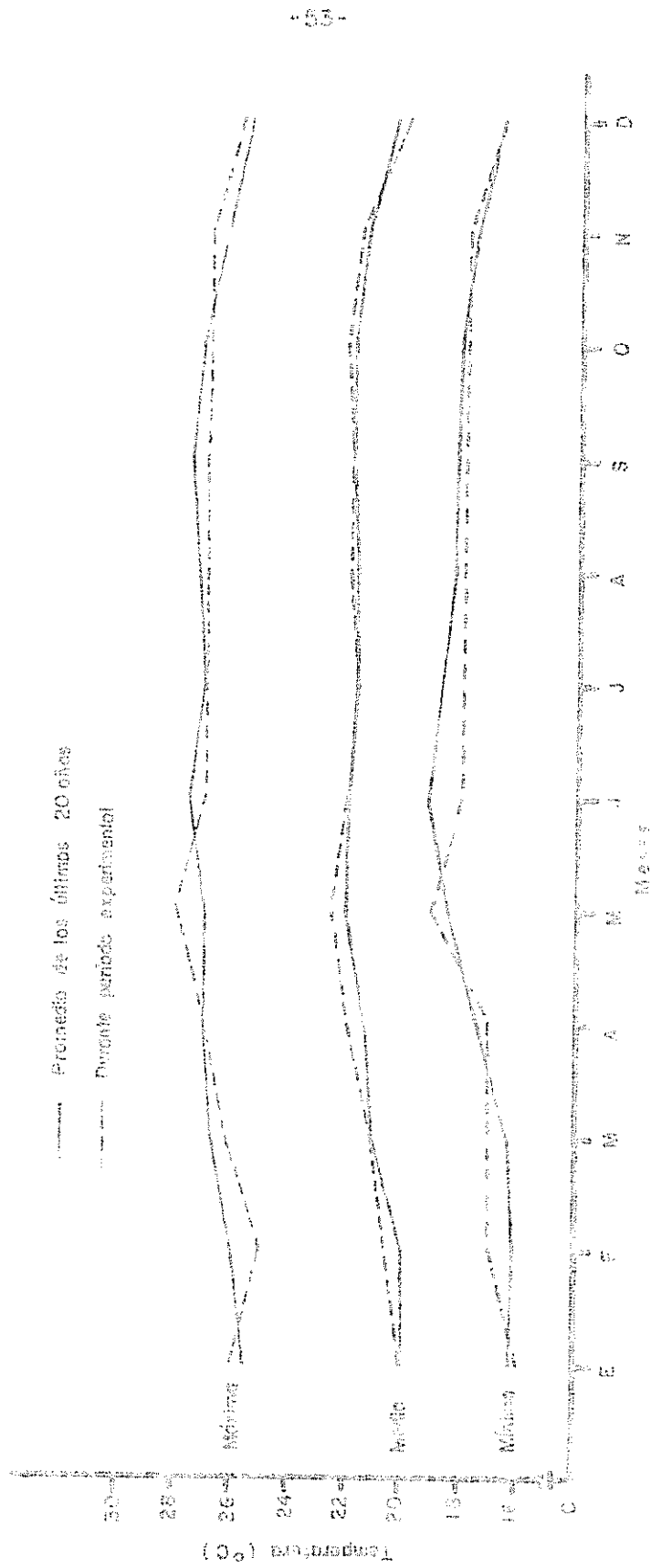


Fig. 2. Temperatura máxima, media y mínima promedio mensual ocurrido durante el periodo experimental y promedios de los últimos 20 años.

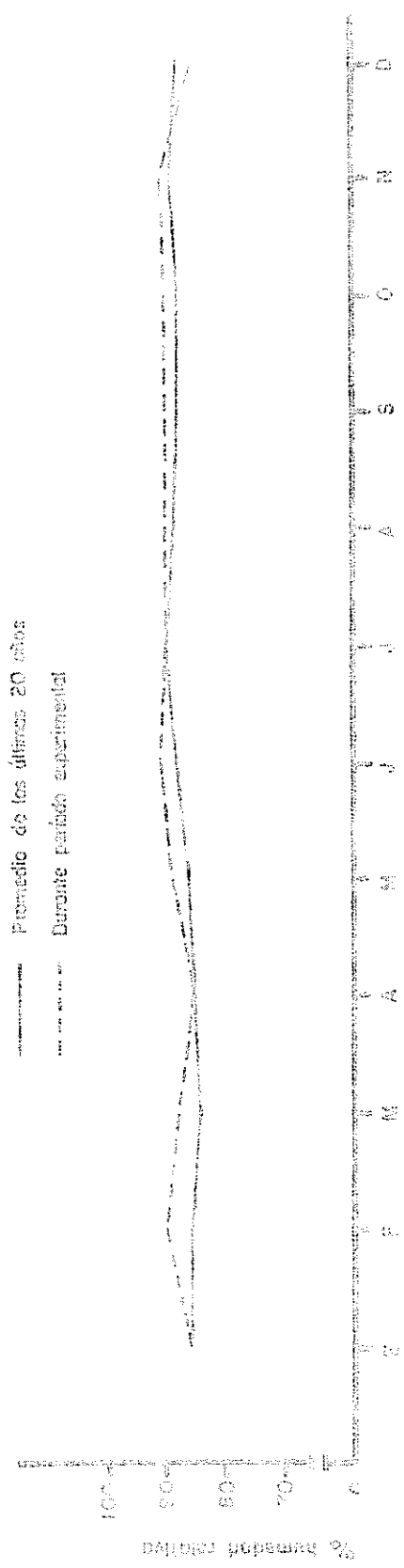


Fig. 3. Porcentaje de humedad relativa promedios mensuales corrientes durante el período experimental y promedio de los últimos 20 años

4.3 Propiedades Químicas y Físicas del Suelo

4.3.a1 Propiedades químicas del suelo

El análisis de variancia de los datos iniciales del análisis químico del suelo no mostró diferencia estadística entre las parcelas involucradas en este experimento. Igualmente, no hubo diferencia significativa en los análisis finales. Pero hubo algunos cambios entre los muestreos inicial y final. En el Cuadro 13A se presentan los resultados iniciales y finales de las propiedades químicas del suelo. A continuación se presenta la diferencia entre los resultados iniciales y finales.

- Porcentaje de Nitrógeno

En el Cuadro 1 se presentan los promedios de la diferencia entre el porcentaje inicial y final de nitrógeno. Se observa que hubo un incremento en todos los manejos de la vegetación, pero la diferencia no fue estadísticamente significativa, Cuadro 2A.

El manejo M1, chapia más herbicida, obtuvo un incremento superior a los manejos tradicionales del suelo.

- Porcentaje de Carbono

⊖ El análisis de variancia no detectó diferencia estadística en el porcentaje de carbono inicial y final, Cuadro 2A. No obstante, en el Cuadro 1 se observa que el manejo de no laboreo M1, chapia más herbicida, alcanzó el mayor promedio de incremento.

- Porcentaje de Materia Orgánica

Los aumentos del porcentaje de materia orgánica en los

Cuadro 1. Promedio de aumento o disminución de porcentaje de nitrógeno, carbono, materia orgánica, pH, disponibilidad de fósforo, potasio, acidez extraíble, calcio, magnesio, y elementos menores, entre los resultados iniciales y finales del experimento, con prueba DMS 1/.

Manejos	Nitrógeno %	Carbono %	Materia Orgánica %	pH	Acidez estr. %	DISPONIBILIDAD						
						meq/100 ml de suelo		µg/ml de suelo				
						Mg	K	Ca	P	Zn	Cu	Mn
M1-Chap. + herb.	0.049	2.20	3.78	0.138	0.098	0.20	-0.039	1.163	6.50	0.70	18.075	-46.10
M2-Chap 50 cm + herb.	0.023	1.73	3.42	0.113	0.181	0.06	-0.055	0.250	5.37	-2.18	16.713	-27.40
M3-Arado sin control	0.003	1.89	2.76	0.275	0.081	0.34	0.015	1.163	3.87	-1.48	13.575	-18.50
M4-Arado con control	0.015	1.76	3.43	0.300	0.044	0.17	-0.167	1.100	3.40	-0.84	13.350	-68.50
M5-Arado con desyerbe	0.021	1.67	2.89	0.425	0.026	0.22	-0.094	0.863	3.65	-2.03	14.813	-31.10
1/ DMS a 1 5%	0.039	0.513	0.734	0.122	0.120	0.290	0.143	0.968	3.124	2.897	4.499	68.79

manejos no presentaron diferencias estadísticas; Cuadro 1. Todavía se observa que los manejos de no laboreo obtuvieron el mayor porcentaje de incremento.

- Reacción del suelo (pH)

El análisis de variancia detectó diferencias altamente significativas para el incremento en la reacción del suelo, Cuadro 2A. Se observa en el Cuadro 1, que hubo un incremento en menor grado en las parcelas con no laboreo.

- Disponibilidad de fósforo y potasio

Para los elementos fósforo y potasio, el análisis estadístico no detectó diferencia significativa, Cuadro 2A. El incremento en la disponibilidad del fósforo fue mayor en las parcelas con no laboreo, mientras que hubo una reducción en la disponibilidad del potasio para todos los manejos, excepto para el manejo M3, arado sin control. La disminución en la disponibilidad del potasio fue superior en los tratamientos con laboreo tradicional, Cuadro 1.

- Porcentaje de acidez extraíble

En el Cuadro 1, se presentan los incrementos del porcentaje de acidez extraíble del suelo. Se observa que hubo un incremento en la acidez extraíble en mayor grado para las parcelas con no laboreo. También hay una tendencia a mayor incremento en la acidez extraíble, a medida que se reduce el laboreo, Cuadro 1.

En el Cuadro 2A se muestra el análisis de variancia para esta característica del suelo.

- Contenido de Calcio y Magnesio

Se observa en el Cuadro 1 que hubo incremento de contenido de calcio y magnesio para todos los manejos estudiados. Sin embargo, los incrementos fueron mayores para el calcio que para el magnesio. Los contenidos de calcio y magnesio tuvieron incremento superior en las parcelas con laboreo convencional.

En el Cuadro 2A se muestra el análisis de variancia para el incremento de calcio y magnesio y su significancia.

- Contenido de Zinc, Cobre y Manganeseo

El análisis de variancia no detectó diferencia significativa para la diferencia entre los análisis iniciales y finales de estos elementos menores, Cuadro 2A.

Se observa en el Cuadro 1 que hubo una reducción en el contenido de manganeseo, siendo el mayor grado para el manejo M4, arado con control, y el menor grado para M3, arado sin control.

El contenido de zinc se redujo en todos los manejos, excepto para el M1, chapia a ras más herbicida.

Para el contenido de cobre, hubo un incremento para todos los manejos; sin embargo, se nota un incremento en mayor grado para los manejos de no laboreo.

4.3. a2 Propiedades físicas del suelo

El análisis de variancia de los resultados del análisis físico inicial del suelo no detectó diferencia estadística entre los diferentes tratamientos. El análisis de variancia para la diferencia entre resultados iniciales y finales se presenta en el Cuadro 3A. Los

resultados de los análisis de las propiedades físicas del suelo, efectuados al inicio y al final, se presentan en el Cuadro 14A. En el Cuadro 2 se presentan los promedios de la diferencia entre la densidad aparente inicial y final. No hubo diferencia significativa. Hubo una tendencia hacia una disminución para todos los manejos, con la excepción del manejo M3, arado sin control, en el cual la densidad fue incrementada en un 0,073 gr/cc.

En el Cuadro 3A se muestran los cuadrados medios y su significancia.

El análisis de variancia no detectó diferencia significativa para la diferencia entre porosidad total inicial y final, Cuadro 3A. En el Cuadro 2 se muestran los promedios de incremento de la porosidad total, se observa que hubo un incremento de la porosidad total en todos los manejos de la vegetación. Sin embargo, los mayores incrementos, se presentaron en los manejos convencionales del suelo.

El análisis de variancia para el porcentaje de espacio poroso capilar y espacio poroso no capilar detectó diferencia significativa para ambos casos, Cuadro 3A.

En el Cuadro 2 se presentan los promedios para ambas características. Se nota que los espacios porosos capilares fueron incrementados significativamente para los manejos de no laboreo del suelo, pero el aumento fue menor para los manejos M3, arado sin control y M4, arado con control. El M5, arado con desyerbe, presentó una disminución de los espacios porosos capilares.

Los espacios porosos no capilares fueron incrementados para los manejos mecánicos del suelo, mientras que con la práctica de no laboreo los espacios porosos no capilares presentaron reducción.

Cuadro 2. Promedio de aumento o disminución de densidad aparente, porosidad total, espacio poroso capilar y no capilar, entre los resultados iniciales y finales del experimento y prueba DMS 1/

MANEJOS	Densidad aparente gr/cc	% de porosidad total	% espacio poroso capilar	% espacio poroso no capilar
M1 - Chap. + herb.	-0.036	2.924	4.813	-1.015
M2 - Chap. 50 cm + herb.	-0.001	1.670	2.731	-0.841
M3 - Arado sin control	+0.073	5.671	0.921	4.146
M4 - Arado con control	-0.077	3.743	0.753	4.116
M5 - Arado con desyerbe	-0.002	6.039	-2.774	6.820
<u>1/</u> DMS al 5%	0.141	3.942	3.175	5.207

- Porcentaje de humedad gravimétrica

El análisis de variancia detectó diferencia altamente significativa en el porcentaje de humedad gravimétrica entre los varios manejos de la vegetación, Cuadro 4A.

En el Cuadro 3 y Figura 4 se presentan los promedios de porcentaje de humedad gravimétrica. Se observa que en los manejos de no laboreo del suelo hubo una mayor disponibilidad de humedad que en los manejos convencionales del suelo en ambos muestreos. El segundo muestreo indicó un porcentaje de humedad más elevado que el primer muestreo, debido a que el primero correspondió al verano.

Cuadro 3. Promedio de porcentaje de humedad gravimétrica en dos muestreos para cinco manejos de la vegetación y prueba DMS 1/

Manejos	Muestreo inicial	Muestreo final	\bar{x}
M1 - Chap. + herb.	45.59	62.29	53.94
M2 - Chap. 50 cm + herb.	54.42	68.81	61.62
M3 - Arado sin control	33.59	59.39	46.49
M4 - Arado con control	36.19	61.50	48.85
M5 - Arado con desyerba	40.19	57.22	48.71

DMS 5% = 4.028, Muestreo inicial en 03/02/78

DMS 5% = 3.629, Muestreo final en 19/11/78

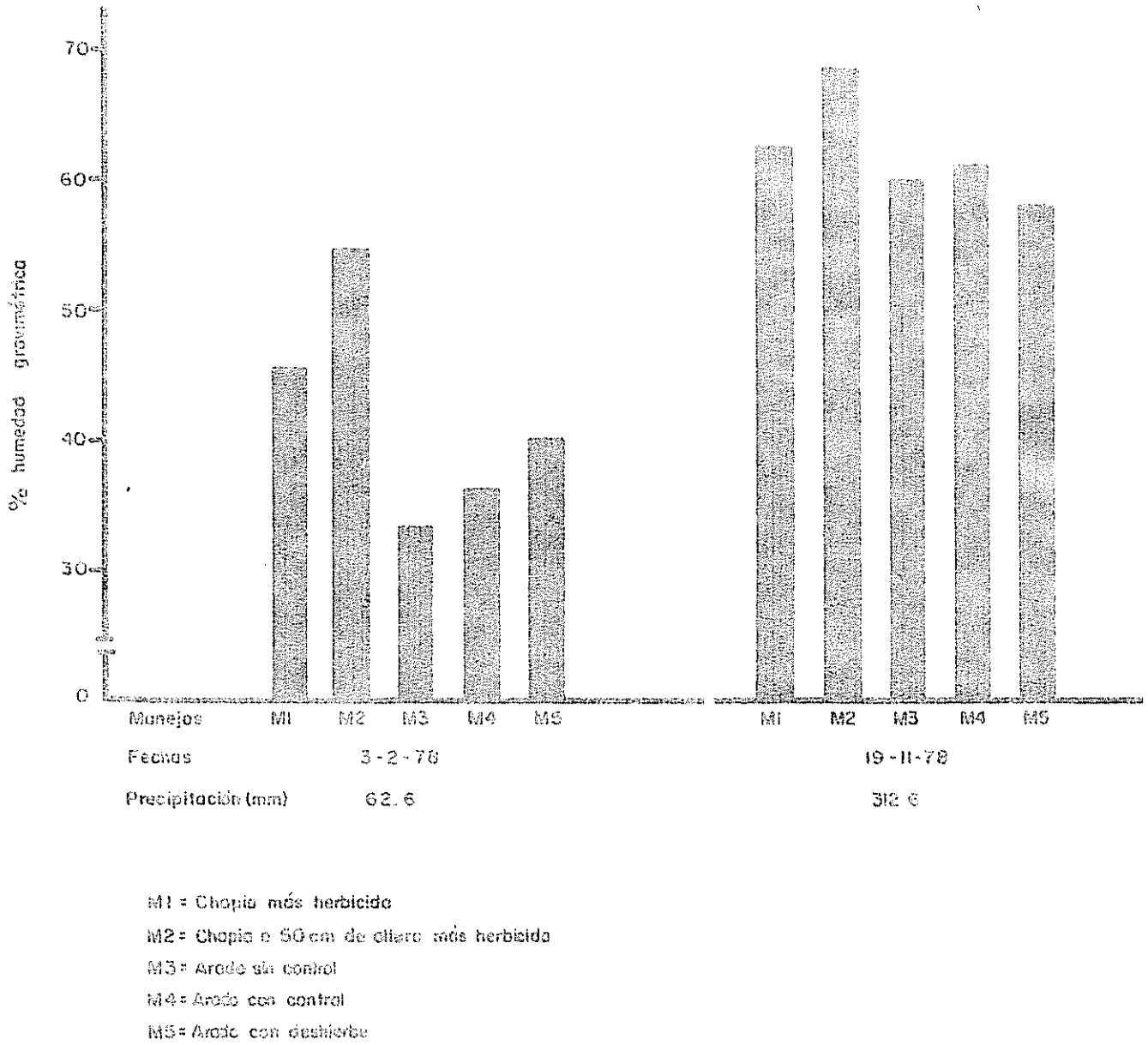


Figura 4 Porcentaje de humedad gravimétrica en dos muestreos para cinco manejos de la vegetación

- Resistencia a penetración

La resistencia a penetración del penetrómetro no mostró diferencia significativa entre los manejos, Cuadro 4A. No obstante, los valores promedios de esfuerzo de penetración tienden a ser mayores para los manejos convencionales de suelo y el menor promedio fue para el manejo de no laboreo del suelo, Cuadro 4.

Cuadro 4. Promedio de esfuerzo de penetración en bares para los manejos de la vegetación y prueba DMS 1/

Manejos	Esfuerzo de penetración en bares
M1 - Chap. + herb.	2.094
M2 - Chap. 50 cm + herb.	1.759
M3 - Arado sin control	2.263
M4 - Arado con control	2.289
M5 - Arado con desyerbe	1.789

1/ DMS 5% = 0.633

4.4 Variables analizadas para la Yuca

4.4.a1 Producción de biomasa total de yuca

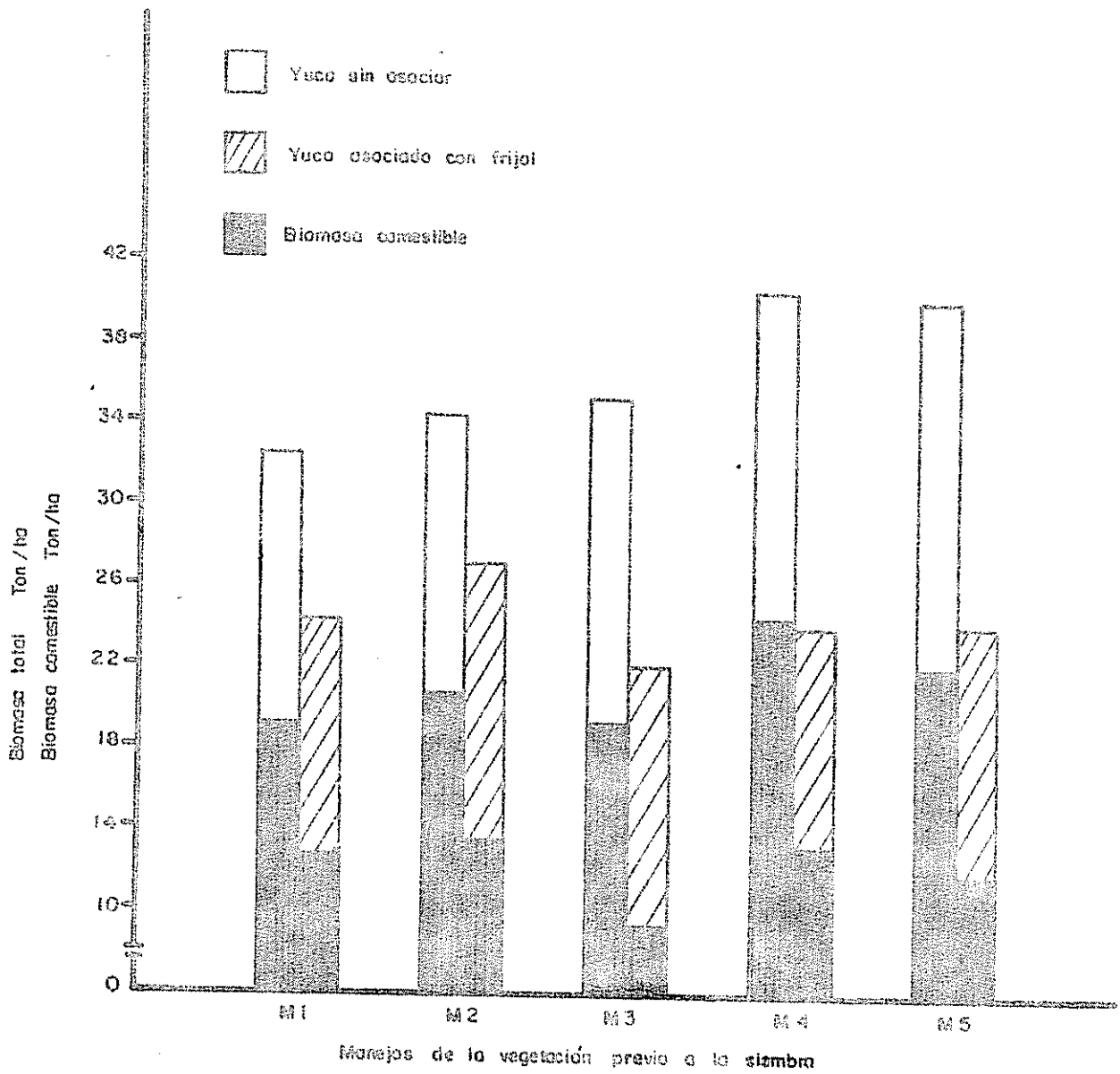
En el Cuadro 5 y Figura 5 se presentan los promedios de biomasa de yuca por sistemas de cultivos y manejos de la vegetación. La prueba DMS, presentada en el Cuadro 5 mostró que la yuca en monocultivo tuvo mayores promedios de biomasa total en comparación con el sistema de

Cuadro 5. Promedios de producción de biomasa de yuca, población de plantas, número de tallos, número de raíces comestibles, número de raíces reservantes, porcentaje de raíces comestibles, largo y diámetro de las raíces comestibles, volumen ocupado y área del suelo removida por dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación con prueba DHS.I/

MANEJOS	Producción de biomasa total Ton/ha		Población final de plantas por parcela SISTEMAS		Número de tallos por parcela		Biomasa comestible ton/ha		No. de raíces reservantes por planta	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
M1 - Chap. + herb.	21.2	32.3	15.5	18.0	34.5	43.5	11.5	18.6	5.8	8.6
M2 - Chap. 50 cm + herb.	25.7	34.3	16.7	15.7	30.7	30.0	12.9	20.5	6.1	8.4
M3 - Arado sin control	20.2	33.3	16.7	17.2	39.2	44.7	9.4	19.1	4.1	8.2
M4 - Arado con control	21.7	40.8	17.7	17.5	36.2	44.2	12.7	24.8	4.3	9.7
M5 - Arado con desyerbe	22.3	40.3	17.7	17.5	41.5	47.5	11.3	22.2	4.6	9.9
x	22.2	36.2	16.8	17.2	36.4	42.0	11.55	21.0	5.0	9.0
I/ DHS sistemas 5%	2.672		0.777		5.053		1.606		0.754	
DHS manejos 5%	4.225		1.228		7.990		2.539		1.192	

MANEJOS	Porcentaje de raíces comestibles/parcela SISTEMAS		Largo de raíz comestible/parcela (cm) SISTEMAS		Diámetro de raíces comestible/parcela (cm) SISTEMAS		Volumen ocupado por las raíces/planta (cm ³) SISTEMAS		Área del suelo removida por planta (cm ²) SISTEMAS	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
M1 - Chap. + herb.	29.7	28.1	21.6	26.3	3.76	3.63	816.25	1839.71	1327.98	904.8
M2 - Chap. 50 cm + herb.	33.1	37.4	24.7	28.2	3.62	3.85	985.85	1741.79	1363.81	1151.3
M3 - Arado sin control	19.8	28.6	12.7	26.2	1.54	3.89	590.56	2045.00	1317.78	787.2
M4 - Arado con control	35.6	42.8	23.7	26.0	3.73	3.64	1134.17	1584.45	1359.31	984.7
M5 - Arado con desyerbe	26.6	31.0	23.1	25.3	3.81	3.99	940.83	1931.81	1436.32	1097.3
x	27.0	35.6	21.2	26.4	3.29	3.80	893.53	1828.55	1495.7	1296.5
I/ DHS sistemas 5%	6.406		2.906		0.456		259.607		235.390	
DHS manejos 5%	10.129		4.595		0.720		410.475		375.347	

S1 = Yuca + frijol
S2 = Yuca sola



- M1 = Chapia o ras más herbicida
- M2 = Chapia a 50 cm de altura más herbicida
- M3 = Arado sin control
- M4 = Arado con control
- M5 = Arado con desyerbe manual

Fig. 5 Biomasa total y biomasa comestible (ton/ha) para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación

yuca asociada con frijol, mientras que los manejos convencionales del suelo tuvieron mayor producción de biomasa total que los sistemas de no laboreo del suelo.

El análisis de variancia, presentado en el Cuadro 5A, indica que hubo diferencias altamente significativas entre los sistemas de cultivos, pero que no hubo diferencias significativas para los manejos de la vegetación y sus efectos combinados.

4.4.a2 Componentes de rendimiento

- Población de plantas final y número de tallos por parcela

El análisis de variancia presentado en el Cuadro 5A para población de plantas, muestra que no hubo diferencias significativas entre los sistemas, ni manejos ni sus interacciones. En el Cuadro 5 aparecen los promedios y la prueba DNS para la población final de plantas. Se observa que los promedios son equivalentes para los sistemas de cultivos y los manejos de la vegetación.

Para el número de tallos el análisis estadístico detectó diferencia significativa para los sistemas de cultivos y los manejos de la vegetación, mientras que para el efecto combinado no hubo diferencia significativa, Cuadro 5A.

El Cuadro 5 muestra que el sistema yuca sola favoreció al mayor número de tallos que el sistema de yuca asociado con frijol. Los manejos mecánicos del suelo obtuvieron los mayores promedios que los manejos de no laboreo.

- Biomasa comestible

El Cuadro 5 muestra los promedios de la biomasa comestible de yuca para los sistemas de cultivos y manejos de la vegetación. El sistema yuca en monocultivo alcanzó rendimientos significativamente mayores al sistema asociado. Los manejos tradicionales del suelo permitieron mayores rendimientos que los manejos de no laboreo del suelo.

El análisis de variancia presentado en el Cuadro 5A, indicó que hubo diferencia significativa para los sistemas de cultivos y manejos de la vegetación, mientras que para la interacción no hubo diferencia estadística.

- Número de raíces reservantes por planta

El análisis estadístico indica diferencia significativa entre los sistemas de cultivos y sus interacciones con los sistemas de manejo. Pero, no hubo diferencia estadística para los manejos. El Cuadro 5A presenta los cuadrados medios y su significancia.

El Cuadro 5 muestra que los promedios de números de raíces reservantes por planta fueron mayores para el sistema de yuca sola, con diferencia altamente significativa en relación al sistema de yuca asociada. El número promedio de raíces fue mayor en los manejos de no laboreo del suelo en el sistema de yuca asociado con frijol, mientras que en el sistema de yuca en monocultivo los promedios fueron inferiores con los manejos de no laboreo.

- Porcentaje de raíces comerciábiles por parcela

En el Cuadro 5 se muestran los promedios de porcentaje de raíces comerciábiles por parcela. Se observa que el sistema yuca sola

obtuvo un promedio significativamente superior al promedio del sistema asociado.

En el Cuadro 5A se muestran los cuadrados medios y su significancia. Se observa que hubo diferencia estadística para los sistemas y sus interacciones. Los manejos M4, arado con control, y M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, obtuvieron los mejores promedios en ambos sistemas de cultivos, mientras que el manejo M3, arado sin control, resultó en el menor promedio en ambos sistemas de cultivos.

- Largo y diámetro de las raíces comerciábiles por parcela

En el Cuadro 5A se muestran los cuadrados medios y su significancia estadística para ambas características. Se observa que la longitud de las raíces comerciábiles mostró diferencia estadística entre sistemas de cultivos, mientras que no hubo diferencia significativa para los manejos y sus interacciones con los sistemas de cultivo.

El diámetro de las raíces mostró diferencia significativa entre los sistemas de cultivo, manejos y sus efectos combinados.

Los promedios de ambas observaciones se presentan en el Cuadro 5. Los resultados indican que la longitud y el diámetro de las raíces comerciábiles del sistema yuca sola obtuvieron mayores promedios en comparación con el sistema asociado. En relación al manejo, las características también son similares, donde el manejo M3, arado sin control, tuvo menor promedio de longitud y diámetro de raíces. Los demás promedios eran equivalentes. El manejo M2, chapia a 50 cm más herbicida, tuvo el mayor promedio para longitud de raíces comerciábiles y el manejo M5, arado con desyerbe manual, tuvo mayor promedio de diámetro de las raíces comerciábiles.

4.4.a3 Observaciones sobre facilidad de cosecha

- Volumen ocupado por las raíces por planta

El cuadro 5A muestra los cuadrados medios y su significancia estadística. Los resultados indican que hubo diferencia altamente significativa entre los sistemas de cultivos, mientras que no se detectó diferencia significativa entre los manejos de la vegetación y sus interacciones con los sistemas de cultivos.

En el Cuadro 5 se observa que en el sistema yuca en monocultivo el volumen ocupado por las raíces obtuvo un promedio bastante superior que en el sistema asociado. En los manejos de la vegetación los promedios son equivalentes. El manejo M3, arado sin control, mostró el menor promedio para volumen ocupado por las raíces por planta.

- Area de suelo removida por la planta en la cosecha

El análisis estadístico reveló diferencia significativa entre los sistemas de cultivos, mientras que no hubo diferencia estadística para los manejos y sus efectos combinados, Cuadro 5A.

En el Cuadro 5 se muestran los promedios del área removida con ocasión de la cosecha. Se observa que el sistema yuca sola obtuvo un promedio superior al sistema de yuca asociado. Entre los manejos de la vegetación los resultados son equivalentes.

- Tiempo de cosecha por parcela

El análisis estadístico mostró diferencia altamente significativa entre los sistemas de cultivos, manejos y sus efectos combinados, Cuadro 6A.

En el Cuadro 6, donde se presentan los resultados promedios del

Cuadro 6. Promedio de tiempo de cosecha, número de raíces quebradas, número de raíces que quedan en el suelo y altura de plantas para dos sistemas de cultivo y cinco manejos de la vegetación, con prueba DHS 1/

MANEJOS	Tiempo de cosecha por parcela (segundos)		Número de raíces quebradas por planta		Número de raíces que se quedan en el suelo/planta		Rendimientos totales de raíces reservantes (ton/ha)				
	S1	S2	\bar{x}	S1	S2	S1	S2	S1	S2	\bar{x}	
M1 - Chap. + herb.	349.5	351.0	350.3	1.5	1.2	1.36	0.95	0.90	18.1	32.0	25.0
M2 - Chap. 50 cm. + herb.	722.0	299.2	510.7	1.4	1.3	1.37	1.15	0.60	15.9	34.9	25.4
M3 - Arado sin control	481.5	535.5	508.5	1.7	1.2	1.46	1.40	0.90	13.8	31.7	22.7
M4 - Arado con control	476.9	244.1	335.5	1.0	0.8	0.90	1.05	0.45	20.0	41.1	30.6
M5 - Arado con desyerbe	654.5	189.0	421.7	1.6	1.1	1.37	1.45	0.65	21.9	43.3	32.6
\bar{x}	526.9	323.8		1.44	1.15		1.20	0.70	17.9		36.6
1/ DHS sistemas 5%	23.534			0.366			0.352		3.316		
DHS manejos 5%	37.211			0.578			0.557		5.243		

MANEJOS	A los 30 días (m)		A los 75 días (m)		A los 150 días (m)		A los 350 días (m)	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
M1 - Chap. + herb.	0.25	0.26	0.69	0.90	1.278	2.000	1.639	2.425
M2 - Chap. 50 cm + herb.	0.25	0.27	0.70	0.66	1.405	1.835	1.620	2.483
M3 - Arado sin control	0.23	0.22	0.57	0.61	1.338	1.645	1.491	2.243
M4 - Arado con control	0.25	0.25	0.61	0.70	1.378	1.793	1.585	2.353
M5 - Arado con desyerbe	0.24	0.24	0.62	0.70	1.303	1.720	1.571	2.503
\bar{x}	0.24	0.25	0.64	0.72	1.340	1.799	1.571	2.401
1/ DHS sistemas 5%	0.14		0.07		0.102		0.155	
DHS manejos 5%	0.22		0.11		0.162		0.245	

S1 = Yuca + Fríjol
S2 = Yuca soía

tiempo de cosecha, se observa que el sistema de cultivo asociado alcanzó un mayor promedio en comparación con sistema de monocultivo. En el sistema de cultivos asociados los manejos que lograron mayor promedio fueron manejos M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, y M5, arado con desyerbe manual. El menor promedio fue obtenido por el manejo M1, chapia a ras más herbicida. En el sistema de yuca sola, los manejos de la vegetación que demostraron los menores tiempos de cosecha fueron M4, arado con control, y M5, arado con desyerbe manual, mientras que el mayor promedio lo alcanzó el manejo M3, arado sin control.

- Número de raíces quebradas por planta

El análisis estadístico no detectó diferencia significativa entre los sistemas de cultivo, manejos de la vegetación y sus interacciones, Cuadro 6A.

Los promedios presentados en el Cuadro 6, muestran que el número de raíces quebradas es mayor para el sistema de cultivo asociado. El manejo de la vegetación que obtuvo el mayor promedio fue M3, arado sin control y el menor promedio fue M4, arado con control.

- Número de raíces que quedaron en el suelo durante la cosecha, por planta

En el Cuadro 6A se muestran los cuadrados medios y sus significancias para el número de raíces que quedaron en el suelo, en la cosecha. Se nota que hubo diferencia altamente significativa entre los sistemas de cultivos. El promedio obtenido por el sistema yuca en monocultivo fue inferior al alcanzado por el sistema de yuca asociado con frijol. Los promedios en los manejos son equivalentes. El mayor promedio fue para el manejo M3, arado sin control y el menor promedio fue en el manejo M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, Cuadro 6.

4.4.a4 Altura de planta

El análisis estadístico no detectó diferencia estadística significativa a los 30 días después de la siembra, Cuadro 6A. Se observa en el Cuadro 6 que los promedios de altura de planta son equivalentes para los dos sistemas de cultivos y para los manejos de la vegetación. Para la altura de planta a los 75 días después de la siembra, el análisis de variancia detectó diferencia significativa entre los sistemas de cultivos y manejos, pero no para sus efectos combinados, Cuadro 6A.

En el Cuadro 6 se observa que en el sistema de yuca en monocultivo la altura promedio es mejor que la altura promedio del sistema yuca asociada con frijol. La altura promedio mayor fue obtenida en el manejo M1, chapia a ras mas herbicida, y la altura promedio más baja fue obtenida en el manejo M3, arado sin control. Los demás manejos resultaron en altura de plantas equivalentes.

El análisis de variancia de la altura de plantas 150 días después de la siembra detectó diferencia significativa entre los sistemas de cultivos. No hubo diferencia significativa entre los manejos de la vegetación y sus interrelaciones, Cuadro 6A.

Se observa en el Cuadro 6 que la yuca en monocultivo alcanzó una altura promedio bastante superior a la altura de la yuca asociada con frijol.

En los manejos de no laboreo del suelo, la altura de la yuca fue superior al manejo tradicional del suelo.

Para altura de plantas 350 días después de la siembra, el análisis de variancia detectó diferencias altamente significativas para los sistemas de cultivos y diferencia significativa para los manejos de la vegetación, pero para los efectos combinados no hubo diferencia

significativa, Cuadro 6A.

El Cuadro 6 presenta los promedios de altura de plantas. Se observa que en el sistema de yuca en monocultivo la altura promedio fue mayor que el sistema asociado. La altura promedio de plantas en los manejos de no laboreo del suelo eran mayores que en los manejos de laboreo del suelo.

4.4.a5 Rendimiento total de raíces reservantes

El análisis de variancia detectó diferencia altamente significativa en rendimiento total de raíces entre los sistemas de cultivos y entre los manejos de la vegetación, mientras que no hubo diferencia estadística para los efectos combinados. En el Cuadro 6A se presentan los cuadrados medios y su significancia.

En el Cuadro 6 se presentan los promedios de producción de raíces totales. Se observa que los rendimientos obtenidos con el sistema de yuca sola son significativamente mayores que los obtenidos en el sistema asociado. Los rendimientos de raíces totales fueron mayores en los manejos de laboreo del suelo. Los mayores promedios fueron M4, arado con control, y M5, arado con desyerbe manual. El manejo M3, arado sin control, presentó la menor producción de raíces reservantes, Figura 6.

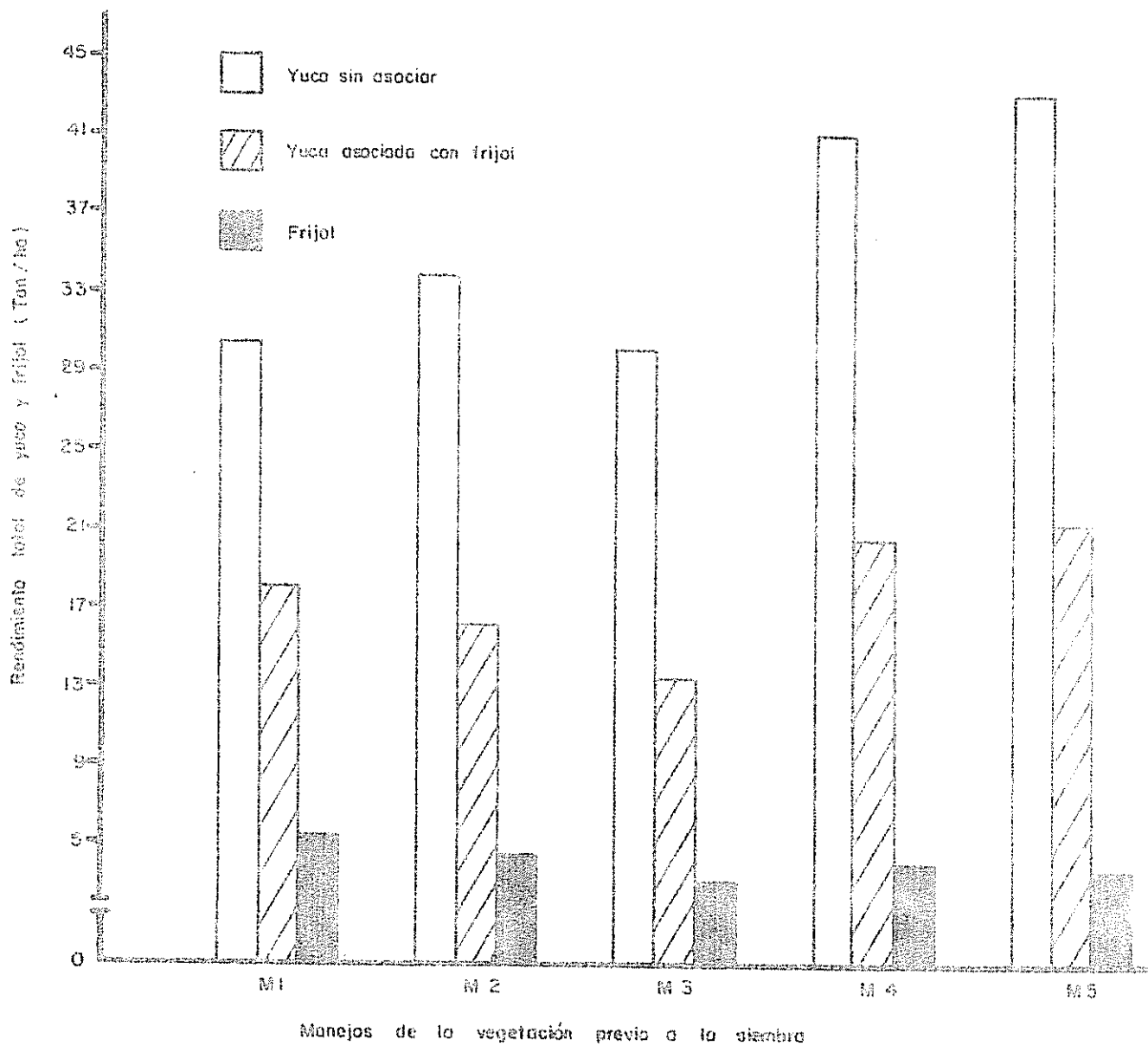
4.4.b Variabes analizadas para el frijol

4.4.b1 Rendimiento de granos

En el Cuadro 7 y Figura 6 se presentan los datos de rendimiento en grano del frijol asociado con yuca. Se observa que los rendimientos promedios en el manejo de no laboreo del suelo, fueron mayores que los rendimientos en los manejos convencionales del suelo.

Cuadro 7. Promedio de rendimientos de granos, energía total, análisis de crecimiento y componentes del rendimiento de frijol para cinco manejos de la vegetación, con prueba DHS 1/

MANEJOS	Rend. granos Kg/ha	Energía total Mcal/ha	Análisis de Crecimiento				Componentes de Rendimiento			
			Biomasa total Kg/ha	Altura de plantas 30 días cm	Altura de plantas 45 días cm	Área foliar específica g/dm ²	N° semillas por vaina	N° vainas /planta	Número plantas inicial/ parcela	Número plantas final/ parcela
M1 - Chap. + herb.	774.425	12068.0	3017.5	29.44	35.42	0.268	7.125	10.47	138.25	117.25
M2 - Chap 50 cm + herb	690.450	8389.0	2097.5	29.82	35.39	0.251	6.050	8.42	126.75	110.25
M3 - Arado sin control	499.175	7233.0	1807.7	25.75	29.69	0.217	6.225	8.82	141.25	124.75
M4 - Arado con control	622.850	9298.0	2637.4	25.50	30.75	0.266	6.475	10.17	139.00	132.50
M5 - Arado con desyerbe	614.675	7086.0	1771.6	26.22	30.12	0.224	6.075	7.05	130.75	110.00
1/ DHS a1 5%	142.968	2945.87	923.46	3.31	5.21	0.041	1.10	5.05	18.13	15.17



- M1 = Chapio o ros más herbicida
- M2 = Chapio a 50 cm de altura más herbicida
- M3 = Arado sin control
- M4 = Arado con control
- M5 = Arado con desyerba manual

Fig. 6 Rendimiento total de yuca y frijol (ton/ha) para dos sistemas de producción y cinco manejos de la vegetación

En los manejos tradicionales del suelo, los rendimientos del frijol son equivalentes para los manejos M4, arado con control, y M5, arado con desyerbe manual, mientras que el manejo M3, arado sin control, tuvo el menor promedio de rendimientos de granos.

El Cuadro 7A muestra los cuadrados medios para esta variable y su correspondiente significancia.

4.4.b2 Energía total del frijol

En el Cuadro 7 se presentan los valores energéticos promedios producidos por el frijol asociado con yuca bajo diferentes manejos de la vegetación. Se obtuvo la mayor producción de energía en el manejo M1, chapia a ras más herbicida. No hubo diferencia significativa entre los manejos M1, chapia a ras más herbicida y M4, arado con control.

En el Cuadro 7A se muestra que hubo diferencia significativa de producción de energía total entre los manejos de la vegetación.

4.4.b3 Análisis de crecimiento

- Biomasa total

El Cuadro 7 muestra que la producción de biomasa total en los manejos M1, chapia a ras más herbicida, M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, y M4, arado con control, son equivalentes. La producción de biomasa total fue menor en el manejo de laboreo del suelo M3, arado sin control, y M5, arado con desyerbe manual.

Se observa también que todos los manejos son equivalentes en producción de biomasa total, excepto el manejo M1, chapia a ras más herbicida, que difiere estadísticamente de M3, arado sin control, y M5, arado con desyerbe manual. El análisis de variancia, que se presenta en forma

de cuadrado medio para esta variable, se muestra en el Cuadro 7A.

- Altura de planta

Los cuadrados medios y la significancia estadística para altura de plantas a los 30 días y 45 días después de la siembra del frijol para los diferentes manejos de la vegetación aparecen en el Cuadro 7A. Se detectó diferencia significativa solamente para altura a los 30 días después de la siembra.

En el Cuadro 7 se presentan los promedios de esta característica, para ambas fechas. Se observa una mayor altura para el manejo de no laboreo del suelo en ambos casos. La prueba DMS aplicada a los promedios, indica que hubo diferencias significativas entre el manejo tradicional del suelo y los manejos de no laboreo del suelo.

- Área foliar específica

En el Cuadro 7 se presentan los promedios del área foliar específica (g/dm^2) por los manejos de la vegetación. Se observa que el manejo de no laboreo del suelo obtuvo el mayor promedio, mientras que el manejo N0, arado sin control, obtuvo el menor promedio.

El análisis de variancia no detectó diferencia estadística significativa para esta característica; en el Cuadro 7A se muestran los cuadrados medios y su significancia.

4.4.b4 Componentes del rendimiento

- Número de semillas por vaina

En el Cuadro 7A se muestra que no hubo diferencia significativa en el número de semillas por vainas entre los diferentes manejos

de la vegetación. La diferencia entre los promedios para este componente se presenta en el Cuadro 7. El mayor promedio fue obtenido por el manejo M1, chapía a ras más herbicida, y los menores promedios fueron para los manejos M2, chapía a 50 cm de altura más herbicida, y M5, arado con desyerbe manual.

- Número de vainas por planta

Según los datos del Cuadro 7A, no hubo diferencia estadística significativa en el número de vainas por planta entre los diferentes manejos de la vegetación.

En el Cuadro 7 se pueden observar los valores promedios para este componente del rendimiento. Los manejos M1, chapía a ras más herbicida, y M4, arado con control, presentan tendencias a los mayores promedios.

- Población de plantas inicial y final

En el Cuadro 7 se presentan los datos promedios de número de plantas por parcela de frijol, 15 días después de la siembra y por ocasión de la cosecha. Se observa que el número de plantas inicial es equivalente en todos los manejos.

Para el caso del número de plantas final, hubo diferencias estadísticas entre los manejos. Los tratamientos arados mostraron mayor número de plantas, mientras que los manejos de no laboreo tuvieron los menores promedios.

El Cuadro 7A muestra los cuadrados medios para estas variables y su significancia correspondiente.

4.5 Comparaciones entre los Sistemas

4.5.1 Biomasa total

Los datos de producción de biomasa total extrapolados para hectárea se presentan en el Cuadro 8.

El análisis de variancia presentado en el Cuadro 8A indica que hubo diferencias altamente significativas entre los sistemas de cultivos, mientras que no hubo diferencia significativa entre los manejos y sus interacciones. La prueba DMS presentada en el Cuadro 8 mostró que el sistema de yuca en monocultivo tuvo los mejores promedios de biomasa para todos los manejos, en comparación con el sistema de yuca asociada con frijol.

Los manejos M5, arado con desyerbe manual, y M4, arado con control, mostraron los mayores promedios en biomasa total para el sistema yuca en monocultivo. El menor promedio se presentó en el manejo M1, chapia a ras más herbicida.

Para el sistema yuca asociada con frijol, el mejor promedio fue para el manejo M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, y el menor promedio lo presentó el manejo M3, arado sin control.

4.5.2 Energía total

El Cuadro 8 muestra los promedios de energía total producida en cada sistema de cultivos con los diferentes manejos durante el periodo total del experimento.

Se observa que como cultivo puro, la yuca sobresale por la producción total de megacalorías, en comparación con el sistema asociado.

Los manejos M4, arado con control, y M5, arado con desyerbe manual, presentan los mayores valores energéticos promedios, mientras

Cuadro 6. Promedios de producción de biomasa total, energía total, biomasa comestible, índice de eficiencia energética, de energía cosechada y eficiencia energética comestible para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación y prueba DMS 1/.

SISTEMAS Y MANEJOS	Producción biomasa total (ton/ha)	Energía total (Mcal/ha)	Biomasa comestible (ton/ha)	Índice de eficiencia energética %	Índice de energía cosechada %	Índice de eficiencia energética comestible %
Yuca + Frijol						
M1 - Chap. + herb.	24.213	96.850.0	12.275	1.673	48.23	0.793
M2 - Chap. 50 cm + herb.	27.793	111.172.0	13.588	1.925	45.96	0.878
M3 - Arado sin control	22.056	88.225.0	9.908	1.528	41.58	0.638
M4 - Arado con control	24.329	97.315.0	13.306	1.683	49.44	0.858
M5 - Arado con desyerbe	24.032	96.127.0	11.889	1.663	46.22	0.768
Yuca						
M1 - Chap. + herb.	32.228	129.150.0	18.583	2.235	53.92	1.200
M2 - Chap. 50 cm + herb.	34.298	137.192.0	20.490	2.373	55.62	1.323
M3 - Arado sin control	33.346	133.392.0	19.144	2.308	53.49	1.235
M4 - Arado con control	40.773	163.092.0	24.764	2.820	56.63	1.598
M5 - Arado con desyerbe	40.325	161.300.0	22.192	2.790	51.38	1.433
DMS sistemas 5%						
DMS sistemas 5%	2.789	11.154.02	1.608	0.193	3.165	0.104
DMS manejos 5%	4.409	17.636.05	2.542	0.305	5.004	0.164

que el manejo M3, arado sin control, para sistema asociado obtuvo el menor promedio de energía total.

El análisis de variancia, Cuadro 8A, muestra que hubo diferencias significativas entre los sistemas. No se detectaron diferencias entre los manejos y sus efectos combinados con los sistemas de cultivos. Los resultados del análisis de variancia son idénticos para los de biomasa total.

4.5.3 Biomasa comestible

La biomasa de las raíces reservantes y de los granos de frijol son analizadas ahora conjuntamente. La biomasa comestible se mostró con diferencias altamente significativas entre los sistemas de cultivos, mientras que los manejos de la vegetación con diferencias significativas al 5 % solamente; el sistema yuca sola obtuvo promedios de biomasa comestible bastante superiores al sistema asociado. Las diferencias entre los promedios de rendimiento de biomasa comestible entre los manejos M4, arado con control, y M3, arado sin control fueron significativas, mientras que las diferencias de biomasa comestible no son estadísticamente diferentes entre los demás manejos, Cuadros 8 y 8A.

4.5.4 Índice de eficiencia energética

El análisis estadístico, Cuadro 8A, muestra que hubo diferencia altamente significativa en el índice de eficiencia energética, entre los sistemas de cultivos, mientras que la influencia de los manejos no afectó la eficiencia energética de los sistemas de cultivos.

La yuca en monocultivo obtuvo una eficiencia energética superior al sistema asociado, para los manejos la mayor eficiencia energética

fue en el manejo M4, arado con control, y la menor eficiencia estuvo en el manejo M3, arado sin control, en el sistema asociado, Cuadro 8.

4.5.5 Índice de energía cosechada

El análisis de variancia indica que hubo diferencia altamente significativa en el índice de energía cosechada, entre los sistemas de cultivos y no hubo diferencia entre los manejos de vegetación, así como también en sus efectos combinados. Los manejos de la vegetación son equivalentes, excepto los manejos M4, arado con control, y M3, arado sin control, que son diferentes estadísticamente, Cuadros 8 y 8A.

4.5.6 Índice de eficiencia energética comestible

El análisis estadístico, Cuadro 8A, demostró que hubo diferencia altamente significativa en el índice de eficiencia energética comestible, entre los sistemas de cultivos y diferencia significativa para los manejos, mientras que las interacciones sistemas-manejos no presentaron diferencia estadística. Sin considerar sistemas, la mayor eficiencia energética comestible fue para el manejo M4, arado con control. Los Manejos M5, arado con desyerbe manual, y M2, chapía a 50 cm más herbicida son equivalentes. El manejo M3, arado sin control, presentó menor eficiencia energética comestible para ambos sistemas de cultivos, Cuadro 8.

4.6 Producción e Infestación de Malezas

- Peso fresco de malezas

En el Cuadro 9 se muestran los promedios de peso fresco de maleza por parcela, por sistemas de cultivos y manejos de la vegetación.

Cuadro 9. Promedios de peso fresco de maleza, conteo de malezas a los 30, 90, y 350 días después de la siembra, para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación y prueba DMS 1/

SISTEMAS Y MANEJOS	Peso fresco de malezas/parcela Kg.	CONTEO DE MALEZAS		
		1° Conteo	2° Conteo	3° Conteo
<u>Yuca + Frijol</u>				
M1 - Chap. + herb.	18.7	118.7	62.7	32.1
M2 - Chap. 50 cm + herb.	17.9	71.5	48.0	22.0
M3 - Arado sin control	22.5	152.7	91.5	26.0
M4 - Arado con control	19.5	138.7	81.0	36.7
M5 - Arado con desyerbe	10.5	129.2	91.5	49.2
<u>Yuca</u>				
M1 - Chap. + herb.	20.5	120.2	39.5	29.5
M2 - Chap. 50 cm + herb.	13.2	55.5	30.0	22.7
M3 - Arado sin control	16.8	141.0	47.5	33.5
M4 - Arado con control	16.7	106.5	50.7	36.5
M5 - Arado con desyerbe	14.1	104.8	30.7	45.5
1/ DMS sistemas 5%	1.993	16.187	11.757	4.048
DMS manejos 5%	3.151	25.594	18.590	6.400

Fecha de los conteos:

1° conteo: 15/01/78

2° conteo: 12/03/78

3° conteo: 30/11/78

Se observa que el sistema de yuca sola tiene un promedio menor de peso fresco de malezas que el sistema asociado.

El análisis de variancia, presentado en el Cuadro 9A, detectó diferencia altamente significativa para los manejos de la vegetación y sus interacciones con los sistemas de cultivos. Los manejos que tuvieron mayores promedios en producción de malezas fueron M1, chapia a ras más aplicación de herbicidas, y M3, arado sin control, mientras que los manejos M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, y M5, arado con desyerbe manual, presentan los menores promedios. El manejo M3, arado sin control, tuvo los mayores promedios de producción de malezas en ambos sistemas de cultivos.

- Conteos de malezas

Se realizaron tres conteos de malezas en las siguientes épocas: 30 días, 90 días y 350 días después de la siembra.

En el primer conteo hubo diferencia significativa entre los sistemas de cultivos y diferencia altamente significativa entre los manejos de la vegetación, mientras el efecto combinado no presentó diferencia significativa. Para los sistemas, el mayor promedio de número de malezas fue para el sistema asociado y entre los manejos de la vegetación el M3, arado sin control, tuvo el mayor promedio mientras que el manejo M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, presentó menor promedio. Los demás manejos de la vegetación tuvieron un número promedio de malezas equivalentes, Cuadros 9 y 9A.

El conteo de 90 días después de la siembra mostró que la infestación de malezas fue similar al primer conteo. El análisis de variancia detectó diferencia altamente significativa entre los manejos de la vege-

tación y diferencia significativa entre los sistemas de cultivos. No se detectaron diferencias estadísticas para las interacciones, Cuadros 9 y 9A.

La última evaluación de la infestación de malezas se efectuó 350 días después de la siembra. El análisis de variancia, Cuadro 9A, no detectó diferencia estadística significativa entre los sistemas de cultivos, pero hubo diferencia altamente significativa entre los manejos de la vegetación. El efecto combinado no presentó diferencia significativa.

En el Cuadro 9 se observa que el manejo M2, chapia a 50 cm más herbicida, tuvo el menor promedio de número de malezas y el manejo M5, arado con desyerbe manual, el mayor promedio de número de malezas. Los manejos M1, chapia a ras más herbicida, y M4, arado con control, fueron equivalentes estadísticamente.

4.7 Evaluaciones Económicas

- Análisis de beneficios y costos

Con objeto de conocer la variabilidad en la rentabilidad de los dos sistemas de cultivos y los cinco manejos de la vegetación para las condiciones del mercado de Costa Rica, se elaboraron varios cuadros, utilizando los precios vigentes de jornales y productos.

En el Cuadro 10A se puede apreciar que los costos de producción, los costos variables y costos en efectivo son más elevados para los manejos mecanizados y para el sistema asociado, debido a la influencia de la mecanización de los manejos y del frijol en el sistema asociado. Los costos de producción variables y en efectivo son mayores para los manejos M4, arado con control, y M5, arado con desyerbe manual, en ambos

sistemas de cultivos, y los menores son para los manejos de no laboreo del suelo.

Los manejos de no laboreo presentaron mayores cantidades de mano de obra necesaria; sin embargo, esta diferencia no es sobresaliente.

En el Cuadro 10 y Figura 7 se muestran cuáles de los sistemas de cultivos y manejos de la vegetación son más rentables. El Margen Bruto y el Ingreso Neto para los manejos M5, arado con desyerbe manual y M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, en el sistema de yuca en monocultivo, mostraron los valores más altos. Para el sistema de yuca asociada con frijol, los valores son equivalentes para los manejos, mientras el manejo M3, arado sin control, obtuvo valor negativo. Los valores de Margen Bruto son mayores que los ingresos netos porque el Margen Bruto no descuenta los costos fijos.

En la cuarta columna del Cuadro 10 se muestra el Margen Bruto Familiar que indica la retribución a la mano de obra del productor y su familia. Se considera que el grupo familiar realiza todo el trabajo; tampoco cubre los costos fijos. Los valores mayores fueron obtenidos en los manejos M5, arado con desyerbe manual, M4, arado con control, y M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, para el sistema de cultivo de yuca en monocultivo. Los demás manejos son equivalentes en el sistema de yuca asociada con frijol. Se observa que la influencia de la mano de obra familiar es considerable para ambos sistemas de cultivos, puesto que los valores son más altos para el Margen Bruto Familiar e Ingreso neto Familiar en comparación al obtenido por el Ingreso Neto y Margen Bruto.

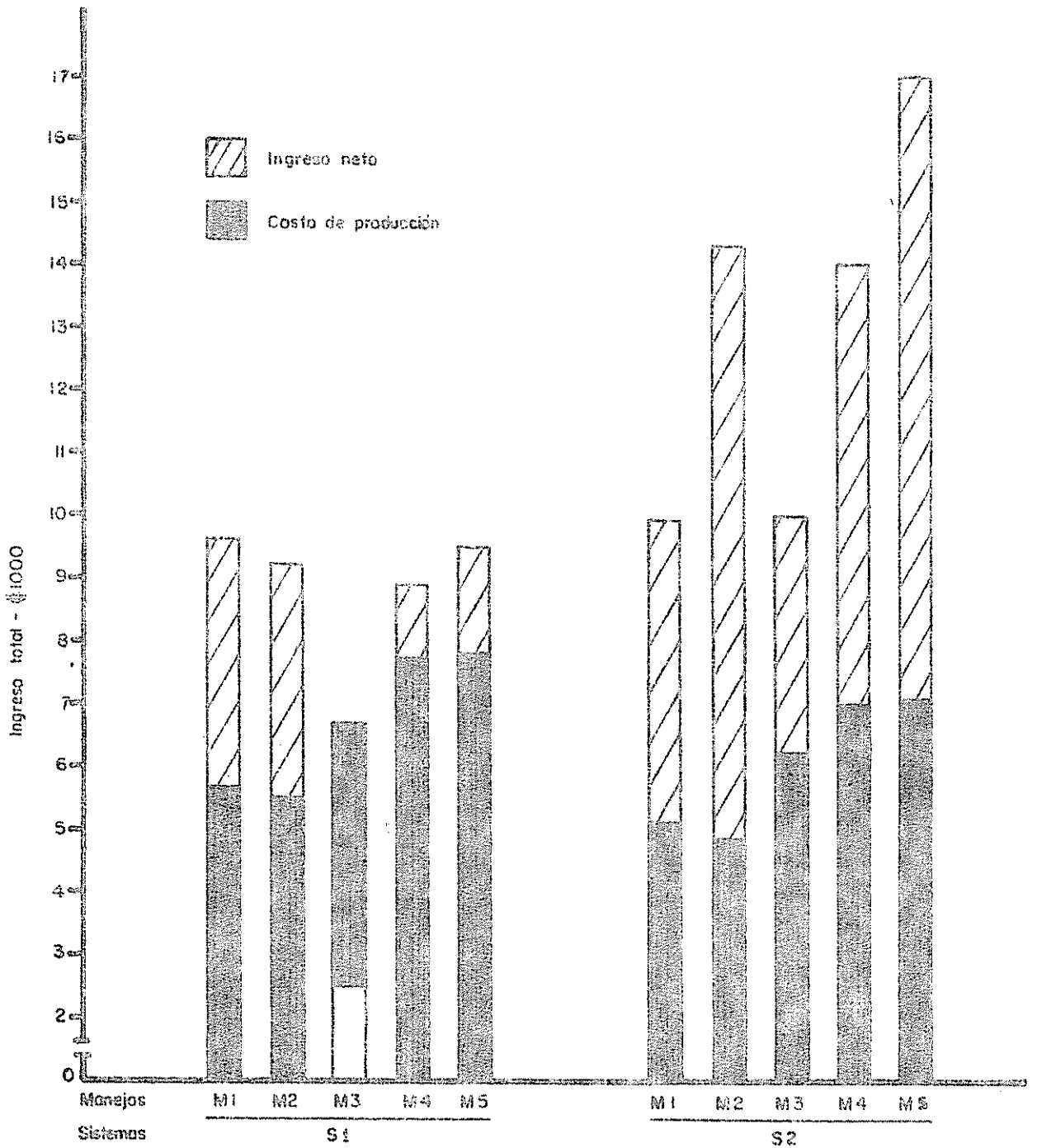
Cuadro 10. Análisis económico para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación.

SISTEMAS Y MANEJOS	YUCA		FRIJOL		Ingreso total ¢/ha	Margen bruto ¢/ha	Ingreso neto ¢/ha	Margen bruto familiar* ¢/ha	Ingreso neto familiar* ¢/ha
	Rendimiento total ton/ha	Rendimiento comercial ton/ha	Rendimiento de granos kg/ha	Rendimiento de granos kg/ha					
<u>Yuca + Frijol</u>									
M1 - Chap. + herb.	18.06	5.36	774.4	774.4	9682.80	4368.88	3951.50	7445.20 ^{or}	7027.82
M2 - Chap. 50 cm + herb.	15.94	5.28	690.4	690.4	9184.10	4103.17	3685.79	6946.50	6529.12
M3 - Arado sin control	13.83	2.74	499.2	499.2	2441.10	-3812.74	-4340.10	781.50	254.14
M4 - Arado con control	20.04	5.33	622.8	622.8	8908.50	1774.58	1195.20	6670.90	6091.52
M5 - Arado con desyerbe	21.87	5.90	614.7	614.7	9495.90	2260.30	1732.94	7836.30	7308.94
<u>Yuca</u>									
M1 - Chap. + herb.	31.98	8.99	-	-	9889.0	5164.04	4768.08	7845.0	7449.04
M2 - Chap. 50 cm + herb.	34.89	13.05	-	-	14355.0	9883.03	9487.07	12311.0	11915.04
M3 - Arado sin control	31.67	9.06	-	-	9966.0	4321.12	3815.18	8500.0	7994.06
M4 - Arado con control	41.15	12.76	-	-	14036.0	7511.04	6953.08	11992.0	11434.04
M5 - Arado con desyerbe	43.29	15.41	-	-	16951.0	10324.36	9818.42	15485.0	14979.06

* Suponiendo que la mano de obra es familiar

Precios: Yuca - \$1.10 por kg.

Frijol - \$4.89 por kg.



M1 = Chapia más herbicida

M2 = Chapia a 50 cm de altura más herbicida

M3 = Arado sin control

M4 = Arado con control

M5 = Arado con deshierbe manual

S1 = Yuca

S2 = Yuca + frijol

Figura 7 Ingreso neto y costo de producción para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación

- Análisis de sensibilidad a los ingresos y costos

El análisis de sensibilidad en el Cuadro 11 muestra la sensibilidad de los sistemas de cultivos y de los manejos de la vegetación, con respecto a la disminución en los ingresos, por aumento en los costos o por disminución en los precios del producto.

Se observa que el sistema yuca en monocultivo es menos sensible que el sistema asociado y soporta más los cambios de disminución de los ingresos y aumento de los costos.

En cuanto a los manejos de la vegetación, se observa que los manejos M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida y M5, arado con desyerbe manual para el sistema de yuca en monocultivo, son menos sensibles que los demás manejos. Los manejos más riesgosos son M4, arado con control, y M5 arado con desyerbe manual para el sistema de yuca asociada con frijol.

Se puede apreciar que el manejo M3, arado sin control, para el sistema asociado, obtuvo valores negativos, lo que implica que los ingresos deben aumentar 178% para que el productor no tenga pérdidas, o los costos deben disminuir 64% para igualar a los ingresos.

- Retribuciones a los factores de producción

En el Cuadro 12 se presentan las retribuciones a los factores de la producción -Tierra, Capital y Mano de Obra. Estos índices tienen gran importancia en la toma de decisiones por los agricultores de acuerdo a una situación específica.

Se observa que el índice de retribución al capital es mayor para los manejos M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida y M5, arado con desyerbe manual, para el sistema de yuca sola. El manejo M3, arado

Cuadro 11. Análisis de sensibilidad para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación.

SISTEMAS Y MANEJOS	% de disminución de ingreso para que IT = CT	% de aumento en C. Totales para que CT = IT
<u>Yuca + Frijol</u>		
M1 - Chap. + herbicida	41 %	69 %
M2 - Chap. 50 cm + herbicida	40 %	67 %
M3 - Arado sin control	-178 %	-64 %
M4 - Arado con control	13 %	15 %
M5 - Arado con desyerbe	18 %	22 %
<u>Yuca</u>		
M1 - Chap. + herbicida	48 %	93 %
M2 - Chap. 50 cm + herbicida	66 %	195 %
M3 - Arado sin control	38 %	62 %
M4 - Arado con control	50 %	98 %
M5 - Arado con desyerbe	68 %	138 %

IT = Ingreso Total

CT = Costos Totales

Cuadro 12. Retribuciones a los factores de producción para dos sistemas de cultivo y cinco manejos de la vegetación.

SISTEMAS Y MANEJOS	Al capital efectivo ₡	Retribución al jornal familiar ₡	A la tierra ₡/ha
<u>Yuca + Frijol</u>			
M1 - Chap. + herbicida	2.88	85.71	4368.88
M2 - Chap. 50 cm + herbicida	2.68	86.71	4103.17
M3 - Arado sin control	0.07	3.43	-3812.74
M4 - Arado con control	1.38	74.29	1774.58
M5 - Arado con desyerbe	1.94	73.08	2260.30
<u>Yuca</u>			
M1 - Chap. + herbicida	3.34	104.92	5164.04
M2 - Chap. 50 cm + herbicida	5.35	185.30	9883.03
M3 - Arado sin control	2.25	126.89	4321.12
M4 - Arado con control	2.73	161.04	7511.04
M5 - Arado con desyerbe	4.21	168.30	10324.36

sin control obtuvo menor valor en ambos sistemas de cultivos. La retribución al factor mano de obra es mayor para el sistema yuca sola en comparación al sistema asociado. Los manejos M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, y M5, arado con desyerbe, son superiores a los demás manejos de la vegetación en ambos sistemas de cultivos.

Con respecto al factor tierra, el comportamiento es muy similar a los índices anteriores. Los mayores valores fueron obtenidos por el sistema yuca sola, los manejos M5, arado con desyerbe manual y M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida son superiores a los demás en ambos sistemas de cultivo.

Por lo expuesto, los mayores índices son para el sistema de cultivo de yuca en monocultivo y los manejos más promisorios en cuanto a retribución a los factores de producción son M5, arado con desyerbe manual y M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, respectivamente.

- Retornos promedios a capital y mano de obra

Los índices de retorno promedio a capital y mano de obra tienen la finalidad de seleccionar los manejos y sistemas más promisorios. En el Cuadro 13 se muestran los índices de retorno promedios al capital y mano de obra. Se observa que para retornos al capital y a la mano de obra, el sistema yuca en monocultivo tiene valores superiores al sistema asociado.

Los manejos de no laboreo del suelo M1, chapia a ras más herbicida y M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida presentan los mayores retornos promedio al capital efectivo utilizado en el proceso de producción. El manejo M3, arado sin control obtuvo valores negativos para el sistema de yuca asociada.

Cuadro 13. Retornos promedios a capital y mano de obra para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación.

SISTEMAS Y MANEJOS	INDICES DE RETORNOS PROMEDIOS	
	A capital IN/CE	A mano de obra IN/C. Jornales
<u>Yuca + Frijol</u>		
M1 - Chap. + herbicida	1.62	1.28
M2 - Chap. 50 cm + herbicida	1.51	1.30
M3 - Arado sin control	-1.15	-1.55
M4 - Arado con control	0.27	0.39
M5 - Arado con desyerbe	0.46	0.46
<u>Yuca</u>		
M1 - Chap. + herbicida	2.14	1.78
M2 - Chap. 50 cm + herbicida	4.26	3.91
M3 - Arado sin control	1.07	1.60
M4 - Arado con control	0.98	2.59
M5 - Arado con desyerbe	1.38	2.92

IN = Ingreso neto

C. Jornales = Costo mano de obra

CE = Costo efectivo

En relación al retorno promedio a mano de obra, los manejos M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida; y M5, arado con desyerbe manual, presentan los mayores retornos al capital utilizado en mano de obra. El retorno menor fue para manejo M3, arado sin control, que presenta retorno negativo para sistema asociado.

- Análisis marginal a capital y mano de obra

Después de la selección que el índice de retorno promedio a capital y mano de obra hizo, el análisis marginal nos informará cual es el mejor manejo para los sistemas de cultivos.

En el Cuadro 14 se muestra que al pasar del manejo M1, chapia a ras más herbicida, y al M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, hubo un incremento en el ingreso neto marginal de $\text{Q} 4.718,99$ y al pasar del M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, al M5, arado con desyerbe manual, el incremento en el ingreso marginal fue solamente $\text{Q} 331,35$ para el sistema yuca en monocultivo.

El ingreso marginal del capital en el primer caso fue de 4718%, mientras que para adoptar el manejo M5, arado con desyerbe, fue apenas 25%. Los agricultores, generalmente, no querrán hacer una inversión a menos que el aumento en el ingreso marginal sea de por lo menos 40% sobre el sistema de cultivos.

Para el sistema yuca asociada con frijol, al pasar del manejo M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, a M1, chapia a ras más herbicida, el incremento del ingreso marginal del capital fue 265%, bastante aceptable para los agricultores.

Cuadro 14. Análisis marginal a capital y mano de obra para dos sistemas de cultivos y manejos de la vegetación promisoros.

SISTEMAS Y MANEJOS	RETORNO MARGINAL A CAPITAL				Ingreso Marginal de Capital ¢
	IN ¢	CE ¢	Incremento Marginal en Ingreso Neto ¢	Incremento Marginal en Costo Efectivo ¢	
<u>Yuca + Frijol</u>					
M1 - Chap. + herbicida	3951.50	2438.98	265.71	1	265.71
M2 - Chap. 50 cm + herb.	3685.79	2438.98	-	-	-
<u>Yuca</u>					
M5 - Arado con desyerbe	9818.42	3559.94	331.35	1331.98	25
M2 - Chap. 50 cm. + herb.	9487.07	2227.96	4718.99	1	4718.99
M1 - Chap. + herb.	4768.08	2227.96	-	-	-

IN = Ingreso Neto

CE = Costos efectivos

5. DISCUSION

5.1 Propiedades Químicas del Suelo

En el Cuadro 1 se muestran los efectos de los manejos de la vegetación sobre las propiedades químicas del suelo. Se observa un efecto en las siguientes propiedades del suelo: los porcentajes de nitrógeno, carbono, materia orgánica y disponibilidad de fósforo fueron superiores bajo el método de no laboreo. Resultados idénticos fueron encontrados por varios investigadores (8, 60, 75). La tendencia de aumento de los porcentajes de nitrógeno, carbono, materia orgánica, y disponibilidad de fósforo en la superficie es debido a una mayor infiltración de agua, incorporación de los residuos vegetales, reducción de la evaporación y la poca movilidad del fósforo, respectivamente (85, 7). En el caso del potasio hubo una disminución de la disponibilidad de este elemento en todos los manejos; sin embargo, la disminución tuvo mayor tendencia para el método de laboreo tradicional. Probablemente, esto es debido a la mayor movilidad de este elemento. Resultados similares con la disponibilidad del potasio encontraron Triplett y Van Doren (105) y Moschler *et al.* (75).

Con la reducción del laboreo hubo un aumento de la acidez extraíble; resultados iguales encontraron Burgos y Meneses (20).

Los contenidos de calcio y magnesio fueron incrementados de manera equivalente en todos los manejos, mientras que los elementos menores, zinc y magnesio, sufrieron una reducción; el cobre tuvo un incremento, siendo superior en las parcelas con no laboreo del suelo en comparación con el laboreo mecánico.

La propiedad química que fue aumentada con mayor significancia por los manejos de suelo fue pH. Hubo incremento significativo para las parcelas de laboreo mecánico en comparación con el método de no laboreo. Reicosky (88) y Sans (94) encontraron que bajo la cobertura residual, en la práctica del no laboreo, hubo una disminución del pH, en relación con las parcelas de laboreo tradicional, probablemente debido a la mayor infiltración de agua, la aplicación de fertilizantes ácidos que se quedan en los primeros 10 cm de profundidad y mayor absorción de elementos no acidificantes por los cultivos (9, 85).

5.2 Propiedades Físicas del Suelo

Por los análisis de los resultados de las propiedades físicas del suelo se comprobó la tendencia de que los efectos de compactación del suelo son más evidentes para la práctica de laboreo mecánico. Resultados similares fueron encontrados por varios autores (20, 52 y 60). Rosenberg (92) afirma que la causa mayor de compactación es la tracción de los implementos agrícolas, laboreo, tráfico de ganado y de personas.

La tendencia a compactación del suelo se observa con los métodos mecánicos de labranza, debido a un ligero incremento de los espacios porosos capilares, mientras que los espacios porosos no capilares son aumentados en 4 a 6 por ciento. Sin embargo, en otro tipo de suelo, o sea con textura arenosa, el efecto de compactación es de mínima magnitud.

- Humedad gravimétrica

El contenido de humedad del suelo fue superior en las parcelas de no laboreo que en los tratamientos con laboreo convencional. Lal (58), Bennet (14), y Blevins (16) encontraron resultados iguales. El

mayor contenido de humedad del suelo bajo el método de no laboreo es debido a la cobertura del suelo por los residuos vegetales que reducen la evaporación y facilita la infiltración del agua en el perfil del suelo (58).

- Resistencia a penetración

El esfuerzo de penetración medido con el penetrómetro en la superficie del suelo fue superior para los manejos convencionales M3, arado sin control, 2.263 bares y para M4, arado con control, 2.289 bares, mientras que para los manejos de no laboreo fueron inferiores. Esto probablemente es debido a que en las parcelas con labranza hubo una formación de una costra endurecida y con no laboreo hubo mayor disponibilidad de humedad. Resultados similares fueron encontrados por Lal (60). Sin embargo, el esfuerzo de penetración no fue factor limitante para la penetración de las raíces, puesto que Russel y Gross (92) afirman que para raíces de cebada un esfuerzo de 5 bares es crítico. Se supone que probablemente las raíces de yuca y frijol están en torno de este valor.

5.3 VARIABLES ANALIZADAS PARA LA YUCA

5.3.1 Biomasa total

El sistema de yuca en monocultivo obtuvo un mayor promedio de biomasa que con el sistema asociado. En este la disminución fue de 38.87% en relación al sistema en monocultivo. Resultados similares fueron obtenidos por Santos (95) y Gallegos (42). Los manejos convencionales presentaron promedios superiores a los de los manejos de no laboreo para el sistema yuca sola, mientras que el manejo M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, obtuvo el mayor promedio en el sistema asociado.

5.3.2 Población de plantas y número de tallos

La población final de plantas fue idéntica para los sistemas de cultivos y para los manejos, mientras que el número de tallos por parcela fue significativamente mayor en el sistema de monocultivo que en el sistema asociado. Los manejos con preparación tradicional obtuvieron número superior de tallos que el método de no laboreo. Probablemente la cobertura residual de la práctica de no laboreo dificultó la germinación de las yemas de las estacas de yuca.

5.3.3 Número de raíces reservantes por planta y porcentaje de raíces comerciáveis

Los promedios de número de raíces reservantes por planta oscilaron entre 4.1 y 5.8 para la yuca asociada y entre 8.2 y 9.9 para la yuca en monocultivo. Estos valores son muy parecidos a otro trabajo realizado con la misma variedad (95). Para los manejos de la vegetación se observa que en el sistema asociado con la práctica de no laboreo, se obtuvieron los mayores promedios de número de raíces, mientras en el sistema sin asociar el número de raíces por planta fue equivalente. Cock (32) explica que cuando el número de raíces es menor de 9, la capacidad de las raíces como receptores de carbohidratos puede limitar el rendimiento.

El porcentaje de raíces comerciáveis fue significativamente mayor en el sistema yuca en monocultivo. Esto está de acuerdo con los resultados reportados por Santos (95). Sin embargo, los porcentajes fueron inferiores a los encontrados por Santos (95), lo cual probablemente se debe a la mayor densidad de plantas sembradas en el presente experimento. Los manejos M4, arado con control, y M2, chapia a 50 cm

de altura más herbicida, tuvieron los mayores porcentajes de raíces comerciables, mientras que el manejo M3, arado sin control, tuvo el menor porcentaje. Se nota que el no control de malezas afectó significativamente al cultivo de yuca, principalmente en la fase de tuberización.

5.3.4 Longitud y diámetro de raíz comerciable

La longitud y el diámetro de las raíces comerciables fueron significativamente superiores en las plantas de yuca sin asociar. Para los manejos, la longitud y el diámetro son equivalentes, excepto para el manejo M3, arado sin control. Se observa que en los manejos convencionales del suelo, acondicionó un mejor ambiente para el desarrollo de longitud, diámetro y número de raíces por planta.

El criterio para clasificar raíces comerciables es menos exigentes en longitud que en diámetro. El mercado de Turrialba acepta reducción en longitud pero no en diámetro (95).

5.3.5 Altura de planta

Hasta los 75 días después de la siembra no hubo diferencia en la altura de las plantas entre los sistemas de monocultivo o asociado. Estos resultados son similares a los obtenidos por Santos (95) y Gallegos (42). En observaciones posteriores, a los 150 y 350 días después de la siembra, la altura de planta de la yuca en monocultivo fue significativamente superior a la altura de planta en el sistema asociado. Esta diferencia en la altura de planta se debe probablemente al efecto de competencia del frijol y al hecho de que no se combatieron después de la cosecha del frijol las malezas que compitieron con más agresividad con la yuca en este sistema.

Para los manejos de la vegetación, la altura de plantas fue equivalente en todos los muestreos realizados; sin embargo, se observa que con la práctica de no laboreo hubo una tendencia para que la altura de las plantas fuera superior a la altura de las plantas sembradas con manejo convencional. Pero este incremento de altura de plantas no se tradujo en un aumento de producción de raíces puesto que el crecimiento de los tallos es independiente del crecimiento de las raíces (32).

5.3.6 Rendimiento total de raíces reservantes

Los rendimientos totales de raíces fueron superiores para el sistema de yuca sola en comparación con el sistema de yuca asociada. Estos resultados son idénticos a los encontrados por Gallegos (42), CIAT (30) y CATIE (24).

Al comparar los rendimientos totales de raíces entre los manejos de la vegetación, se observó diferencia significativa y la práctica de laboreo convencional permitió rendimientos superiores a los manejos de no laboreo. Kupers y Ellen (57) encontraron que el rendimiento de raíces de la remolacha azucarera se redujo bastante con la práctica de no laboreo. Aparentemente, la preparación convencional del suelo acondiciona un mejor ambiente para el desarrollo de las raíces de reserva para el tipo de suelo en que se realizó el experimento, con textura arcillosa. Sin embargo, para suelos con texturas livianas con no laboreo del suelo se obtuvieron rendimientos de camote iguales a los rendimientos obtenidos con la preparación tradicional del suelo (93).

5.4 Observaciones sobre Facilidad de Cosecha

Los resultados de las observaciones sobre la cosecha de la yuca demuestran que hubo una mayor dificultad en la cosecha para las plantas de yuca asociadas con frijol en comparación al sistema de monocultivo. Estos resultados son lógicos si se observa el tiempo de cosecha, el número de raíces quebradas y que quedaron en el suelo durante la cosecha. Además de esto, la yuca asociada tuvo un número menor de raíces comerciables a las plantas sin asociar, luego la operación de arranque y recolección del material que se queda en el suelo fue más difícil.

Para los manejos estudiados, se notó que con la práctica de no laboreo del suelo, hay una tendencia acentuada en dificultar el arranque y recolección de las raíces en comparación con los manejos tradicionales del suelo. Sin embargo, con el M3, arado sin control, hubo una mayor dificultad de cosecha también, debido a una mayor infestación de malezas perennes, mayor número de raíces quebradas y mayor número de raíces que se quedan en el suelo durante la cosecha.

La tendencia a mayor esfuerzo de arranque y de recolección de raíces con el no laboreo es consecuencia de: la cubierta de residuos vegetales en las parcelas, un mayor número de raíces quebradas y que se quedan en el suelo, y probablemente una mayor área del suelo removida con ocasión de la cosecha. Estos factores causan una operación de cosecha con mayor costo y pérdidas de raíces. Díaz (34) recomienda la preparación del suelo para el cultivo de yuca, en virtud de mejor desarrollo de las raíces reservantes y probablemente facilita la cosecha.

5.5. VARIABLES ANALIZADAS PARA EL FRIJOL

5.5.1 Rendimiento y componentes del rendimiento del frijol

El rendimiento de frijol fue superior en la práctica de no laboreo del suelo. Con el manejo M1, chapia a ras más herbicida, el frijol obtuvo rendimientos estadísticamente superiores a los obtenidos con el manejo tradicional del suelo. Probablemente, el mayor contenido de humedad y mejor disponibilidad de nutrientes en las parcelas de no laboreo durante el período vegetativo del frijol pueden explicar estos rendimientos superiores.

Para los componentes de rendimiento, número de granos por vaina y número de vainas por planta, no se detectó diferencia significativa entre los manejos; sin embargo, las plantas en las parcelas con no laboreo mostraron una tendencia a promedios superiores a los con laboreo tradicional.

5.5.2 Análisis de crecimiento del frijol

Se notó que el manejo M1, chapia a ras más herbicida, tuvo un promedio superior a los demás manejos para biomasa, altura de planta a los 30 y 45 días después de la siembra y área foliar específica. Probablemente el contenido de humedad mayor en los tratamientos de no laboreo que en los tratamientos de laboreo tradicional acondicionó un ambiente favorable al desarrollo del frijol, Figuras 1 y 4. En el manejo M3, arado sin control, el frijol tuvo los menores valores de las características estudiadas para análisis de crecimiento de las plantas, sin duda esto se debe a mayor competencia de las malezas perennes por luz, humedad y nutrientes.

5.6 Comparaciones entre los Sistemas

5.6.1 Biomasa total, biomasa comestible

El sistema yuca sin asociar obtuvo el mayor promedio de biomasa total y la diferencia fue altamente significativa, en comparación con el sistema yuca asociada con frijol. Resultados similares fueron obtenidos por Gallegos (42). En el caso nuestro, la menor producción puede deberse a la competencia de las malezas después de la cosecha del frijol y la competencia del frijol. La competencia entre la yuca y el frijol desarrolla sus requisitos máximos de nutrimentos entre los 30 a 40 días, época en que la yuca apenas inicia el desarrollo de raíces y yemas foliares; esta competencia inicial puede afectar sensiblemente el desarrollo posterior de las raíces de yuca. El frijol se cosechó a los tres meses de la siembra y la yuca continuó en monocultivo, luego las malezas perennes compitieron con gran agresividad con la yuca y no las combatieron debido a los tratamientos diseñados.

En el sistema asociado, el manejo de no laboreo M2, chapía a 50 cm más herbicida tuvo mayor promedio que los demás manejos. Para el sistema sin asociar se observa que los manejos de laboreo convencional obtuvieron los mayores promedios.

La biomasa de las raíces de yuca y de los granos del frijol son analizadas conjuntamente. Los resultados mostraron que el sistema yuca sola fue superior estadísticamente en la producción de biomasa comestible al sistema asociado. Debido a que el sistema de yuca en monocultivo no tuvo competencia del frijol y las malezas no fueron tan agresivas, puesto que el follaje de la yuca cubrió el suelo, impidiendo el desarrollo y germinación de semillas de las malezas.

5.6.2 Energía total y eficiencia energética

Al transformar la biomasa total producida por los cultivos componentes de cada sistema a energía expresada en Megacalorías por hectárea (Mcal/ha), podemos notar que el sistema yuca en monocultivo produjo la mayor cantidad de energía de biomasa que el sistema asociado.

El sistema yuca en monocultivo fue más eficiente en transformar la energía solar fotosintéticamente activa en energía de biomasa que el sistema de yuca asociado con frijol.

Gallegos (42) y Santos (95) reportan resultados parecidos, pero con producción menor, puesto que la población de plantas de yuca usada en este experimento fue de 16.666 plantas por hectárea, consecuentemente hubo una mayor producción de biomasa total y energía total.

Para los manejos, los más eficientes energéticamente son los de laboreo tradicionales del suelo, con el sistema de yuca en monocultivo. En el sistema asociado, los manejos que transformaron eficientemente la energía solar en energía de biomasa fueron los de no laboreo del suelo.

Cuando el porcentaje de la eficiencia energética es de 2 a 2,5 se lo considera alto (34). Se alcanza esta eficiencia donde la agricultura está bien desarrollada, sin embargo, los manejos tradicionales del suelo alcanzaron una eficiencia energética superior a los considerados óptimos.

- Energía cosechada y eficiencia energética comestible

El sistema yuca en monocultivo tuvo el mayor porcentaje de energía cosechada en relación a energía de la biomasa total con un promedio de 76.509,74 Mcal/ha/365 días. El sistema asociado alcanzó un promedio de 45.335,41 Mcal/ha/365 días. Sin duda, esto se debe a que el

sistema en monocultivo tuvo una mayor producción de raíces reservantes.

Para los manejos de la vegetación, se notó que los manejos convencionales de preparación del suelo son significativamente superiores a los manejos de no laboreo en el sistema yuca sola.

Si consideramos que el requerimiento energético de un hombre adulto es aproximadamente 3 Mcal/diarias, el sistema yuca en monocultivo mostró la capacidad de mantener, teóricamente, 71 hombres/año, mientras que el sistema asociado con frijol solamente podría mantener 41 hombres/año.

El sistema yuca en monocultivo fue el más eficiente en atrapar la energía fotosintéticamente activa y transformarla en energía cosechada con un porcentaje promedio de 1.35% mientras el sistema asociado tuvo un promedio de 0.79%, debido a la mayor producción de raíces reservantes, en el sistema yuca en monocultivo.

En relación a los manejos se observa que los manejos de laboreo son más eficientes que los manejos de no laboreo en el sistema yuca sola.

5.7 Producción e Infestación de Malezas

La producción e infestación de malezas fueron mayores en el sistema asociado, resultados opuestos a los encontrados en otros trabajos (93). Probablemente esto se debe al complejo de malezas predominantes en el área del experimento, malezas perennes de difícil control y mayor agresividad, como también después de la cosecha del frijol, la yuca no tenía follaje suficientemente cerrado, luego hubo gran germinación de semillas y rebrote de las malezas que estaban bajo control.

En relación a los manejos, la práctica de no laboreo fue más efectiva en el control de malezas. Resultados similares fueron encontrados por otros investigadores (50, 90 y 101). Sin embargo, se observó que el manejo M2, chapia a 50 cm más herbicida, es más efectivo en el control de malezas que M1, chapia a ras más herbicida.

5.8 Evaluaciones Económicas

5.8.1 Análisis de beneficios y costos

El Cuadro 10 muestra los sistemas de cultivo y manejos de la vegetación más rentables.

Para el productor que pretende maximizar el Ingreso Neto, o sea el ingreso libre de todos los costos de producción, la mejor alternativa será el sistema yuca en monocultivo con la práctica de laboreo convencional del suelo. Sin embargo, para el productor que no dispone de capital necesario para invertir en la mecanización del suelo, la mejor alternativa es el manejo M2, chapia a 50 cm más herbicida, debido a un ingreso neto de \$ 9487,00 por hectárea.

El manejo M3, arado sin control, con el sistema yuca asociada con frijol presentó valores negativos para Ingreso Neto, debido a la baja producción de raíces comerciables que no generó suficiente ingreso para cubrir los costos de producción.

Para un agricultor semi-comercial con suficiente mano de obra familiar disponible durante el año y alguna capacidad de endeudamiento, el manejo M5, arado con desyerbe manual, es la mejor opción, porque resultó en mayor ingreso neto familiar. Sin embargo, si este agricultor no tiene acceso al crédito agrícola o capacidad de endeudamiento, la

alternativa del manejo M2, chapia a 50 cm más herbicida, es la opción indicada, ya que además del mayor ingreso neto, controla las malezas eficientemente.

5.8.2 Análisis de sensibilidad los ingresos y costos

Observando sólo el análisis de rentabilidad, los productores escogerían el sistema de cultivos y el manejo de la vegetación que maximice los ingresos netos. En el caso de los agricultores con mano de obra familiar disponible, se escogerían los que maximizan el ingreso neto familiar. Sin embargo, la investigación agrícola al formular una recomendación, también debe basarse en la sensibilidad de las recomendaciones en estudio. Esto es la medida en que las recomendaciones agronómicas soportarán una disminución en los ingresos, debido a un aumento en los costos o por disminución en los ingresos.

El sistema yuca en monocultivo es menos sensible que el sistema asociado, soporta más cambio de disminución en los ingresos y de aumento en los costos.

El manejo M5, arado con desyerbe, en el sistema yuca sola que soporta el mayor cambio, hasta 68% de disminución en ingresos o 136% de aumento en los costos totales, para que el productor salga a la par, sin ganancias y sin pérdidas, luego menos riesgo para el productor.

El manejo M2, chapia a 50 cm más herbicida es también menos sensible a cambios, puesto que soporta un aumento de costo total de 195% o una disminución de 66% en los ingresos o por disminución del precio del producto, sin perder el agricultor. Mientras el manejo M3, arado sin control, en el sistema yuca asociada muestra que es necesario un aumento de los ingresos de 178% o una disminución de 64% en los costos

actualmente para que el productor no sufra pérdidas, aunque no obtenga ganancias.

5.8.3 Retribuciones a los factores de producción

Estos índices de retribución a los factores de producción juegan un papel importante en la toma de decisiones de los agricultores, debido a las situaciones específicas tan variadas de cada uno de ellos. En general, se puede decir que la práctica que da el mayor retorno al factor limitante y que aproveche el recurso más abundante, es la práctica que tiene mayor ventaja para un agricultor. El análisis de retribución al factor limitante permite una flexibilidad para recomendar alternativas más apropiadas a situaciones específicas, y así evita la gran falla de recomendar una sola alternativa para casos muy diferentes.

Cuando el factor limitante es capital, y se pretende maximizar el retorno a los gastos en efectivo, el sistema yuca en monocultivo con el manejo M2, chapia a 50 cm más herbicida, es la mejor opción puesto que por cada colón invertido en gastos en efectivo, hay un retorno de ₡ 5,35. Esto significa que el capital en efectivo adquirido a una tasa de 9.0% al año ofrece una retribución de aproximadamente 500%. La retribución sería de 400% para el manejo M5, arado con desyerbe en el sistema yuca sola, Cuadro 12.

Si la mano de obra es el factor limitante para el productor, el sistema yuca en monocultivo con los manejos M2, chapia a 50 cm más herbicida y M5, arado con desyerbe, ofrecen los más altos retornos por jornal; equivalente a ₡ 185.30 y ₡168.30, respectivamente. Estos valores son aproximadamente seis y cinco veces superiores al costo de oportunidad de la mano de obra.

Si el productor busca maximizar el retorno del factor tierra, el sistema yuca sola con los manejos M5, arado con desyerbe, y M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, son las mejores opciones con retornos equivalentes a $\$ 10.324,00$ y $\$ 9.883,00$ por hectárea, respectivamente. Si el costo de oportunidad es de $\$ 200,00$ por hectárea, las alternativas propuestas son 51 y 49 veces superiores, Cuadro 12.

5.8.4 Análisis marginal a capital y a mano de obra

La selección del sistema de cultivo y de los manejos de la vegetación más promisorios por los índices de retorno promedio a capital y mano de obra, es necesario un análisis marginal que revela la manera en que los ingresos netos de la inversión aumentan a medida que la cantidad invertida crece. Se observa en el Cuadro 13 que el sistema yuca en monocultivo con los manejos M2, chapia a 50 cm más herbicida, y M5, arado con desyerbe, son los que alcanzaron los mejores índices de retorno al capital y mano de obra. Sin embargo, al adoptar el manejo M5, arado con desyerbe, en vez de la alternativa de manejo M2, chapia a 50 cm más herbicida, hubo un incremento de $\$ 331,00$ por hectárea en los ingresos y un aumento de $\$ 1.331,00$ en los costos en efectivo correspondientes a la mecanización. Generalmente el agricultor no querrá hacer esta inversión puesto que la tasa marginal de retorno fue 25%. Según Perrin *et al.* (84) el agricultor no querrá hacer una inversión a menos que la tasa de retorno sea de por lo menos 40% por ciclo del sistema de cultivos.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos bajo las condiciones de este experimento, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Los manejos tradicionales del suelo mostraron una tendencia a compactar el suelo, debido a un aumento de los espacios porosos no capilares, mientras que en la práctica de no laboreo los espacios porosos capilares fueron incrementados con una disminución de los espacios porosos no capilares.

- El contenido de humedad del suelo es superior en las parcelas con no laboreo en comparación con las parcelas laboreadas mecánicamente.

- El porcentaje de nitrógeno, carbono, materia orgánica, la disponibilidad de fósforo y la acidez extraíble tuvieron mayor incremento con el no laboreo en comparación al laboreo mecanizado. Sin embargo, el aumento en la reacción del suelo, pH, fue superior en los manejos de laboreo tradicional.

- La yuca es mucho más eficiente en producción de raíces de reserva, biomasa, y porcentaje de raíces comerciábiles cuando crece en forma de monocultivo, y reduce sensiblemente su producción cuando crece en asocio con frijol.

- Para la yuca, los rendimientos, la biomasa y el porcentaje de raíces comerciábiles fueron superiores con los laboreos convencionales del suelo.

- La práctica de laboreo del suelo acondicionó un ambiente que facilitó la cosecha de las raíces, mientras que los manejos de no laboreo presentaron una mayor dificultad en la cosecha de las raíces.

- Los rendimientos, componentes del rendimiento y vigor de las plantas del frijol fueron superiores en el manejo de no laboreo del suelo.

- La yuca en monocultivo con los manejos tradicionales del suelo fue más eficiente en transformar la energía fotosintéticamente activa en energía de biomasa comestible y energía de biomasa total.

- Los manejos de no laboreo proporcionaron un control más efectivo de malezas perennes que el laboreo tradicional.

- Desde el punto de vista económico, se obtuvieron las mayores ganancias con el sistema de yuca en monocultivo, con los manejos tradicionales del suelo. Sin embargo, para los productores sin capital necesario y sin capacidad de endeudamiento, la mejor alternativa es el manejo M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida.

- El sistema yuca en monocultivo con los manejos M5, arado con desyerbe, y M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, son los menos sensibles a los aumentos de los costos de producción o a disminución de ingresos.

- Con relación a los factores de producción -capital, mano de obra y tierra- las mejores opciones para el productor de acuerdo con su situación específica es el sistema yuca en monocultivo con los manejos M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, y M5, arado con desyerbe, que dieron una mayor retribución que el costo de oportunidad.

- El análisis marginal a capital y mano de obra muestra que la mejor opción es el sistema yuca en monocultivo con el manejo M2, chapia a 50 cm de altura más herbicida, puesto que se presenta una mayor tasa marginal de retorno.

- La peor alternativa en todos los aspectos biológicos y económicos estudiados es el sistema yuca asociada con frijol con el manejo M3, arado sin control.

7. LITERATURA CITADA

1. AGUIRRE, V. A. Estudios de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1971. 83 p.
2. ALBERTY, R. A. Evaluación de sedimentos y cambios físicos y químicos en suelos de ladera cultivados con maíz y frijol, con diferente cobertura viva dentro de una plantación forestal. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1977. 211 p.
3. ANDREWS, D. J. Intercropping with sorghum in Nigeria. *Experimental Agriculture* 8(2):139-150. 1972.
4. ASCENCIO, C. H. y FARGAS, J. E. Análisis del crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. 'Turrialba h') cultivado en solución nutritiva. *Turrialba* 23(4):420-428. 1973.
5. ASHBY, D. G. y PFEIFFER, R. K. A limiting factor in tropical agriculture. *World Crops* 8(6):277-289. 1956.
6. AVILA, M. Economía de la empresa agropecuaria. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1978. 19 p.
7. BAEUMER, K. y BAKERMANS, W. A. P. Zero tillage. *Advances in Agronomy* 25:77-120. 1973.
8. BANDEL, M. A. *et al.* N-behaviour under no-till vs. conventional corn culture. First year results using unlabeled N-fertilizer. *Agronomy Journal* 67(6):782-786. 1975.
9. BARKER, M. R. No tillage farming in the wheat-soyabean rotation. *In Latin American Wheat Conference, Porto Alegre, Brasil. 1974. Proceedings.* pp. 226-237.
10. BAZAN, R. Curso de suelos tropicales; determinación de la densidad de partículas, densidad aparente, porosidad total y espacio aéreo del suelo. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 8 p.
11. _____ *et al.* Desarrollo de sistemas de producción agrícola, una necesidad para el trópico. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 12 p. 1974.
12. _____. Fertilización con nitrógeno y manejo de leguminosas de grano en América Central. *In Bornemisza, E. y Alvarado A. eds. Manejo de suelos en la América Tropical. Raleigh, North Carolina University, 1974. pp. 234-252.*

13. BAZAN, R. Curso de productividad y fertilidad de suelos; análisis de textura. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1975. 4 p.
14. BENNET, O. L. Conservation tillage in the Northeast. *Journal of Soil and Water Conservation* 32(1):9-13. 1977.
15. BERGANZA, J. E. V. y ARIAS, M. F. R. Comparación de métodos químicos, mecánicos y manuales de preparación de la cama de siembra para maíz. *In Reunión Anual del PCCMCA, 23a, Panamá, 1977. Memoria. Panamá, Instituto de Investigación Agropecuaria, 1977. v. 2, pp. M25/1-5.*
16. BLEVINS, R. L. *et al.* Influence of no-tillage on soil moisture. *Agronomy Journal* 63:593-596. 1971.
17. _____, THOMAS, G. W. y CORNELIUS, P. L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after five years of continuous corn. *Agronomy Journal* 69:383-386. 1977.
18. BOONE, F. R. y KUIPERS, H. Remarks on soil structure in relation to zero - tillage. *Netherland Journal of Agricultural Science* 18:262-269. 1970.
19. _____ *et al.* Some influences of zero-tillage on the structure and stability of a fine-textured river soil. *Netherland Journal of Agricultural Science* 24:105-119. 1976.
20. BURGOS, C. F. y HENESES, R. Efecto en el suelo y en el rendimiento de maíz de tres métodos de laboreo en Guápiles, Costa Rica. *In Reunión Anual del PCCMCA, 24a., San Salvador, 1978. Memoria. San Salvador, CENTA, 1978. v. 2, pp M 22/1-9.*
21. _____. Investigación de sistemas de producción en cultivos anuales. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1978. 13 p. + 12 fig.
22. BURRILL, L. C., CARDENAS, J. y LOCATELLI, E. Field manual for weed control research. Corvallis, Oregon, International Plant Protection Center, 1976. 60 p.
23. BURWELL, R. E., ALLMARAS, R. R. y SLOMEKER, L. L. Structural alteration of soil surfaces by tillage and rainfall. *Journal of Soil and Water Conservation* 21(2):61-63. 1966.
24. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. Memoria anual 1974-1975. Turrialba, Costa Rica, 1975. 150 p.
25. _____. Memoria anual 1975-1976. Turrialba, Costa Rica, 1976. 156 p.
26. _____. Memoria anual 1976-1977. pt 3: Informe del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales. Turrialba, Costa Rica, 1977. 166 p.

27. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA. Quinientos resúmenes de trabajos publicados por el CATIE en sus primeros cinco años de labores, 1973-1978. Turrialba, Costa Rica, 1979. 141 p.
28. _____. Small farmer cropping systems for Central America; second annual report, July 1976-June 1977. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1978. 51 p.
29. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Informe anual, 1973. Cali, Colombia, 1974. 283 p.
30. _____. Informe anual, 1975. Cali, Colombia, 1976. 321 p.
31. _____. Informe anual, 1976. Cali, Colombia, 1977. D-85 p.
32. COCK, J. H. Fisiología de la yuca. In Curso sobre producción de yuca. Cali, Colombia, 1976. Edición preliminar. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1976. pp. 127-139.
33. COHRON, G. T. Forces causing soil compaction. In Barnes, K. K. et al. eds. Compaction of agricultural soils. Michigan, American Society of Agricultural Engineers, 1971. pp. 106-124.
34. DIAZ, A. D. Preparación de tierras. In Curso sobre producción de yuca. Cali, Colombia, 1976. Edición preliminar. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1976. pp. 187-196.
35. DIAZ-ROMEY, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernaderos. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos, 1978. 62 p.
36. DOLL, J. Control de malezas en cultivos de clima cálido. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1975. 10 p.
37. ECHANDI, Z. R. Factores limitantes en la producción, disponibilidad y consumo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en América Latina. Archivos Latinoamericanos de Nutrición (Venezuela) 27 (supl. 2): 1-17. 1977.
38. ESPINO, R. F. C. Productividad de maíz (*Zea mays* L.) y frijol de costa (*Vigna sinensis* Endl.) asociados dentro de una plantación forestal en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1975. 78 p.
39. ESTES, G. O. Elemental composition of maize grown under no-till and conventional tillage. Agronomy Journal 64:733-735. 1972.

40. FORSYTHE, W. M. Manual de laboratorio de física de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Serie de libros y materiales educativos, No. 25. 1975. 212 p.
41. GALLANER, R. M. Soil moisture conservation and yield of crops no-till planted in rye. Soil Science Society of America Journal 41:145-147. 1977.
42. GALLEGOS, R. R. P. Evaluación de producción agronómica y biomasa en sistemas de producción que incluyen yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 1976. 122 p.
43. GASTAL, E. Ed. Análisis de los datos de la investigación en ganadería. Montevideo, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Zona Sur, 1971. 570 p.
44. GONZALEZ, R. G. Relaciones entre la morfología de las plantas y la radiación solar dentro de cultivos de maíz, yuca y plátano. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1976. 102 p.
45. GRIFFITH, D. R., MANNERING, J. V. y MOLDENHAUER M., V. C. Conservation tillage in the Eastern corn belt. Journal of Soil and Water Conservation 32(1):20-28. 1977.
46. HARDY, F. The Turrialba Senile Potosol and its fertilizer requirements. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1962. 48 p.
47. _____. Edafología tropical Trad. del inglés por Rufo Bazán. México, D. F., Herrero, 1970. 416 p.
48. HARMOOD, R. R. y BANTILAN, R. T. Shifts in composition of the weed community in intensive cropping systems. In Conference of the Pest Control Council of the Philippines, Davao City, 1974. 9 p.
49. HOLDRIDGE, L. R. Mapa ecológico de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1959. Escala 1:1.000.000.
50. IMTIAZ, M. S. e ISMAIL, I. G. The effect of soil tillage and weed control on corn. In Workshop on Cropping Systems, 3rd, Bogor, Indonesia, 1977. Bogor, Central Research Institute for Agriculture, 1977. V. 2, pp. 1-8.
51. INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. Annual report, 1975. Agronomy systems. Ibadan, 1975. pp. 37-46.
52. _____. Research highlights, 1977. Ibadan, 1978. 10 p.
53. JALDIN, E. C. Efectos de tipo de planta y distribución de surcos sobre el crecimiento y rendimiento de la vainita (*Phaseolus vulgaris* L.) asociada con maíz (*Zea mays*). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 1978. 90 p.

54. JIMENEZ-LACHARME, F. Estudio de absorción de nutrimentos en un agrosistema de producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.) y yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 1976. 90 p.
55. JONES Jr., J. M. *et al.* The no-tillage system for corn (*Zea mays* L.) *Agronomy Journal* 60:17-20. 1968.
56. _____, MOODY, J. E. y LILLARD, J. H. Effect of tillage, no tillage and mulch on soil water and plant growth. *Agronomy Journal* 61:719-721. 1969.
57. KUPERS, L. J. P. y ELLEN, J. Experience with minimum tillage and nitrogen fertilization. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 18(4):270-276. 1970.
58. LAL, R. No tillage effects on properties and maize (*Zea mays* L.) production in Western Nigeria. *Plant and Soil* 40(2):321-331. 1974.
59. _____ *et al.* Problemas de manejo de suelos y posibles soluciones en Nigeria Occidental. In Bornemisza, E. y Alvarado, A. eds. *Manejo de Suelos en la America Tropical*. Raleigh, North Carolina University, 1974. pp. 380-417.
60. _____. Role of mulching techniques in tropical soil and water management. *International Institute of Tropical Agriculture. Technical Bulletin No. 1.* 1974. 37 p.
61. _____. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. *Plant and Soil* 40:130-143. 1974.
62. LARSON, M. E. y SWAN, J. Tillage of wet and dry soils. *Crops and Soils Magazine* 1970:8-11. March 1970.
63. _____ *et al.* Problems with no-till crops. Will it work? *Crops and Soils Magazine* 1970:14-20. December 1970.
64. LEMON, E. R. Energy conversion and water use efficiency in plants. In *Plant environment and efficient water use*. Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy, 1966. pp. 28-48.
65. LEPIZ, I. R. Asociación de cultivos de maíz-frijol. *Agricultura Técnica de México* 3(3):98-101. 1971.
66. LOCATELLI, E. y SHENK, M. Manejo de la vegetación previo a la siembra con énfasis en laboreo mínimo en áreas de pequeños agricultores en Costa Rica y sus aspectos socio-económicos. In *Congreso Asociación Latinoamericana de Malezas*, 4a., Cali, Colombia, 1972. pp. 6-8.

67. LOZANO, J. C. *et al.* Field problems in cassava. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Serie G. E., No. 16. 1976. 127 p.
68. MACARTNEY, J. C. *et al.* The effects of different cultivation techniques on soil moisture conservation and the establishment and yield of maize at Kongwa, Central Tanzania. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 48(1):9-23. 1971.
69. MAHENDRAWATHAN, T. Potential of tapioca (*Manihot utilissima* Poh.) as a livestock feed; a review. *Malaysian Agricultural Journal* 48(1):77-89. 1971.
70. MALLICK, S. y HAGARAJARAO, Y. Effect of tillage on soil structure and plant growth under rain-fed conditions. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 42(9):827-831. 1972.
71. MANNERING, J. V., MEYER, L. D. y JOHNSON, C. B. Infiltration and erosion as affected by minimum tillage for corn (*Zea mays* L.) *Soil Science Society of America Proceedings* 30(1):101-105. 1966.
72. MANUAL DE información. Roundup; herbicida post-emergente. Bogotá, Monsanto, s. f. s.p.
73. MELVILLE, D. R. y RABB, J. L. Studies with no-till soybean production. *Louisiana Agriculture* 20(2):3, 6. 1976-1977.
74. MOOMAN, R. S. y HARTIN, A. R. Weed control in reduced tillage corn production systems. *Agronomy Journal* 70(1):91-94. 1978.
75. MOSCHLER, W. V. *et al.* Comparative yield and fertilizer efficiency of no-tillage and conventionally tilled corn. *Agronomy Journal* 64:229-231. 1972.
76. _____ y MARTENS, D. C. Nitrogen, Phosphorus and Potassium requirements in no-tillage and conventionally tilled corn. *Soil Science Society of America Proceedings* 39:889-891. 1975.
77. _____, MARTENS, D. C. y SHEAR, G. M. Residual fertility in soil continuously field cropped to corn by conventional tillage and no-tillage methods. *Agronomy Journal* 67:45-48. 1975.
78. MURCIA, H. H. Guía para la administración y planeación de empresas agropecuarias. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Publicación Miscelánea No. 112. 1974. 113 p.
79. HAIR, P. K. R., SINGH, A. y MODGAL, S. G. Harvest of solar energy through intensive multiple cropping. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 43(11):983-988. 1973.
80. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. Guía para la descripción de perfiles de suelo. Roma, 1968. 60 p.

81. OSCHWALD, W. R. *et al.* No-tillage planting roundtable. Crops and Soils Magazine 1969:14-19. December 1969.
82. OUMERKERK, C. V. Farm mechanization and soil structure. Netherland Journal of Agricultural Sciences 17:20-26. 1969.
83. _____ y BOONE, F. R. Soil physical aspects of zero-tillage experiments. Netherland Journal of Agricultural Science 18(4):247-261. 1970.
84. PERRIN, R. K. *et al.* Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos; un manual metodológico de evaluación económica. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Folleto de información No. 27, 1976. 54 p.
85. PHILLIPS, S. H. y YOUNG Jr., H. M. No-tillage farming. Milwaukee, Wisconsin, Reiman, 1973. 224 p.
86. PIDGEON, J. D. y SOANE, B. D. Effects of tillage and direct drilling on soil properties during the growing season in a long-term barley monoculture system. Journal of Agricultural Sciences 88:431-442. 1977.
87. PLANTIO DIRECTO. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuarias. Informativo 30. 1978. p. 4.
88. REICOSKY, D. C. *et al.* Conservation tillage in the Southeast. Journal of Soil and Water Conservation 32(1):13-19. 1977.
89. RICHARDS, S. J., WEEKS, L. V. y ERICKSON, L. C. Water use by young lemon trees in relation to soil compaction and tree growth. Soil Science 91:347-350. 1961.
90. ROCKWOOD, W. G. y LAL, R. Mulch tillage: a technique for soil and water conservation in the tropics. Span 17:77-79. 1974.
91. ROSENBERG, N. J. Response of plants to the physical effect of soil compaction. Advances in Agronomy 16:181-195. 1977.
92. RUSSELL, R. S. y GOSS, M. J. Physical aspects of soil fertility; the response of roots to mechanical impedance. Netherland Journal of Agricultural Sciences 22:305-318. 1974.
93. SANCHEZ, P. A. Properties and management of soil in the tropics. New York, Wiley, 1976. 618 p.
94. SANS, L. M. A. *et al.* Efeito da cobertura morta no cultivo do alho, sobre a umidade e algumas características químicas do solo. Revista Ceres (Brasil) 21(114):91-104. 1974.
95. SANTOS, H. A. FOS. Evaluación biológica de agrosistemas basados en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y su rentabilidad económica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1979. 172 p.

96. SHENK, M., JOHNSTON, T. D. y LOCATELLI, E. Evaluaciones económicas de sistemas de producción para pequeños agricultores: el caso de retribución a los factores limitantes. In Reunión Anual del PCCMCA, 24a., San Salvador, 1978. Memoria. San Salvador, CENTA, 1978. v. 3. pp. M 51/1-1.
97. SISTEMA DE PRODUÇÃO DA MANDIOCA NO RECONCAVO E SUL DA BAHIA. Universidade Federal da Bahia. Escola de Agronomia. Projeto Mandioca. Serie Extensão. v. 1, no. 1, 1975. 30 p.
98. SORIA, J. *et al.* Investigación sobre sistemas de producción agrícola para el pequeño agricultor del trópico. Turrialba (Costa Rica) 23(3):283-293. 1975.
99. SOZA, R. F. *et al.* Cero-labranza en el cultivo del maíz. In Reunión anual del PCCMCA, 24a, San Salvador, 1978. El Salvador, Memoria. San Salvador, CENTA, 1978. v. 3, pp. M 49/1-13.
100. SPAIN, J. H. Labranza mínima en suelos tropicales. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical, s. f. 3 p.
101. TAFUR, M. A. V. Efecto de varios sistemas de producción agrícola sobre la resistencia mecánica de los suelos. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1977. 317 p.
102. THUNG, M. Antecedentes fisiológicos y agronómicos para cultivar la yuca y el frijol en asociación. Cali, Colombia, CIAT, 1977. 28 p.
103. TOALA, A. O. Influencia del microclima sobre el comportamiento fisiológico y rendimiento del frijol común y de costa asociados con maíz, yuca y plátano. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1976. 135 p.
104. TRIPLETT Jr., G. B., VAN DOREN Jr., D. M. y SCHMIDT, B. L. Effect of corn (*Zea mays* L.) stover mulch on no-tillage corn yield and water infiltration. *Agronomy Journal* 60:236-240. 1968.
105. _____ y VAN DOREN Jr., D. M. Nitrogen, Phosphorus and Potassium fertilization of non-tilled maize. *Agronomy Journal* 61:638-639. 1969.
106. _____ y VAN DOREN Jr., D. M. Agricultura sin labranza. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria No. 50. 1978. 11 p.
107. UNGER, P. W., WIESE, A. F. y ALLEN, R. R. Conservation tillage in the Southern Plains. *Journal of Soil and Water Conservation* 32(1):43-48. 1977.

108. VIEGAS, A. P. Estudos sobre a mandioca. São Paulo, Brasil. Instituto Agronomico y Brascan Nordeste, 1976. 214 p.
109. VRIES, C. A. DE. New developments in production and utilization of cassava. Abstracts on Tropical Agriculture 4(8/9):9-24. 1978.
110. YEON, H.H. y CHEW, M. Y. Research in tapioca; a brief review. Malaysian Agricultural Journal 49(3):332-343. 1974.
111. ZAFFARONI, E. *et al.* Análisis económico de sistemas de producción agrícola con énfasis en alternativas de laboreo y no laboreo. In Reunión Anual del PCCMCA, 24a, San Salvador, 1978. Memoria. San Salvador, CENITA, 1978. v. 3. pp M 52/1-1. (no publicado).

8. APENDICE

Cuadro 1A. Datos climáticos mensuales correspondientes al año en que se realizó el experimento. Período experimental de diciembre 15, 1977 a diciembre 14, 1978.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Radiación solar (Kcal/cm ²)	14.9	10.0	12.3	13.8	12.7	11.4	11.2	12.2	12.2	12.6	11.1	11.7
Precipitación (mm)	62.6	267.1	85.5	50.5	233.1	252.7	244.1	173.3	221.7	234.8	312.3	150.8
Temperatura mínima prom. (°C)	16.1	17.6	17.6	17.6	19.1	18.6	18.6	18.7	18.6	18.6	18.8	17.0
Temperatura media prom. (°C)	20.0	20.8	21.2	22.0	22.7	22.0	21.8	22.0	21.9	22.1	21.9	21.1
Temperatura máxima prom. (°C)	26.1	25.4	26.7	27.7	28.6	27.4	27.5	27.3	27.5	27.4	27.0	27.0
Humedad relativa %	86.7	90.6	88.4	85.1	89.3	91.3	90.6	90.6	90.3	90.2	92.0	85.6

Cuadro No. 2A. Cuadradosmedias, significancia y coeficiente de variación para las diferencias entre los resultados iniciales y finales de las propiedades químicas del suelo.

F. de variación	GL	P R O P I E D A D E S Q U Í M I C A S												
		% N CH	% Carbono CH	% M.O. CH	pH CH	% Acidez Extrahible CH	Fósforo CH	Potasio CH	Calcio CH	Magnesio CH	Zinc CH	Manganeso CH	Cobre CH	
Repeticiones	3	0.000 ns	0.144 ns	0.775 ns	0.095 **	0.041 ns	26.405 ns	0.017 ns	2.195 ns	0.554 **	52.627 **	8183.758 ns	6.904 ns	
Tratamientos	9	0.002 ns	0.382 ns	0.821 ns	0.082 **	0.023 ns	11.131 ns	0.032 ns	2.361 ns	0.186 ns	7.067 ns	6296.558 ns	40.337 ns	
Error	27	0.001	0.363	0.743	0.021	0.020	13.461	0.028	1.292	0.116	11.575	6525.869	27.919	
C. de variación %	4.5	5.1	6.5	11.5	13.0	25.2	18.1	10.4	28.3	38.5	22.3	20.9		

* Diferencia estadística significativa al 5%

** Diferencia estadística altamente significativa 1%

ns Diferencia estadística no significativa.

Cuadro 3A. Cuadrados medios, su significancia y coeficiente de variación para las diferencias entre los resultados iniciales y finales de las propiedades físicas del suelo.

CUADRADO MEDIO							
Fuente de variación	Gl	Densidad aparente CM	Porosidad total CM	Esp. poroso capilar CM	Esp. poroso no capilar CM		
Repeticiones	3	0.032 ns	9.271 ns	7.000 ns	2.449 ns		
Tratamientos	9	0.055 ns	35.357 ns	37.938 *	82.145 ns		
Sistemas (S)	1	0.059 ns	23.793 ns	4.851 ns	53.708 ns		
Manejos (M)	4	0.024 ns	23.793 ns	62.848 **	134.555 *		
S x M	4	0.084 ns	49.812 ns	21.300 ns	36.805 ns		
Error	27	0.027	21.437	13.907	37.391		
C. de variación %		9.7	42.5	40.1	50.8		

* Diferencia estadística significativa al 5%

** Diferencia estadística significativa al 1%

ns Diferencia estadística no significativa

Cuadro 4A. Cuadrados medios, significancia y coeficiente de variación para resistencia a penetración y porcentaje de humedad gravimétrica del suelo.

Fuente de variación	GL	% Humedad Gravimétrica		Esfuerzo de Penetración CM
		1° Muestreo CM	2° Muestreo CM	
Repeticiones	3	46.057 *	37.664 *	0.473 ns
Tratamientos	9	256.272 **	86.516 **	0.278 ns
Sistemas (S)	1	8.836 ns	41.229 *	0.064 ns
Manejos (M)	4	550.039 **	152.537 **	0.513 ns
S x M	4	24.364 ns	31.517 ns	0.097 ns
Error	27	15.416	12.510	0.381
C. de Variación %		9.3	5.7	30.3

* Diferencia estadística significativa al 5%

** Diferencia estadística significativa al 1%

ns Diferencia estadística no significativa

Cuadro 5A. Cuadrados medios, significancia y coeficiente de variación para biomasa, población de plantas, número de tallos, raíces reservantes, porcentaje de raíces comerciables, largo y diámetro de las raíces, volumen ocupado y área removida para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación.

F. de variación	GL	Producción de biomasa total CH	Producción de biomasa (ton/ha) CH	Población final de plantas/parcela CH	Número de tallos por parcela CH	Biomasa comestible ton/ha CH	Número de raíces reservantes por planta CH
- Repeticiones	3	64.855 *	3.692 ns	255.492 *	24.363 *	6.245 **	
Tratamientos	9	253.978 **	2.803 ns	149.247 *	114.488 *	19.995 **	
Sistemas (S)	1	1956.655 **	1.225 ns	308.025 *	898.998 **	157.808 **	
Manejos (M)	4	41.915 ns	2.525 ns	229.900 *	23.731 *	1.737 ns	
S x M	4	40.371 ns	3.475 ns	28.900 ns	9.118 ns	3.803 *	
- Error	27	16.954	1.432	60.640	6.126	1.349	
C. de Variación (%)	-	14.1	7.0	19.9	15.2	16.6	

F. de variación	GL	Porcentaje de raíces comerciables por parcela CH	Largo de las raíces comerciables por parcela CH	Diámetro de las raíces comerciables por parcela CH	Volumen ocupado por las raíces/planta (cm ³) CH	Área del suelo removida/ planta en la cosecha (cm ²) CH
- Repeticiones	3	162.634 ns	160.060 **	0.033 ns	18921.692 ns	831392.242 **
Tratamientos	9	408.671 **	74.492 **	2.040 **	1100822.494 **	535950.955 **
Sistemas (S)	1	743.648 **	273.372 **	2.570 **	8742680.105 **	3891638.689 **
Manejos (M)	4	234.776 ns	54.779 **	1.785 *	17285.220 ns	36143.575 ns
S x M	4	498.822 **	44.484 *	2.162 **	273895.365 ns	196836.401 ns
- Error	27	97.464	20.054	0.493	160058.708	133835.534
C. de Variación (%)	-	31.5	18.8	19.8	29.4	28.6

* = Diferencia estadística significativa al 5%

** = Diferencia estadística significativa al 1%

ns = Diferencia estadística no significativa.

Cuadro 6A. Cuadrados medios, significancia y coeficiente de variación para tiempo de cosecha, número de raíces quebradas, rendimiento y altura de plantas para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación.

F. de variación	GL	Tiempo de cosecha por parcela (segundos)		N° de raíces quebradas por planta		N° de raíces que se quedan en el suelo por planta		Rendimiento total de raíces reservantes ton/ha	
		CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH
Repeticiones	3	2011.301 ns	0.503 ns	0.132 ns	1159.427 **				
Tratamientos	9	120749.863 **	0.301 ns	0.431 ns	455.121 **				
Sistemas (S)	1	412516.410 **	0.827 ns	2.500 **	3476.733 **				
Manejos (M)	4	55828.040 **	0.399 ns	0.193 ns	136.411 **				
S x M	4	112730.049 **	0.073 ns	0.153 ns	18.429 ns				
Error	27	1315.385	0.318	0.294	26.114				
C. de variación %		8.5	43.6	57.1	18.7				

F. de variación	GL	A los 30 días		A los 75 días		A los 150 días		A los 350 días	
		CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH
Repeticiones	3	74.773 **	485.577 *	0.193 **	0.356 **				
Tratamientos	9	6.973 ns	345.553 *	0.270 **	0.353 **				
Sistemas (S)	1	3.306 ns	713.180 *	2.102 **	2.228 **				
Manejos (M)	4	11.009 ns	443.209 *	0.034 ns	0.179 *				
S x M	4	3.853 ns	155.990 ns	0.048 ns	0.058 ns				
Error	27	5.014	129.937	0.025	0.057				
C. de variación %		8.9	16.7	10.0	9.0				

* Diferencia estadística significativa al 5%

** Diferencia estadística significativa al 1%

ns Diferencia estadística no significativa

Cuadro 7A. Cuadros medios, significancia y coeficiente de variación del rendimiento de frijol, energía total, análisis de crecimiento y componentes de rendimiento para cinco manejos de la vegetación.

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO									
F. de variación	GL	Rendimiento de frijol CM	Energía total CM	Biomasa total CM	Altura de planta		Área foliar CM		
					30 días CM	45 días CM			
Repeticiones	3	62296.241 **	2409110.40 ns	231087.6973 ns	49.8558 *	82.5360 *	0.006 **		
Manejos	4	41381.946 *	16488938.80 *	1184683.2918 *	17.7190 *	33.2530 ns	0.002 ns		
Error	12	8609.813	3655457.73	352913.4578	4.6305	11.4475	0.001		
C. de variación %		14.4	21.7	26.4	7.9	10.5	13.41		
COMPONENTES DE RENDIMIENTO									
F. de variación	GL	n° de semillas por vaina CM	n° de vainas por planta CM	n° de plantas inicial/parcela CM	n° de plantas final/parcela CM				
Repeticiones	3	0.2673 ns	32.2140 ns	608.9333*	439.3833 *				
Manejos	4	0.7995 ns	10.1275 ns	151.5500 ns	375.9250 *				
Error	12	0.5098	10.7265	138.5167	96.9250				
C. de variación %		11.2	35.8	8.7	8.3				

* Diferencia estadística significativa al 5%

** Diferencia estadística significativa al 1%

ns Diferencia estadística no significativa

Cuadro 8A. Cuadrados medios, significancia y coeficiente de variación para la producción de biomasa total, energía, biomasa comestible, índice de eficiencia energética, índice de energía cosechada e índice de eficiencia energética comestible para los dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación.

F. de variación	G.	Biomasa total (ton/ha) CM	Energía total (Mcal/ha) CM	Biomasa comestible CM	I. de Eficiencia Energética CM	I de Energía Cosechada CM	I.E. Energética Comestible CM
Repeticiones	3	68.163 *	1.091E + 09 *	23.184 *	0.329 *	17.345 ns	0.097 *
Tratamientos	9	189.172 **	3.027E + 09 **	101.803 **	0.905 **	93.070 **	0.425 **
Sistemas	1	1374.018 **	2.198E + 10 **	781.677 **	6.577 **	627.581 **	3.260 **
Manejos	4	40.183 ns	6.424E + 08 ns	23.981 *	0.192 ns	36.475 ns	0.100 *
S x M	4	41.949 ns	6.712E + 08 ns	9.658 ns	0.201 ns	16.037 ns	0.040 ns
Error	27	18.467	2.955E + 08	6.138	0.089	23.784	0.026
C. de variación		14.2	14.2	14.9	14.2	9.7	14.9

* diferencia estadística significativa al 5%

** diferencia estadística altamente significativa al 1%

ns diferencia estadística no significativa

Cuadro 9A. Cuadrados medios, significancia y coeficiente de variación para peso fresco, conteo total de gramíneas y hoja ancha para dos sistemas de cultivo y cinco manejos de la vegetación.

F. de variación	GL	Peso fresco CM	Conteo de malezas 30 días después de la siembra		Conteo de malezas 90 días después de la siembra		Conteo de malezas 350 días después de la siembra	
			CM	CH	CM	CH	CM	CH
Repeticiones	3	10.519 ns	1342.067 ns	1131.358 *	242.833 **			
Tratamientos	9	51.752 **	3820.056 **	2180.050 **	325.433 **			
Sistemas (S)	1	23.716 ns	3027.600 **	12425.625 **	0.400 ns			
Manejos (M)	4	77.568 **	7470.813 **	1220.038 **	691.475 **			
S x M	4	32.244 *	367.413 ns	596.688 ns	40.650 ns			
Error	27	9.432	622.270	328.303	38.907			
C. de variación %		18.0	22.0	31.6	10.6			

* Diferencia estadística significativa al 5%

** Diferencia estadística significativa al 1%

ns Diferencia estadística no significativa

Cuadro 10A. Costos variables, costos fijos, costos en efectivo, costo de producción y número de jornales por hectárea para dos sistemas de cultivos y cinco manejos de la vegetación (Colones por hectárea).

Epoocas	Labor	S I S T E M A S										
		YUCA + FRIJOL					Y U C A					
		M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5	
A. Mano de Obra												
Dic. '77	Chapla a ras	528.64	-	528.64	528.64	528.64	528.64	-	528.64	528.64	528.64	528.64
Dic. '77	Chapla 50 cm de altura	-	200.13	-	-	-	-	200.13	-	-	-	-
Dic. '77	Aplicación del herbicida	75.52	75.52	-	75.52	-	75.52	75.52	-	-	75.52	-
Dic. '77	Siembra	641.92	717.44	566.40	566.40	566.40	641.92	717.44	566.40	566.40	566.40	566.40
Dic. '77	Aplicación de abono	151.04	151.04	151.04	151.04	151.04	151.04	151.04	151.04	151.04	151.04	151.04
Enero '78	Aplicación de insecticida	75.52	75.52	75.52	75.52	75.52	-	-	-	-	-	-
Feb. '78	Aplicación de abono en cobertura	151.04	151.04	151.04	151.04	151.04	151.04	151.04	151.04	151.04	151.04	151.04
Marzo '78	Cosecha del frijol	339.84	339.84	339.84	339.84	339.84	-	-	-	-	-	-
Abril '78	Desyerba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nov. '78	Chapla a ras para cosechar	528.64	528.64	528.64	528.64	528.64	528.64	528.64	528.64	528.64	528.64	528.64
Dic. '78	Cosecha de la yuca	604.16	604.16	453.12	679.68	679.68	604.16	604.16	453.12	679.68	679.68	679.68
B. Mecanización 1/ 2/												
Dic. '77	Arado	-	-	1200.0	1200.0	1200.0	-	-	1200.0	1200.0	1200.0	1200.0
Dic. '77	Rastreado	-	-	600.0	600.0	600.0	-	-	600.0	600.0	600.0	600.0
C. Materiales												
Dic. '77	Semillas*	72.60	72.60	72.60	72.60	72.60	-	-	-	-	-	-
Dic. '77	Herbicida 3/	578.00	578.00	-	578.00	-	578.0	578.0	-	-	578.0	-
Dic. '77	Abono 4/	1296.00	1296.00	1296.00	1296.00	1296.00	1296.00	1296.00	1296.00	1296.00	1296.00	1296.00
Enero '78	Insecticida 5/	291.00	291.00	291.00	291.00	291.00	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00

Cuadro 10A. Costos variables, costos fijos, costos en efectivo (cont.)...

Epoas	Labor	S I S T E M A S																		
		Y U C A + F R I J O L					Y U C A													
		M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5									
d. <u>Otros Costos</u>																				
Costo oportunidad de la tierra	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
Interés sobre A y B <u>6/</u>	201.38	201.38	311.36	363.38	311.36	183.96	183.96	183.96	293.94	293.94	183.96	183.96	293.94	293.94	293.94	293.94	293.94	293.94	293.94	293.94
Interés sobre la renta <u>7/</u>	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Depreciación del pulverizador	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Costos variables	5313.92	5080.93	6253.84	7133.92	7235.60	4724.96	4724.96	4724.96	5644.97	5644.97	4471.97	4471.97	5644.97	5644.97	5644.97	5644.97	5644.97	5644.97	5644.97	5644.97
Costos fijos	417.38	417.38	527.36	579.38	527.36	395.96	395.96	395.96	505.94	505.94	395.96	395.96	505.94	505.94	505.94	505.94	505.94	505.94	505.94	505.94
Costos en efectivo	2438.98	2438.98	3770.96	4400.98	3770.96	2227.96	2227.96	2227.96	3559.94	3559.94	2227.96	2227.96	3559.94	3559.94	3559.94	3559.94	3559.94	3559.94	3559.94	3559.94
Costo de producción	5751.30	5498.31	6781.20	7713.30	7762.96	5120.92	5120.92	5120.92	6150.82	6150.82	4867.93	4867.93	6150.82	6150.82	6150.82	6150.82	6150.82	6150.82	6150.82	6150.82
Número de jornales	82	75.30	74	82	100	71	71	71	63	63	64.30	64.30	63	63	63	63	63	63	63	63

- 1/ Se supuso que el productor lo arrienda
- 2/ Se realizaron dos aradas y dos rastreadas
- 3/ Herbicida Glifosato = 1 gal/ha del producto comercial
- 4/ Abono la. fertilización 400 kg/ha de la fórmula 10-30-10; 2a. fertilización 200 kg/ha de la fórmula 30-10-10
- 5/ Aplicación de Aldrin 2.5% en la siembra y una aplicación de Sevin al frijol contra vaquilla, Diabrotica sp., trampa con OTHO "ig" contra la babosa en el frijol.
- 6/ Interés sobre la inversión, 9% al año.
- 7/ Interés sobre la renta 6% al año

Costo de Producción = C. Variables - C. Fijos
 Costos fijos = renta de la tierra, interés sobre préstamos y renta y depreciación del pulverizador
 Costos efectivos = ITEM B y C

NOTA: Los coeficientes técnicos utilizados del Cuadro 11A.

Cuadro 11A. Coeficientes técnicos para las distintas labores.

Labor	Coeficiente	
Chapía a ras	1 ¹ / ₄ jornales/ha	
Chapía a 50 cm de altura	5.3 jornales/ha	
Arado*	6 horas/ha	
Rastreado*	3 horas/ha	
Aplicación de herbicida	2 jornales/ha	
SIEMBRA	YUCA	FRIJOL
Chapía a ras	8 jornales/ha	9 jornales/ha
Chapía a 50 cm de altura	9 jornales/ha	10 jornales/ha
Arado	6 jornales/ha	9 jornales/ha
Aplicación de abono	4 jornales/ha	
Aplicación de insecticida	2 jornales/ha	
Deshierba	20 jornales/ha	
Cosecha	-	9 jornales/ha**
Arado con control	18 jornales/ha	
Arado sin control	12 jornales/ha	
Chapía a ras	16 jornales/ha	
Chapía a 50 cm de altura	16 jornales/ha	

1 jornal = ₡ 37,76

* 1 hora de tractor = ₡ 100.00

** Incluye paleo

Cuadro 12A. Estandar provisional para catenofas y límites*.

		Profundidad --- 0 - 15 cm							
	pH	N total	C/N	P disponible**	Ca	Mg	Ca/Mg	Hg/K	Cat/Mg K
Alto	7.5	0.35	11.5	120	24.0	6.0	-	-	-
Medio	6.5	0.20	10.0	50	12.0	3.0	4.0	6.0	40.0
Bajo	5.0	0.05	8.5	20	4.0	1.0	-	-	-
Adecuado	6.5	0.20	10.0	50	12.0	3.0	4.0	6.0	40.0

* Tomado de HARDY, F. The soils of the IAIAS area (40).

** Valores para el fósforo por el método de Truog.

Cuadro 13A. Características químicas iniciales y finales del suelo de 0 - 20 cm de profundidad. Datos promedio de cuatro repeticiones.

SISTEMAS Y MANEJOS	% Nitrógeno		% Carbono		% Materia Orgánica		pH		
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
<u>Yuca + Frijol</u>									
M1 - Chap. + herb.	0.36	0.42	0.06	2.29	3.35	7.27	3.92	5.12	5.37
M2 - Chap. 50 cm + herb.	0.37	0.40	0.03	1.88	3.40	6.60	3.20	5.07	5.25
M3 - Arado sin control	0.38	0.36	-0.02	1.79	3.58	6.36	2.78	5.02	5.25
M4 - Arado con control	0.38	0.39	0.01	1.60	3.60	6.66	3.06	5.12	5.50
M5 - Arado con desyerbe	0.36	0.38	0.02	1.40	3.35	6.10	2.75	5.12	5.50
<u>Yuca</u>									
M1 - Chap. + herb.	0.37	0.42	0.05	2.13	3.58	7.24	3.66	5.07	5.10
M2 - Chap. 50 cm + herb.	0.37	0.39	0.02	1.60	3.48	6.23	2.75	5.12	5.17
M3 - Arado sin control	0.37	0.40	0.03	2.12	3.40	7.03	3.63	5.10	5.42
M4 - Arado con control	0.38	0.41	0.03	2.21	3.48	7.28	3.80	5.15	5.35
M5 - Arado con desyerbe	0.39	0.40	0.01	1.75	3.63	6.75	2.12	5.12	5.60

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Dif.

Cuadro 13A. Cont. Características químicas iniciales y finales del suelo de 0 - 20 cm de profundidad. Datos promedio de 4 repeticiones.

SISTEMAS Y MANEJOS		µg/ml de suelo											
		P			Mn			Zn			Cu		
		Inicial	Final	Dif.	Inicial	Final	Dif.	Inicial	Final	Dif.	Inicial	Final	Dif.
<u>Yuca + Frijol</u>													
H1	- Chap. + herb.	7.50	13.55	6.05	82.75	89.17	6.42	9.00	8.35	-0.65	9.62	27.75	18.13
H2	- Chap. 50 cm + herb.	6.80	12.87	6.07	88.25	93.37	5.12	10.25	8.50	-1.75	14.97	30.00	15.03
H3	- Arado sin control	9.50	12.62	3.12	127.00	85.60	-41.40	9.75	7.67	-2.08	13.55	29.75	16.20
H4	- Arado con control	8.50	12.67	4.17	126.50	88.90	-37.60	11.00	10.40	-0.60	15.17	31.02	15.85
H5	- Arado con desyerbe	10.25	12.37	2.12	139.5	84.65	-54.85	11.75	9.42	-2.33	20.97	32.82	11.85
<u>Yuca</u>													
H1	- Chap. + herb.	8.00	13.50	5.50	183.00	108.22	-74.78	12.75	14.80	2.05	16.65	34.52	17.87
H2	- Chap. 50 cm + herb.	9.25	13.12	3.87	129.50	99.17	-30.33	12.00	9.40	-2.60	15.27	33.05	17.78
H3	- Arado sin control	8.25	12.62	4.37	82.75	87.85	5.10	11.00	8.82	-2.18	16.77	28.67	11.90
H4	- Arado con control	9.50	12.87	3.37	206.00	87.85	-118.15	12.00	9.07	-2.93	18.02	28.87	10.85
H5	- Arado con desyerbe	8.00	11.17	3.17	105.75	99.42	-6.33	12.00	10.27	-1.73	14.80	31.82	17.02

Cuadro 13A. Cont. Características químicas iniciales y finales del suelo de 0-20 cm de profundidad. Datos promedio de 4 repeticiones.

SISTEMAS Y MANEJOS	meq/100 ml de suelo											
	Ca			Mg			K			Acidez extraída		
	Inicial	Final	Dif.	Inicial	Final	Dif.	Inicial	Final	Dif.	Inicial	Final	Dif.
<u>Yuca + Frijol</u>												
M1 - Chap. + herb.	5.70	7.85	2.15	1.90	2.41	0.51	0.25	0.25	0.00	0.30	0.31	0.01
M2 - Chap. 50 cm + herb.	6.62	7.55	1.07	2.20	2.17	-0.03	0.29	0.25	-0.04	0.45	0.52	0.07
M3 - Arado sin control	5.82	7.47	1.65	2.02	2.19	0.17	0.29	0.24	-0.05	0.32	0.47	0.15
M4 - Arado con control	7.05	7.67	0.62	2.35	2.42	0.07	0.34	0.17	-0.17	0.22	0.27	0.07
M5 - Arado con desyerbe	6.72	7.20	0.48	2.20	2.27	0.07	0.32	0.18	-0.14	0.35	0.36	0.01
<u>Yuca</u>												
M1 - Chap. + herb.	6.07	7.10	1.03	2.32	2.42	0.10	0.29	0.21	-0.08	0.30	0.40	0.10
M2 - Chap. 50 cm + herb.	6.22	6.82	0.60	2.02	2.22	0.20	0.33	0.26	-0.07	0.30	0.54	0.24
M3 - Arado sin control	6.32	8.00	1.68	2.07	2.67	0.60	0.30	0.29	-0.01	0.35	0.31	-0.04
M4 - Arado con control	6.50	8.07	1.57	2.20	2.53	0.33	0.31	0.26	-0.05	0.25	0.29	0.04
M5 - Arado con desyerbe	7.17	8.42	1.25	2.27	2.75	0.48	0.30	0.22	-0.08	0.25	0.27	0.02

Cuadro 14A. Características físicas iniciales y finales del suelo de 0 - 20 cm de profundidad. Datos promedio de cuatro repeticiones.

SISTEMAS Y MANEJOS	Densidad aparente		Densidad partfcuicas		Porosidad total		Espacio poroso capilar		Espacio poroso no capilar						
	Inicial	Final	Dif.	Inicial	Final	Dif.	Inicial	Final	Inicial	Final					
<u>Yuca + Frijol</u>															
M1-Chap + herb.	1.08	1.07	-0.01	2.48	2.50	0.02	56.65	57.03	0.38	44.45	49.74	5.29	14.99	7.28	-7.75
M2-Chap 50 cm + herb.	1.02	1.09	0.07	2.48	2.51	0.03	58.48	56.71	-1.77	46.59	48.41	1.82	11.89	8.28	-3.61
M3-Arado sin control	1.13	1.04	-0.09	2.48	2.52	0.04	54.41	61.11	6.70	44.86	47.85	2.99	9.55	13.26	3.71
M4-Arado con control	1.08	1.02	-0.06	2.45	2.48	0.03	56.36	58.60	2.24	46.22	45.97	-0.25	10.14	12.54	2.40
M5-Arado con desyerbe	1.16	0.98	-0.18	2.48	2.50	0.02	52.52	60.64	8.12	43.85	41.18	-2.67	8.67	19.46	10.79
<u>Yuca</u>															
M1-Chap + herb.	1.15	1.10	-0.05	2.47	2.45	-0.02	52.07	57.53	5.46	46.87	49.65	2.78	5.20	8.08	2.88
M2-Chap 50 cm + herb.	1.15	1.11	-0.04	2.46	2.49	0.03	52.72	57.83	5.11	45.30	49.45	4.15	7.42	8.29	0.87
M3-Arado sin control	1.12	1.08	-0.04	2.49	2.48	-0.01	55.56	58.99	3.43	47.30	46.14	-1.16	8.26	12.84	4.58
M4-Arado con control	1.16	1.09	-0.07	2.47	2.35	-0.12	51.78	57.10	5.32	45.99	47.59	1.60	5.78	11.61	5.83
M5-Arado con desyerbe	1.10	1.03	-0.07	2.45	2.46	0.01	54.01	57.91	3.90	46.63	43.74	-2.89	7.38	14.23	6.85

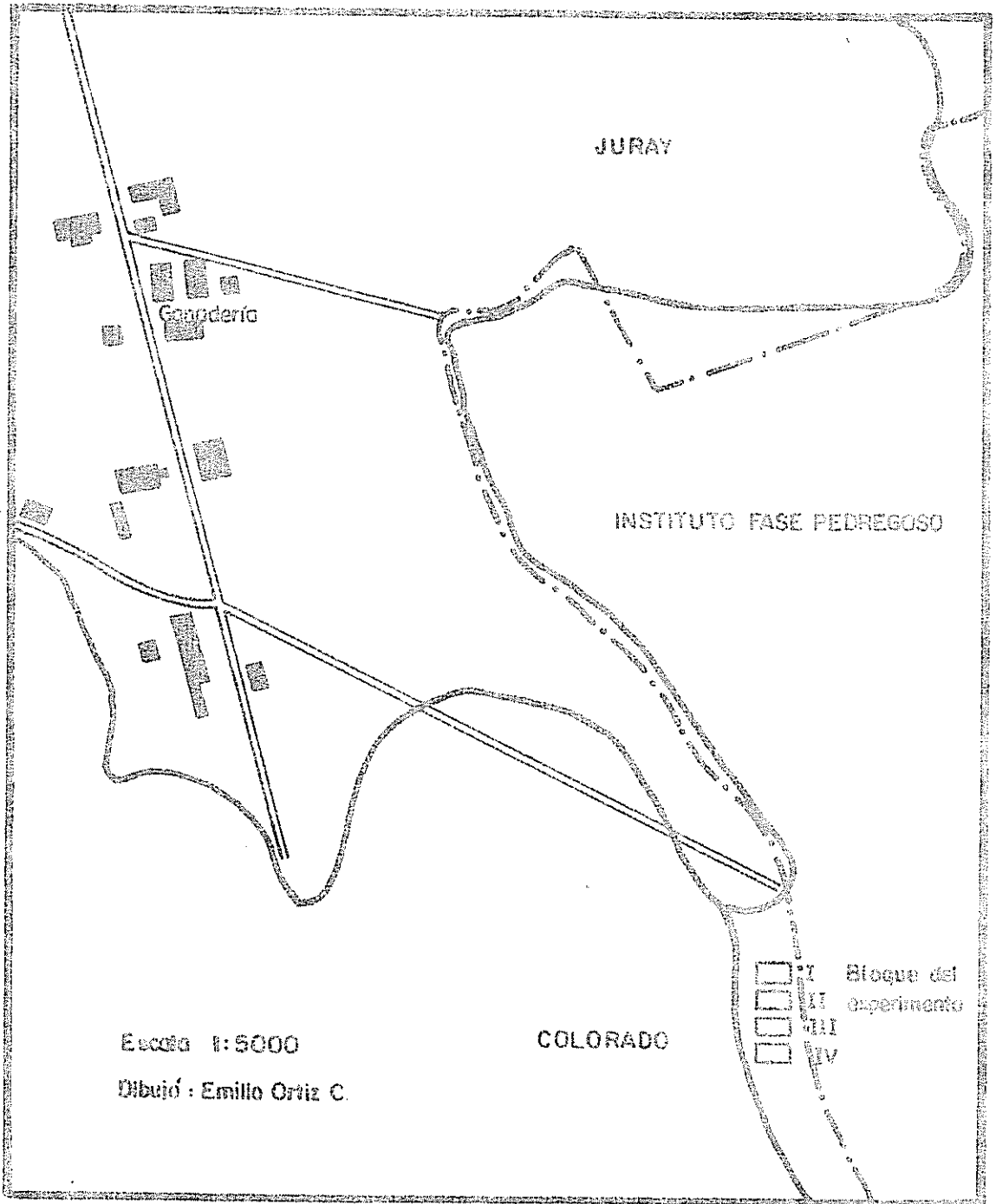


Fig. 1A Ubicación del experimento en el área del Programa de Bovinos y Especies Menores del CATIE