

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA

PROGRAMA DE ENSEÑANZA

AREA DE POSGRADO

**EVALUACION DE LOS EFECTOS COMPETITIVOS Y
SOSTENIBILIDAD AGROECONOMICA DEL CULTIVO EN
CALLEJONES**

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico de Posgrado y Capacitación del Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito parcial para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

Por

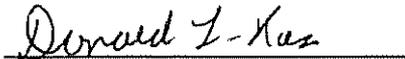
FERNANDA CARLA TAVARES DA COSTA

Turrialba, Costa Rica
1996

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

MAGISTER SCIENTIAE

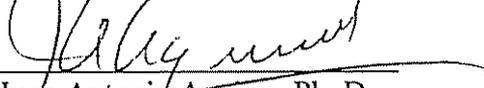
FIRMANTES:



Donald L. Kass, Ph.D.
Profesor Consejero



Pedro Ferreira, Ph. D.
Miembro Comité Asesor



Juan Antonio Aguirre, Ph. D.
Miembro Comité Asesor



Francisco Jiménez, Ph. D.
Miembro Comité Asesor



Jorge Morera, Ph.D.
Miembro Comité Asesor



Alberto Camero, Msc.
Miembro Comité Asesor



Pedro Ferreira
Director, Programa de Enseñanza



Juan Antonio Aguirre
Jefe, Area de Postgrado



Fernanda Carla T. Costa
Candidato

DEDICATORIA

A mí madre, Edileusa Gomes, mi padre, Luis Carlos y a mi hermana, Valéria Cristina, por el apoyo incansable al desarrollo de mi profesión y en mi vida.

A la memoria de mis abuelos María Fortunata y Demetriuos, que con sus enseñanzas, me dieron coraje para seguir adelante.

A mi novio, Humberto Jorge, que con su amor me llenó de ternura en estos momentos.

A los todos los agricultores pobres de Brasil y de América Latina en general.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi agradecimiento a USAID, por el apoyo económico, siendo posible la realización de este estudio, y al CATIE por la formación recibida. Además al Dr. Juan Aguirre y Dr. Assefaw Tewolde que como intermediarios, ayudaron mucho al financiamiento del segundo año de estudio.

Asimismo, quiero agradecer a mi comité asesor, en especial al Dr. Donald Kass, por su paciencia, dedicación y sugerencias. Al Dr. Juan Aguirre por su entusiasmo y experiencia. Al Dr. Pedro Ferreira por la parte estadística. A los Drs. Jorge Morera y Francisco Jiménez por sus revisiones y sugerencias al documento.

Al personal de campo, Jigo y Manuel; al personal del Laboratorio de Suelos en especial a Carlos Fernández, por los datos y ejecución del trabajo de campo. Al personal de la Biblioteca

A la invaluable ayuda de Johnny Pérez, y a los operadores del Centro de Cómputo.

A todos los compañeros de estudios, en especial a Vanda Gorete; a los brasileños que amenizaron la nostalgia del país, y a todos que de alguna forma me ayudaron a lo largo del tiempo; a los profesores y a todo el personal de postgrado del CATIE.

BIOGRAFIA

La autora, de nacionalidad brasileña nació el 18 de Abril de 1969 en Pernambuco, Brasil.

En Julio de 1992, obtuvo el título de Ingeniera Agrónoma en la Universidade do Amazonas, presentando su tesis como Efectos de los procesos de preparación de semillas de cupuaçu (*Theobroma gradiflora*) en la germinación". Bajo la orientación de la MSc. Gloria Maria Escalante Machado.

En Abril de 1992, empezó a laborar en el proyecto agroforestal en el INPA, Instituto Nacional de Pesquisa de la Amazonía.

En Enero de 1994 ingresó al programa de postgrado del CATIE, recibiendo en Enero de 1996, el grado de Magister Scientiae.

TABLA DE CONTENIDO

	PAGINA
RESUMEN	vii
SUMMARY	ix
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE ANEXOS	xviii
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1. Importancia de los cultivos en callejones	4
2.2. Interacción competitiva en el cultivo en callejones	6
2.2.1. Modificación del microclima	7
2.2.2. Competencia por radiación	7
2.2.3. Competencia por agua	9
2.2.4. Competencia por nutrientes	10
2.3. Efectos sobre el rendimiento de los cultivos	11
2.4. Reciclaje de Nitrógeno	15
2.5. Aplicación de los conceptos económicos en la evaluación económica de la tecnología del cultivo en callejones	19
2.6. El sistema económico tradicional	21
2.7. El sistema agroeconómico ecológico	22
2.8. Análisis ecológico-económico agroforestal	24
III. MATERIALES Y METODOS	28
3.1. Descripción del área de estudio	28
3.2. Diseño experimental	28
3.3. Antecedentes	30
3.4. Aspectos biofisicos	31
3.4.1. Niveles de nitrato y amoníaco	31
3.4.2. Rendimiento de los cultivos	33
1. frijol	33
2. maíz	33
3.4.3. Biomasa y contenido de nutrientes en los cultivos	34
3.4.4. Índice de cosecha	34
3.4.5. Índice de Satisfacción Hídrica	35
3.4.6. Biomasa de los árboles	35

3.4.7. Precipitación y Radiación	37
3.4.8. Determinación de los niveles de competencia	37
3.4.9. Análisis de la información	38
3.5. Aspectos económicos	38
3.6. Aspectos Agroeconómicos-ecológicos	38
3.6.1. Relación beneficio/costo ambiental	38
3.6.2. Impacto de la mejora ambiental	39
3.6.3. Valoración de los nutrientes presentes en los enmiendas y en el suelo	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	41
4.1. Niveles de amoníaco y nitrato	41
4.1.1. Niveles de amoníaco	41
4.1.2. Niveles de nitrato	49
4.2. Discusión sobre los niveles de amoníaco y nitrato	55
4.3. Rendimiento de frijol	55
4.4. Rendimiento de maíz	61
4.5. Índice de cosecha	63
4.6. Biomasa arbórea	65
4.7. Competencia en el cultivo en callejones	66
4.7.1. <i>Erythrina poeppigiana</i> asociada a frijol	66
4.7.2. <i>Erythrina poeppigiana</i> asociada a maíz	78
4.7.3. <i>Gliricidia sepium</i> asociada a frijol	85
4.7.4. <i>Gliricidia sepium</i> asociada a maíz	96
4.7.5. Discusión sobre la competencia en los callejones	105
4.8. Sostenibilidad de la relación beneficio/costo a lo largo del tiempo	108
4.8.1. Relación Beneficio/Costo	108
4.8.2. Medidas de Degradabilidad	114
4.8.3. Medidas de Inestabilidad	115
4.9. Analisis ecológico-económico	118
4.9.1. Relación Beneficio/Costo ambiental	118
4.9.2. Balance agroeconómico-ecológico	120
a. Control	122
b. Callejones de <i>Gliricidia sepium</i>	123
c. Callejones de <i>Erythrina poeppigiana</i>	124
d. Mulch de <i>Gmelina arborea</i>	125
e. Mulch de <i>Gliricidia sepium</i>	126
f. Mulch de <i>Erythrina poeppigiana</i>	127
g. Estiércol	128
4.9.3. Valoración de los nutrientes del suelo	129
4.10. Discusión de la parte ecológica-económica	131

VI. CONCLUSIONES	137
VII. RECOMENDACIONES	144
VIII. BIBLIOGRAFIA	146
IX. ANEXOS	150

RESUMEN

COSTA, F. C. T. 1996. Evaluación de los efectos competitivos y sostenibilidad agroeconómica del cultivo en callejones. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 157 p.

Palabras claves: Cultivo en callejones, agroforestería, agroeconomía ecológica de los recursos naturales

La presente investigación fue realizada con el objeto de evaluar la sostenibilidad del cultivo en callejones, analizando la competencia interespecífica (agua, luz y nutrientes) entre los componentes árbol (*Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium*) y cultivo (maíz en rotación con frijol) a lo largo de 13 años. Adicionalmente, se analizó la viabilidad financiera y ecológica de este sistema.

El experimento se estableció en CATIE, Turrialba, Costa Rica, a una altura de 602 msnm. El periodo de estudio correspondió desde mayo de 1982 a junio de 1995. El diseño experimental fue en bloques al azar con parcelas divididas, donde la parcela grande (12x18m) correspondió un sistema de cultivo callejones, aplicación de mulch y aplicación de estiércol y la parcela pequeña (6x18m) a la aplicación de 150 kg/ha de nitrógeno en forma de NH_4NO_3 . El ensayo comprendió siete tratamientos con 3 repeticiones: 1. Testigo (sin aplicación de "Mulch", deposición de los residuos de cosechas sobre la superficie del suelo); 2. Ramas y hojas de *Erythrina poeppigiana* (20.000 kg/ha de materia fresca); 3. Estiércol de vaca (20.000 kg/ha de materia fresca) aplicado dos veces al año; 4. Ramas y hojas de *Gmelina arborea* (20.000 kg/ha de materia fresca) aplicado dos veces al año; 5. Ramas y hojas de *Gliricidia sepium*, aplicado en la misma forma que los tratamientos anteriores; 6. Cultivo en callejones con *E. poeppigiana*, a 6 x 3 m (555 plantas/ha) podada dos veces al año; 7. Cultivo en callejones de *Gliricidia sepium*, a 6 x 0,5 m (3333 plantas/ha) podada dos veces al año. En cada periodo del ciclo de cultivo, se observó el comportamiento de la precipitación, radiación y contenido de nutrientes en el tejido vegetal. Se determinó los rendimientos de los cultivos, el ISH (Índice de Satisfacción Hídrica), el IC (Índice de Cosecha) para ambos cultivos, además de los niveles de nitratos de amoníaco. Para la determinación económica se utilizó los beneficios y costos fijos y variables de mano de obra y capital. Para la evaluación agroeconómica ecológica agroforestal se determinó la GAU (Ganancia ambiental unitaria), IMA (Impacto de la mejora ambiental) en base a la cantidad de materia seca provista y por los nutrientes en las enmiendas.

Los resultados mostraron que los niveles de amoníaco y nitrato en el suelo, fueron alterados con la edición de la materia orgánica. El amoníaco, aumentó después de la adición de las enmiendas, pero, a lo largo del tiempo hubo una reducción. Los niveles de nitrato en el suelo, aumentaron después de la aplicación de las enmiendas orgánicas. Los sistemas de cultivo en callejones con los socios *E. poeppigiana* y maíz en rotación con frijol y *G. sepium* asociado a frijol, fueron considerados sostenibles durante el periodo de 13 años, en términos de la no

evidencia de competencia en esos sistemas. Hubo competencia en algún periodo de tiempo por agua, pero no llegó a afectar la sostenibilidad de los sistemas. En los callejones con *Gliricidia sepium* asociados con maíz y fertilización, fue detectada una interferencia de la biomasa arbórea con los respectivos cultivos, en términos de la disminución de la incidencia de la radiación solar en los cultivos. La producción de la biomasa aérea de *Gliricidia* fue mayor que la de *Erythrina*.

Las relaciones positivas de la relación B/C para la mayoría de los tratamientos, excepto para los mulchs, fue debido al alto uso de mano de obra y la necesidad de áreas adicionales para su producción. En general, el tratamiento control fue el que mostró las mayores relaciones B/C, indicando que los tratamientos no tradicionales no pueden justificarse con base en este indicador. La ganancia ambiental unitaria (GAU) o relación beneficio/costo ambiental, fueron mayores para los sistemas que recibieron mulch de *G. sepium* y para los cultivos en callejones sin fertilización con nitrato de amonio. Las ganancias ambientales netas fueron negativas en todos los tratamientos. Se obtuvo mayor impacto de la mejora del ambiente, para los tratamientos que recibieron mulch externo de *Gmelina*, *Erythrina* y *Gliricidia*, con US\$ 13,728, US\$ 13,032 y US\$ 13,017, respectivamente. La valoración económica de los nutrientes provenientes del mulch y la lluvia, mostró que el testigo y los callejones de las dos especies, hubo un balance negativo para el nitrógeno y calcio, cuando no se fertilizó. Los tratamientos que recibieron mulch externo fueron suficiente para suplir las necesidades de los cultivos y todavía quedar en el suelo.

A manera de resumen, podemos indicar que los sistemas más viables en términos económicos y ecológicos fueron los recibieron mejora ambiental, es decir, los cultivos en callejones y los recibieron mulch externo, sin fertilización nitrogenada.

SUMMARY

COSTA, F.C.T. 1996. Evaluation of competitive effects and agroeconomical sustainability of alley cropping Thesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 157 p.

Key words: Alley cropping, agroforestry, agricultural and environmental economics.

The main objective of this research was to evaluate the sustainability of alley cropping, by analyzing the competition among species of trees (*Erythrina poeppigiana* and *Gliricidia sepium*) and crops (corn and beans), during 13 years. The financial and ecological viability of this system was also studied

The experiment was established at CATIE, Turrialba, Costa Rica, at 602 meters above sea level. Data was collected from May 1982 to June 1995. An experimental design of random blocks with divided plots was used. The major plots (12 x 18 m) were related to the cropping system (alley cropping, mulch and manure), and the minor plots were related to the treatments (0 or 150 kg/ha N, in NH₄NO₃). A total of seven treatments with three repetitions were studied: 1- control (no mulch, litter left over the soil); 2- 20000 kg/ha of leaves and branches of *Erythrina poeppigiana*, twice a year; 3- 20000 kg/ha of livestock manure, twice a year; 4- 20000 kg/ha of leaves and branches of *Gmelina arborea*, twice a year; 5- 20000 kg/ha of leaves and branches of *Gliricidia sepium*, twice a year; 6- Alley cropping with *Gliricidia sepium*, at 6 x 3 m (555 trees/ha); and 7- Alley cropping with *Gliricidia sepium*, at 6 x 0,5 m (3333 trees/ha).

Rainfall, radiation and nutrients content in vegetal tissue were measured during each crop cycle. Crop yield, Hydric Satisfaction Index (ISH), Harvest Index (IC), and levels of nitrates and ammonia were determined. Fixed and variable costs, as well as benefits, were used for economical determinations. The indicators used for the analysis of agricultural and environmental economics were Net environmental benefit (GAN), Unitary environmental benefit (GAU) and Environmental improvement impact (IMA), in terms of organic matter and nutrients.

The results show that soil nitrate and ammonia were altered by adding organic matter. There was increase in ammonia content, followed by a decrease. At the same time, there was an increase in nitrate content due to organic matter addition. The alley cropping with *Erythrina poeppigiana* and corn rotation with beans, and *Gliricidia sepium* with beans, were considered sustainable during the 13 year period, based on the absence of signs of competition within these system. There was a little competition for water during a certain period of time, but it did not affect the system sustainability. In the rows of *Gliricidia sepium* associated with corn and fertilizer, there was an interference of biomass on the crops, in terms of radiation incidence

reduction. Aerial biomass production was higher for *Gliricidia* than it was for *Erythrina*. *Gliricidia* also performed better after the fertilization with nitrogen.

The positive B/C relations for most of the treatments are due to the high labor requirements, as well as the needs for additional areas. Overall, the control showed a higher B/C relation, which means that non traditional treatments can not be supported by this indicator. The incremental gross income by incremental total cost unit, or environmental benefit/cost ratio, was higher when *Gliricidia* mulch was used and for alley cropping without fertilization. There was a higher environmental improved impact for the treatments with mulch of *Gmelina*, *Erythrina* and *Gliricidia*, with US\$ 13.278, 13.032 and 13.017/ha/year, respectively, followed by livestock manure and alley cropping. The economic evaluation of the nutrients from rain and mulch showed that the control and the alley cropping of both *Gliricidia* and *Erythrina* had a negative balance for nitrogen and calcium, without fertilization. For the treatments with external mulch addition, the nutrients from rain (nature) and fertilizers were enough to supply the crops needs and increase their contents in the soil.

In general, the more viable system in economical, biophysical and ecological terms were those with environmental improvement: the alley crops and the crops with external mulch, without nitrogen.

LISTA DE CUADROS

CUADRO NO.	TITULO	PAGINA
1	Niveles de amoníaco (Kg/ha), en el ensayo de cultivo en callejones, promedios de las 4 fechas de colecta, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	41
2	Niveles de amoníaco (kg/ha) en los tratamientos sin y con fertilización nitrogenada, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	42
3	Nitratos promedios (Kg/ha) de las 4 fechas, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	49
4	Niveles de amoníaco (kg/ha) en los tratamientos sin y con fertilización nitrogenada, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	50
5	Rendimiento promedio durante 12 años. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	56
6	Rendimiento promedio de maíz, durante de 12 años, CATIE, Turrialba, 1995.	61
7	Indices de cosecha para el cultivo de maíz. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	63
8	Indices de cosecha para el cultivo de frijol. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	65
9	Producción promedio de biomasa arbórea de <i>Erythrina</i> y <i>Gliricidia</i> con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	66
10	Concentraciones adecuadas para el desarrollo del frijol y las encontradas en los callejones de <i>E. poeppigiana</i> , en las parcelas con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, 1995.	77

11	Concentraciones adecuadas para el desarrollo del maíz y las encontradas en los callejones de <i>E. poeppigiana</i> , en las parcelas con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, 1995	87
12	Concentraciones adecuadas para el desarrollo del frijol y las encontradas en los callejones de <i>G. sepium</i> , en las parcelas con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, 1995.	94
13	Concentraciones (%) adecuadas para el desarrollo del maíz y las encontradas en los callejones de <i>G. sepium</i> , en las parcelas con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, 1995.	103
14	Análisis financiero (US\$), de trece años, de cultivo en callejones en La Montaña, Turrialba, Costa Rica.	109
15	Promedios de la relación B/C para cada tratamiento a lo largo de los trece años del ensayo. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	111
16	Promedios de la relación B/C para los trece años del ensayo. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	113
17	Medidas de degradabilidad de la relación B/C en el tiempo. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	114
18	Medidas de inestabilidad de la relación B/C, en regresiones sobre el tiempo. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	115
19	Relación beneficio/costo o ganancia ambiental unitaria (GAU) y IMA (Impacto de la mejora ambiental) CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	119
20	Valoración de los nutrientes en US\$/ha/año en los mulchs y estiércol en los tratamientos sin fertilización nitrogenada.	121
21	Valoración de los nutrientes en el balance de nutrientes en el tratamiento control. Dos niveles de Nitrógeno, media de 13 años, \$/ha/año, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	122
22	Valoración de los nutrientes en el balance de nutrientes en el tratamiento callejones de <i>Gliricidia</i> . Dos niveles de Nitrógeno, medias de 13 años, \$/ha/año, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	123

23	Valoración de los nutrientes en el balance de nutrientes en el tratamiento callejones de <i>E. Poeppigiana</i> . Dos niveles de Nitrógeno, medias de 13 años, \$/ha/año, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	124
24	Valoración de los nutrientes en el balance de nutrientes en el tratamiento callejones de Mulch de <i>Gmelina</i> . Dos niveles de Nitrógeno, medias de 13 años, \$/ha/año, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	125
25	Valoración de los nutrientes en el balance de nutrientes en el tratamiento de Mulch de <i>Gliricidia</i> . Dos niveles de Nitrógeno, medias de 13 años, \$/ha/año. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	126
26	Valoración de los nutrientes en el balance de nutrientes en el tratamiento callejones de Mulch de <i>E. poeppigiana</i> . Dos niveles de Nitrógeno, medias de 13 años, \$/ha/año. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	127
27	Valoración de los nutrientes en el balance de nutrientes en el tratamiento callejones de mulch de estiércol. Dos niveles de Nitrógeno, medias de 13 años, \$/ha/año. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	128
28	Resumen de la valoración de los nutrientes en 13 años, en el balance de los tratamientos con y sin fertilización, Turrialba, Costa Rica	129
29	Beneficio (\$/ha/año) de los árboles y las enmiendas en la fertilidad del suelo en un periodo de 13 años. CATIE, Turrialba, 1995.	131

LISTA DE FIGURAS

FIGURA NO.	TITULO	PAGINA
1	Representación esquemática del ciclo del nitrógeno en la naturaleza.	17
2	Disposición de parcelas en el campo, mostrando localización de camellones, repeticiones y parcelas extras, La Montaña, Turrialba.	32
3	Niveles de amoníaco en los tratamientos con enmiendas, sin fertilización nitrogenada (a) y con fertilización nitrogenada (b), CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	45
4	Niveles de amoníaco en los tratamientos callejón de <i>Gliricidia</i> y mulch de <i>Gliricidia</i> en comparación al control tanto en las parcelas sin fertilización (a) como con fertilización (b) nitrogenada, CATIE, Turrialba, Costa Rica.	46
5	Niveles de amoníaco en los tratamientos callejón de <i>Erythrina</i> y mulch de <i>Erythrina</i> en comparación al control tanto en las parcelas sin (a) y con fertilización nitrogenada, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	48
6	Niveles de nitratos en los tratamientos que reciben mulch sin (a) y con (b) fertilización nitrogenada. La Montaña, Turrialba, Costa Rica	51
7	Niveles de nitratos en los callejones y en las parcelas que recibieron mulch de <i>E. poeppigiana</i> sin (a) y con (b) fertilización nitrogenada, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	53
8	Niveles de nitratos en los callejones y en las parcelas que recibieron mulch de <i>G. sepium</i> con (a) y sin (b) fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	54
9	Variación del rendimiento de frijol en los tratamientos sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	58
10	Variación del rendimiento de frijol en las parcelas con enmiendas y en los callejones de <i>E. poeppigiana</i> sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	59

11	Variación del rendimiento de frijol en las parcelas que recibieron enmiendas y en los callejones de <i>G. sepium</i> con fertilización (a) y sin fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	60
12	Variación del rendimiento de maíz en los tratamientos con fertilización (a) y sin fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	62
13	Índices de cosecha para los cultivos de maíz (a) y frijol (b), La Montaña, Turrialba, Costa Rica.	64
14	Biomasa seca de <i>G. sepium</i> con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	67
15	Biomasa seca de <i>E. poeppigiana</i> con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	67
16	Relación entre el rendimiento de frijol por la biomasa de <i>Erythrina poeppigiana</i> sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	69
17	Variación en el tiempo del rendimiento de frijol asociado a <i>E. poeppigiana</i> sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	70
18	Relación entre el rendimiento de frijol por la precipitación en los callejones de <i>E. poeppigiana</i> con fertilización (a) y sin fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	72
19	Variación del rendimiento de frijol en los callejones de <i>E. poeppigiana</i> en relación a la precipitación acumulada durante el ciclo del cultivo. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	73
20	Índice de satisfacción hídrica y el rendimiento del frijol. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	74
21	Relación entre el rendimiento de frijol en los callejones de <i>Erythrina</i> y la radiación solar promedio diario durante el ciclo del cultivo, sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	75
22	Variación del rendimiento de frijol y la radiación global del ciclo en los callejones de <i>Erythrina</i> , sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	76

11	Variación del rendimiento de frijol en las parcelas que recibieron enmiendas y en los callejones de <i>G. sepium</i> con fertilización (a) y sin fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	60
12	Variación del rendimiento de maíz en los tratamientos con fertilización (a) y sin fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	62
13	Indices de cosecha para los cultivos de maíz (a) y frijol (b), La Montaña, Turrialba, Costa Rica.	64
14	Biomasa seca de <i>G. sepium</i> con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	67
15	Biomasa seca de <i>E. poeppigiana</i> con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	67
16	Relación entre el rendimiento de frijol por la biomasa de <i>Erythrina poeppigiana</i> sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	69
17	Variación en el tiempo del rendimiento de frijol asociado a <i>E. poeppigiana</i> sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	70
18	Relación entre el rendimiento de frijol por la precipitación en los callejones de <i>E. poeppigiana</i> con fertilización (a) y sin fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	72
19	Variación del rendimiento de frijol en los callejones de <i>E. poeppigiana</i> en relación a la precipitación acumulada durante el ciclo del cultivo. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	73
20	Índice de satisfacción hídrica y el rendimiento del frijol. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	74
21	Relación entre el rendimiento de frijol en los callejones de <i>Erythrina</i> y la radiación solar promedio diario durante el ciclo del cultivo, sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	75
22	Variación del rendimiento de frijol y la radiación global del ciclo en los callejones de <i>Erythrina</i> , sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	76

23	Contenido de los nutrientes en el tejido vegetal del cultivo de frijol en la fase de madurez fisiológica	77
24	Relación entre el rendimiento de maíz, en los callejones de <i>Erythrina</i> y la biomasa arbórea de <i>Erythrina</i> sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica.	79
25	Variación en el tiempo del rendimiento de maíz asociado a <i>Erythrina</i> con fertilización (a) y sin fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	80
26	Relación entre el rendimiento de maíz en asocio con <i>Erythrina</i> con y sin fertilización nitrogenada y la radiación solar global. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	82
27	Relación entre el rendimiento de maíz y la radiación solar promedio diario durante el ciclo del cultivo. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	83
28	Variación del rendimiento de maíz en asocio con <i>Erythrina poeppigiana</i> con y sin fertilización, y la precipitación. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	84
29	Variación del índice de satisfacción hídrica y el rendimiento de maíz en los callejones de <i>Erythrina</i> con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	86
30	Contenido de los nutrientes en el tejido vegetal del cultivo de maíz en la fase de madurez fisiológica.	87
31	Tendencia del rendimiento de frijol por la variación de la biomasa de <i>G. sepium</i> con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, 1995.	88
32	Variación del rendimiento de frijol por la biomasa de <i>G. sepium</i> con fertilización (a) y sin (b) fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	89
33	Rendimiento de frijol en asocio con <i>G. sepium</i> con y sin fertilización y la radiación. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.	90
34	Relación entre el rendimiento de frijol en asocio con <i>Gliricidia</i> y la radiación solar promedio diario durante el ciclo del cultivo. CATIE, Turrialba, 1995.	91

35	Variación del rendimiento de frijol en asocio con <i>G. sepium</i> con y sin fertilización, y la precipitación. CATIE, Turrialba, 1995.	92
36	Relación entre el rendimiento de frijol en asocio con <i>Gliricidia</i> y la precipitación global del ciclo del cultivo. CATIE, Turrialba, 1995.	93
37	Contenido de los nutrientes en el tejido vegetal del cultivo de frijol en la fase de madurez fisiológica.	95
38	Variación del rendimiento de maíz en función de la biomasa de <i>Gliricidia</i> con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, 1995.	97
39	Tendencia del rendimiento de maíz por la variación de la biomasa de <i>Gliricidia sepium</i> con (a) y sin (b) fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, 1995.	97
40	Variación del rendimiento de maíz en los callejones de <i>Gliricidia sepium</i> sin fertilización y con fertilización por la radiación. CATIE, Turrialba, 1995.	98
41	Relación entre el rendimiento de maíz en asocio con <i>Gliricidia</i> y la radiación solar promedio diario durante el ciclo del cultivo. CATIE, Turrialba, 1995.	99
42	Variación entre el rendimiento de maíz en asocio con <i>G. sepium</i> y la precipitación global durante el ciclo del cultivo. CATIE, Turrialba, 1995.	100
43	Relación entre el rendimiento de maíz en asocio con <i>Erythrina</i> y la precipitación global durante el ciclo del cultivo. CATIE, Turrialba, 1995.	101
44	Contenido de los nutrientes en el tejido vegetal del cultivo de maíz en la fase de madurez fisiológica	102

LISTA DE ANEXOS

CUADRO No	TITULO	PAGINA
A1.	Análisis de varianza para los niveles de amoníaco y nitrato. Experimento. CATIE- Turrialba, 1995.	151
A2.	Análisis de varianza para los rendimientos de frijol y maíz. Experimento. CATIE, Turrialba, 1995.	151
A3.	Análisis de varianza para los índices de cosecha de los cultivos de maíz y frijol. CATIE, Turrialba, 1995.	152
A4.	Variación a lo largo del tiempo de la producción de biomasa arbórea (ton/ha/año) de <i>E. poeppigiana</i> y <i>G. sepium</i> , con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, 1995.	152
A5.	Variación en el tiempo de la relación Beneficio/Costo, de los tratamientos: control, mulch de <i>Erythrina</i> , estiércol, mulch de <i>Gmelina</i> , mulch de <i>Gliricidia</i> , callejones de <i>Erythrina</i> y <i>Gliricidia</i> . CATIE, Turrialba, 1995.	153
A6.	Correlaciones de los rendimientos de maíz y frijol en los callejones de <i>E. poeppigiana</i> y <i>G. sepium</i> entre la precipitación, radiación y biomasa arbórea	156

I. INTRODUCCION

En los países subdesarrollados, caracterizados por una alta tasa de crecimiento poblacional, la expansión de la agricultura se basa con frecuencia en la deforestación de los bosques primarios. Estos países necesitan que la producción de alimentos sea ascendente para satisfacer la demanda de una población que crece aceleradamente. Sin embargo, la pérdida de los bosques naturales genera la degradación físico-química de los suelos, producto de las deficientes técnicas de manejo de la tierra y conservación del suelo en los sistemas de cultivo, lo que ocasiona consecuentemente la reducción de los rendimientos agrícolas y de la diversidad biológica, poniendo en evidencia el carácter poco sostenible de esta agricultura.

El término sostenibilidad se refiere al manejo exitoso de los recursos para la agricultura, para satisfacer las necesidades cambiantes del ser humano mientras se mantiene o mejora la calidad del ambiente y se conservan los recursos naturales.

En estas circunstancias, el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles, tales como el cultivo en callejones, caracterizado por el asocio de árboles y cultivos, puede ser una alternativa para reducir la degradación de los recursos naturales y ser ambientalmente compatible para el incremento de la producción. Esto es posible, debido al suministro de materia orgánica al suelo, producto de las frecuentes podas de los árboles leguminosos, del control de la erosión de suelos de ladera, del mantenimiento de la humedad y capacidad nutricional del suelo, además del control de malezas en el cultivo asociado.

El objetivo de cualquier esfuerzo de investigación y desarrollo agroforestal es aumentar la eficiencia y la productividad del uso de recursos básicos en los procesos de producción. Para poder determinar los beneficios esperados, pérdidas y otras implicaciones de un cambio propuesto, es necesario evaluar el manejo y el desarrollo tanto de los sistemas de producción existentes como de las mejoras recomendadas. La consideración de factores económicos conjuntamente con factores biofísicos provee una estructura de trabajo lógica para comparar los sistemas tradicionales con las alternativas.

Uno de los criterios más ampliamente usados en la evaluación de los beneficios del cultivo en callejones, es el efecto de esta práctica sobre el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, la interacción competitiva que puede haber entre los componentes árbol y cultivo limita la sostenibilidad a lo largo del tiempo, interfiriendo consecuentemente en el mantenimiento de la producción de los cultivos alimenticios asociados.

Objetivos principales:

a. evaluar la sostenibilidad del cultivo en callejones, analizando la competencia interespecífica, o sea, entre los componentes árbol (*Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium*) y cultivo (maíz en rotación con frijol) por los recursos agua, nutrientes y radiación solar a lo largo de 13 años, tiempo relativamente considerable, ya que en general, los estudios cubren períodos cortos, que solo dan una respuesta parcial sobre la capacidad de estos sistemas para asegurar la producción sostenible a mediano y largo plazo. y

b. analizar la viabilidad financiera y ecológica de este sistema, aspecto fundamental para los pequeños productores quienes tienen que pensar en recursos económicos para satisfacer sus necesidades cotidianas y en el mantenimiento de los recursos naturales, que aseguran su sostenibilidad a largo plazo

Objetivos específicos:

1. Determinar la competencia de los cultivos maíz y frijol con las especies arbóreas, por los recursos agua, radiación solar y nutrientes

2. Determinar los niveles de amoníaco y nitratos en el suelo, disponibles para los cultivos.

3. Cuantificar los beneficios debido a las mejoras ambientales en el cultivo en callejones y los sistemas que reciben enmiendas orgánicas, en relación a la rotación maíz-frijol tradicional.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Importancia de los cultivos en callejones

La asociación de cultivos anuales con árboles es una práctica tradicional antigua que, tal vez, coincide con los orígenes de la agricultura y no se limita al trópico húmedo, ya que caracterizó la agricultura en diversas zonas de Europa hasta el inicio del siglo XX (King, 1987).

De acuerdo con Kass, et al (1989) y Salazar (1990), esta asociación posiblemente provenga de la dificultad que tenían los agricultores, de recursos limitados, para eliminar todos los árboles de los sitios para sembrar cultivos, y no de una percepción de los posibles beneficios a largo plazo de asociar cultivos y árboles. Este tipo de asociación permite la protección de los suelos de lluvias intensas, aumento de la infiltración del agua, mantenimiento de la fertilidad del suelo, reducción de la escorrentía y de la erosión. Además, las hojas secas y la sombra de los árboles reduce la temperatura del suelo manteniendo condiciones de humedad favorables por más tiempo, favoreciendo el crecimiento de micro y macroorganismos benéficos y contribuyendo al control de malezas.

El sistema de cultivo en callejones, según Montagnini (1992), fue inspirado por las prácticas tendientes a la recuperación de barbechos, tales como el uso de coberturas verdes. Los agricultores cerca de Ibadan, Nigeria, por ejemplo, habían observado que cuando sembraban estacas de *G. sepium* como soporte de ñame (*Dioscorea* sp), la *G. sepium* tendía a

dominar el sitio y se lograba una recuperación más rápida de la fertilidad que cuando se sembraban otras especies.

El cultivo en callejones es un sistema de producción en el cual los árboles y los arbustos (preferiblemente especies leguminosas de rápido crecimiento) son establecidas en hileras sobre tierra arable con cultivos alimenticios entre los callejones. La hilera de los árboles se orientan de tal manera que minimizan la sombra dentro de los callejones, o se siembran a lo largo de la ladera para minimizar la erosión. Los árboles se podan periódicamente durante la fase de cultivo para evitar el sombreo sobre los cultivos alimenticios vecinos, pero se dejan crecer libremente para que ellos cubran la tierra donde no hay cultivos. El material de poda (follaje y tallos jóvenes) es incorporado en el suelo como abono verde (Kang *et al* 1981, 1990; Huxley, 1983; Hagggar, 1990; Montagnini, 1992; Nair, 1993).

El uso de las prácticas de cultivo en callejones se basa en el principio de que es posible obtener un uso productivo y sostenido de la tierra, cuando los métodos de conservación y rehabilitación son introducidos antes de que se produzca degradación seria de los recursos. El cultivo en callejones puede ser considerado como un sistema de agricultura migratoria mejorada, con los siguientes beneficios potenciales (Kang y Wilson, 1987; Montagnini, 1992).

1. Las prácticas de cultivo y barbecho se realizan simultáneamente
2. Se aumenta el período de cultivo y la intensidad del uso de la tierra (Raintree, 1986)
3. Se logra una regeneración efectiva de la fertilidad del suelo con especies más eficientes para este propósito.

4. Los requerimientos de insumos externos son menores.

5. El sistema se puede utilizar en escala variable.

2.2. Interacción competitiva en el cultivo en callejones

Debido a que las plantas requieren de los mismos recursos: radiación solar, nutrientes y agua para su crecimiento, normalmente ocurren interacciones negativas, habiendo reducción de las actividades de las especies, producto de la competición en las asociaciones (Etherington, 1975; Grime, 1979; Newman, 1983; Zaffaroni, 1979; Arkcoll, 1980; Vaz, 1993).

Las interacciones competitivas que se esperan de la asociación árbol-cultivo incluyen modificación del microclima debido al sombreado; competencia de la parte aérea por radiación solar; competencia de las raíces por nutrientes y agua, además de posibles interacciones alelopáticas

Estas interacciones dependen de las condiciones edafo-climáticas, de las características de las plantas, del sistema radical, eficiencia fotosintética, eficiencia de uso del agua, características de crecimiento, etc (Jiménez, 1995)

Dado que uno de los beneficios principales de estos sistemas se debe a las podas de los árboles, es necesario que los arreglos espaciales y temporales de las especies sean bien entendidos y manejados para optimizar la producción de biomasa. El espaciamiento cerrado de los árboles puede proporcionar una biomasa alta y mayores rendimientos de nutrientes por

unidad de área (Duguma *et al*, 1988); sin embargo el espaciamiento demasiado cerrado puede en algunos casos, resultar en una competencia indeseable por el uso de recursos físicos (radiación solar, humedad y nutrientes) entre las especies arbóreas o arbustivas y los cultivos asociados.

2.2.1 Modificación del microclima

La modificación del microclima debido al sombreado, puede ser indeseable, en casos donde el sombreado sea demasiado intenso, en virtud de la estructura y conformación del dosel de la especie arbórea, la pérdida de hojas y su manejo.

Según Jiménez (1995), los principales efectos incluye reducción de la amplitud diaria de la temperatura del aire, reducción de la temperatura del suelo, reducción de la velocidad del viento, aumento de la humedad relativa, reducción de la evapotranspiración, interceptión y redistribución de parte del agua de lluvia.

De esta forma, se presenta una reducción en la incidencia de la radiación para los cultivos, lo que interfiere en el proceso de la fotosíntesis, reduciendo los rendimientos, además de la incidencia de enfermedades patogénicas que se ven favorecidas bajo estas condiciones.

2.2.2. Competencia por radiación

Investigaciones sobre interceptión y competencia por radiación en sistemas agroforestales son generalmente escasas. Un problema adicional es la dificultad en comparar

los resultados, debido a las diferencias en las metodologías usadas en las investigaciones. La competencia por luz es detectada en mayor proporción en los cultivos en callejones, y ha sido documentada indirectamente.

Un estudio en Nigeria por Kang et al. (1981) resultó en bajo rendimiento de maíz, debido a la sombra de *Leucaena leucocephala* como seto vivo. Neumann y Pietrowicz (1989), en Ruanda estudiaron la competencia en una combinación agroforestal de *Grevillea robusta*, maíz y frijol, indicaron que la sombra proporcionada por *G. robusta*, pareció ser más importante que otros efectos provocados por los árboles.

Lawson y Kang (1990) en un experimento de espaciamiento de setos con cuatro especies leñosas en la zona húmeda, encontraron que el rendimiento de maíz declinó con el aumento de la producción de materia seca de las especies leñosas asociadas. El rendimiento de maíz fue más bajo cuando se usó 2 m en lugar de 4 m de espaciamiento entre setos. Esta disminución del rendimiento fue asociada con una sombra parcial más alta en espaciamientos estrechos. Las especies de crecimiento vigoroso, tales como *L. leucocephala*, también mostraron un grado más alto de sombra que las otras especies probadas. Los mismos autores también indican que el efecto de la sombra puede ser más pronunciada en los cultivos de porte más bajo.

El rendimiento de biomasa de la poda de los setos también se afecta por el régimen de poda usado (frecuencia y altura). Duguma et al. (1988) mostraron que una poda poco frecuente y a una mayor altura aumentó la biomasa, pero al mismo tiempo se redujo el

rendimiento del cultivo asociado. Aunque una poda más frecuente y a una altura más baja pueden minimizar el efecto de la sombra de los setos sobre el rendimiento del cultivo, también reducen la efectividad de los setos para la producción de biomasa y reciclaje de nutrientes. El régimen óptimo de poda para las diversas especies y combinaciones de cultivos todavía necesita ser mejor determinado para obtener el rendimiento óptimo de biomasa por poda, con el menor efecto de sombra y para optimizar el uso de la mano de obra para esta práctica. Se debe considerar el arreglo estructural de las especies a usar, el uso de árboles con hojas erectas, pequeñas y de alta eficiencia en el uso de la radiación solar serían ideales para maximizar el aprovechamiento de este recurso por el sistema.

Según Jiménez (1995), indica que la estrecha relación entre radiación, fotosíntesis y producción de biomasa hace que la disponibilidad de energía lumínica sea un factor fundamental cuando se analizan interacciones en sistemas de cultivo con varias especies. La más alta producción fotosintética en asociaciones de plantas se alcanza cuando cada planta es proveída con la cantidad mínima de luz que ésta requiere para una fotosíntesis máxima.

2.2.3. Competencia por agua

La competencia por la humedad entre los setos vivos y los cultivos asociados puede ser un problema en el uso del sistema en áreas con poca agua, hídricos, particularmente en espaciamiento de setos más cerrados, considerando la profundidad de las raíces entre los árboles y cultivos. Pero, este último factor no es lo principal, en virtud de que las raíces pueden

ser afectadas por las condiciones edafo-climáticas y la forma de reproducción (Singh *et al.* 1989; Leyton, 1981 citado por Jiménez, 1995).

Sin embargo, la competencia por agua ocurre probablemente en la mayoría de los sistemas agroforestales en algunos períodos de tiempo; los cuales pueden ser cortos como una o dos semanas. Los efectos de estos eventos dependen de la severidad del período seco y la tolerancia de las plantas a la sequía. En ensayos con *Leucaena*, caupí y sorgo en condiciones semiáridas en la India, la competencia por agua parece ser más importante que los efectos de la sombra (Singh *et al.*, 1989).

2.2.4. Competencia por nutrientes

Existen muchos estudios que indican como la competición por nutrientes puede reducir el rendimiento de los cultivos. Como el cultivo es el componente menor (comparado en el conjunto), el sistema radical usualmente será limitado a los horizontes superficiales del suelo, los efectos de la competencia por los nutrientes será probablemente más severa para el componente cultivo.

Evidencias directas de la competencia por nutrientes es limitada, debido a las dificultades de separar de la competencia por radiación, agua y de interacciones alelopáticas (Young, 1989). Adicionalmente, los estudios de suelos y de raíces, son generalmente más difíciles de conducir que los estudios de la parte aérea.

En zonas húmedas y suelos ácidos, además de la competencia por luz entre los setos y los cultivos, la competencia por nutrientes puede ser muy severa, ya que las especies leñosas y los cultivos tienden a concentrar sus raíces en el suelo superficial por la acidez del subsuelo y la baja fertilidad.

Investigaciones conducidas en varias partes de los trópicos con diferentes especies de setos como *Inga edulis* (Fernandes, 1990) y *Caliandra calothyrsus* (Evesen y Yost, 1990) mostraron importantes reducciones en el rendimiento cuando los cultivos fueron sembrados en las primeras hileras adyacentes a los árboles. La poda de las raíces puede reducir parcialmente la competencia por los nutrientes y la humedad (Fernandes et al., 1990 y Singh et al. 1989).

2.3. Efectos sobre el rendimiento de los cultivos

El criterio más ampliamente usado para evaluar los beneficios del sistema, son los efectos de esta práctica sobre el rendimiento de los cultivos.

Los resultados obtenidos hasta ahora han sido variables y difieren mucho para las diferentes zonas agroecológicas.

Un ensayo de cultivo en callejones de 8 años, conducido por Kang et al. (1990) en el Sur de Nigeria en un suelo arenoso, mostró que, usando solamente material podado de *L. leucocephala*, el rendimiento del maíz podría ser mantenido a niveles razonables de 2 ton /ha;

mientras que en monocultivo alcanzó 0,7 ton/ha sin la aplicación de podas de esta especie. Suplementando las podas con 80 Kg N/ha el rendimiento del maíz fue mayor que 3 ton/ha.

Yamoah et al. (1986) indica que para incrementar el rendimiento de callejones de maíz cultivado con *Cassia siamea*, *G. sepium* y *Flemingia macrophylla*, hasta obtener un nivel aceptable, fue necesario adicionar nitrógeno. Sin embargo, Kang et al. (1981) indicaron que la aplicación de 10 ton/ha de podas frescas de *Leucaena* tuvo el mismo efecto sobre el rendimiento de maíz, como si se usara 100 Kg N/ha, a pesar de que para obtener esta cantidad de biomasa foliar de *Leucaena* fue necesario suplementar la producción de los árboles leguminosas, con materiales externos.

En un estudio conducido en las Filipinas, O'Sullivan (1985), indica que cuando el maíz fue cultivado con *L. leucocephala*, los rendimientos obtenidos fueron de 2,4 ton /ha (con fertilizante) y 1,2 ton/ha (sin fertilizante); el rendimiento correspondiente para el crecimiento del maíz sin *L. leucocephala* fue 2,1 y 0,5 ton/ha, respectivamente.

Los resultados de otros ensayos de cultivos en callejones, son menos promisorios. Por ejemplo, los rendimientos de arroz en cuatro y seis rotaciones, fueron significativamente más bajos que aquellos de las parcelas testigo no fertilizadas; los rendimientos de caupí también fueron superiores en las parcelas testigo no fertilizadas. Las razones principales del bajo rendimiento de los cultivos en callejones, fueron tanto la competencia radical como la competencia entre las plantas por la luz (Szott, 1987 y Fernandes, 1990).

Fernandes (1990) verificó que la reducción del rendimiento de los cultivos, debido a la competencia entre los setos vivos y los cultivos fue detectada a los 11 meses después del establecimiento de los árboles. Este efecto aumentó con la edad de los árboles, declinando el rendimiento de los cultivos. Otras posibles explicaciones pueden ser el impedimento físico de la penetración de las raíces de las plantulas causado por el mulch; la inmovilización temporal de los nutrientes debido a la descomposición del mulch, situación que reduce seriamente la cantidad de nutrientes disponibles para las plántulas en estado crítico de crecimiento; y el impedimento del mecanismo de reciclaje por las raíces de los árboles, provocado por los bajos niveles de nutrientes en el suelo.

Otros resultados revelan que el cultivo en callejones probablemente es inefectivo en condiciones de poca humedad. En un estudio de cuatro años, realizado en el ICRISAT, India, se concluyó, que cuando la humedad fue baja, el crecimiento de las especies de los setos vivos fue mayor que la de los cultivos, resultando en una reducción del rendimiento de éstos (Corlett *et al.*, 1989; ICRISAT, 1989, Rao *et al.*, 1990). Observaciones similares han sido reportadas de áreas semiáridas en el noroeste de Nigeria (Odigi *et al.*, 1989) y en Kenya (Nair, 1987; ICRAF, 1989; Coulson *et al.*, 1989).

Los resultados de las investigaciones sobre suelos ácidos y bajos en bases han dado resultados variados. En un experimento de cultivo en callejón con *Inga edulis* y *Cajanus cajan* en un Paleudult típico en Yurimaguas, Perú, Szott (1987) reportó rendimientos extremadamente bajos y la producción total del cultivo en callejón de maíz y arroz fue igual o

menor que la del tratamiento testigo. Se atribuyó los bajos rendimientos a la competencia por la luz y los nutrientes. Evesen et al (1990) reportaron inicialmente resultados positivos en arroz de tierras altas con cultivos en callejones sobre un Tropeptic haplorthox al oeste de Sumatra con *P. Falcataria*, particularmente con adición de una dosis baja de cal. Sin embargo, los rendimientos declinaron después de cuatro años. Los rendimientos fueron restaurados sólo después de un aumento en fertilizantes. Concluyeron que había poca cantidad de cationes debido al reciclaje por los árboles y que el cultivo exitoso en callejón sobre suelos ácidos requiere un mantenimiento de la fertilidad del suelo con insumos externos.

Varios investigadores (Kass, 1987; Kass y Araya, 1987; Kass et al, 1989), trabajando en un suelo Typic Humitropept, verificaron que la producción de maíz en los cultivos en callejones sin fertilizante nitrogenado se mantuvo alrededor de 2,0 ton/ha/año, bastante similar a los rendimientos encontrados por Kang (1990). En lugar de *Leucaena*, no muy bien adaptada a suelos ácidos, Kass utilizó las leguminosas leñosas *G. sepium* y *E. poeppigiana*, esta última es más conocida en América Central como árbol de sombra en cacao y café. La diferencia en los ensayos de Kass y de Kang fue el régimen de poda: Kang hizo diversas podas durante el ciclo de maíz; mientras que Kass solamente podó al inicio del ciclo de cultivo.

Los trabajos de Kang y Kass fueron criticados por Sánchez (1987) y Benites (1990) por tratarse de suelos de fertilidad mucho más alta que la comúnmente encontrada en el trópico. Entonces se empezó una serie de experimentos en un suelo Typic Paleustult para determinar el beneficio del cultivo en callejones en suelos menos fértiles (Szott, 1987; Fernandes, 1990). Los

rendimientos de los cultivos quedaron más bajos en cultivo de callejones que en monocultivo y se notó una tendencia a aumentar los rendimientos de los cultivos conforme aumentó la distancia del surco de las leguminosas leñosas, indicando que en estos suelos, la competencia por nutrimentos era muy intensa. La fertilización con fósforo tuvo poco efecto sobre la producción de los cultivos.

Estudios subsecuentes de Fernandes (1990) indican que ambas, la competencia por luz y competencia por nutrimentos, contribuyeron a reducir los rendimientos de cultivos en sistemas de cultivos de callejones. En suelos aluviales (Tropofluent) con mayor contenido de bases, el cultivo de callejones fue más exitoso (Salazar, 1991). Diferencias en especies de leguminosas afectaron el grado de competencia por luz y la cantidad de nutrimentos liberados durante la descomposición del material podado (Salazar et al , 1983; Palm y Sánchez, 1990).

2.4 Reciclaje de Nitrógeno

El sistema en callejones es definido como un conjunto de técnicas de uso de la tierra, en lo que se combina el uso de árboles, resultando en mayor disponibilidad de N para los cultivos.

La fijación simbiótica y no simbiótica son procesos realizados por los microorganismos distribuidos en las capas del suelo. La fijación simbiótica está relacionada con un grupo de bacterias, *Rhizobium*. Existen aproximadamente 20 cepas relacionadas con determinados grupos de leguminosas. En general se tiene una simbiosis, en la cual las bacterias se introducen y se multiplican en los tejidos de las raíces de las plantas hospederas, que están ofreciendo todo

lo necesario a los microorganismos, inclusive N en forma de aminoácidos, (el ácido glutámico). Luego cuando las bacterias van muriendo se suministra este ácido glutámico a la planta, que lo traslada a la parte aérea (Haggar, 1993).

Los procesos de transferencia de N dentro del ecosistema se basa en la producción de residuos y su descomposición (mineralización y humificación). El NH_4^+ en el suelo está sujeto a un proceso de transformación llamado desnitrificación, pasando de NH_4^+ a NO_2^- y a NO_3^- . Este ciclo está a cargo de una serie de bacterias llamadas Nitrosomonas y Nitrobacter. El proceso de transformación de NO_2^- a NO_3^- es rápido, donde las bacterias Nitrobacter presentan una notable afección por el NO_2^- , para luego transformarlo a NO_3^- . Este proceso es muy favorable debido a que los NO_2^- son tóxicos para la planta (Fassbender, 1993) (Figura 1).

Las reservas de N orgánico alcanzan del 95 al 98% de N en el suelo, de ellos paulatinamente se forman NH_4^+ y NO_3^- , formas que son absorbidas por las plantas. Las plantas presentan características genéticas de selectividad para la absorción de NO_3^- y NH_4^+ . Después de la absorción en la planta, se forman nuevamente sustancias orgánicas nitrogenadas, cerrando prácticamente el ciclo suelo-planta. La absorción de NO_3^- implica que en la planta se tiene que reducir a NH_4^+ para poder ser utilizada en la formación de proteínas (Haggar, 1990; Fassbender, 1993).

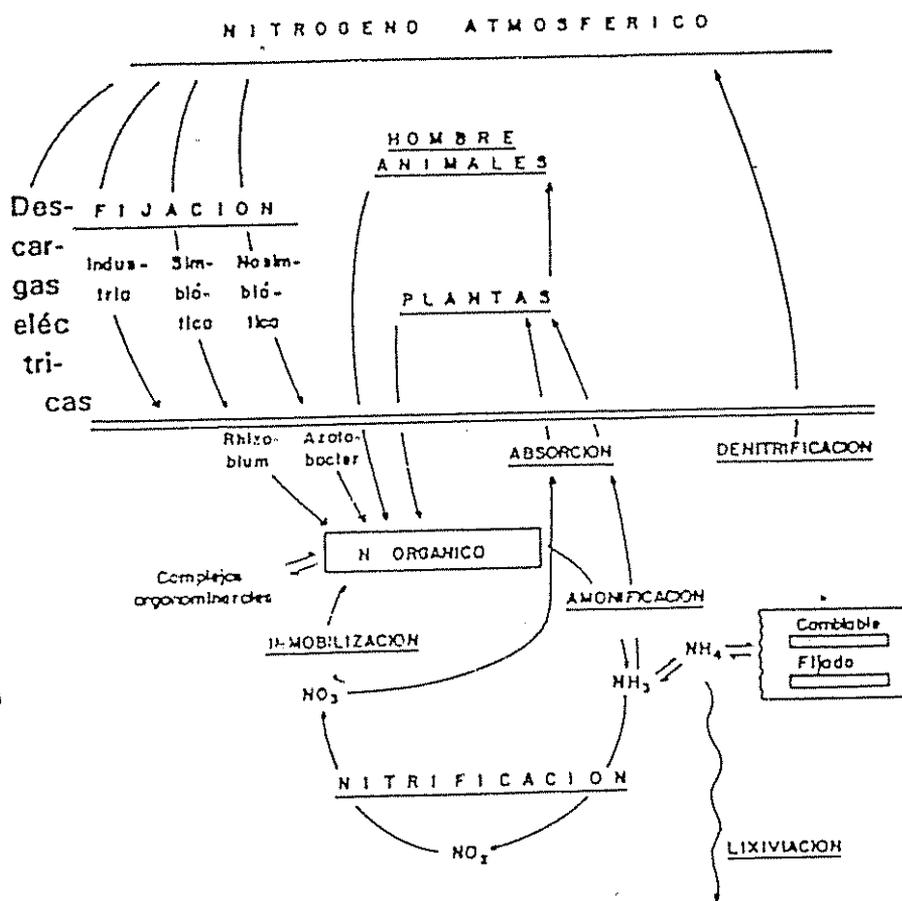


Figura 1. Representación esquemática del ciclo del nitrógeno en la naturaleza

La absorción de NO_3^- implica que en la planta se tiene que reducir a NH_4^+ para poder ser utilizada en la formación de proteínas (Haggar, 1990; Fassbender, 1993).

El NO_3^- y el NH_4^+ son compuestos que tienen una determinada carga electrostática.

El NH_4^+ tiene una carga positiva y el NO_3^- una carga negativa. En el suelo se presenta una interacción entre un catión (NH_4^+) y las superficies de intercambio del suelo que son las arcillas, las sustancias húmicas, los óxidos de Fe y Al, que tienen cargas positivas, formándose una fase de NH_4^+ cambiante, hasta cierto punto disponible para las plantas.

En el suelo existe un equilibrio entre el NH_4^+ y el complejo de intercambio. En el momento en que la planta absorbe NH_4^+ , se libera del complejo coloidal NH_4^+ para compensar la pérdida debida a la absorción, existiendo de esta manera una disponibilidad continua de NH_4^+ (Fassbender, 1993).

Las investigaciones han mostrado que aún cuando las podas contienen una cantidad considerable de N, sólo una pequeña proporción (20% o menos) del N es aprovechado por el cultivo, especialmente en el ciclo de cultivo posterior (Guevara, 1976; Haggar, 1990; Mulongoy, 1990). En este sentido, Mulongoy (1990) estableció que alrededor del 31% del N en las podas no es liberado durante las primeras 12 semanas, 23% es retenido en la materia orgánica del suelo y 39% es perdido a través de lixiviación y volatilización o es absorbido por los árboles nuevamente. Una mayor utilización del N fue observada cuando el material podado

es distribuido e incorporado al suelo (Kang et al., 1987), pero esto implica mayores requerimientos de mano de obra.

2.5. Aplicación de los conceptos económicos en la evaluación económica de la tecnología del cultivo en callejones

La evaluación económica de una tecnología según Aguirre (1995) y Ávila (1989), involucra la comparación de las opciones de tecnológicas que son disponibles al finquero. Uno de los puntos que constituyen la base de la comparación es la práctica actual del finquero. Las otras opciones incluyen prácticas alternativas mejoradas. Para evaluar la factibilidad técnica y económica de la tecnología de cultivos en callejones, debemos comparar las siguientes opciones, de un caso hipotético:

- El sistema tradicional de cultivo de maíz-frijol del finquero,
- Un sistema mejorado de cultivo de maíz-frijol, y
- Un sistema de cultivo en callejones con *L. leucocephala* y maíz-frijol intercalado.

Según los autores, no siempre la persona en un situación de la vida real utiliza los principios económicos, porque pueden existir varias razones que dificultan su aplicación:

1. El sistema de finca y su ambiente son dinámicos, consecuentemente, lo que es opcional hoy puede no serlo mañana. Los principales factores determinantes en la ganancia pueden cambiar seguidamente e imposibilita ajustes inmediatos.
2. Quien maneja el sistema puede encontrarse con situaciones de emergencia (ej. cuando un miembro del caserío o del pueblo se muere).

3. La falta de incentivo o una gran inestabilidad en las condiciones del mercado puede funcionar en contra de la implementación de cambios aparentemente racionales

4. La persona que maneja el sistema puede no tener información adecuada sobre los indicadores críticos para la toma de decisiones apropiadas.

Una combinación de estas restricciones de manejo contribuye a disminuir la eficiencia económica en la producción agrícola. Normalmente, los finqueros toman decisiones en una base continua, usando reglas bien establecidas en relación al comportamiento de las variables e indicadores claves, algunos de ellos de naturaleza económica.

La evaluación económica de la tecnología puede ser llevada a cabo usando varios criterios: dinero, energía, valor de la mano de obra, etc. El único requerimiento es que el criterio sea cuantificable y posea un común denominador, tal como cualquier entrada o salida que pueda ser medida de la misma forma. Los criterios no cuantificables también pueden ser incluidos para ponderar diferentes opciones, por ejemplo para maximizar el ingreso neto sujeto a la mínima degradación del suelo. Específicamente, para la evaluación a nivel del finquero, las entradas y salidas de un sistema de producción son valoradas de la siguiente forma (adaptado de Perrin et al, 1976, citado por Ávila, 1989):

- a. Producción neta
- b. Precio de campo de la salida (egreso)
- c. Precio de campo de la entrada (costos)

- d. Factor tiempo
- e. Tasa de interés

2.6. El Sistema económico tradicional

La economía agrícola tradicionalmente aplica el principio de que en realidad, los problemas productivos de tipo antropogénico son solucionables por la vía de las mejoras tecnológicas. Esta visión, según Aguirre (1995), está libre de consideraciones ambientales, y ha asumido que la madre naturaleza y sus procesos son bienes inagotables y por consiguiente sin limitaciones de uso.

Los conceptos económicos actuales, reflejan una visión de la sociedad muy tradicional, normal y en cierta forma relacionada a la sustituibilidad y a la inagotabilidad de los recursos. Uno ejemplo de esto, es que cuando los recursos naturales escasearon en los países desarrollados, la adquisición fácilmente era proveniente de los subdesarrollados.

Según Aguirre (1995), esta es la base actual de muchos de los sistemas productivos denominados tecnológicamente avanzados, como por ejemplo la revolución verde cuyo punto principal es la visión cortoplazista, los niveles de progreso agroecológico pareciera que están estabilizados y en algunos casos parecen comenzar a dar señales de agotamiento, debido al tipo de agricultura es altamente dependiente de insumos agrícolas, llegando a ser el mayor costo de producción. En cuanto a los aspectos positivos de este tipo de agricultura, según Moncada (1995), le ha permitido a la humanidad suplir sus necesidades alimentarias, y día a día

incrementar la disponibilidad de alimentos per cápita, a niveles como nunca antes había ocurrido. No obstante, se ha puesto en entredicho su sostenibilidad con múltiples casos bien documentados, tanto en Europa y EUA., como en América Latina. Por consiguiente, es necesario hacer en ella una profunda revisión para buscar un equilibrio entre esa alta productividad y la conservación del medio ambiente.

Los principios básicos del sistema agroeconómico tradicional toman en cuenta la existencia de un medio de intercambio universal; un común denominador (precio o valor de intercambio) fijable por la interacción de oferentes y demandantes, la transabilidad en el mercado de ciertos bienes y la apropiabilidad

En esta economía agrícola de bienes y servicios transables, operan familias y empresas y entre ambos grupos se genera una corriente permanente de dependencia e intercambio. Este sistema económico es un sistema cerrado de movimiento perpetuo, donde nada entra al sistema económico proveniente del ambiente ni nada sale de él hacia el ambiente, el medio natural es inagotable dentro de esta concepción de la actividad humana no siendo de esta forma, valorado o considerado en estos sistemas de producción

2.7. El Sistema agroeconómico ecológico

Los recursos ambientales (naturales renovables y no renovables), mientras eran abundantes, todos sus atributos eran envueltos en el factor de producción tierra. Como la falsa abundancia comienza a llegar a su fin, los factores naturales de producción que hasta hoy

habían estado incluidos dentro del concepto tierra de repente requieren un tratamiento como factores escasos y requieren particularmente ser tratados, valorados e incluidos en los procesos productivos respectivos.

En la medida que los factores naturales de producción se convirtieron en escasos, el mundo comenzó a valorar las circunstancias que rodeaban la utilización racional y complementaria de sus recursos naturales renovables y no renovables en los procesos de producción humana.

- las funciones ambientales comenzaron a ser indentificadas, dimensionadas y valoradas;
- se comienza a aceptar que la no apropiabilidad individual, la no transabilidad en el mercado y la no valoración de estos factores por la vía de los precios hacia ciertos factores de producción natural aunque sean naturales, no era excusa para no entender el valor intrínseco que estos elementos favorecen la sociedad por las funciones que prestan a ésta, ya en su calidad de capital natural o de generadores de un flujo de bienes y servicios naturales, indispensables a los procesos productivos; se comienza a aceptar la existencia de los límites físicos de los ecosistemas y su capacidad amplia, pero limitada, para llevar a cabo y apoyar los procesos productivos humanos.

Los servicios ambientales básicos incluyen la fijación de CO₂; bienes generadores de energía; agua; biodiversidad y fertilidad natural. Si se logra valorar estos servicios, se puede concebir, al menos en forma teórica, que el valor del capital natural (ecosistema) dependerá de su capacidad de generar valor a través del valor de los bienes y servicios que fluyen hacia la

sociedad. El problema de estos bienes y servicios que fluyen del ecosistema a la sociedad, es que no son apropiables fácilmente, por lo tanto, han representado un problema de distribución y asignación entre las diferentes opciones de utilización.

En la medida que la demanda por estos elementos naturales a crecido y la oferta de los mismos comienza a disminuir en términos de acceso al uso en forma fácil y a bajo costo, se inician los problemas. La tecnología usada tiene que ser sostenible; es necesario la conciencia ambiental para realizar tal hecho; además, la cultura de la gente es un factor muy importante.

Los dos sistemas económico y ecológico están intrínsecamente relacionados:

- la sociedad demanda y consume bienes y servicios finales producidos por el ecosistema y suministra factores y servicios que el ecosistema requiere para su mantenimiento sostenible;
- el ecosistema ofrece o suministra bienes y servicios ambientales a la sociedad y demanda los factores de producción suministrados por la sociedad.

2.8. Análisis ecológico-económico agroforestal

- Se asume que la sostenibilidad de los recursos naturales es una posición superior en la escala de valores de la sociedad y consecuentemente debe ser adoptada y promovida por sus miembros.
- la introducción de las acciones agroforestales, por ejemplo el cultivo en callejones, coberturas vivas, uso de estiércol, mejoran y aprovechan la acción agroforestal de manera

positiva y beneficiosa en relación la agricultura tradicional, utilizadora de insumos tecnológicos externos y que tiende a degradar por sus características la sostenibilidad de los recursos naturales.

- la acción agroforestal, debe ser entendida como una forma que modifica el patrón original de uso para mejorar en términos económicos y ambientales. Estos principios anteriores están relacionados a otro supuesto que indica que el beneficio o costo natural de la acción agroforestal en el fondo está unido a un tipo de costo y/o beneficio humano.

Para valorar los recursos, es posible utilizar el concepto de resultado agregado donde:

- es posible valorar en el margen la diferencia de costos y beneficios entre el uso tradicional y el uso agroforestal, por diferencia entre los beneficios y costos de la acción agroforestal con respecto a la acción tradicional no agroforestal,

- la acción de uso de la tierra tradicional será considerada como la situación inicial con sus respectivos costos y beneficios,

- la acción agroforestal será considerada como la situación mejorada o nivel mejorado con sus respectivos costos y beneficios.

Según Aguirre (1995), esta diferencia se puede considerar como el primer nivel de valoración ambiental, o sea, si se divide el beneficio neto incremental de la mejora agroforestal con respecto a la actividad tradicional, podemos valorar el impacto de la mejora agroforestal en términos unitarios, es decir se, se tendría el beneficio por toneladas de materia seca provistas por la naturaleza a través de la actividad mejora agroforestal.

La agroeconomía ecológica, según Aguirre (1995), es basada en el análisis marginal de corte microeconómico, incorporando las mejoras relacionadas con el manejo sostenible (una acción preventiva o correctiva) a las acciones de origen antropogénico y se apoyan, dado el espacio temporal en las bases del análisis de inversiones para incorporar al análisis tradicional, los costos y beneficios de origen natural.

Para hacer la valoración económica de un bien ambiental es necesario asociarlo a un bien de origen humano, obteniendo de esta forma su valor de uso. En esta situación, se puede descomponer en términos de las opciones de uso y después se valora esas acciones de uso, en términos de los precios que por acciones semejantes de carácter antropogénico se está pagando. Existen un valor antropogénico equivalente de la acción ambiental, ya que permite valorar la acción ambiental en términos de su valor antropogénico equivalente. Por ejemplo, la valoración de los nutrientes en el suelo bajo sistemas agroforestales, es posible si se compara con el valor de los nutrientes que se está pagando en el mercado en forma de fertilizantes artificiales.

De esta forma, el análisis ecológico-económico agroforestal se basa en el principio de los beneficios o costos inducidos o imputados, o sea, es la diferencia incremental de los costos y beneficios con introducción del sistema agroforestal, en comparación a un sistema tradicional. Es necesario utilizar para el análisis, los principios del análisis marginal y el análisis de inversiones.

El análisis de rentabilidad de un proyecto se realiza en base al análisis del flujo neto generado por una inversión cuyo propósito en el fondo es mejorar una situación básica, sobre la cual es posible generar mejoras que serán superiores económicamente a la situación actual bajo la cual está operando el individuo/empresario. Esto genera dos conflictos muy distintos, por ejemplo: - hasta donde la acción agroforestal es sustituto de una acción tradicional, y hasta donde es complementaria

- hasta donde es posible diferenciar la función física de producción de una acción agroforestal, los límites de la complementariedad.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción de la área de estudio

El ensayo se desarrolló en el campo experimental "La Montaña" del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, en Turrialba, Costa Rica. Las coordenadas geográficas del sitio son 9° 53' de latitud Norte y 83° 34' Longitud Este; la elevación es de 602 m.s.n.m. La temperatura promedio de 22°C y la precipitación promedio anual de 2640mm. El suelo es de origen aluvial con una textura media arcillosa en los primeros 15 cm, clasificado como un Typic Humitropept, fine, halloysitic, isohyperthermic, con pH de 4,6 y el contenido de materia orgánica de 4,8% (Kass, 1987; Sánchez J, 1989). La vegetación, según la caracterización de Holdrige (1987) corresponde a un bosque muy húmedo premontano.

3.2. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar en parcelas divididas, donde la parcela grande (12 x 18m) correspondió al sistema de manejo (callejones, aplicación de estiércol y aplicación de mulch) y la parcela pequeña (6 x 18 m) a la aplicación o no de 150 kg/ha de nitrógeno en forma de $\text{NH}_4^+ \text{NO}_3^-$ (Figura 2).

El modelo estadístico consideró a los años de estudio como observaciones de sub-parcela para considerar posibles correlaciones entre observaciones de varios años, siendo su expresión la siguiente:

$$Y_{ijkl} = u + B_i + I_j + E_{ij} + N_k + IN_{jk} + E_{ijk} + M_l + IM_{jl} + NM_{kl} + INM_{jkl} + E_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} : Variable dependiente

u : Media general de la población

B_i : Efecto del bloque

I_j : Efecto del tratamiento

E_{ij} : Error en parcelas principales

N_k : Efecto del Nitrógeno

IN_{jk} : Efecto de la interacción Trat * Nitrógeno

E_{ijk} : Error en las subparcelas

M_l : Efecto del año

IM_{jl} : Efecto de la interacción Trat * año

NM_{kl} : Efecto de la interacción Nitrógeno * año

INM_{jkl} : Efecto de la interacción Trat * Nitrógeno * año

E_{ijkl} : Error en la subparcela

Los siete tratamientos utilizados fueron.

1. Testigo (sin aplicación de "Mulch", deposición de los residuos de cosechas sobre la superficie del suelo)
2. Ramas y hojas de *E. poeppigiana* aplicada (20.000 kg/ha de materia fresca) aplicadas dos veces al año.
- 3 Estiércol de vaca aplicado (20.000 kg/ha de materia fresca) dos veces al año.

4. Ramas y hojas de *Gmelina arborea* (20.000 kg/ha de materia fresca) aplicadas dos veces al año.

5. Ramas y hojas de *G. sepium*, aplicadas en la misma forma de los tratamientos anteriores.

6. Cultivo en callejones con *E. poeppigiana*, a una distancia de 6 x 3 m (555 plantas/ha) podada dos veces al año.

7. Cultivo en callejones de *G. sepium* a una distancia de 6 x 0,5 m (3333 plantas/ha) podada dos veces al año.

3.3. Antecedentes

El ensayo fue instalado en 1982. Durante los tres primeros años del experimento se sembró en mayo de cada año, maíz (*Zea mays* L., cv. Tuxpeño C-7) y yuca (*Manihot esculenta* Crantz, cv. Valencia) con densidades de 30.000 y 10.000 plantas/ha, respectivamente. En noviembre de cada año, después de la cosecha de maíz, se sembró frijol (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Turrialba 4) a una densidad de 100.000 plantas/ha. Después del tercer año, mayo de 1985, no se volvió a sembrar yuca (Kass, 1987) y el maíz y el frijol pasaron a ser sembrados en densidades de 40.000 y 133.000 plantas/ha, respectivamente.

El experimento estuvo conformado por 21 parcelas (12 x 18 m), que recibieron 88 kg/ha/año de P₂O₅ como superfosfato triple y 130 kg/ha/año de K₂O. Durante los tres primeros años se aplicó 10 Kg de Mg. En el cuarto y sexto camellón hubo lugar para seis parcelas extras

sin fertilizante mineral. Las enmiendas fueron aplicadas a una dosis de 20.000 kg/ha/año. Los árboles de *Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium* fueron podados inmediatamente antes de la siembra de maíz y frijol, utilizando como enmiendas orgánicas "mulch" en las parcelas, dos veces por año. Los residuos de los cultivos también fueron utilizados como mulch. En cada ciclo del cultivo se realizaron análisis de fertilidad del suelo antes de la siembra y se determinó la producción de biomasa de los árboles.

En el momento de la madurez fisiológica de los cultivos, se realizaron muestreos de biomasa para determinar la producción vegetal y los contenidos de N, P, K, Ca y Mg. Para el maíz, se tomaron muestras de raíz, tallo, hoja, flor y elote; para el frijol: raíz, hoja + tallo y vaina (incluyendo el grano).

3.4 Aspectos biofísicos

3.4.1. Niveles de nitrato y amoníaco

Para la determinación de la disponibilidad de los niveles de amoníaco y nitratos en el suelo, producto de la descomposición de la materia orgánica, se consideraron todos los tratamientos (cultivos en callejones, con enmiendas orgánicas y el control).

Se realizaron 4 muestreos (antes y 20, 30 y 50 días después de la aplicación del mulch) a una profundidad de 0-20 cm. De cada parcela se consideraron 3 submuestras. El método de determinación utilizado fue por destilación. Las determinaciones fueron hechas rápidamente después de la toma de la muestra en el campo, debido a las rápidas transformaciones biológicas que ocurren con el nitrógeno en el suelo.

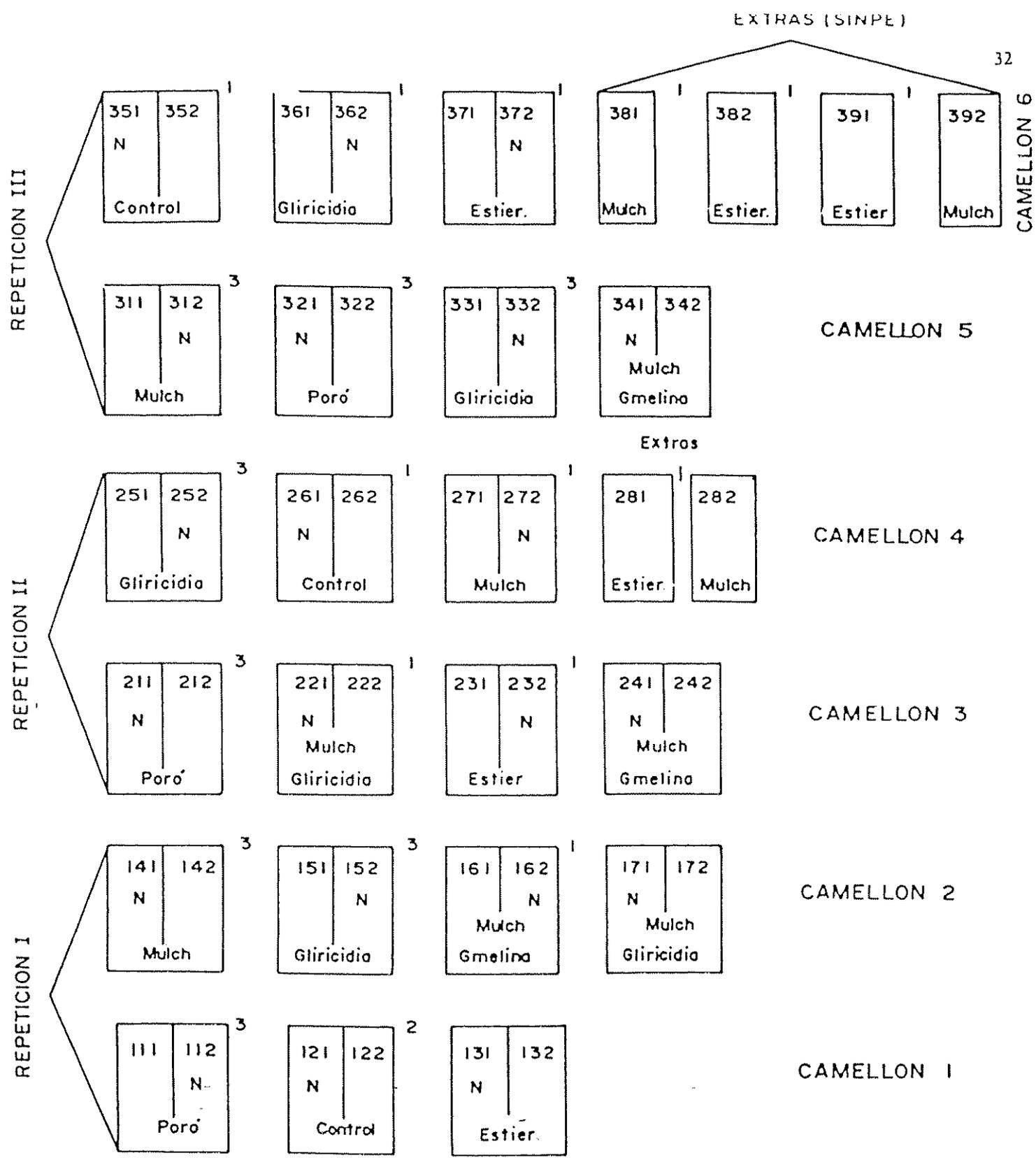


Figura 2 Disposición de parcelas en el campo, mostrando localización de camellones, repeticiones y parcelas extras, La Montaña, Turrialba

3.4.2. Rendimiento de los cultivos

Para la determinación de los rendimientos de los cultivos fueron utilizadas las siguientes fórmulas:

1. Frijol

$$\text{Rareut} = (100 - \text{Humed}) / 85 * \text{ptg};$$

$$\text{Renha} = (\text{Rareut} * 10000) / \text{Area};$$

Donde:

Rareut = Rendimiento de la área útil (kg/área)

Humed = Humedad de los granos de frijol (%)

ptg = Peso total de los granos en la parcela útil (kg/área)

Renha = Rendimiento por hectárea (kg/ha)

Area = Área de la parcela útil

2. Maíz

$$\text{Rareut} = (100 - \text{Humed} / 86) * (\text{Pg8m} / \text{P8m}) * \text{MazB};$$

$$\text{Renha} = (\text{Rareut} * 10000) / \text{Area}$$

Donde:

Rareut = Rendimiento de la área útil (kg/área)

Humed = Humedad de los granos (%)

Pg8m = Peso de granos de 8 mazorcas (kg)

P8m = Peso de 8 mazorcas (kg)

MazB = Número de mazorcas buenas

Renha = Rendimiento por hectárea (kg/ha)

Area = Area de la parcela útil

El área útil para el maíz fue de 24m² y 19m², para las parcelas con y sin árboles respectivamente.

3.4.3. Biomasa y contenido de nutrientes en los cultivos

En la fase de madurez fisiológica de ambos cultivos, se tomó una muestra para la determinación de la producción de biomasa y contenido de nutrimentos. Se determinó el peso y el contenido de los nutrientes en las hojas, tallos, raíz y vaina o mazorca.

3.4.4. Índice de Cosecha

El índice de cosecha, se definió como el cociente porcentual entre el peso de grano y la biomasa total (hoja, tallo, raíz, mazorca o vaina) de cada cultivo.

$$IC (\%) = PG / BIO$$

Donde :

IC = Índice de cosecha

PG = Peso de granos (kg)

BIO = Biomasa total (hoja+tallo+raíz+mazorca o vaina) (kg)

3.4.5. Índice de Satisfacción Hídrica

El índice de satisfacción hídrica se definió como el producto del número de días con precipitación mayor o igual a 0,5 mm, por la cantidad de precipitación en las fases críticas de desarrollo de los cultivos, en este caso consideradas las fases de floración y el llenado de granos.

De esta forma, se sabe si hay déficit hídrico en estas fases, ocasionando la competencia por agua con los árboles, interfiriendo consecuentemente en el buen desempeño del rendimiento. No fue posible hacer el cálculo de este índice para todos los años de los cultivos porque no había todos los registros de siembra.

$$\text{ISH} = \text{N}^{\circ}\text{días} * \text{C}_{\text{prec}}$$

Donde :

ISH = Índice de Satisfacción Hídrica

N^odías = Número de días con precipitación superior o igual a 0,5mm

C_{prec} = Cantidad de lluvia acumulada (mm)

3.4.6. Biomasa de los árboles

Para la determinación de la biomasa de los árboles se muestreó en los sistemas con *Erythrina poeppigiana* 2 árboles y los con *Gliricidia sepium* 10 árboles, debido a la mayor densidad de esta última. Pero, a lo largo del tiempo hubo variación del número de árboles muestreados de *Gliricidia*, debido al cambio de densidad en el tiempo.

Fue considerada la biomasa total podada, y de estos, seleccionados 3 tallos y hojas. Después para la obtención de la biomasa de cada especie por hectárea, se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Ramas} = R1T+R2T+R3T+R1H+R2H+R3H$$

$$\text{Ftallo} = R1T+R2T+R3T$$

$$\text{Petallo} = \text{Ftallo} * \text{Bio}$$

$$\text{Fhoja} = R1H+R2H+R3H$$

$$\text{Pehoja} = \text{Fhoja} / \text{Ramas}$$

$$\text{PFH} = \text{Pehoja} * \text{Bio}$$

$$\text{PSH} = ((R1HS+R2HS+R3HS)/(R1H+R2H+R3H) * \text{PFH})$$

$$\text{PST} = (R1TS+R2TS+R3TS)/(R1T+R2T+R3T) * \text{PFT}$$

$$\text{TOTARB} = \text{PSH} + \text{PST}$$

Donde:

$R1T, R2T$ y $R3T$ = Peso de los tallos de las respectivas ramas

$R1H, R2H$ y $R3H$ = Peso de las hojas de las respectivas ramas

Ftallo = Peso fresco del tallo de las ramas muestreadas

Petallo = Proporción del peso del tallo de las ramas

PFT = Peso total del tallo en relación la biomasa total de la poda

Fhoja = Peso fresco de hoja de las ramas muestreadas

Pehoja = Proporción del peso de las hojas de las ramas

PFH = Peso total de hoja en relación la biomasa total de la poda

Bio = Biomasa total de la poda por árbol

PSH = Peso seco de hojas

PST = Peso seco de tallos

R1HS, R2HS y R3HS = Peso seco de las hojas de las respectivas ramas

R1TS, R2TS y R3TS = Peso seco de los tallos de las respectivas ramas.

3.4.7. Precipitación (mm) y Radiación (MJ/cal)

La precipitación y la radiación global utilizadas para la regresión con los cultivos fue el promedio del ciclo de cultivo, o sea, para el frijol los meses de noviembre a marzo, y de mayo a octubre para el maíz.

3.4.8. Determinación de los niveles de competencia

Con el propósito de reducir la competencia por luz para el éxito del sistema de cultivo en callejones, fueron estimadas correlaciones y regresiones, del rendimiento de los cultivos con la biomasa de los árboles de las dos especies estudiadas.

Además, en cada periodo del ciclo de cultivo, se verificó el comportamiento de la precipitación, radiación y contenido de nutrientes en el tejido vegetal y órganos reproductivos, siendo covariables que influyen en el fenómeno.

3.4.9. Análisis de la información

Los análisis de la información, se realizaron desde archivos ASCII derivados de QPRO, EXCEL y LOTUS, los cuales fueron analizados con el paquete estadístico SAS para UNIX. Se desarrollaron análisis de varianza, correlaciones, regresiones y pruebas de comparación de medias por Duncan.

3.5. Aspectos económicos

Fue determinada la relación beneficio/costo, que también llamaremos beneficio neto unitario o el factor de productividad total, definido como el beneficio neto y el costo de cada tratamiento. Además, se determinó la degradabilidad y la estabilidad en el tiempo de la relación B/C, dados por el coeficiente de regresión de B/C sobre el tiempo y por la inversa del coeficiente de variación de las desviaciones alrededor de dicha tendencia. Estos resultados corresponden a una investigación multidisciplinaria (Ferreira et al , 1995).

3.6. Aspectos Agroeconómicos-ecológicos

3.6.1. Relación Beneficio/Costo ambiental o ganancia ambiental unitaria:

$$GAU=(BX-BT)/(CX-CT)$$

Donde:

GAU = Ganancia ambiental unitaria (\$/ha)

BX = Beneficios de los sistemas mejorados (\$/ha)

BT = Beneficios de los sistemas tradicionales (\$/ha)

CX = Costos de los sistemas mejorados (\$/ha)

CT = Costos de los sistemas tradicionales (\$/ha)

Los sistemas considerados mejorados son aquellos que reciben enmiendas orgánicas y los cultivos en callejones. O sea, son los tratamientos que reciben mulch de *Erythrina poeppigiana*, *Gliricidia sepium* y *Gmelina arborea*. Los sistemas tradicionales son el control, o sea, que no reciben mulch.

3.6.2. Impacto de la mejora ambiental

$$\text{IMA} = \text{GAN} / \text{Q}$$

Donde:

IMA = Impacto de la mejora ambiental (\$/ha)

GAN = Ganancia ambiental neta o relación Beneficio/Costo ambiental

Q = Toneladas de materia orgánica o estiércol agregado (ton/ha/año)

Para los sistemas que recibieron enmiendas con mulch, se calcularon los beneficios totales por hectárea, adicionando al tamaño de la parcela el área que es necesaria para producir los 216 kg de mulch (enmiendas orgánicas) fresco que son aplicados por parcela (6 x 18m).

3.6.3. Valoración de los nutrientes presentes en las enmiendas y en el suelo

Se hizo la valoración de los nutrientes presentes en las enmiendas y estiércol, utilizando el concepto del valor de uso, o sea, el el valor de los nutrientes que se paga en el mercado en forma de fertilizantes artificiales. Para determinar el beneficio del mulch y de los árboles, en términos de los nutrientes, se verificó qué cantidad de los nutrientes aportados por el mulch queda en el suelo, contribuyendo a la fertilidad

Se hizo un balance de los nutrientes en cuanto a las entradas y salidas, o sea, el valor monetario de los nutrientes aportados en las enmiendas (kg/ha) y absorbidos por los cultivos en los años. De esta forma, se obtuvo la variación del valor a lo largo de los años, entre los tratamientos. La diferencia entre las entradas (enmiendas orgánicas, lluvia y fertilizantes) y las salidas (cosecha de los cultivos y los troncos de los árboles podados) se obtuvo el balance monetario de los nutrientes en el suelo.

Además, se determinó las pérdidas o ganancias de los nutrientes del suelo en términos monetarios a lo largo del tiempo, a través de la diferencia entre los nutrientes del primer y el último año. Lo que indicó la importancia de los sistemas en la disponibilidad de los nutrientes en el suelo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Niveles de amoníaco y nitrato

4.1.2. Niveles de amoníaco

El análisis de varianza (Cuadro A1) indicó que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos, tampoco con las interacciones trat*fert*fecha, fecha*trat y trat*rep. El cuadro 1, muestra que el tratamiento que recibió mulch de *Gmelina*, tiene un mayor valor de amoníaco (9,75 kg/ha), seguido por el callejón de *Erythrina*, mulch de *Gliricidia*, control, callejón de *Gliricidia*, estiércol y mulch de *Erythrina*, respectivamente, pero, esta variación no fue significativa.

Los niveles de amoníaco en los tratamientos con fertilización nitrogenada fue mayor (9,34 kg /ha) que en sin fertilización (8,78 kg /ha).

Cuadro 1 Niveles de amoníaco (Kg/ha), en el ensayo de cultivo en callejones, promedios de las 4 fechas de colecta, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

TRATAMIENTO	Amoníaco	Sin N	Con N
Mulch de <i>Gmelina</i>	9,75 a	9,25	10,25
Callejones de <i>Erythrina</i>	9,72 a	9,45	10,00
Mulch de <i>Gliricidia</i>	9,69 a	9,18	10,20
Callejones de <i>Gliricidia</i>	9,02 a	7,75	9,63
Estiércol	8,81 a	9,10	8,53
Mulch de <i>Erythrina</i>	7,72 a	6,94	8,5
Con N	9,34 a		
Sin N	8,78 a		

Promedios seguidos con la misma letra no difieren estadísticamente entre sí ($p < 0,05$)

El Cuadro 2, presenta las variaciones a través del tiempo en los niveles de amoníaco en los tratamientos con y sin fertilización nitrogenada. De acuerdo con este cuadro, hubo una tendencia de aumento de los niveles de amoníaco después de la aplicación del mulch de *E. poeppigiana*, *G. arborea*, *G. sepium* y estiércol, pero, después hubo una reducción progresiva hasta cerca de la cosecha del cultivo de frijol, a los 50 días.

Cuadro 2. Niveles de amoníaco (kg/ha) en los tratamientos sin y con fertilización nitrogenada, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

TRATAMIENTO		DIAS			
		Antes	20	30	50
	Control	5,08	11,32	10,00	11,40
S	E. mulch	4,08	13,72	5,96	4,00
I	Gl. mulch	6,52	13,20	10,00	7,00
N	Gm. mulch	5,00	12,00	14,00	6,00
	Callej. <i>Ery.</i>	4,77	9,22	11,00	6,00
N	Callej. <i>Glir.</i>	6,00	12,00	13,00	8,20
	Estiércol	3,94	12,88	12,00	7,60
	Control	7,00	11,00	12,00	10,00
C	E. mulch	7,00	11,00	11,00	5,00
O	Gl. mulch	4,80	14,00	13,00	9,00
N	Gm. mulch	5,00	14,00	14,00	8,00
	Callej. <i>Ery.</i>	6,54	13,00	11,00	8,00
N	Callej. <i>Glir.</i>	5,00	10,00	9,00	9,00
	Estiércol	5,00	11,00	12,12	6,00

Hubo una tendencia de aumento de los niveles de amoníaco en todos los tratamientos con y sin fertilización después de aplicar las enmiendas orgánicas. En las parcelas no fertilizadas el tratamiento que recibió mulch de *Gmelina* y los callejones de *Gliricidia*, aumentaron hasta los 30 días, pero después hubo una reducción en todos los tratamientos, o

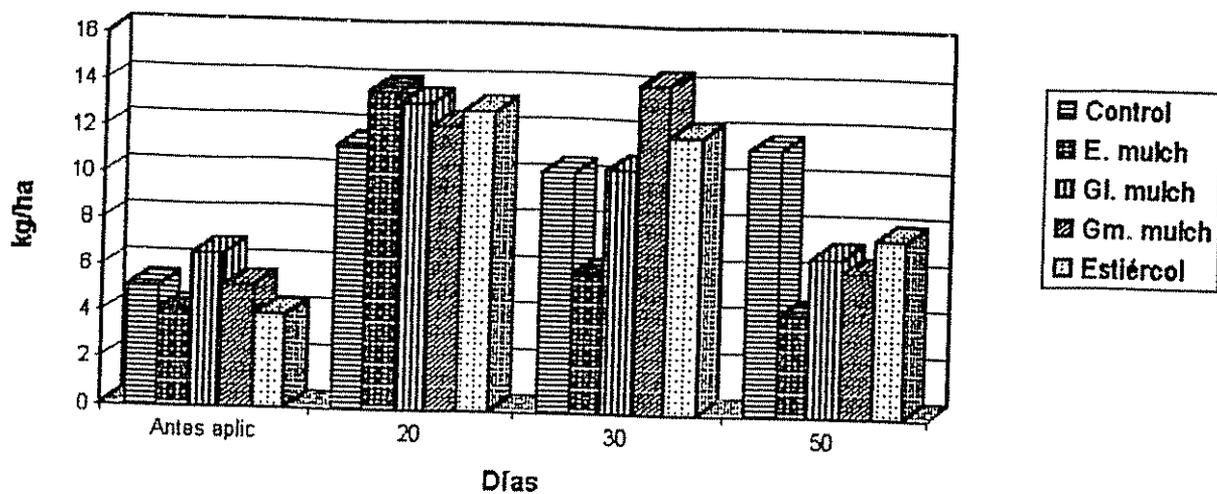
excepto con control, el cual con y sin fertilización presentó valores superiores en relación a los otros tratamientos. En los callejones no fertilizados hubo un aumento progresivo, lo que no pasa con los fertilizados.

Lo anterior indica que el amoníaco está disponible para el cultivo después de los 20 días después de aplicar las enmiendas orgánicas, o que la reducción pudo deberse a la transformación en nitratos. Los procesos de transferencia de nitrógeno dentro del ecosistema se basan en la producción de residuos y su descomposición (mineralización y humificación). El NH_4^+ en el suelo está sujeto a un proceso de transformación llamado desnitrificación, pasando de NH_4^+ a NO_2^- y a NO_3^- (Fassbender, 1993)

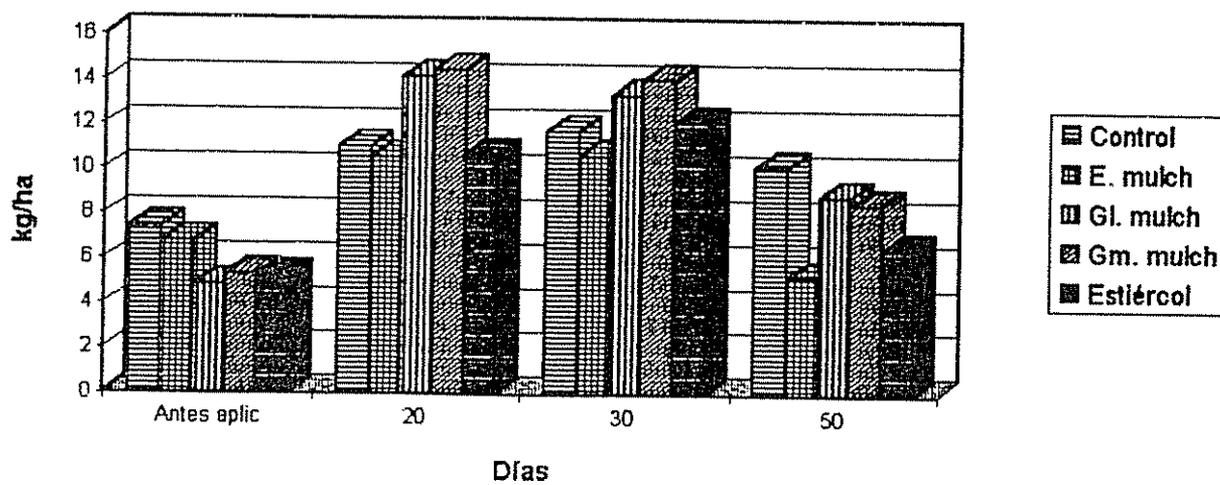
En los tratamientos sin fertilización nitrogenada que reciben enmiendas orgánicas, de acuerdo con la Figura 3a, el que recibió mulch de *E. poeppigiana* presentó un mayor nivel y disponibilidad de amoníaco a los 20 días después de la aplicación, seguido por los que recibieron mulch de *G. sepium*, estiércol de vaca y *G. arborea*. Después de los 20 días, hubo una reducción en las parcelas con mulch de *E. poeppigiana*, seguido por *G. sepium* y estiércol, contrastando con el mulch de *G. arborea* que aumentó los niveles, alcanzando un máximo a los 30 días, pero se redujo cuando se acercó la cosecha del cultivo de frijol. Esto puede indicar la velocidad de descomposición de las diferentes especies, siendo en orden decreciente, *E. poeppigiana*, *G. sepium* y *G. arborea*. Pero, la reducción drástica después de los 30 días, es probablemente debido a la transformación en nitratos o absorción por los cultivos.

En los tratamientos con fertilización nitrogenada, lo cual fue realizado a los 35 días después de la aplicación del mulch (1 mes después de la siembra del cultivo de frijol), el tratamiento que recibió mulch de *G. arborea*, presentó un mayor nivel de amoníaco a los 20 días de la aplicación de la enmienda, seguido por las que recibieron *G. sepium*, estiércol y *E. poeppigiana* (Figura 3b). Después de esta fecha, hasta los 30 días, aumentó el nivel de amoníaco en las que reciben estiércol, permaneció estable en el tratamiento el mulch de *E. poeppigiana*, mientras que en las otros tratamientos se redujo. Pero, después de los 30 días hubo una reducción del nivel de amoníaco en todos los tratamientos (Figura 3b). El control en ambas condiciones (con y sin N), siempre tuvo un mayor nivel de amoníaco antes de la cosecha, en relación a los demás tratamientos, lo que probablemente fue debido a la descomposición de los residuos de la cosecha.

Cuando las parcelas con árboles fueron comparadas con las que recibieron mulch externo, se observó que las parcelas que recibieron mulch de *G. sepium* presentó un mayor nivel de amoníaco que los callejones, a los 20 días después de la aplicación, tanto en las parcelas con y sin fertilización a base de nitrógeno (Figuras 4a y 4b). Después de esta fecha, el nivel en los callejones es mayor que en las parcelas con mulch de *Gliricidia* no fertilizadas, redució después de los 30 días. En los callejones de *G. sepium* hubo un mayor aporte al suelo de amoníaco, aproximadamente a los 30 días y con el mulch una mayor disponibilidad para los cultivos a los 20 días después de la aplicación del material de poda.



(a)



(b)

Figura 3. Niveles de amoníaco en los tratamientos con enmiendas, sin fertilización nitrogenada (a) y con fertilización nitrogenada (b), CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

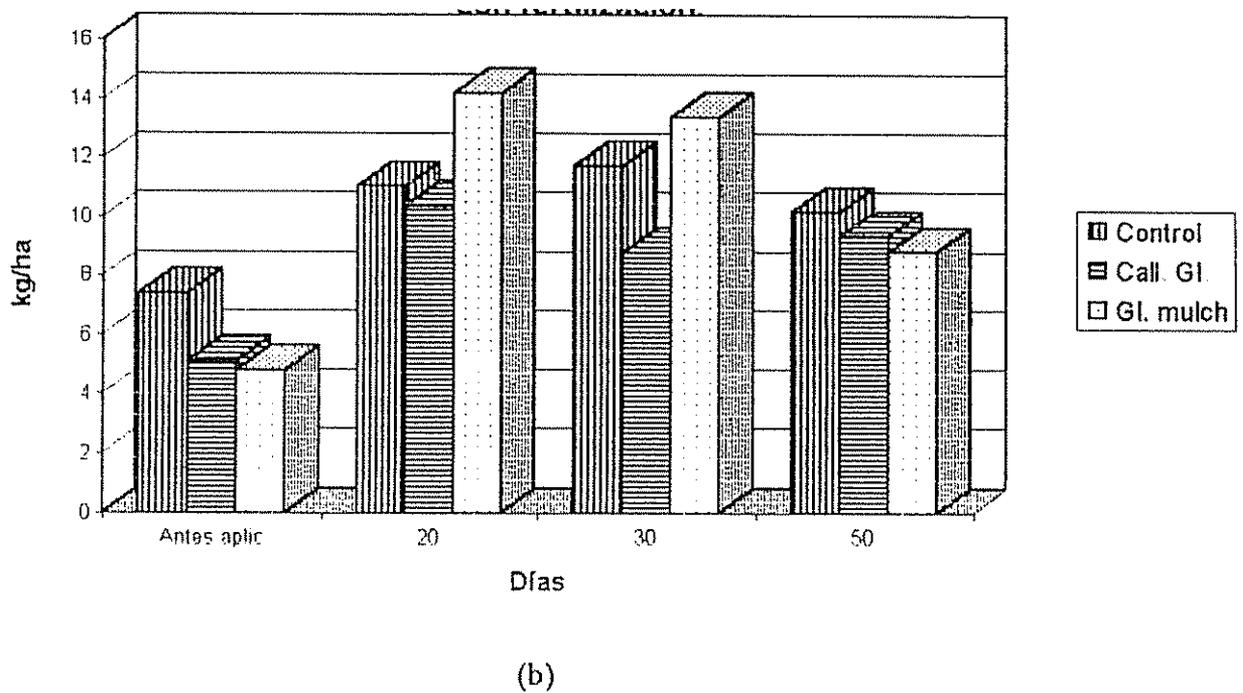
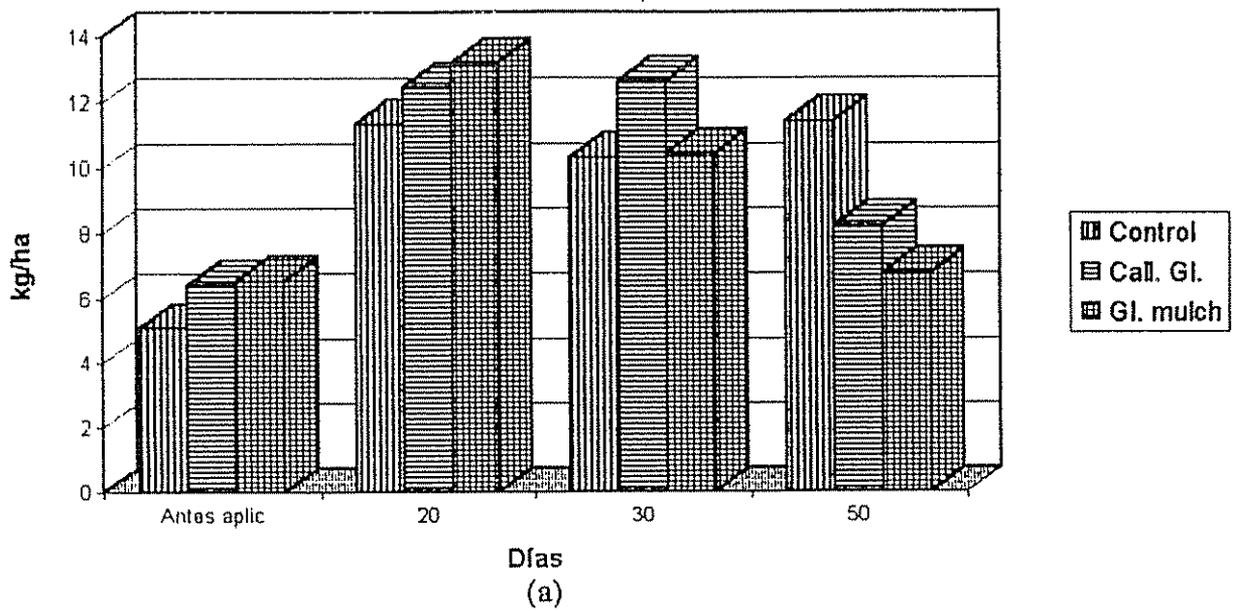
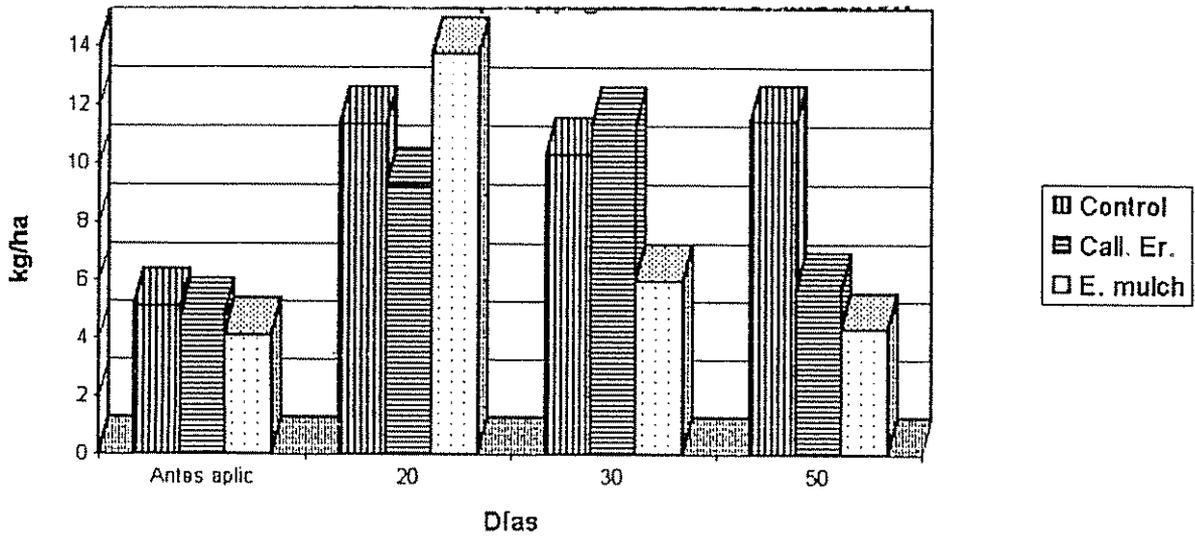


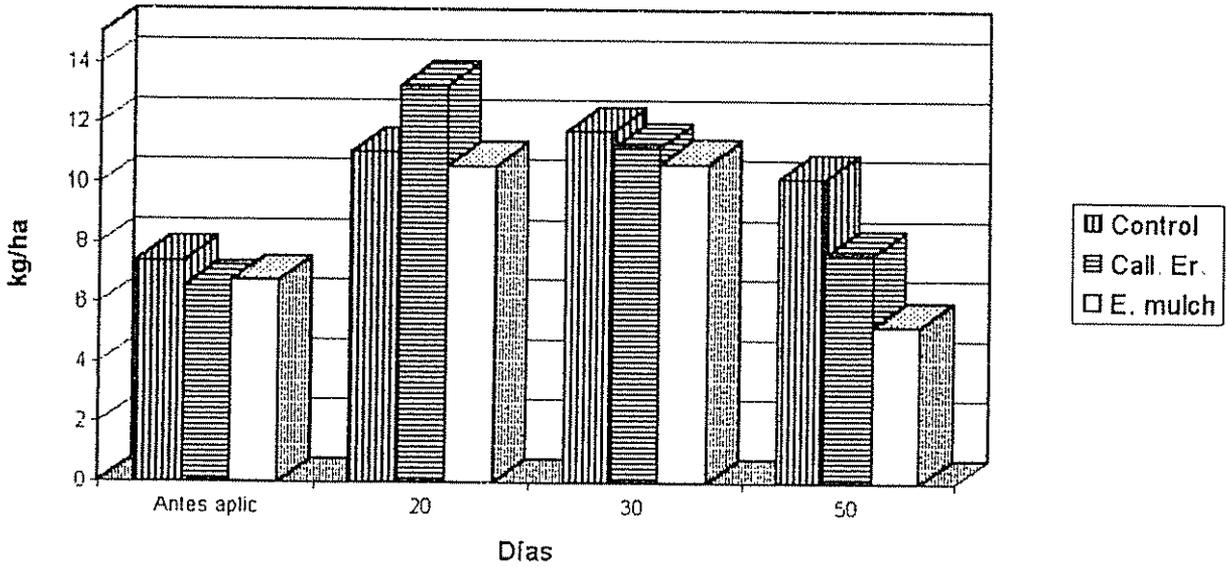
Figura 4. Niveles de amoníaco en los tratamientos callejón de *Gliricidia* y mulch de *Gliricidia* en comparación al control tanto en las parcelas sin fertilización (a) como con fertilización (b) nitrogenada, CATIE, Turrialba, Costa Rica .

En el caso de *E. poeppigiana*, en las parcelas sin fertilización, hubo un mayor nivel de amoníaco en las con mulch que aplicó en los callejones, presentando un máximo a los 20 días (Figura 5a). En las parcelas fertilizadas, los callejones de *E. poeppigiana* tuvieron mayor nivel de amoníaco que el mulch (Figura 5b). Después de esta fecha, en el primer caso, el nivel se redujo drásticamente con el mulch y aumentó en los callejones, al contrario del segundo caso de las parcelas fertilizadas, que se redujeron de los 30 días hasta la cosecha del cultivo.

La fertilización a los 35 días pareció influenciar la disponibilidad de amoníaco en el suelo quizás afectando negativamente la asociación simbiótica, porque hubo reducción de este elemento en los callejones de *E. poeppigiana* fertilizado, lo que está de acuerdo con Pinto (1992), que menciona que la producción de biomasa de *E. poeppigiana*, cuando recibe fertilización, se reduce probablemente debido a la interferencia con la asociación simbiótica



(a)



(b)

Figura 5. Niveles de amoníaco en los tratamientos callejón de *Erythrina* y mulch de *Erythrina* en comparación al control tanto en las parcelas sin (a) y con fertilización nitrogenada, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

4.1.3. Niveles de nitratos

De acuerdo con los resultados, hubo diferencias altamente significativas entre los tratamientos, además de las interacciones trat*fecha, trat*fecha*fert, pero no significativas para trat*fert (Cuadro A1). Los mayores niveles de nitratos (Cuadro 3) fueron los callejones de *Gliricidia* con 25,37 kg/ha, seguidos por el estiércol y callejón de *Erythrina*, que son estadísticamente iguales, y por los mulchs de *Erythrina*, *Gliricidia*, *Gmelina* y control, siendo los dos últimos estadísticamente iguales.

Cuadro 3. Nitratos promedios (Kg/ha) de las 4 fechas, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

TRATAMIENTO	Promedios	Sin N	Con N
Callejones <i>Gliricidia</i>	25,37 a	20,72	30,02
Estiércol	23,37 ab	22,75	24,00
Callejones <i>Erythrina</i>	22,65 ab	18,00	27,31
Mulch <i>Erythrina</i>	21,18 abc	19,50	22,86
Mulch <i>Gliricidia</i>	18,74 bcd	13,80	23,69
Control	16,34 dc	15,30	17,39
Mulch <i>Gmelina</i>	11,75 dc	13,00	10,50
Con N	22,25		
Sin N	17,58		

Promedios seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí.

Los niveles de nitrato en los tratamientos (Cuadro 4) presentan una tendencia general de aumento después de la aplicación de enmiendas orgánicas y estiércol, hasta los 20 días, reduciéndose a los 30 días, y aumentando nuevamente después de esta fecha.

Cuadro. 4. Niveles de nitrato (kg/ha) en los tratamientos sin y con fertilización nitrogenada, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

TRATAMIENTO	DIAS			
	Antes	20	30	50
Control	5,08	11,32	10,00	11,40
S Mulch de <i>Erythrina</i>	4,08	13,72	5,96	4,00
I Mulch de <i>Gliricidia</i>	6,52	13,20	10,00	7,00
N Mulch de <i>Gmelina</i>	5,00	12,00	14,00	6,00
Callejones <i>Erythrina</i>	4,77	9,22	11,00	6,00
N Callejones <i>Gliricidia</i>	6,00	12,00	13,00	8,20
Estiércol	3,94	12,88	12,00	7,60
Control	7,00	11,00	12,00	10,00
C Mulch de <i>Erythrina</i>	7,00	11,00	11,00	5,00
O Mulch de <i>Gliricidia</i>	4,80	14,00	13,00	9,00
N Mulch de <i>Gmelina</i>	5,00	14,00	14,00	8,00
Callejones <i>Erythrina</i>	6,54	13,00	11,00	8,00
N Callejones <i>Gliricidia</i>	5,00	10,00	9,00	9,00
Estiércol	5,00	11,00	12,12	6,00

De manera más detallada, en el Cuadro 4 y Figuras 6a y 6b, observamos que los tratamientos aumentaron sus niveles después de la aplicación del mulch hasta los 20 días; excepto en las parcelas no fertilizadas. En los tratamientos sin fertilizar que recibieron mulch de *Gliricidia* y *Gmelina*, y en las parcelas fertilizadas en el tratamiento mulch de *Gmelina*, se presentó reducción del nivel de nitratos. Después de los 30 días, hubo un aumento en prácticamente todos los sistemas. El aumento de los niveles de nitrato (a los 50 días después de la aplicación del material de poda), fue debido probablemente a la transformación del amoníaco en nitrato, concordando en la reducción de los niveles de amoníaco en el suelo.

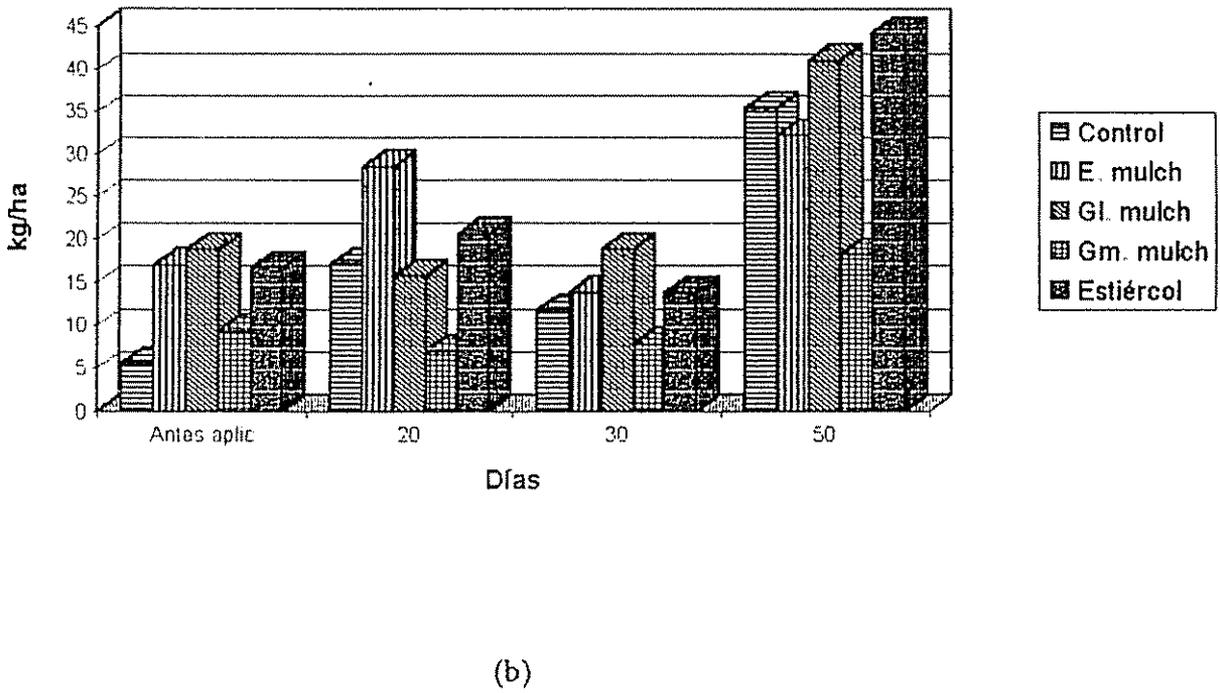
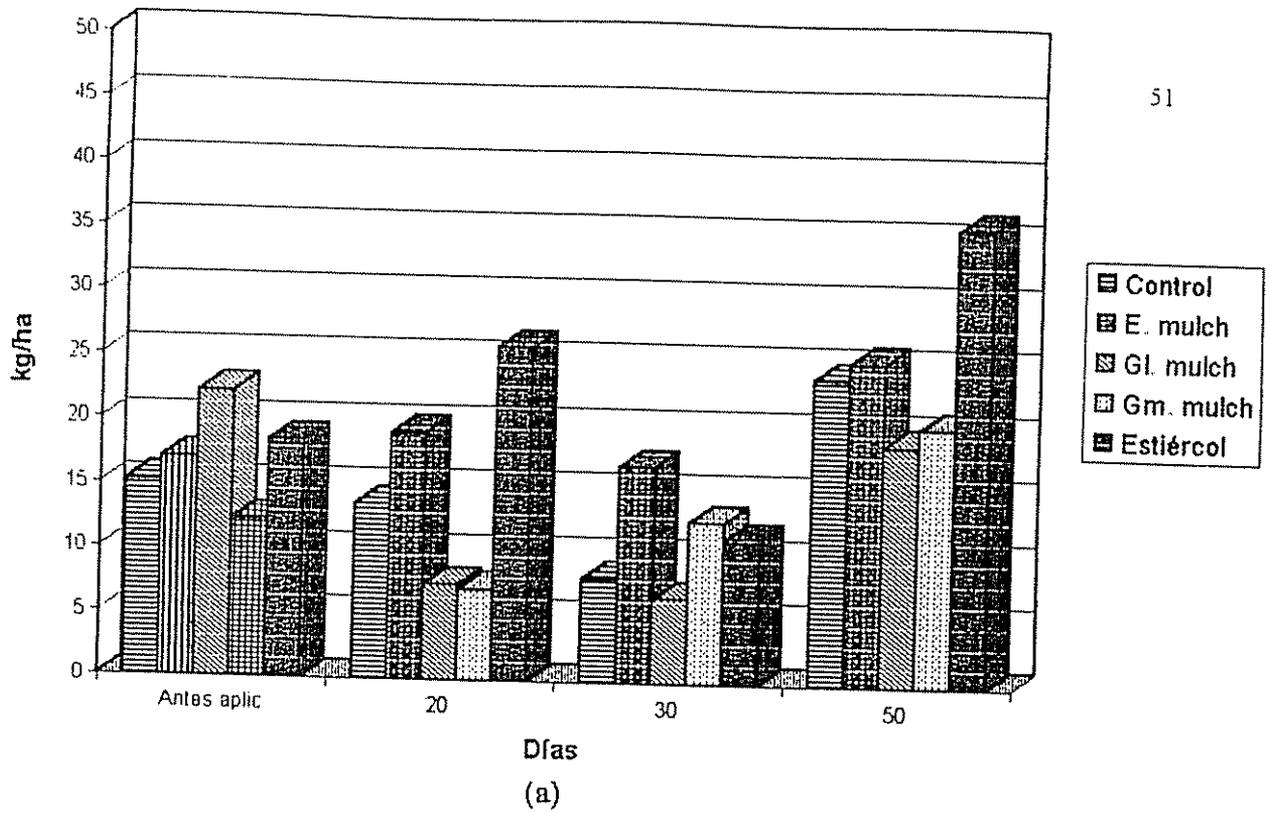


Figura 6. Niveles de nitratos en los tratamientos que reciben mulch sin (a) y con (b)

fertilización nitrogenada La Montaña, Turrialba, Costa Rica.

En los otros tratamientos, se presentó al final, mayor cantidad de nitratos en el suelo para los tratamientos con estiércol, *Gliricidia*, *Gmelina* y por último la *Erythrina*.

En las parcelas con y sin fertilización, el nivel de nitrato en los callejones de *Erythrina* fue mayor (Figuras 7a y 7b) que en las parcelas con mulch de la misma especie, aumentando desde la aplicación del material de poda hasta los 20 días, se reduce de esta fecha hasta los 30 días, tuvo aumento progresivo posterior.

De acuerdo con la Figuras 8a y 8b, en los callejones de *Gliricidia* con y sin fertilización, el nivel de nitrato aumentó después de la aplicación del material de poda hasta los 20 días, luego se reduce hasta los 30 días y aumenta después.

El nivel de nitratos en el control aumentó en el tiempo, probablemente debido a la descomposición de los residuos de los cultivos (en este caso el maíz). Entonces, por más que se aplique mulch en las parcelas, el nivel de nitratos y amoníaco es relativamente alto, en virtud de los residuos agrícolas, lo que indica la utilidad de dejar los residuos de cosecha en el campo.

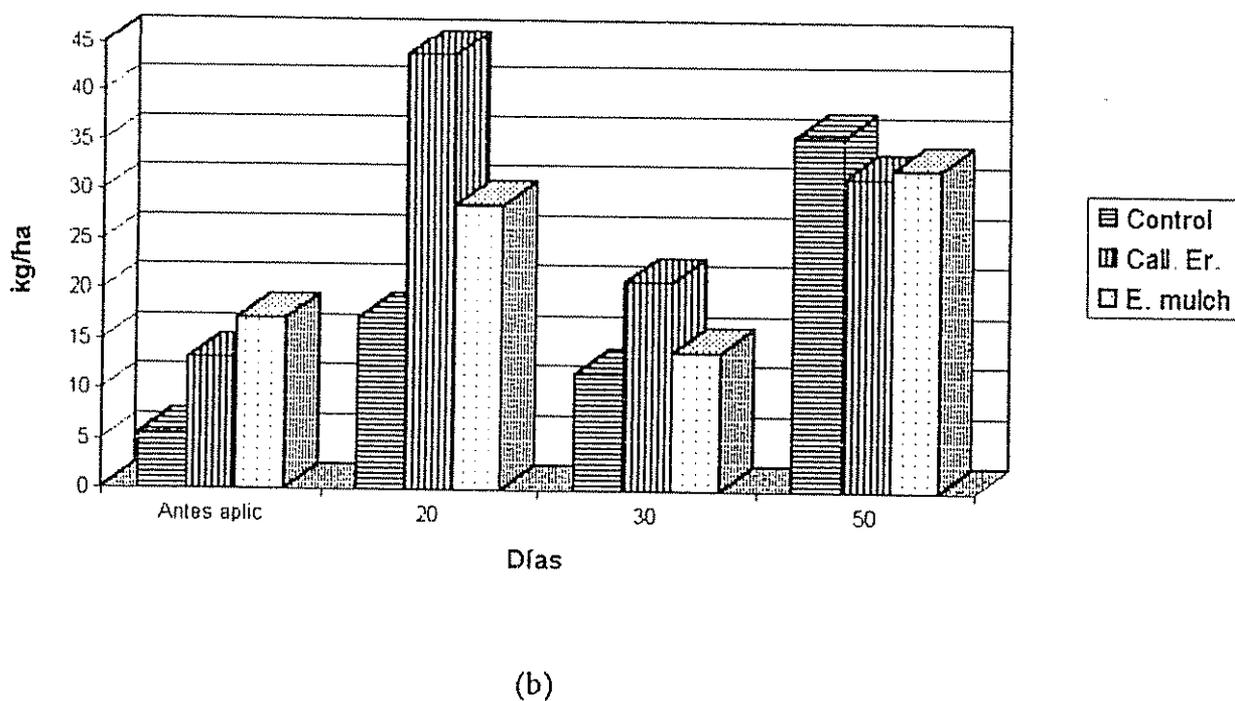
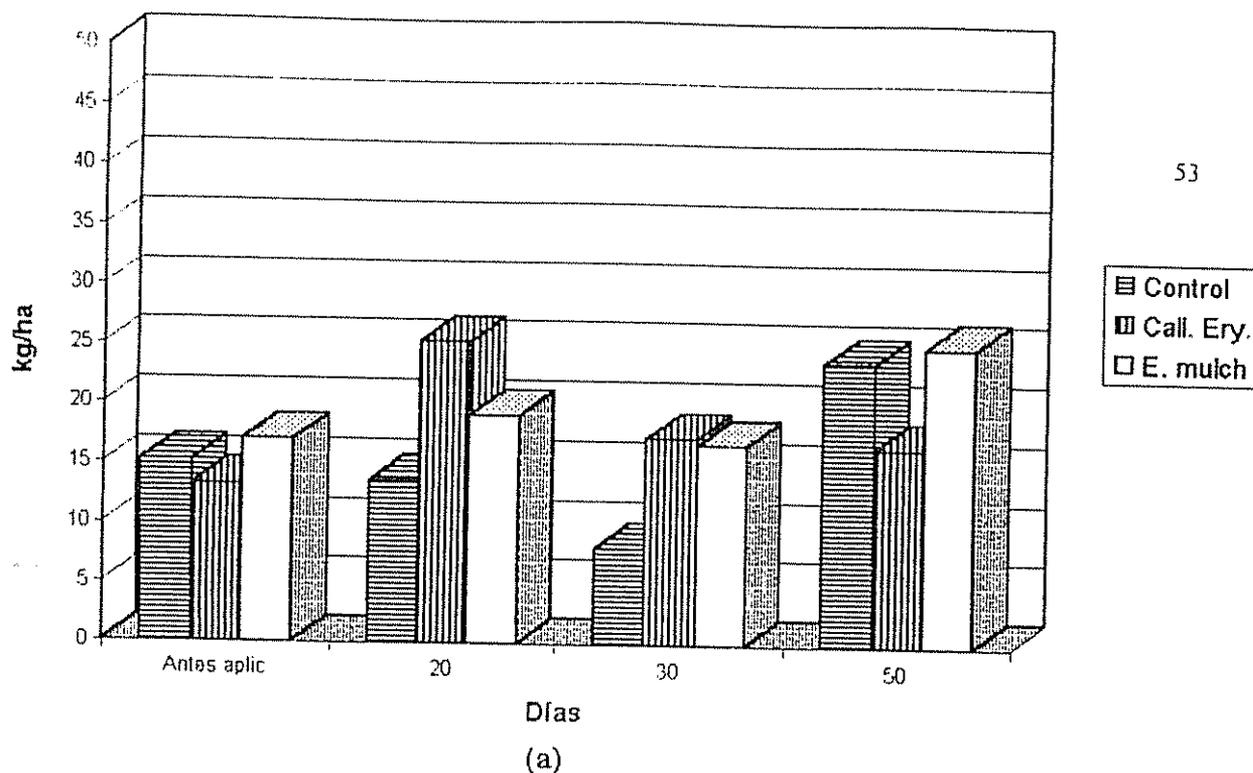
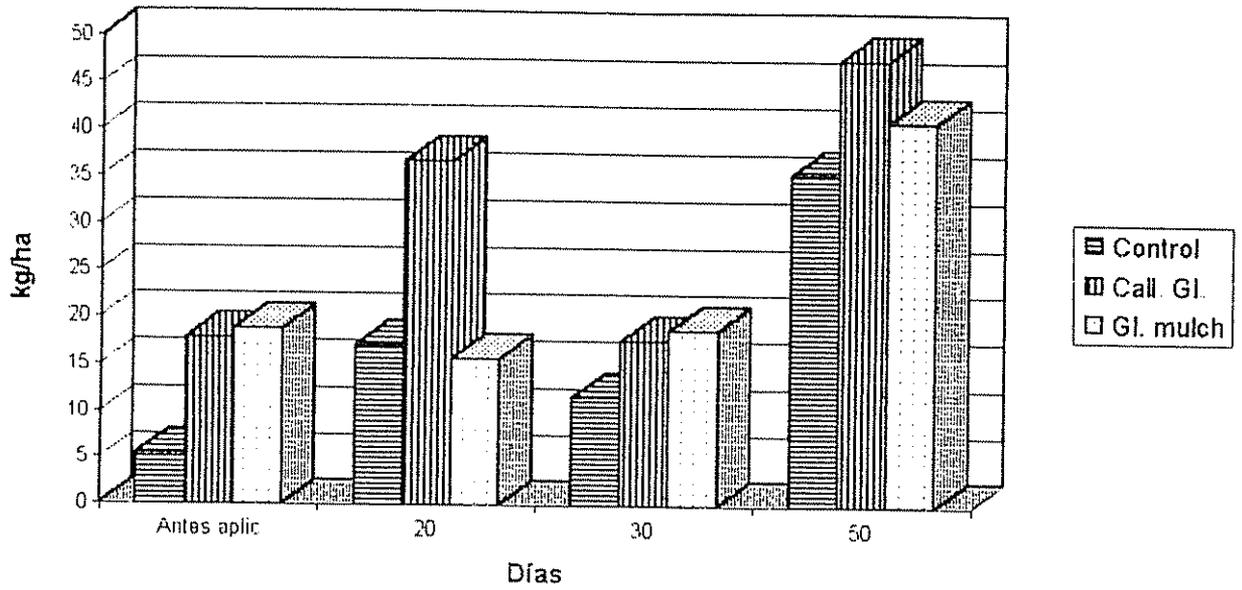
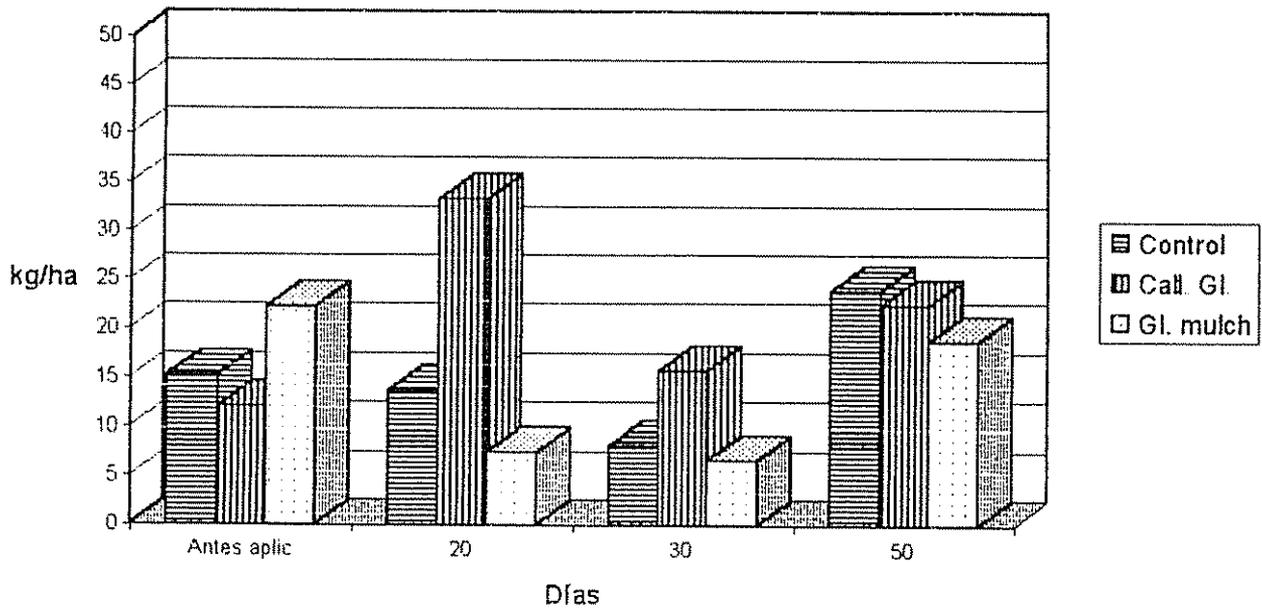


Figura 7. Niveles de nitratos en los callejones y en las parcelas que recibieron mulch de *Erythrina* sin (a) y con (b) fertilización nitrogenada, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.



(a)



(b)

Figura 8. Niveles de nitratos en los callejones y en las parcelas que recibieron mulch de *Gliricidia* con (a) y sin (b) fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

4.2. Discusión sobre los niveles de amoníaco y nitrato

Los niveles de estas sustancias en el suelo varían en el tiempo, luego de la aplicación de la materia orgánica al suelo, en el caso de los niveles de amoníaco, hubo un aumento después de la adición de las enmiendas, pero, a lo largo del tiempo existió una reducción. Esto puede ser debido a la transformación en otras sustancias nitrogenadas, por ejemplo en nitrato, lixiviación o la absorción por el propio cultivo. El tratamiento que no recibió materia orgánica, presentó un aumento de los niveles hasta la cosecha del cultivo. Esto indica probablemente la capacidad competitiva de los árboles presentes o la inhibición por la propia materia orgánica, o que el suelo estea seco.

En los tratamientos con árboles, la reducción de los niveles no fue tan drástica como las parcelas que recibieron mulch externo, indicando en este caso, la capacidad del nitrato de acumularse en los árboles, evitando pérdidas por lixiviación.

Los niveles de nitrato en el suelo, aumentaron después de la aplicación de la enmiendas orgánicas. El aumento posterior pudo ser debido a la transformación del amoníaco en esta sustancia, aumentando consecuentemente la disponibilidad para los cultivos.

4.3. Rendimiento de frijol

En relación al rendimiento de frijol, el análisis de varianza (Cuadro A2) indicó que todos los efectos principales, tratamiento, nitrógeno y año fueron altamente significativos, lo

mismo que interacciones trat*año y fert*año. El efecto de año, posiblemente fue debido a las condiciones climáticas que enmascara el efecto de tratamiento y de nitrógeno.

Según los resultados (Cuadro 5) el mayor rendimiento se obtuvo con el mulch de *Erythrina* e (1161 kg/ha), intermedios para los callejones de *Erythrina* (1120 kg/ha), *Gliricidia* y mulch de *Gmelina* y el más bajo para el control (660 kg/ha). La aplicación de fertilización nitrogenada, proporcionó un aumento significativo en el rendimiento de frijol, de 921 kg/ha a 1071 kg/ha, respectivamente (Cuadro 5).

Cuadro 5. Rendimiento promedio durante 12 años. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO (kg/ha)	SIN N	CON N
Mulch de <i>Erythrina</i>	1161 a	1057	1266
Callejones de <i>Erythrina</i>	1120 ab	1076	1165
Mulch de <i>Gmelina</i>	1079 ab	972	1186
Callejones de <i>Gliricidia</i>	988 b	934	1042
Estiércol	967 b	857	1078
Mulch de <i>Gliricidia</i>	940 b	890	990
Control	717 c	664	770
Con N	1071 a		
Sin N	921 b		

Promedios seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, de acuerdo a una prueba de Duncan al 5%

Observamos en la Figura 9, la variación anual de los rendimientos en todos los tratamientos. Hay una tendencia de reducción de todos los tratamientos, en los años 3, 6 y 11. Pero, en este último año, fue debido al ataque de enfermedades en el cultivo, afectando consecuentemente los rendimientos. En las Figuras 10 y 11, observamos en detalle la variación de los rendimientos en las parcelas que reciben mulch externo y las con árboles presentes en la

área. En el caso de la especie *G. sepium*, los rendimientos de las parcelas con árboles en general son menores que las parcelas que reciben mulch, a lo largo del tiempo. De la especie *E. poeppigiana*, no hay una predominancia clara a lo largo del tiempo, de los rendimientos de las parcelas con cultivo en callejones, o no. Pero, el promedio general de los rendimientos como observamos en el Cuadro 5, el cultivo en callejones tiene un mejor desempeño que cuando recibe mulch.

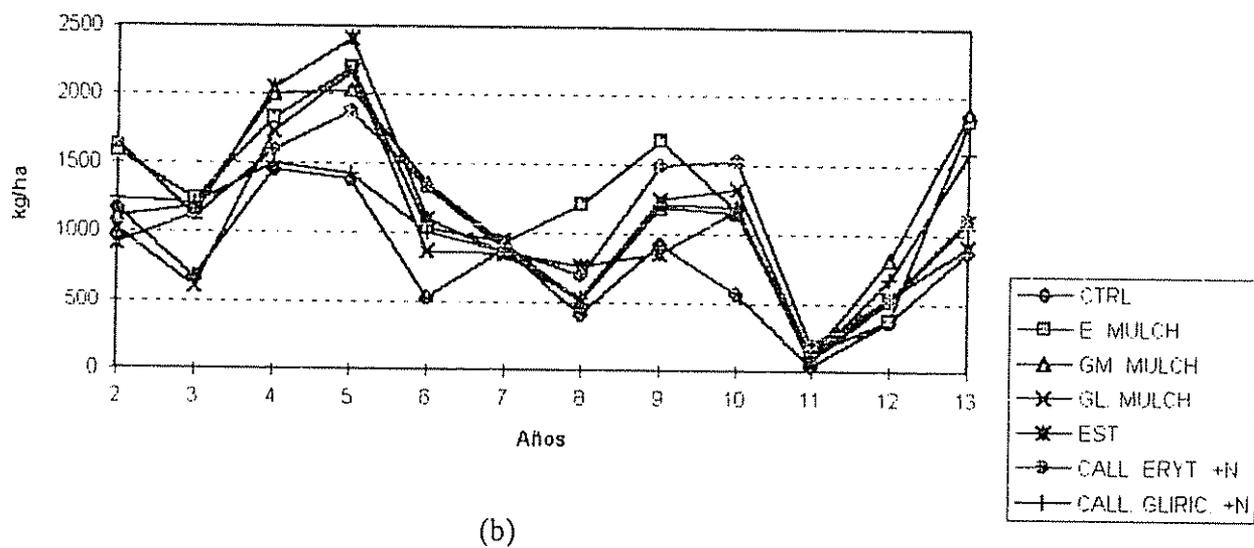
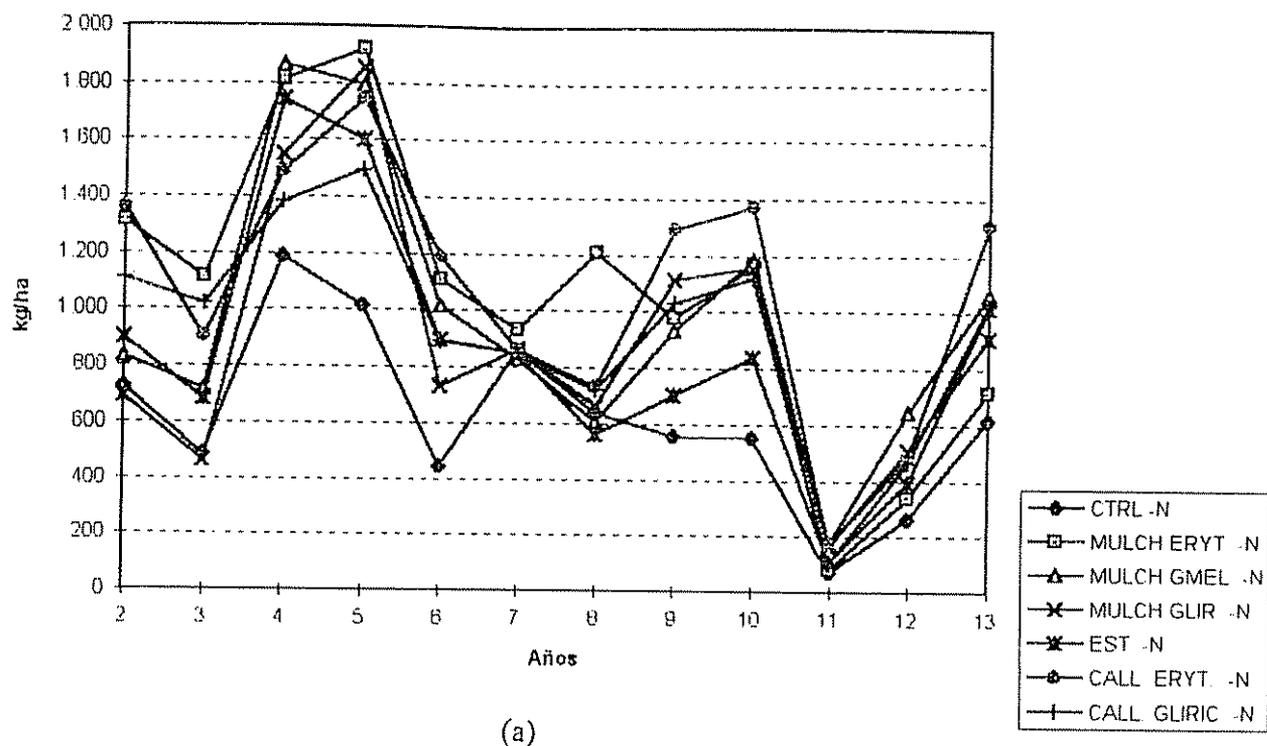
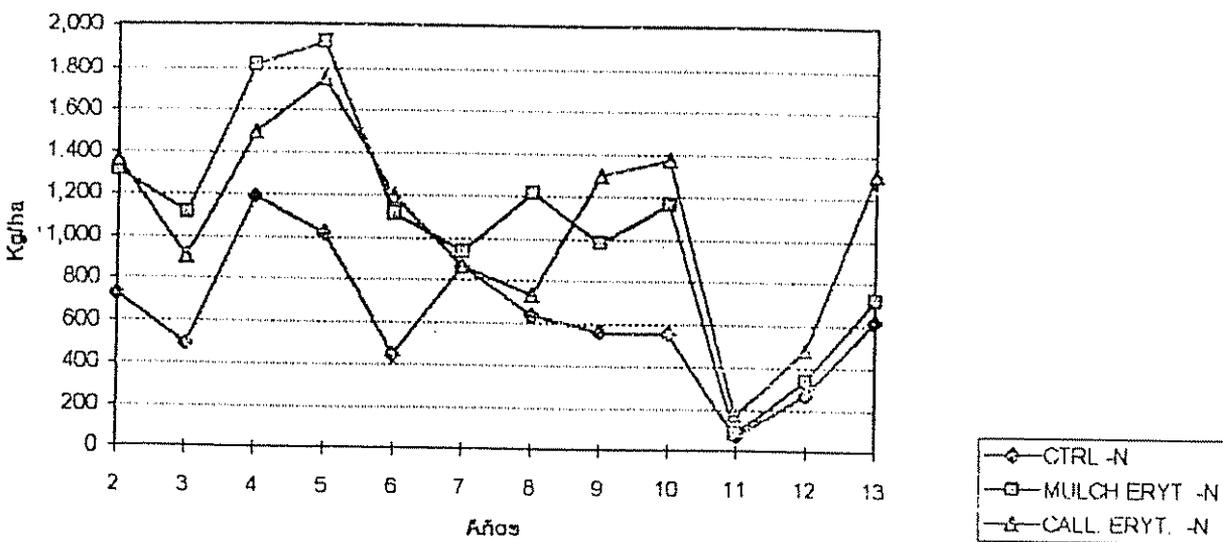
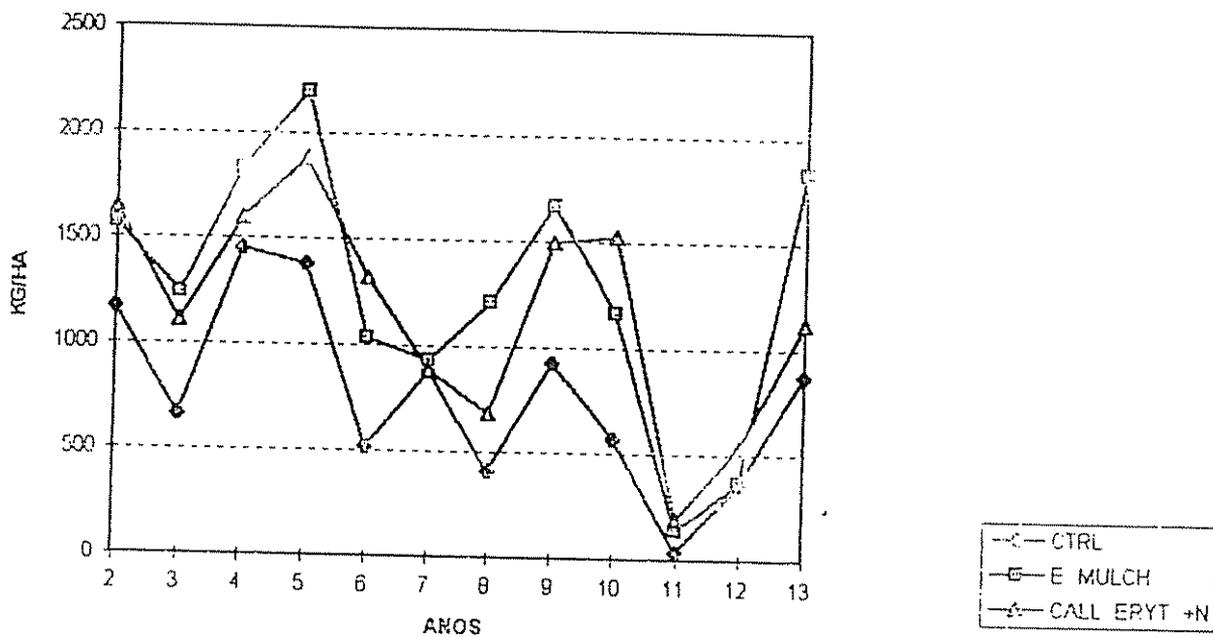


Figura 9. Variación del rendimiento de frijol en los tratamientos sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995

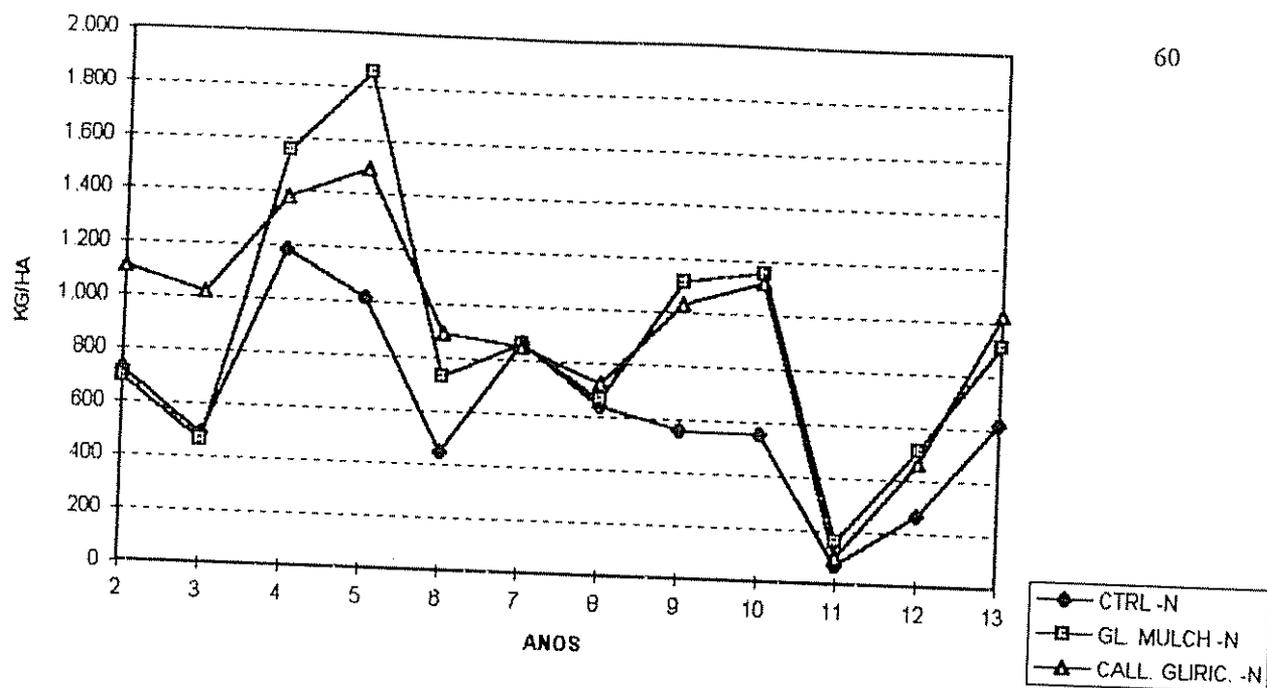


(a)

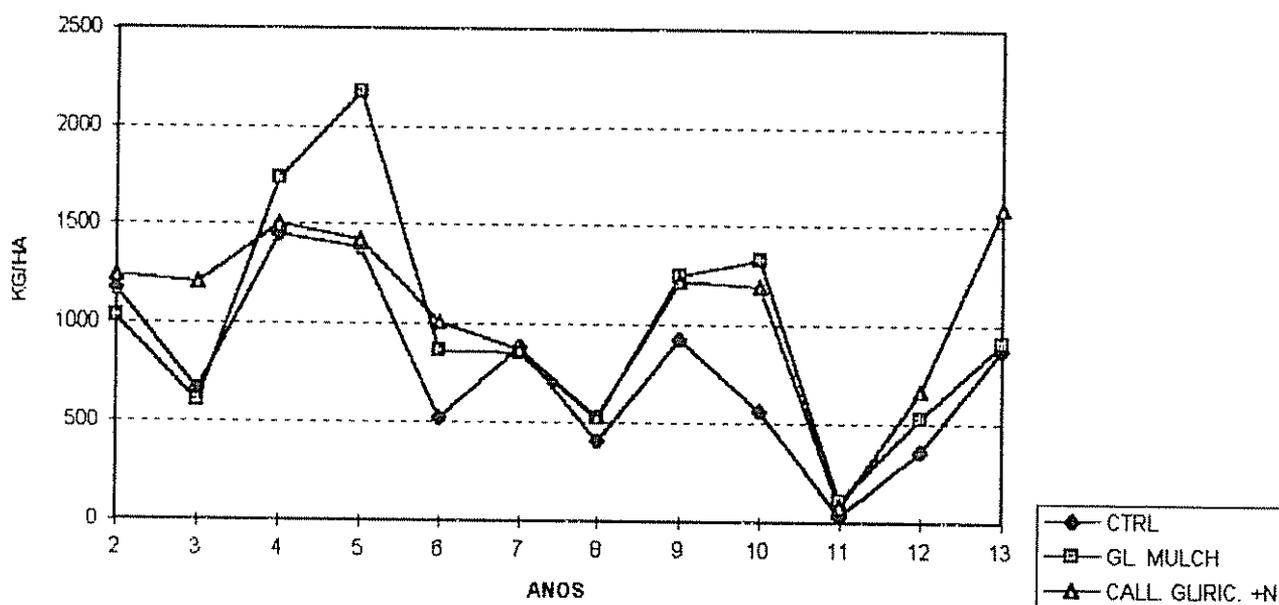


(b)

Figura 10. Variación del rendimiento de frijol en las parcelas con enmiendas y en los callejones de *E. poeppigiana* sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995



(a)



(b)

Figura 11. Variación del rendimiento de frijol en las parcelas que recibieron enmiendas y en los callejones de *G. sepium* con fertilización (a) y sin fertilización (b) nitrogenada CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995

4.4. Rendimiento de maíz

De acuerdo con el Cuadro A2, hubo diferencia altamente significativa entre los tratamientos, la fertilización y año. Pero, de las interacciones, solamente trat*año y fert*año, fueron estadísticamente significativos.

El mayor rendimiento de maíz (Cuadro 6) fue con los tratamientos con estiércol (3253 kg/ha) y mulch de *Erythrina* (2892 kg/ha), intermedios para los mulchs de *Gliricidia* y *Gmelina* (2672 kg/ha) y los más bajos para el control, callejones de *Gliricidia* y *Erythrina* (1731 kg/ha).

Cuadro. 6. Rendimiento promedio de maíz, durante de 12 años, CATIE, Turrialba, 1995.

TRATAMIENTO	Rendimiento (kg/ha)	SIN (N)	CON (N)
Estiércol	3253 a	3048	3458
Mulch <i>Erythrina</i>	2892 ab	2813	2972
Mulch <i>Gliricidia</i>	2558 b	2552	2565
Mulch <i>Gmelina</i>	2672 b	2542	2803
Control	2300 c	1936	2664
Call. <i>Gliricidia</i>	1972 cd	1943	2002
Call. <i>Erythrina</i>	1731 d	1654	1808
con N	2610 a		
sin N	2355 b		

Promedios seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, de acuerdo a una prueba de Duncan de 5%.

En la Figura 12, observamos que los rendimientos de maíz en todos los tratamientos, no presentan reducciones muy drásticas a lo largo del tiempo. Solamente en los dos últimos años, las producciones fueron bajas. Pero, en el año 13, fue debido al ataque de enfermedades.

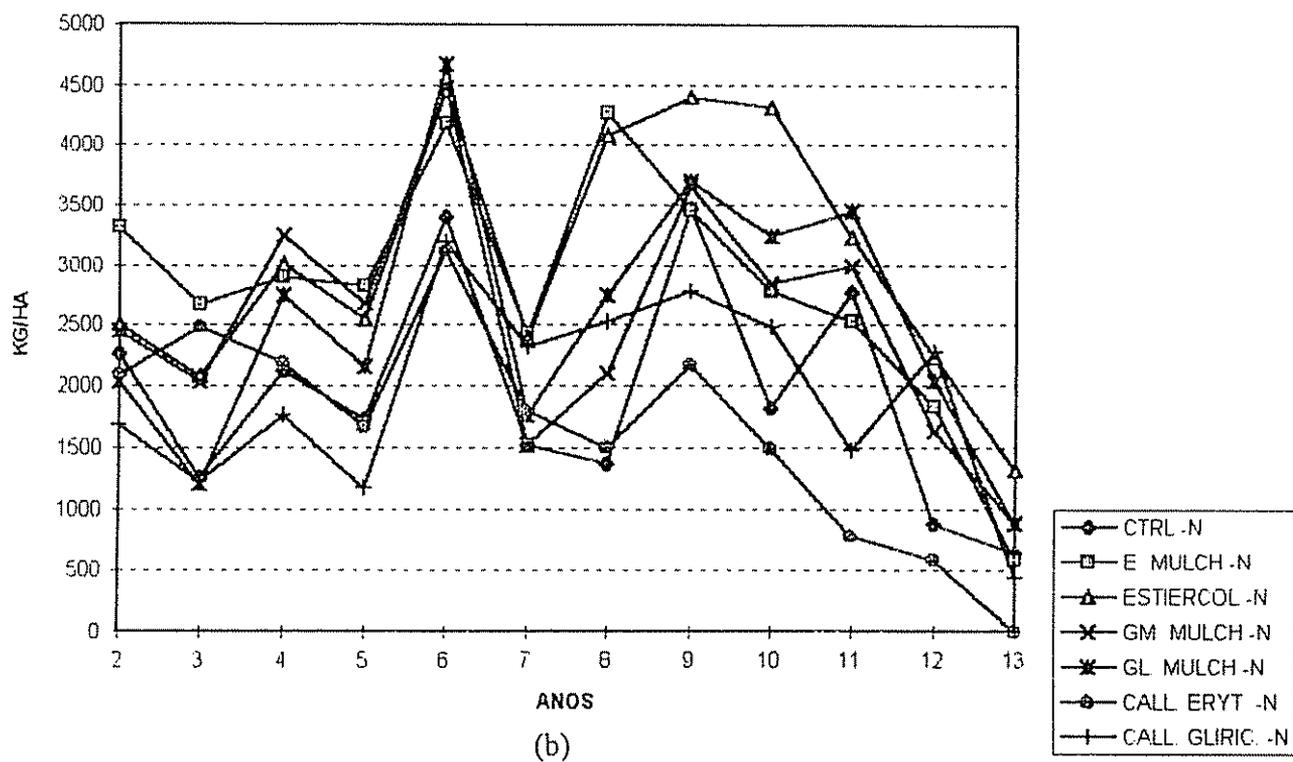
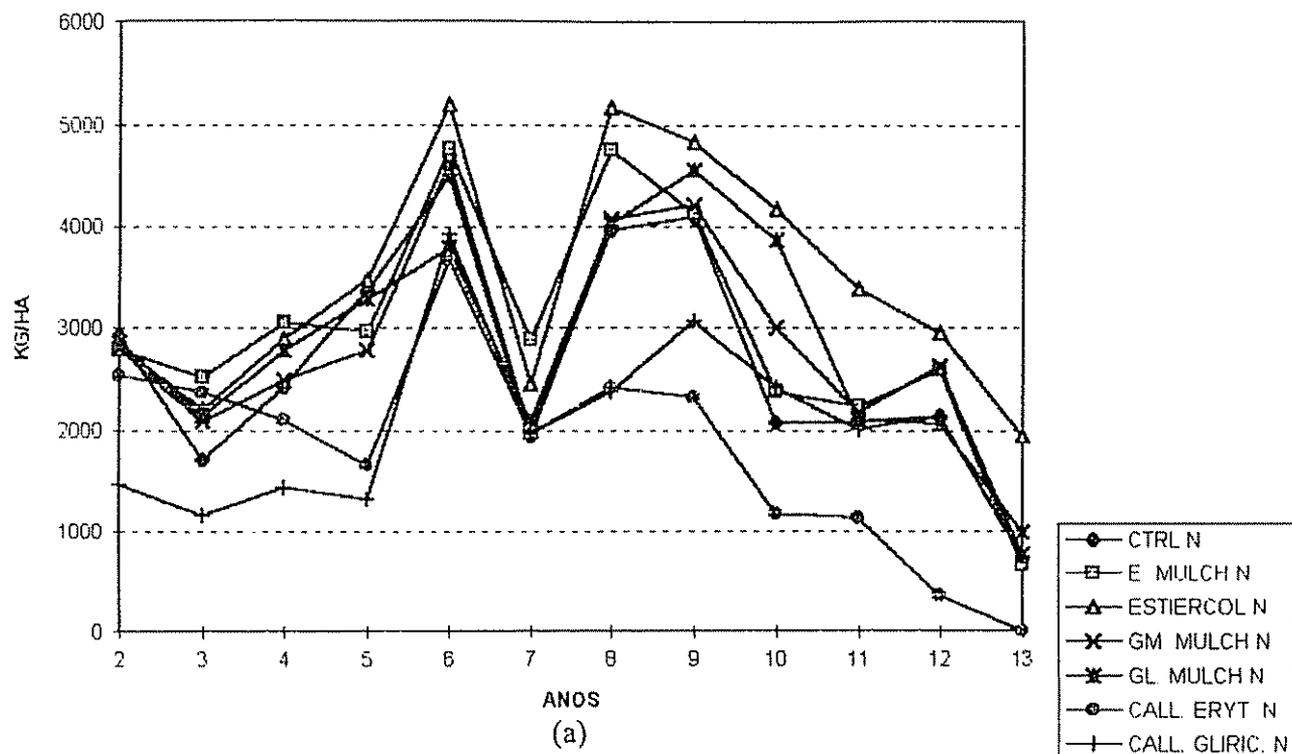


Figura 12 Variación del rendimiento de maíz en los tratamientos con fertilización (a) y sin fertilización (b) nitrogenada CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

4.5. Índice de cosecha (IC)

El IC es definido como el cociente entre el peso de grano y la biomasa de cada cultivo. Para el maíz, hubo diferencia significativa entre los tratamientos, la fertilización y año, pero, ninguna interacción es significativa. (Cuadro A3). De acuerdo con el Cuadro 7 y Figura 13a, verificamos que los mayores IC fueron del estiércol, mulchs de *Gmelina* y *Gliricidia*, intermedios para el control y mulch de *Erythrina*, y más bajos para los callejones.

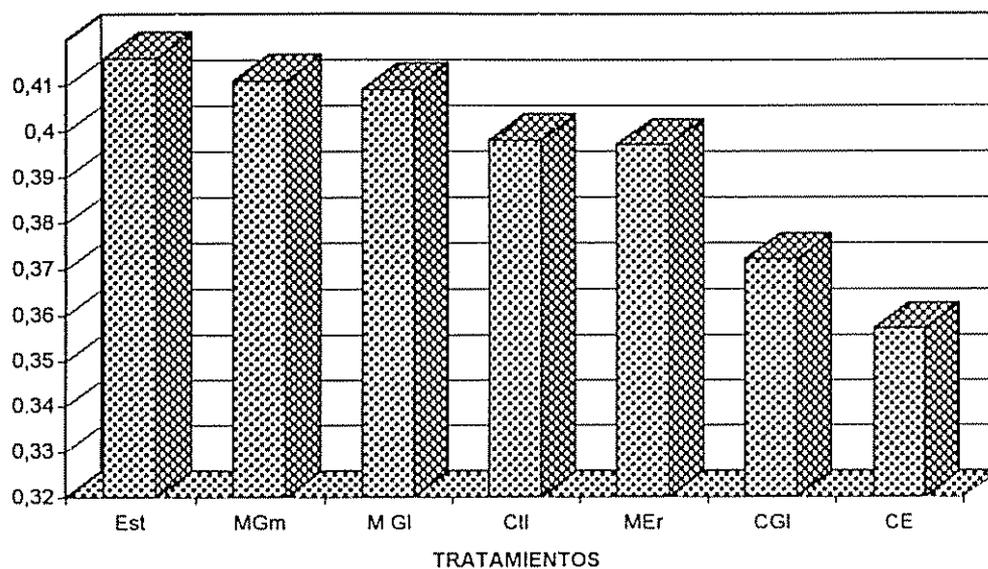
Esto indica que el cultivo de maíz en los callejones tuvo un mejor comportamiento para la producción de biomasa que para la producción de granos.

Cuadro 7. Índices de cosecha para el cultivo de maíz CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

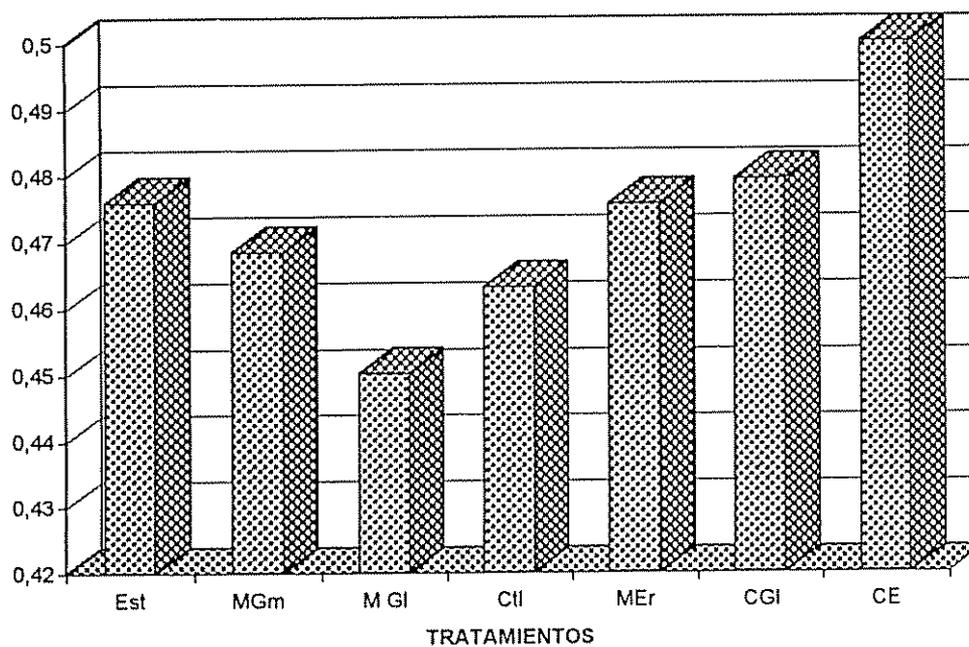
TRATAMIENTO	Promedio
Estiércol	0,42 a
Mulch de <i>Gmelina</i>	0,41 a
Mulch de <i>Gliricidia</i>	0,41 a
Control	0,40 ab
Mulch de <i>Erythrina</i>	0,39 ab
Callejones de <i>Gliricidia</i>	0,37 bc
Callejones de <i>Erythrina</i>	0,36 c
Con N	0,40
Sin N	0,39

Promedios seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (p 0,05)

Para el caso del frijol, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos, solamente para el efecto del año. Las interacciones no fueron significativas (Cuadro A3, Cuadro 8 y Figura 13b). Los índices de cosecha para el frijol fueron mayores que para el maíz. Esto quiere decir que el cultivo de frijol está más orientado a la producción de granos a la producción de la biomasa, lo cual presentó probablemente menos competencia.



(a)



(b)

Figuras 13 Índices de cosecha para los cultivos de maíz (a) y frijol (b), La Montaña, Turrialba, Costa Rica.

Cuadro 8. Índices de cosecha para el cultivo de frijol. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

TRATAMIENTO	Promedio
Callejones de <i>Erythrina</i>	0,50a
Callejones de <i>Gliricidia</i>	0,48 a
Estiércol	0,48 a
Mulch de <i>Erythrina</i>	0,47 a
Mulch de <i>Gmelina</i>	0,47 a
Control	0,46 a
Mulch de <i>Gliricidia</i>	0,45 a
Sin N	0,48 a
Con N	0,47 a

Promedios seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, de acuerdo con la prueba de Duncan al 5%.

4.6. Biomasa arbórea

El análisis de varianza detectó significancia para los tratamientos y el tiempo. La interacción trat*fert fue significativa. El sistema con *Gliricidia* produjo mayor cantidad de biomasa que con *Erythrina*, sin embargo, *Erythrina* sin nitrógeno produjo más biomasa que con nitrógeno (Cuadro 9).

Podemos observar en las Figuras 14 y 15 y cuadro A6 la variación de la producción de biomasa total a lo largo del tiempo. Probablemente la *Erythrina* es autosuficiente en nitrógeno con la cantidad que es capaz de fijar y quizás las condiciones microambientales en el suelo que genera el fertilizante afectan la relación simbiótica.

Cuadro 9. Producción promedio de biomasa arbórea de *Erythrina* y *Gliricidia* con y sin fertilización nitrogenada CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

TRATAMIENTO	Biomasa total (kg/ha)
Callejones de <i>Erythrina</i> -N	4148
Callejones de <i>Erythrina</i> N	2953
Callejones de <i>Gliricidia</i> -N	5045
Callejones de <i>Gliricidia</i> N	5292

Gliricidia, a diferencia de *Erythrina*, produjo más biomasa con fertilización nitrogenada que sin esta, probablemente además de su capacidad de fijar N₂ es más competitiva que *Erythrina* para utilizar el nitrógeno aplicado.

4.7. Competencia en el cultivo en callejones

4.7.1. *Erythrina poeppigiana* con frijol

La cantidad de radiación que pasa a través del dosel vegetal depende de varios factores, principalmente la estructura, caracterizada por la cantidad de follaje (índice de área foliar) distribución en el espacio, inclinación de la hojas y el propio manejo

Cuando los árboles están asociados con el cultivo de frijol, la biomasa arbórea no está interfiriendo en el rendimiento del cultivo, puesto que no se encontró correlación negativa significativa entre las dos variables, tanto en las parcelas fertilizadas como no fertilizadas, entonces, podemos decir que la estructura de la copa, que en este caso es relativamente compacta, permitiendo la incidencia de la radiación para los cultivos. Así mismo la biomasa

arbórea (variando entre 4148 y 2953 kg/ha) con y sin nitrógeno, respectivamente, no interfirió negativamente con el rendimiento del cultivo.

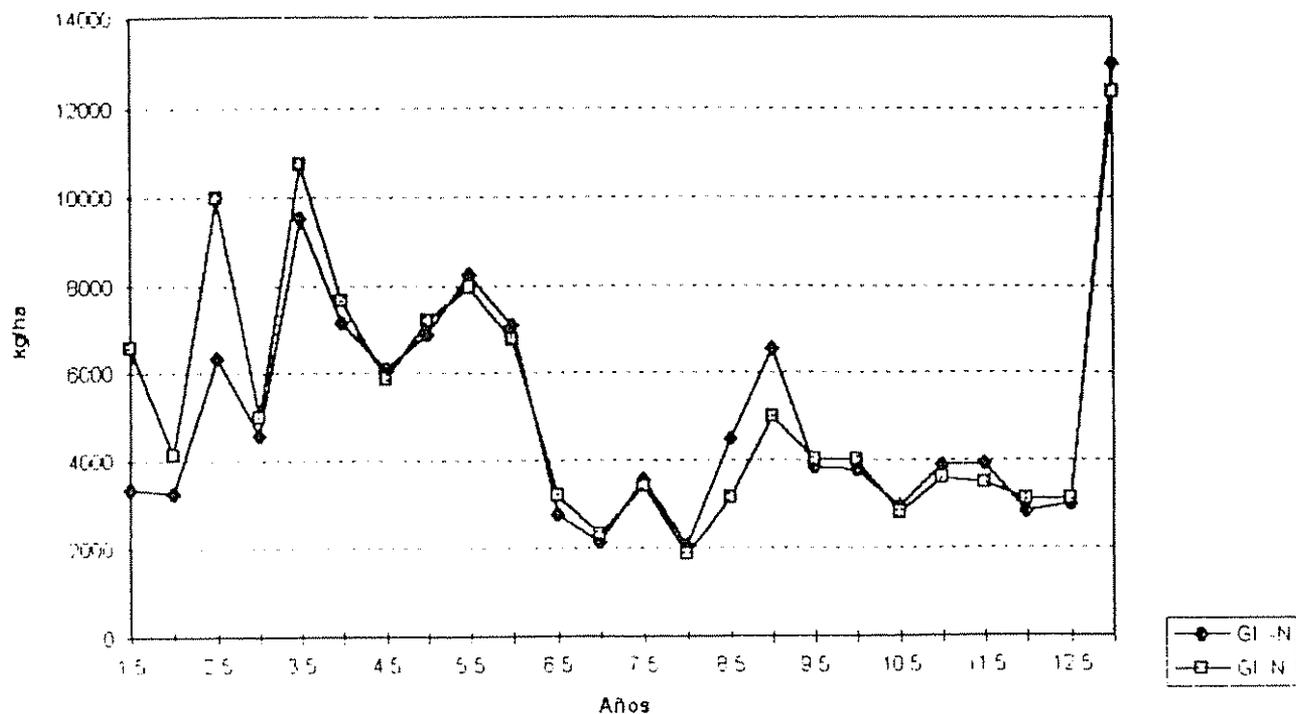


Figura 14 Biomasa seca de *G. sepium* con y sin fertilización nitrogenada CATIE,

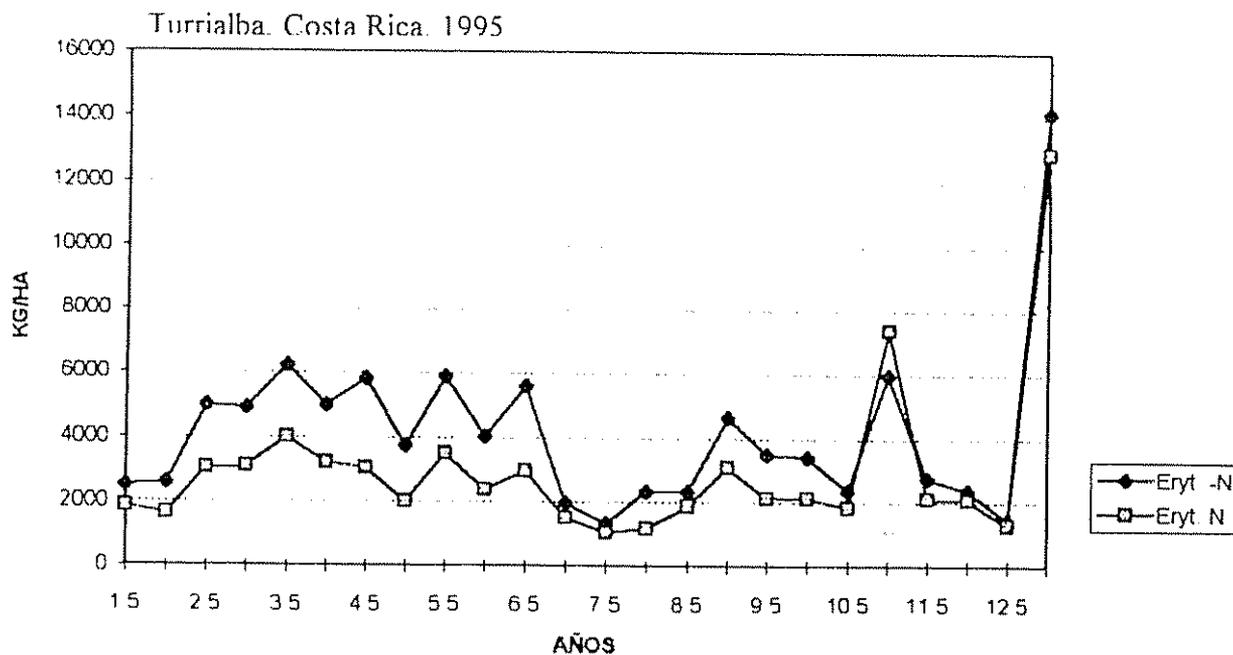


Figura 15. Biomasa seca de *Erythrina poeppigiana* con y sin fertilización nitrogenada.

CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

Pero, también interesa considerar la densidad o el espaciamiento entre árboles, que es de 6 x 3 m, la altura de la poda, de 1,0 m, que en este caso es considerada bastante adecuada de tal forma que ocasiona la mínima competencia por la luz, a lo largo del tiempo. Otro punto que favorece la mínima competencia con el cultivo, es el corto ciclo del frijol, comparado al maíz, por ejemplo.

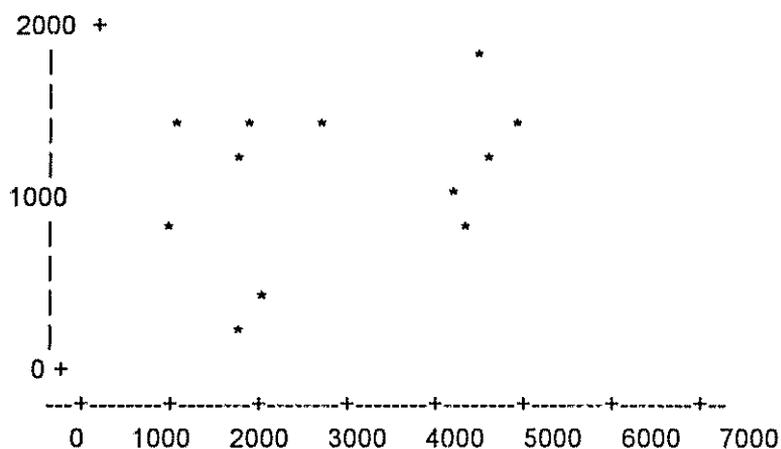
La correlación con la radiación global del ciclo del cultivo es negativa, o sea, de la radiación que está incidiendo en el sistema, está favoreciendo más a la especie arbórea que a los rendimientos del cultivo (Cuadros A7.1 y A7.2).

Los modelos que explican la producción de grano de frijol en los tratamientos con y sin nitrógeno, en función de biomasa arbórea, se presentan en el la Figura 16 y las tendencias en el tiempo del rendimiento en la Figura 17. Como podemos observar en las figuras, en las parcelas fertilizadas, hay una pequeña tendencia solamente del año 3 hasta el 7. Pero, en las no fertilizadas, no verificamos ninguna tendencia.

$$\text{Rendfri}=731+0,09258\text{BioEry}$$

$$r^2=0,14$$

Rendimiento de frijol (kg/ha) sin fertilización



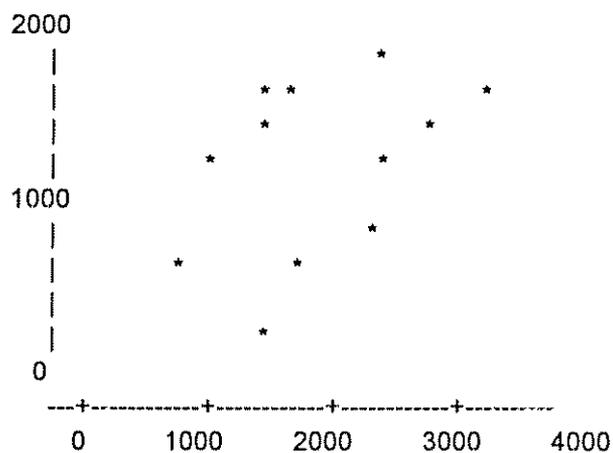
Biomasa arbórea sin fertilización
(kg/ha)

(a)

$$\text{Renfri}=630+0,22538\text{BioEry}$$

$$r^2=0,16$$

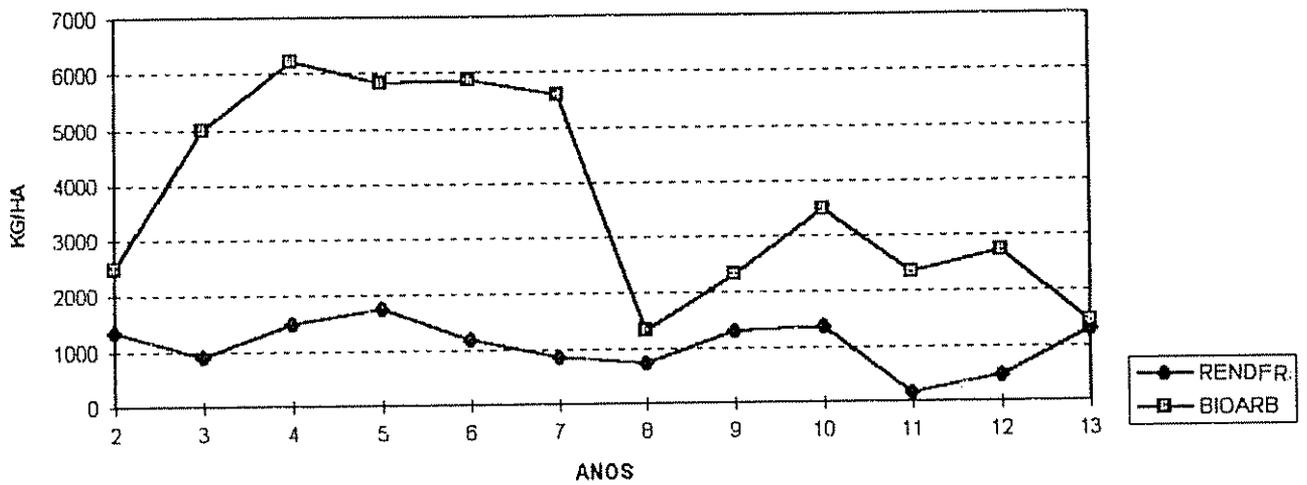
Rendimiento de frijol (kg/ha) con fertilización



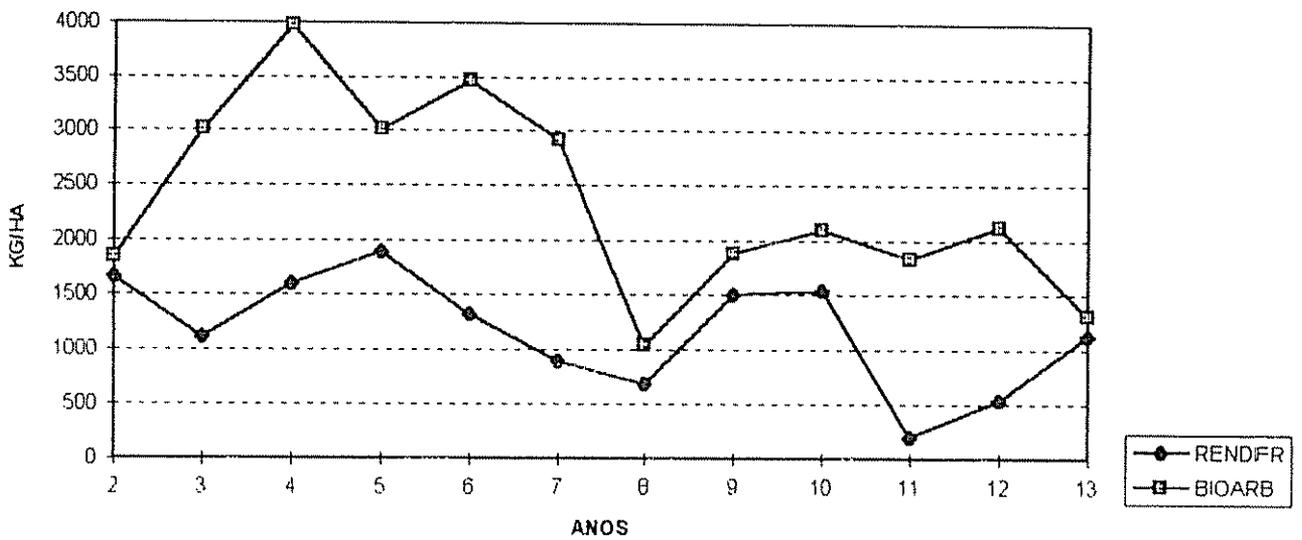
Biomasa arbórea con fertilización
(kg/ha)

(b)

Figura 16. Relación entre el rendimiento de frijol por la biomasa de *Erythrina poeppigiana* sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.



(a)



(b)

Figura 17. Variación en el tiempo del rendimiento de frijol asociado a *E. poeppigiana* sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995

En las Figuras 18, 19 y 20 se presentan las variaciones de los rendimientos de frijol en relación la precipitación y al ISH, respectivamente. No hubo déficits hídricos fuertes, pero la reducción en la precipitación en el año 6, proporcionó baja en los rendimientos en los callejones, habiendo probablemente en esta ocasión, competencia por este factor. En estas circunstancias, el rendimiento del cultivo respondió positivamente a la variación de la precipitación global del ciclo. Proporcionó una correlación positiva altamente significativa.

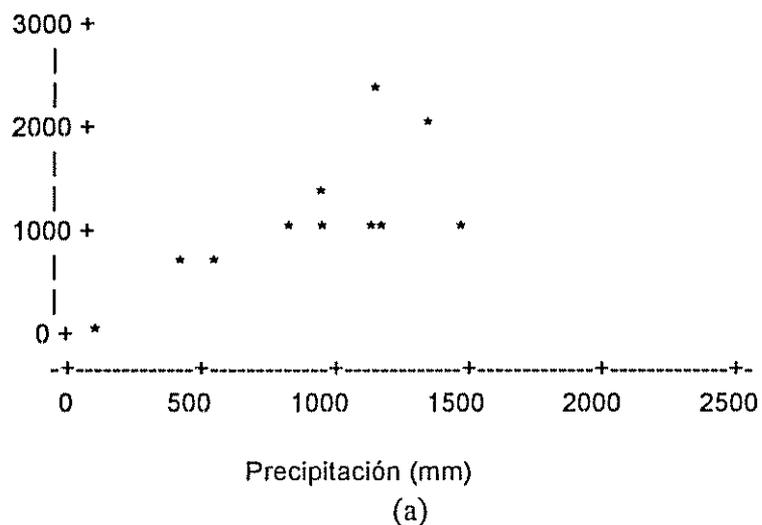
Cuando consideramos la precipitación específica (el índice de satisfacción hídrica) en las fases de floración y el llenado de grano, el rendimiento responde de manera positiva pero no significativa, o sea, cuando aumenta la precipitación aumenta el rendimiento. (Figura 20). Para este cálculo, se consideró solamente 7 de los 13 años, debido a que no se tenían registros de siembra del cultivo en los otros años. En esta misma figura, observamos que hubo una mayor precipitación en las fases críticas del cultivo en el año 5, lo cual permitió mayor rendimiento de frijol este año. En el año 12, hubo un déficit de precipitación probablemente en las fases de llenado de grano y en la floración, presentando los más bajos rendimientos en los callejones. Pero, otros factores como el manejo, enfermedades (sólo en los casos de ataques drásticos), no se registraron y pueden haber afectado los rendimientos.

En estas circunstancias, el rendimiento del cultivo respondió positivamente a la variación de la precipitación global del ciclo (Cuadros A7.1 y A7.2). Habiendo una correlación positiva altamente significativa.

$$\text{Rendfrijol} = 1446 + 1,0846 \text{ Prec}$$

$$r^2 = 0,57$$

Rendimiento de frijol (kg/ha) en los callejones con fertilización



$$\text{Rendfrijol} = -155,73 + 1,08 \text{ Prec}$$

$$r^2 = 0,81$$

Rendimientos de frijol (kg/ha) en los callejones sin fertilización

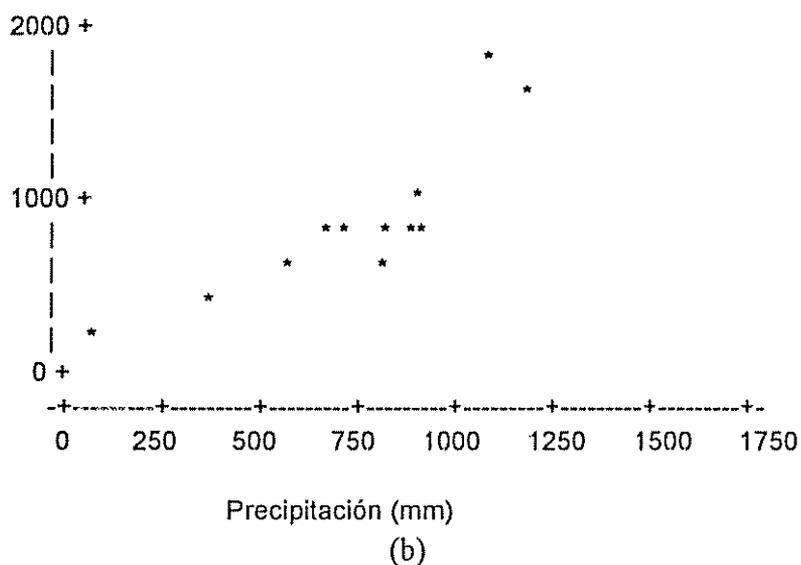


Figura 18. Relación entre el rendimiento de frijol por la precipitación en los callejones de *E. poeppigiana* con fertilización (a) y sin fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

La correlación con la radiación global del ciclo es negativa, o sea, de la radiación que está incidiendo, en el sistema, está favoreciendo en mayor proporción a la especie arbórea que los rendimientos de los cultivos. Los rendimientos no correlacionaron con la radiación global del periodo, ésta no tiene un efecto significativo en ambas parcelas, con y sin fertilización nitrogenada (Figuras 21 y 22 y Cuadros A7.1 y A7.2).

De acuerdo con el contenido de los nutrientes en el tejido vegetal de los cultivos, no se detectó déficits (Figura 23 y Cuadro 10). Como no hubo déficits nutricionales, entonces la competencia por este factor no fue limitante para el desarrollo del cultivo, en este caso el frijol.

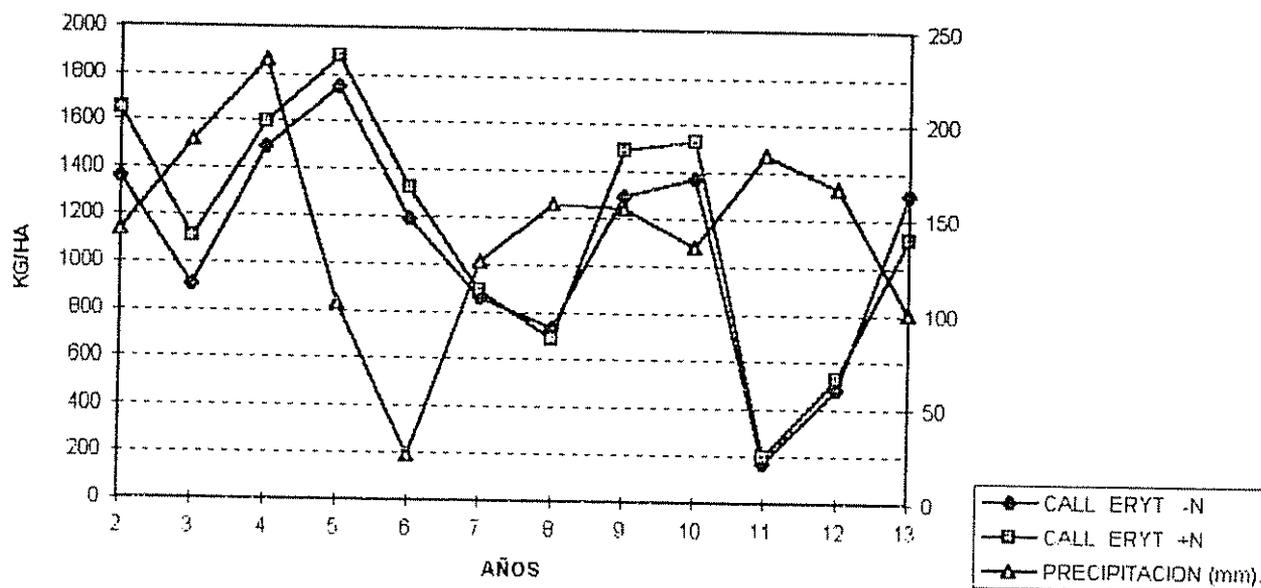


Figura 19 Variación del rendimiento de frijol en los callejones de *E. poeppigiana* en relación a la precipitación acumulada durante el ciclo del cultivo CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995

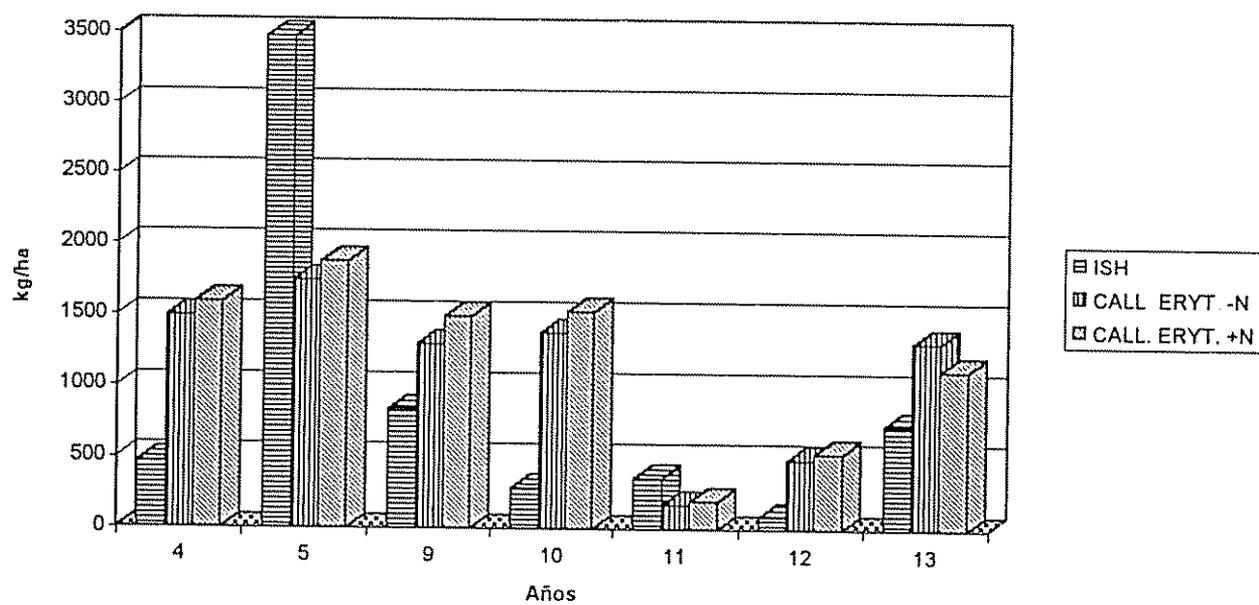


Figura 20. Índice de satisfacción hídrica y el rendimiento del frijol. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995

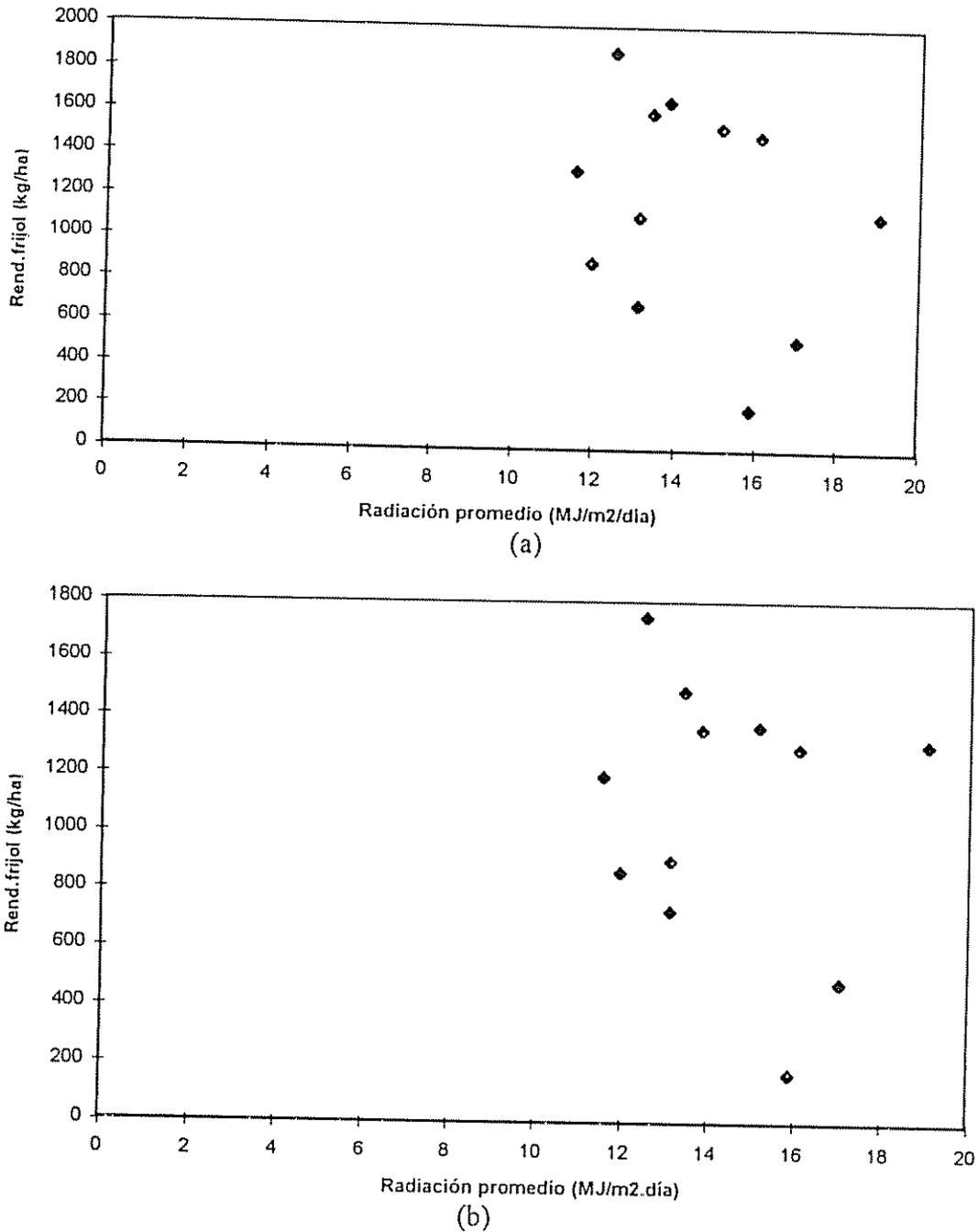


Figura 21. Relación entre el rendimiento de frijol en los callejones de *Erythrina* y la radiación solar promedio diario durante el ciclo del cultivo, sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

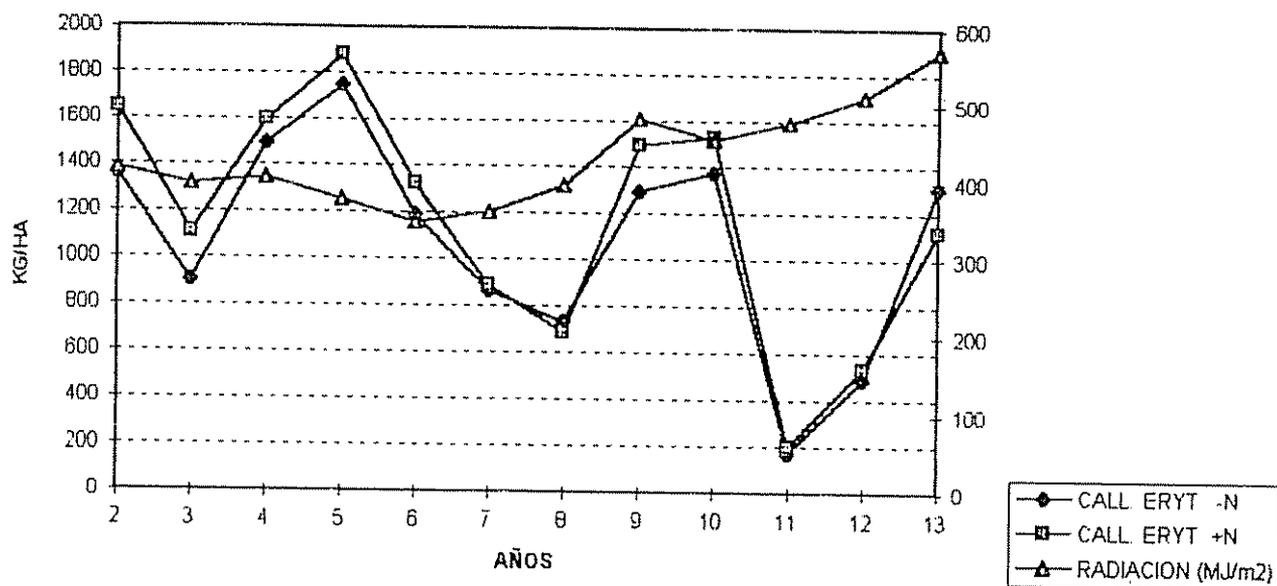


Figura 22. Variación del rendimiento de frijol y la radiación global del ciclo en los callejones de *Erythrina*, sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

Cuadro 10. Concentraciones adecuadas para el desarrollo del frijol y las encontradas en los callejones de *E. poeppigiana*, en las parcelas con y sin fertilización nitrogenada.

CATIE, Turrialba, 1995

	Requerimiento	Sin N	Con N
Nitrógeno	5,0 - 6,0%	5,0	5,7
Fósforo	0,35 - 0,5%	0,5	0,7
Potasio	2,2 - 4,0%	3,0	3,8
Calcio	1,5 - 2,5%	1,5	2,2
Magnesio	0,3 - 1,0%	0,4	0,6

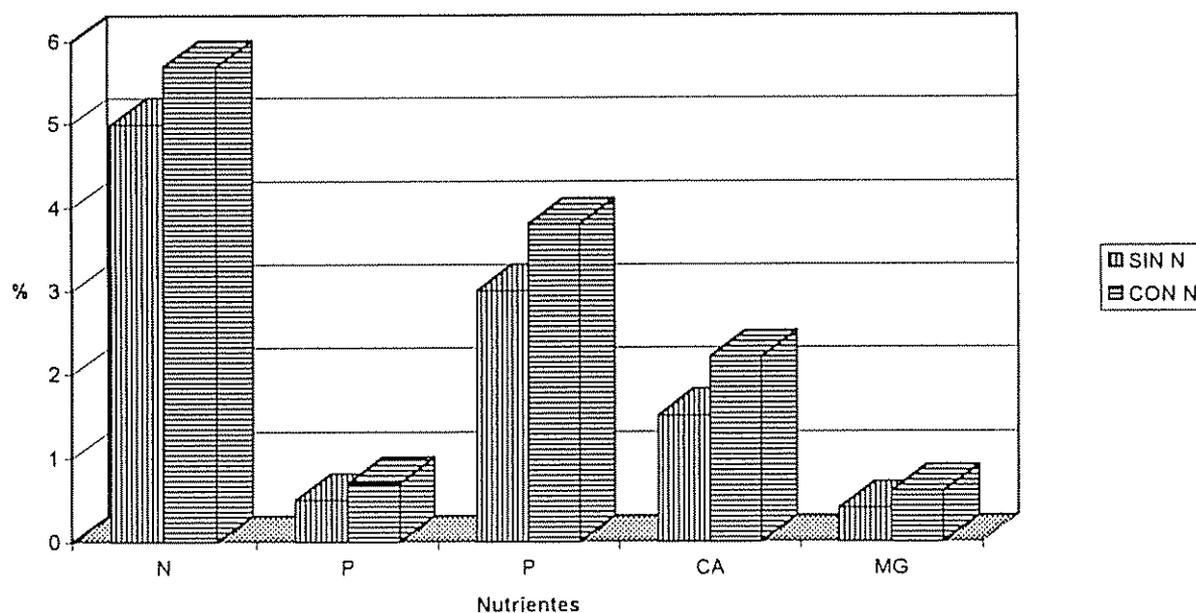


Figura 23. Contenido de los nutrientes en el tejido vegetal del cultivo de frijol en la fase de madurez fisiológica.

4.7.2. *Erythrina poeppigiana* asociado a maíz

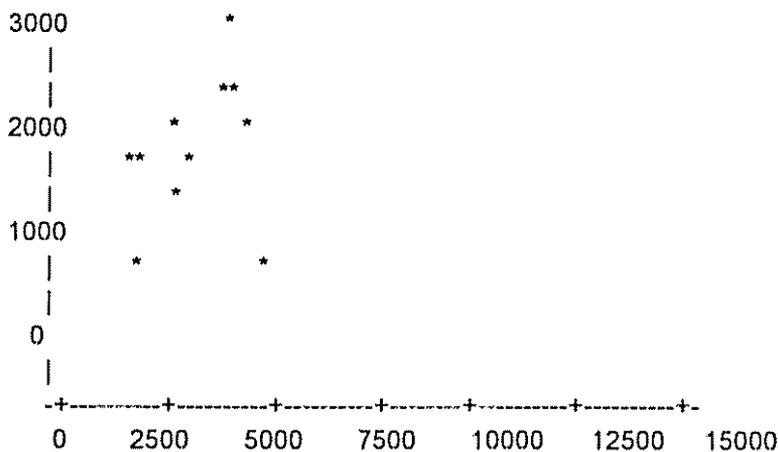
La biomasa arbórea tampoco tuvo una interferencia negativa con el cultivo de maíz, de acuerdo con la correlación (Figura 24). Como fue discutido anteriormente la estructura de la copa del poró, el espaciamiento utilizado y el régimen de poda no influyeron de manera determinante en el rendimiento de maíz (Cuadros A7.3 y A7.4).

De acuerdo con la Figura 25, no se observa una tendencia clara de interferencia sobre el rendimiento, en las parcelas con y sin fertilización. En el año 11, hubo una reducción del rendimiento, pero, fue debido al ataque de enfermedades. En el año 13, la producción de biomasa fue muy alta debido al retraso de 3 meses en la poda, pero estos 3 meses adicionales no interfirieron directamente, porque el cultivo ya tenía sido cosechado.

$$\text{Rendma} = 1466 + 0,0912 \text{ BioEry}$$

$$r^2 = 0,027$$

Rendimiento de maíz (kg/ha) sin fertilización

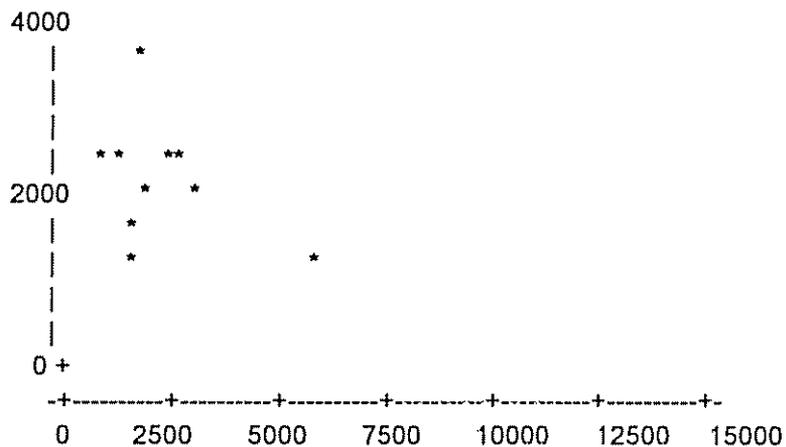


Biomasa de *Erythrina* sin fertilizac. (kg/ha)

(a)

Rendma=2318-0,1288 Bio
 $r^2=0,0612$

Rendimiento
 de maíz
 (kg/ha)

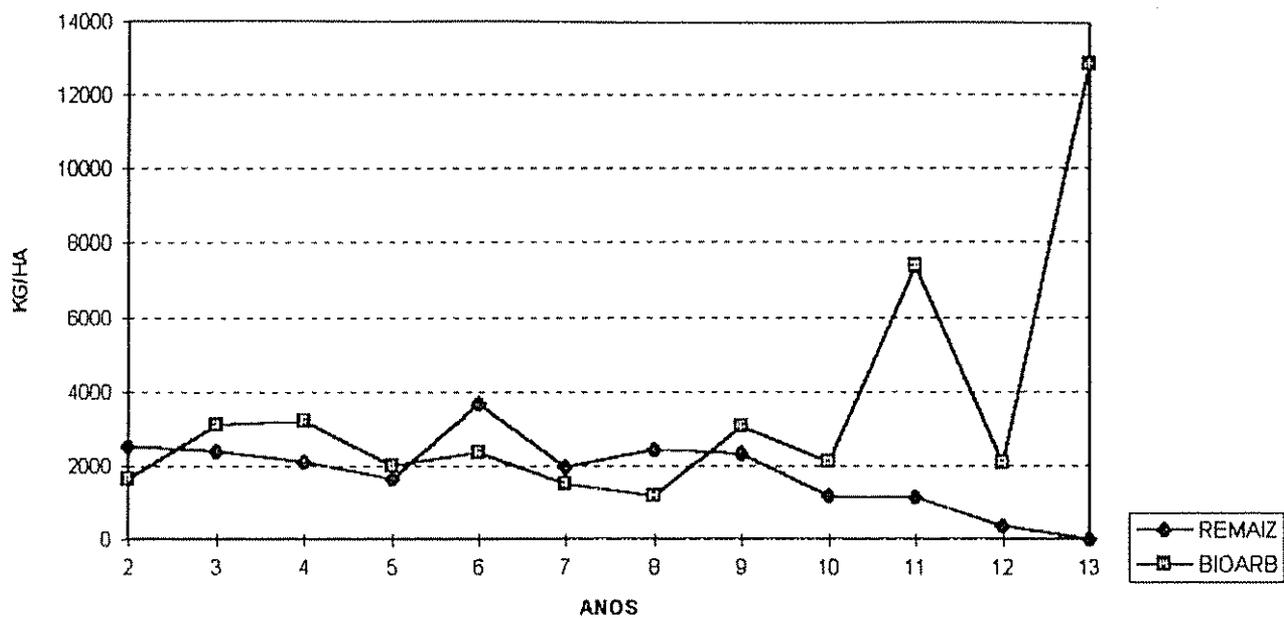


Biomasa de *Erythrina* con fertiliz.

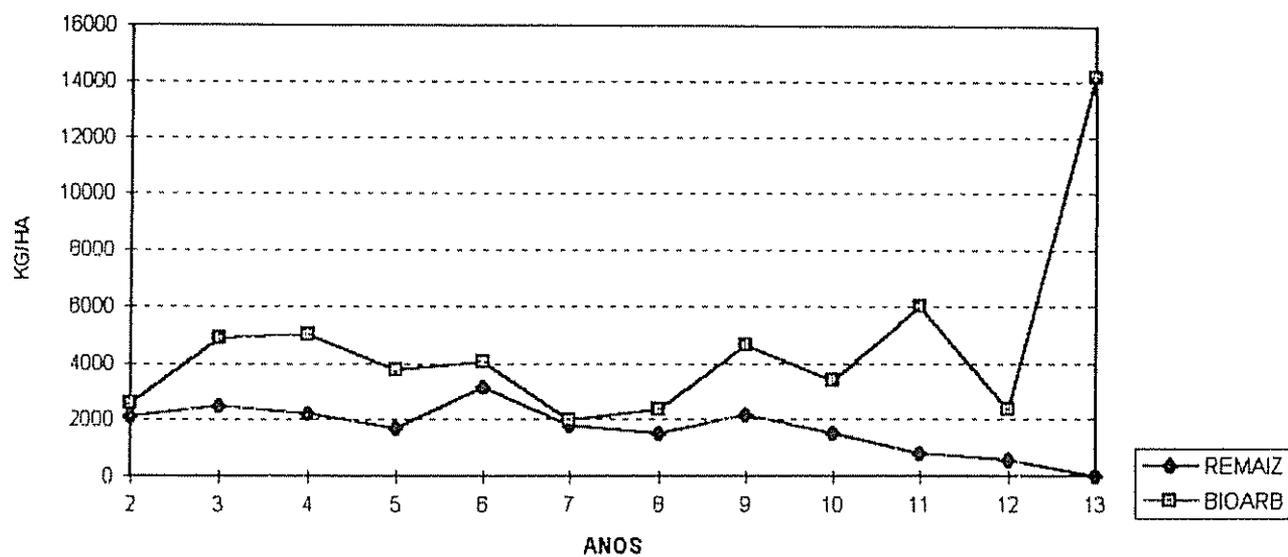
(b)

Figura 24. Relación entre el rendimiento de maíz, en los callejones de *Erythrina* y la biomasa arbórea de *Erythrina* sin fertilización (a) y con fertilización (b) nitrogenada.

CATIE, Turrialba, Costa Rica.



(a)



(b)

Figura 25 Variación en el tiempo del rendimiento de maíz asociado a *Erythrina* con fertilización (a) y sin fertilización (b) nitrogenada CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995

La radiación correlacionó negativamente con el rendimiento, es decir, está favoreciendo más a la biomasa arbórea. Pero, esta correlación no es considerada significativa, ya que, la reducción en el rendimiento no es drástica (Figuras 26 y 27). La inclinación del sol, hace que la sombra incida en las dos primeras hileras de maíz, que están alejadas de los árboles a 1,0 m (Cuadros A7.3 y A7.4).

La precipitación correlacionó positivamente de manera significativa con el rendimiento de maíz en los callejones tanto fertilizados y no, presentando ($R^2=0,69$) y ($R^2=0,75$), respectivamente (Cuadros A7.3 y A7.4).

En la Figura 28, se observa la variación del rendimiento con la precipitación. En los años 7 y 10, los rendimientos no acompañan de manera positiva el aumento de la precipitación, habiendo reducción en la producción. Puede ser debido a la competencia, un otro factor quizás edáfico está interfiriendo con el rendimiento. También es posible que haya ocurrido un déficit hídrico en las fases críticas de desarrollo del cultivo. El año 13 no se considera afectado porque en este año, hubo un ataque muy fuerte de enfermedades. El rendimiento está correlacionando positivamente con la precipitación de manera significativa, en los callejones con y sin fertilización.

El modelo de regresión que explica la variación del rendimiento de maíz con la precipitación global del período aparecen en la Figura 28.

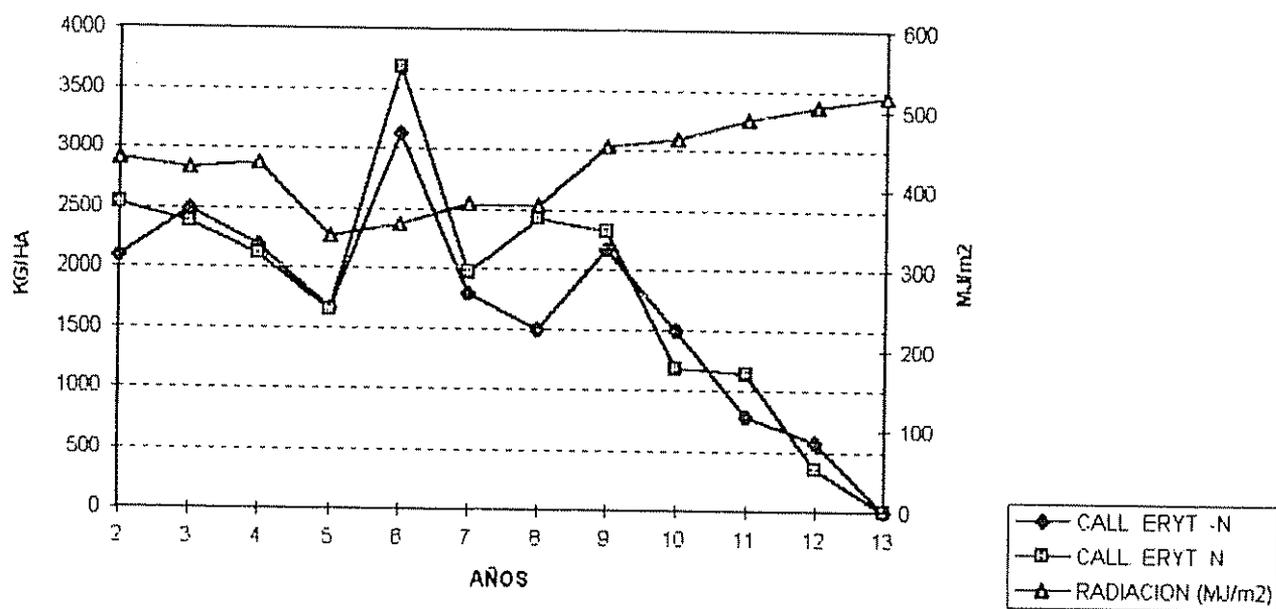
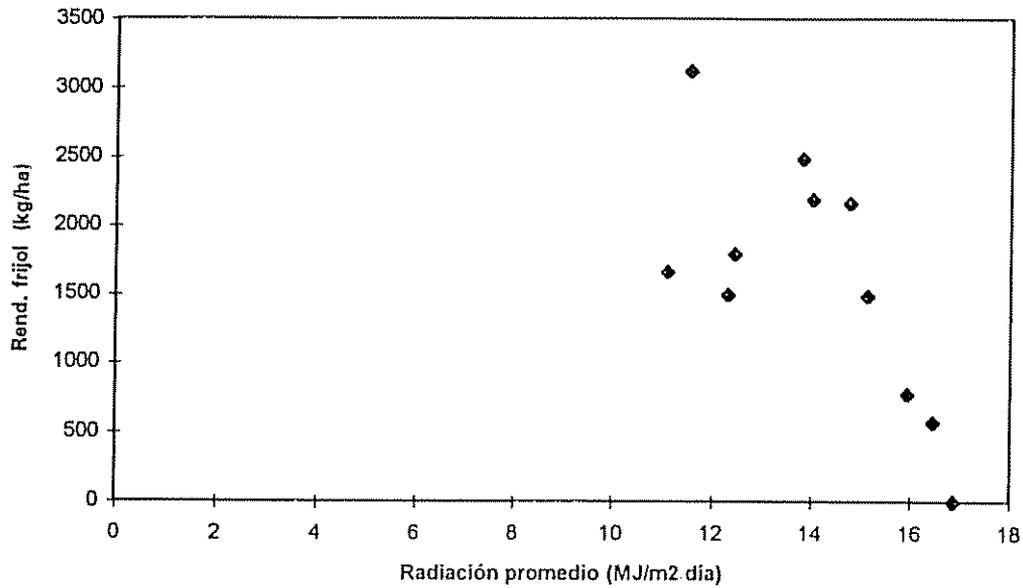


Figura 26. Relación entre el rendimiento de maíz en asocio con *Erythrina* con y sin fertilización nitrogenada y la radiación solar global. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

Rendimiento de maíz en los callejones de Er. sin fert. y la radiación solar promedio diario



Rendimiento de maíz en los callej. de Ery. con fert. y la radiación solar promedio diario

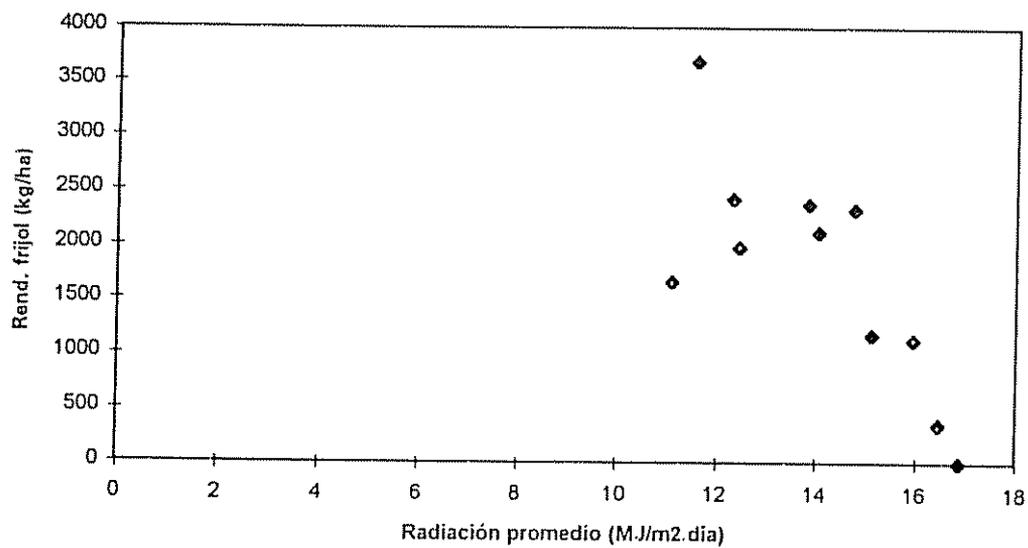
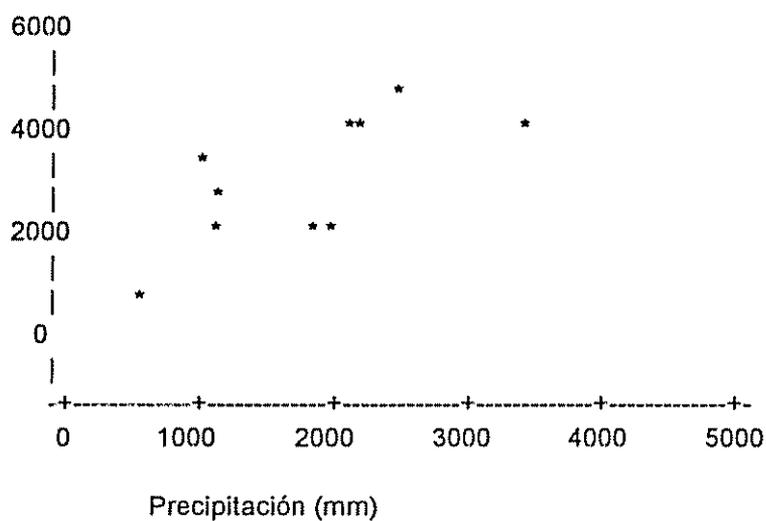


Figura 27. Relación entre el rendimiento de maíz y la radiación solar promedio diario durante el ciclo del cultivo CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

$$\text{Rendma} = 538 + 1,0364 \text{ Prec}$$

$$r^2 = 0,56$$

Rendimiento de maíz (kg/ha) con fertilización

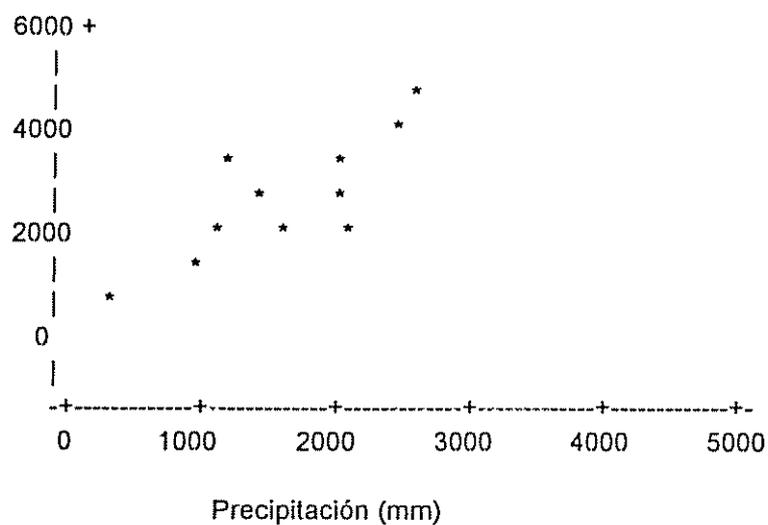


(a)

$$\text{Rendma} = 1218 + 0,83068 \text{ Prec}$$

$$r^2 = 0,48$$

Rendimiento de maíz (kg/ha) sin fertilización



(b)

Figura 28. Variación del rendimiento de maíz en asocio con *Erythrina poeppigiana* con y sin fertilización, y la precipitación CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

También como en el caso del frijol, se consideró solamente 6 años referentes a la precipitación específica de las fases críticas. De estos años, los mayores valores del ISH, fueron para los años 4 y 13, pero en este último año, el rendimiento fue nulo en virtud del ataque de enfermedades, como fue hablado anteriormente (Figura 29).

Observamos en la Figura 30 y Cuadro 11, que hubo un pequeño déficit de nitrógeno en el tejido vegetal del cultivo de maíz. Pero, para los otros nutrientes estuvo dentro del rango normal. Este pequeño déficit para el nitrógeno, fue debido a que el cultivo por no ser una leguminosa, disminuye la disponibilidad de este nutriente en el sistema.

4.7.3. *Gliricidia sepium* asociado a frijol

La biomasa de *G. sepium*, no correlaciona negativamente de manera significativa con el rendimiento de frijol, ya que permite que la radiación solar incida sobre el cultivo. Aún teniendo una estructura de copa extendida, y una alta densidad, debido al menor espaciamiento entre plantas (6 x 0,5m), lo que consecuentemente aumenta la producción de biomasa, no interfirió negativamente en el cultivo de frijol (Cuadros A7.1 y A7.2).

De acuerdo con la Figuras 31 y 32, observamos que aunque la biomasa arbórea varía a lo largo del tiempo, sin una tendencia visible sobre el rendimiento, tanto en las parcelas sin y con fertilización. La radiación global del ciclo tiene como en los otros sistemas anteriores presentó una correlación negativa con el rendimiento, pero no significativa (Figuras 33 y 34 y Cuadros A7.1 y A7.2).

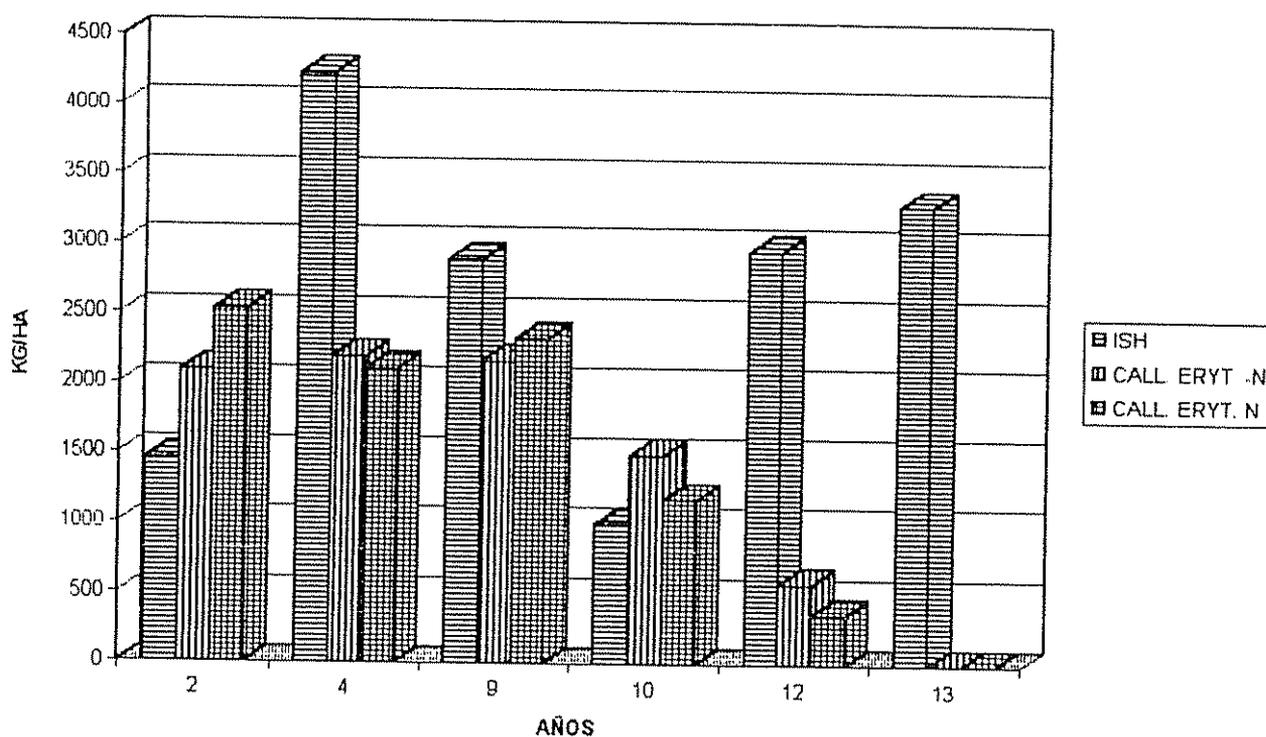


Figura 29. Variación del Índice de Satisfacción Hídrica y el rendimiento de maíz en los callejones de *Erythrina* con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

Cuadro 11. Concentraciones (%) adecuadas para el desarrollo del maíz y las encontradas en los callejones de *E. poeppigiana*, en las parcelas con y sin fertilización nitrogenada.

CATIE, Turrialba, 1995.

	Requerimiento	Sin N	Con N
Nitrógeno	2,7-4%	2,3	2,0
Fósforo	0,25-0,5%	0,3	0,25
Potasio	1,7-3,0%	2,0	1,7
Cálcio	0,2-1 0%	0,5	0,3
Magnesio	0,2-1,0%	0,4	0,25

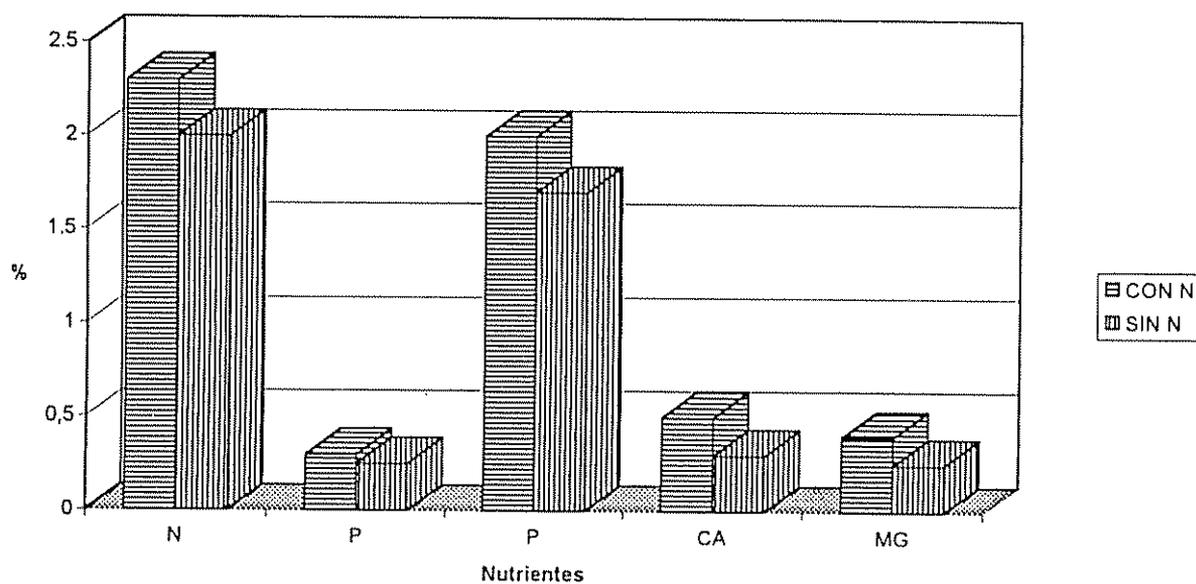
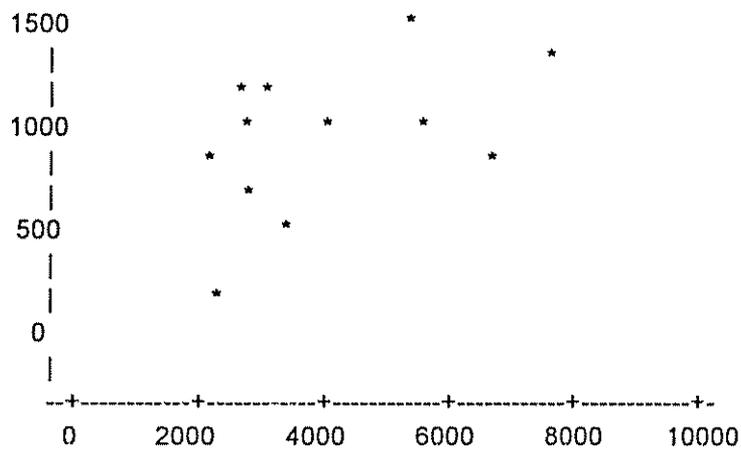


Figura 30. Contenido de los nutrientes en el tejido vegetal del cultivo de maíz en la fase de madurez fisiológica

$$\text{Rendfrijol} = 531 + 0,0833 \text{ BioGli}$$

$$r^2 = 0,14$$

Rendimientos de frijol (kg/ha) sin fertilización



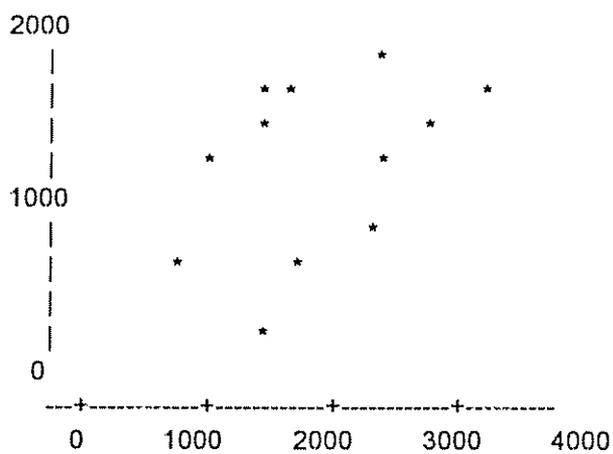
Biomasa de Gliricidia (kg/ha) sin fertiliz.

(a)

$$\text{Rendfrijol} = 666 + 0,0703 \text{ BioGli}$$

$$r^2 = 0,21$$

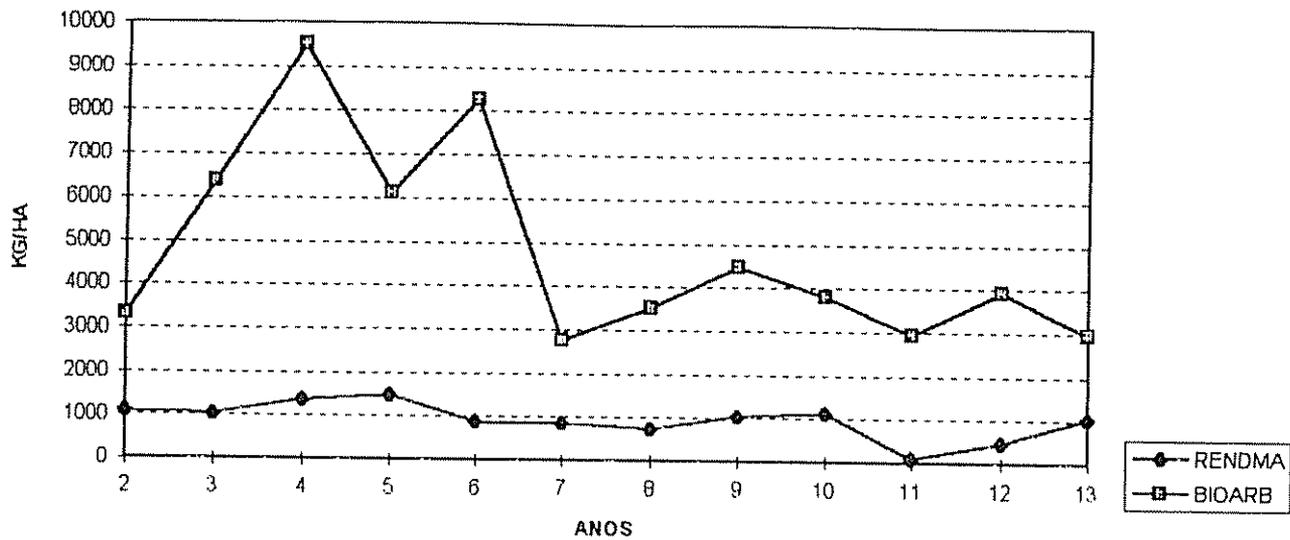
Rendimientos de frijol (kg/ha) con fertilización



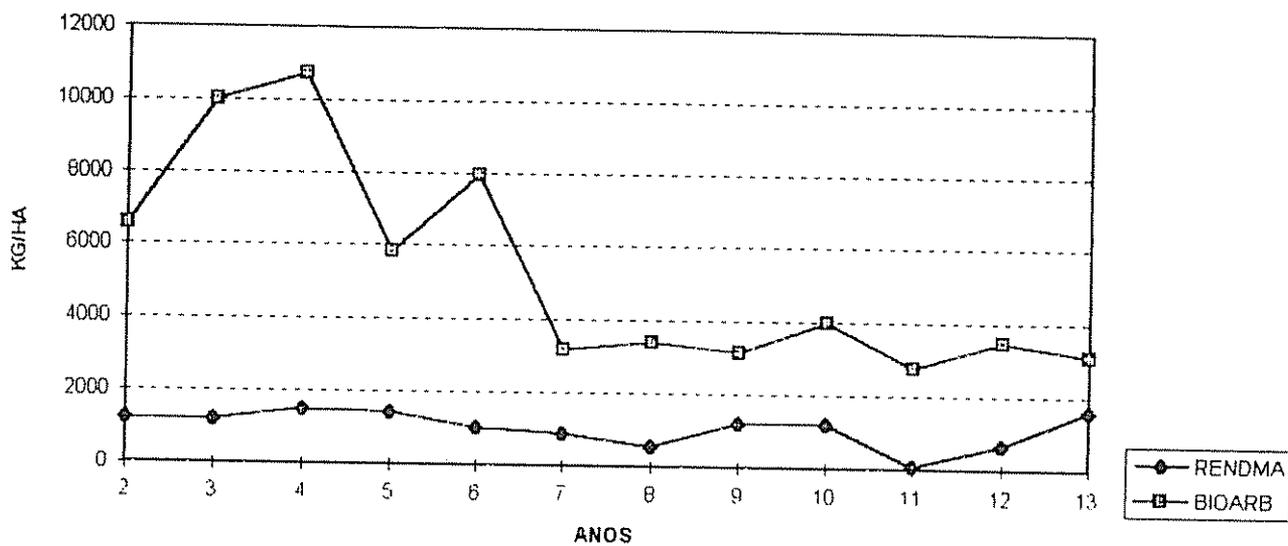
Biomasa de Gliricidia con fertiliz.

(b)

Figura 31. Tendencia del rendimiento de frijol por la variación de la biomasa de *G. sepium* con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, 1995.



(a)



(b)

Figura 32. Variación del rendimiento de frijol por la biomasa de *G. sepium* con fertilización (a) y sin (b) fertilización nitrogenada CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

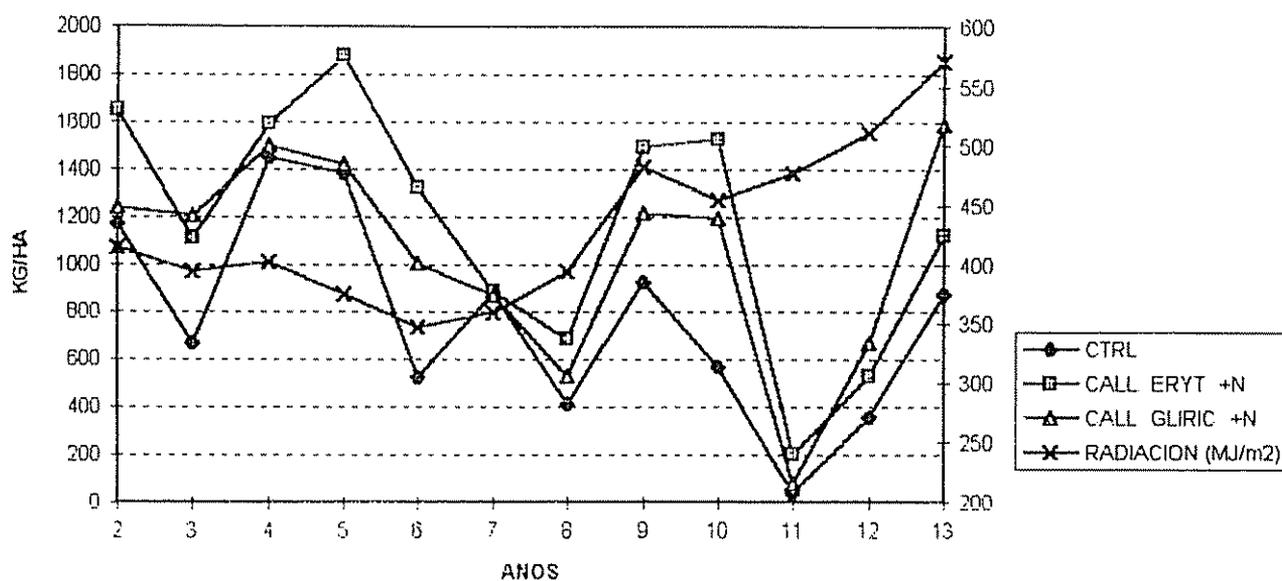
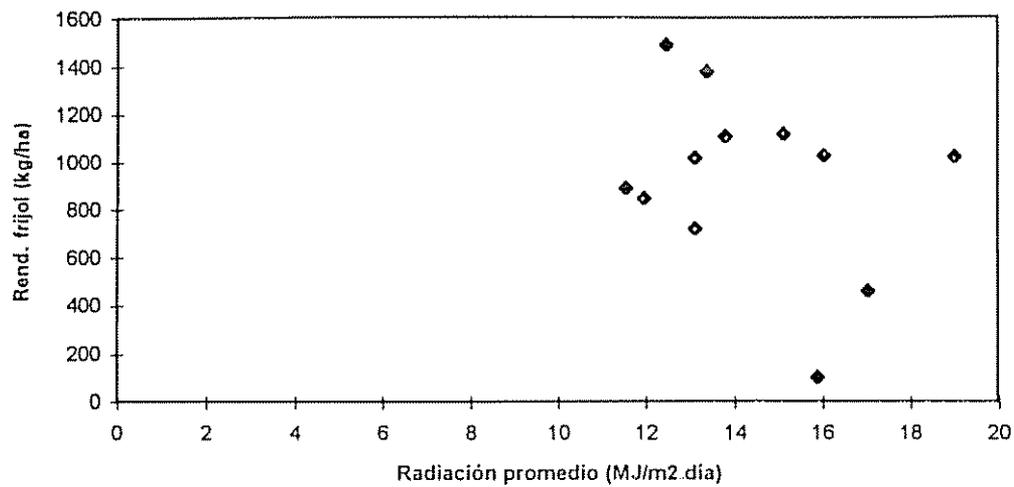
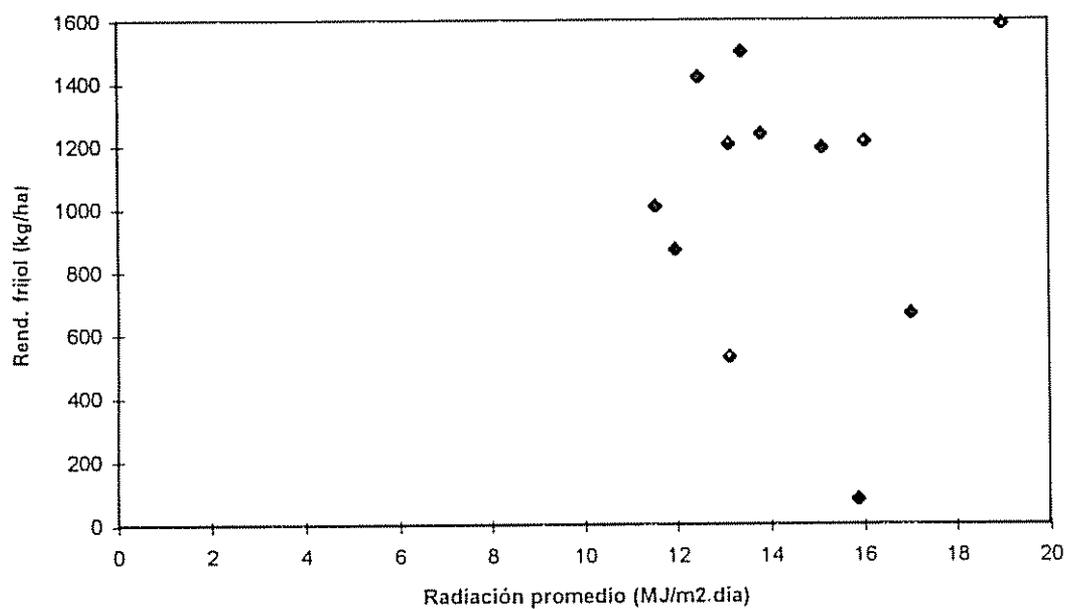


Figura 33 Rendimiento de frijol en asocio con *G. sepium* con y sin fertilización y la radiación

CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995



sin fert.



con fert.

Figura 34. Relación entre el rendimiento de frijol en asocio con *Gliricidia* y la radiación solar promedio diario durante el ciclo del cultivo CATIE, Turrialba, 1995.

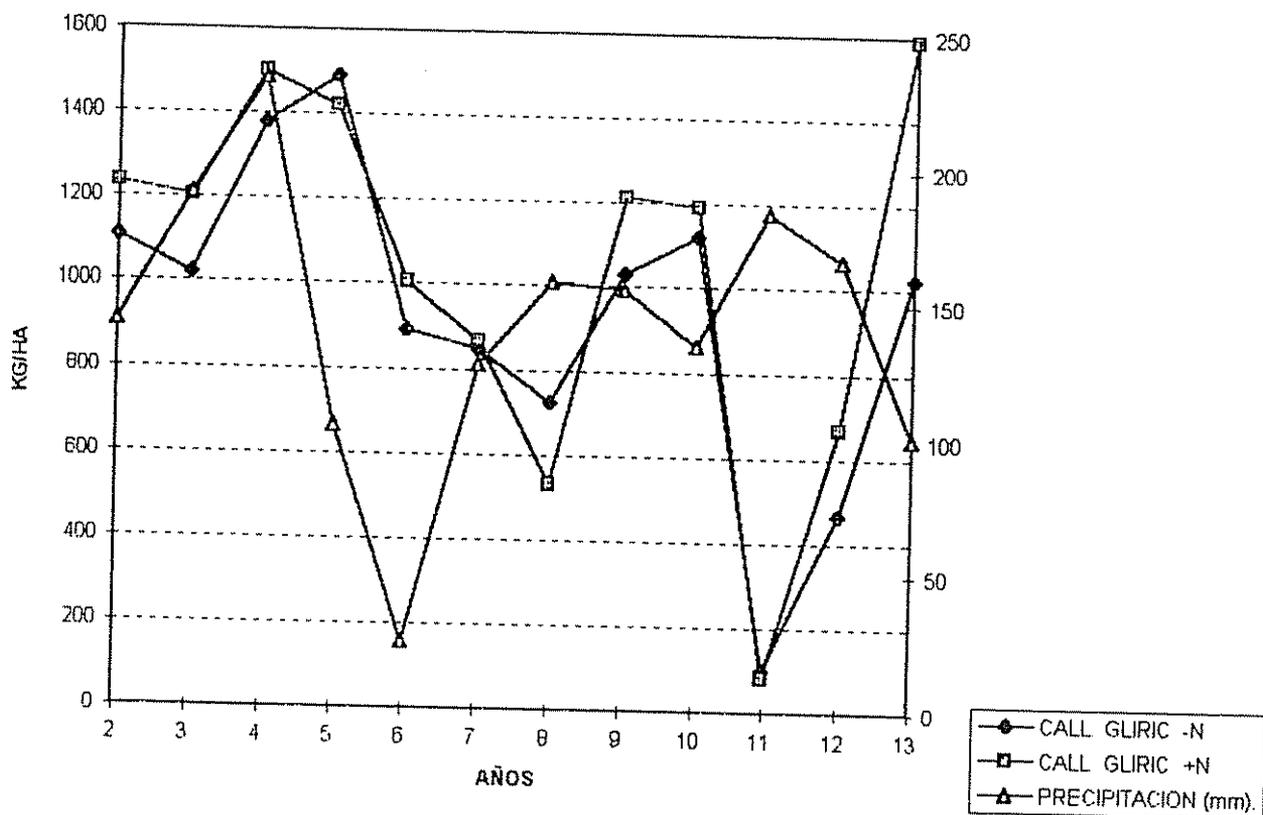
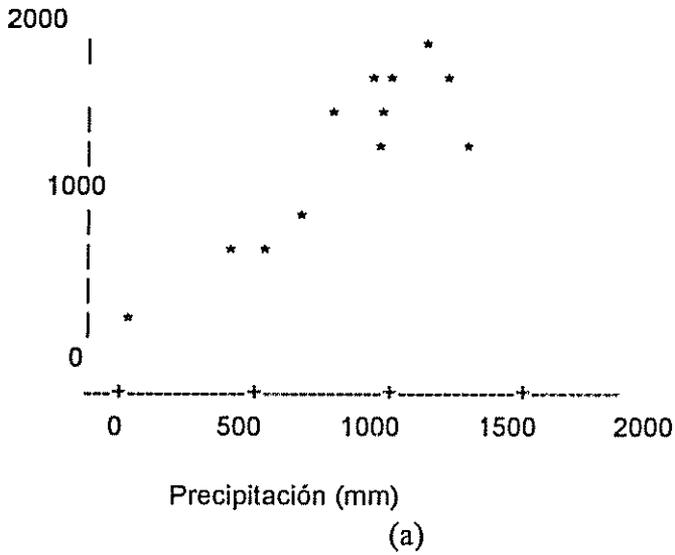


Figura 35. Variación del rendimiento de frijol en asocio con *G. sepium* con y sin fertilización, y la precipitación CATIE, Turrialba, 1995.

$$\text{Rendfri}=141+0,9824 \text{ Prec}$$

$$r^2=0,72$$

Rendimiento de frijol (kg/ha) con fertilización



$$\text{Rendfri}=-2+1,1547 \text{ Prec}$$

$$r^2=0,92$$

Rendimiento de frijol (kg/ha) sin fertilización

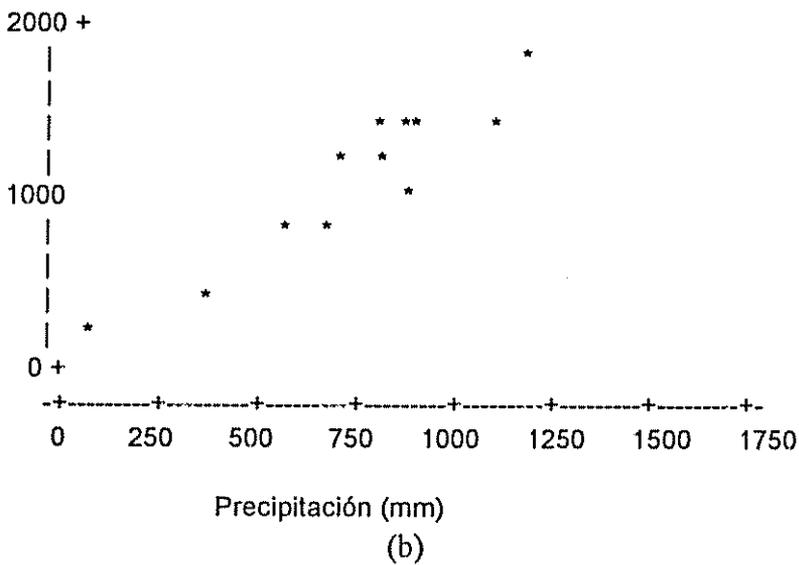


Figura 36. Relación entre el rendimiento de frijol en asocio con *Gliricidia* y la precipitación global del ciclo del cultivo. CATIE, Turrialba, 1995.

En estas condiciones, el déficit en la precipitación en el año 6 (Figura 35), afectó significativamente el rendimiento, tanto en las parcelas con y sin fertilización. Como el discutido en el sistema *Erythrina* con frijol, probablemente en este momento de baja precipitación, ocurrió competencia por este factor. El rendimiento de frijol correlacionó positivamente de manera altamente significativa a la variación en la precipitación, de acuerdo con la Figura 36 y Cuadros A7.1 y A7.2.

El mayor valor de la precipitación en el año 5, se está reflejando en los mayores rendimientos del cultivo en el mismo año. El año 12, cuando presentó el menor índice, ocasionó consecuentemente en este momento competencia por agua.

No fue detectado déficit nutricional en el tejido del cultivo de frijol, de acuerdo con la Figura 37 y Cuadro 12. Entonces, no hubo problemas con competencia entre los componentes, porque el cultivo no sufrió con deficiencias nutricionales, no interfiriendo su desarrollo y producción.

Cuadro 12. Concentraciones (%) adecuadas para el desarrollo del frijol y las encontradas en los callejones de *G. sepium*, en las parcelas con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, 1995.

	Requerimiento	Sin N	Con N
Nitrógeno	5,0 - 6,0%	5,1	6,0
Fósforo	0,35 - 0,5%	0,55	0,7
Potasio	2,2 - 4,0%	3,2	3,9
Calcio	1,5 - 2,5%	1,7	2,4
Magnesio	0,3 - 1,0%	0,4	0,6

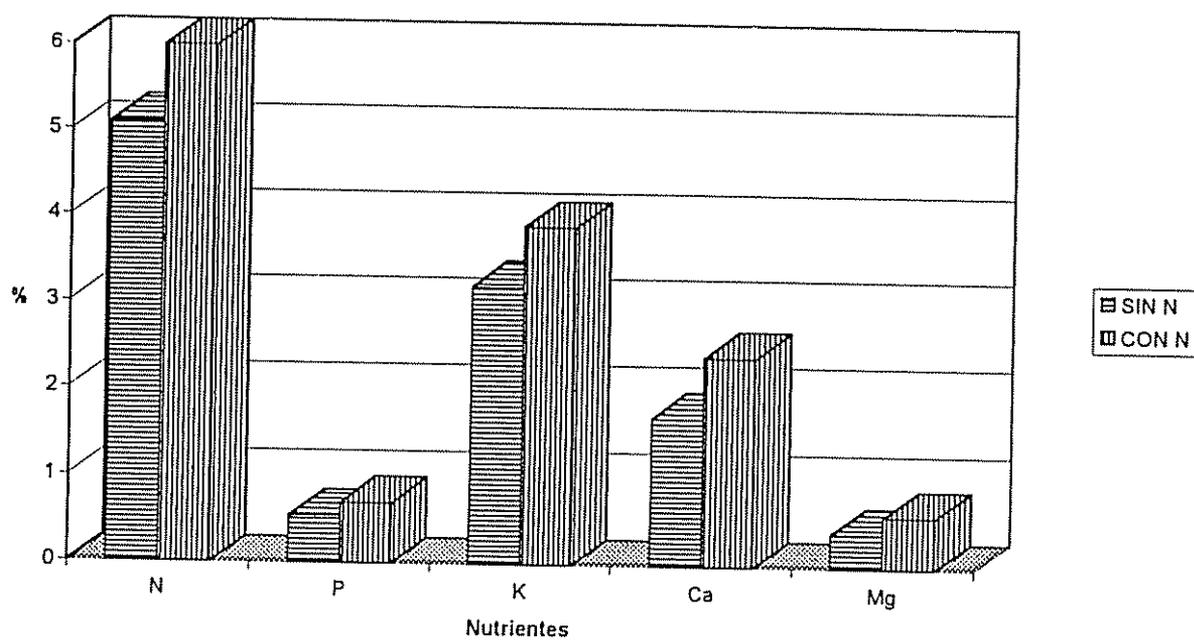


Figura 37 Contenido de los nutrientes en el tejido vegetal del cultivo de frijol en la fase de madurez fisiológica

4.7.4. *Gliricidia sepium* asociado a maíz

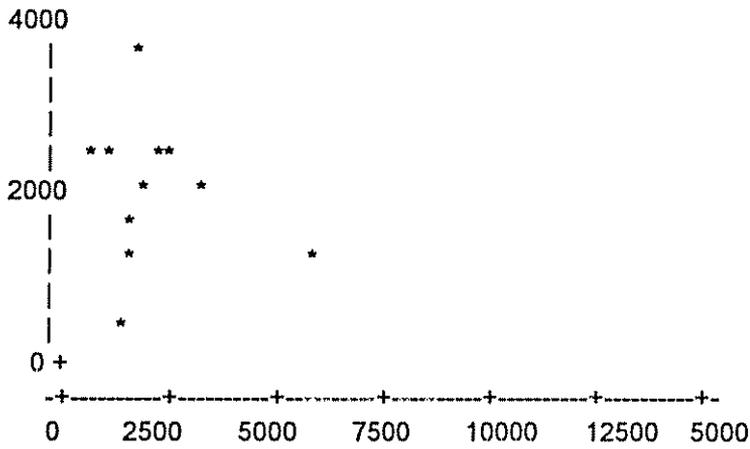
La biomasa de *Gliricidia sepium* en este sistema, tuvo una correlación negativa ($R^2=0,85$) con el rendimiento de maíz, o sea, en la medida que aumenta la biomasa, disminuye el rendimiento. Pero, este hecho solo ocurre en las parcelas fertilizadas porque esta especie, responde positivamente al suministro de fertilización nitrogenada, presentando consecuentemente una mayor producción de biomasa (Figuras 38 y 39 y Cuadros A7.3 y A 7.4).

Todavía en la Figura 38, con fertilización, verificamos claramente a lo largo del tiempo, la influencia negativa, principalmente en los años 2 al 8. En los años 9 hasta 12, no hubo una tendencia negativa visible. En las parcelas no fertilizadas, no hubo una interferencia negativa de la biomasa en los rendimientos.

La correlación con la radiación en este caso, resultó positiva, indicando que la radiación global no está solamente influenciando positivamente la producción de la biomasa arbórea, sino también los rendimientos. (Figuras 40 y 41 y Cuadros A7.3 y A7.4).

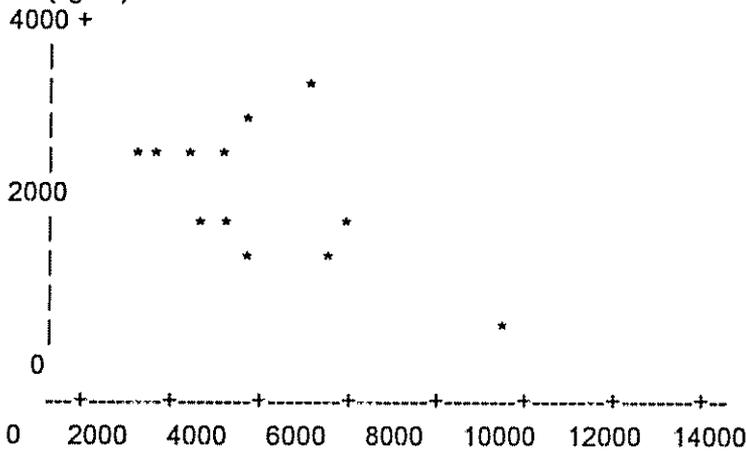
A lo largo del tiempo, hubo un déficit en la precipitación en el año 5, afectando consecuentemente los rendimientos del sistema de cultivo en callejones, tanto en las parcelas fertilizadas como no, habiendo probablemente competencia en este momento. En los otros años, no verificamos ninguna reducción drástica en la precipitación (42 y 43).

Rendma=1141,778+0,1689 Bio *Gli*
 r2=0,197
 Rendimiento de maíz (kg/ha) sin fertilización



Biomasa arbórea de *Gliricidia* (kg/ha)

Rend=1952,
 80-0,017Bio
 r2=0,0032
 Rendimiento
 maíz (kg/ha)



Biomasa arbórea de *Gliricidia* (kg/ha)
 con fertilización

Figuras 38y 39. Variación del rendimiento de maíz en función de la biomasa de *Gliricidia* con y sin fertilización nitrogenada. CATIE, Turrialba, 1995.

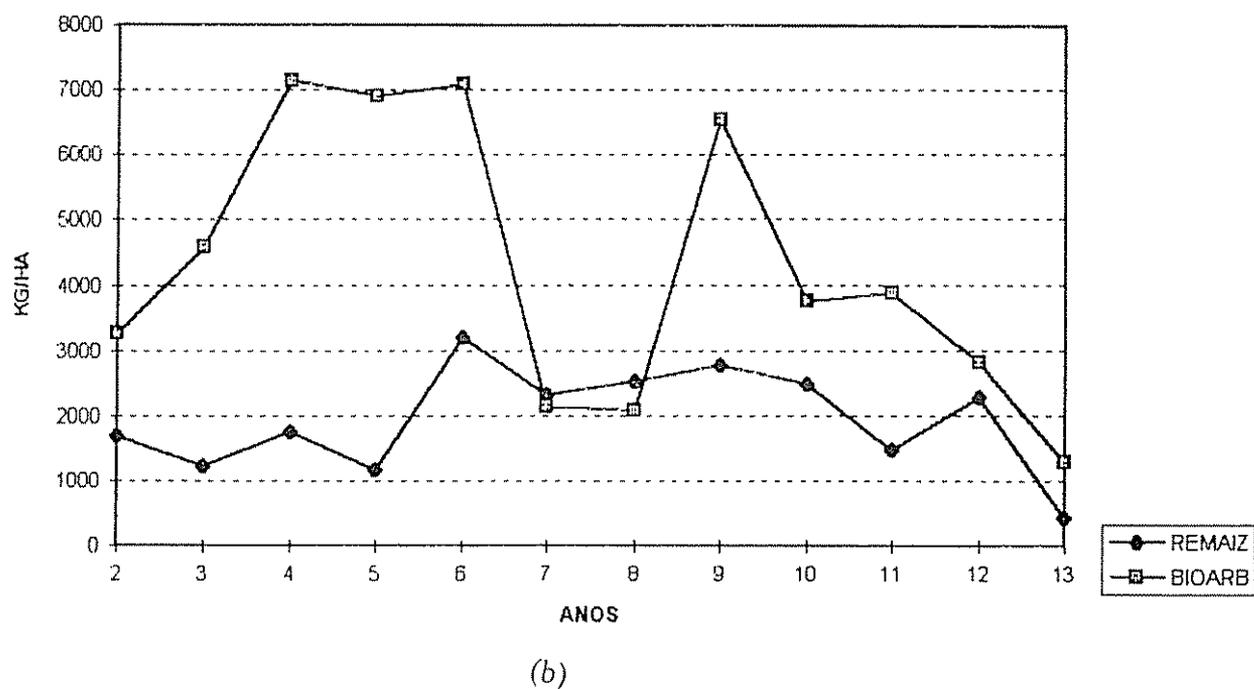
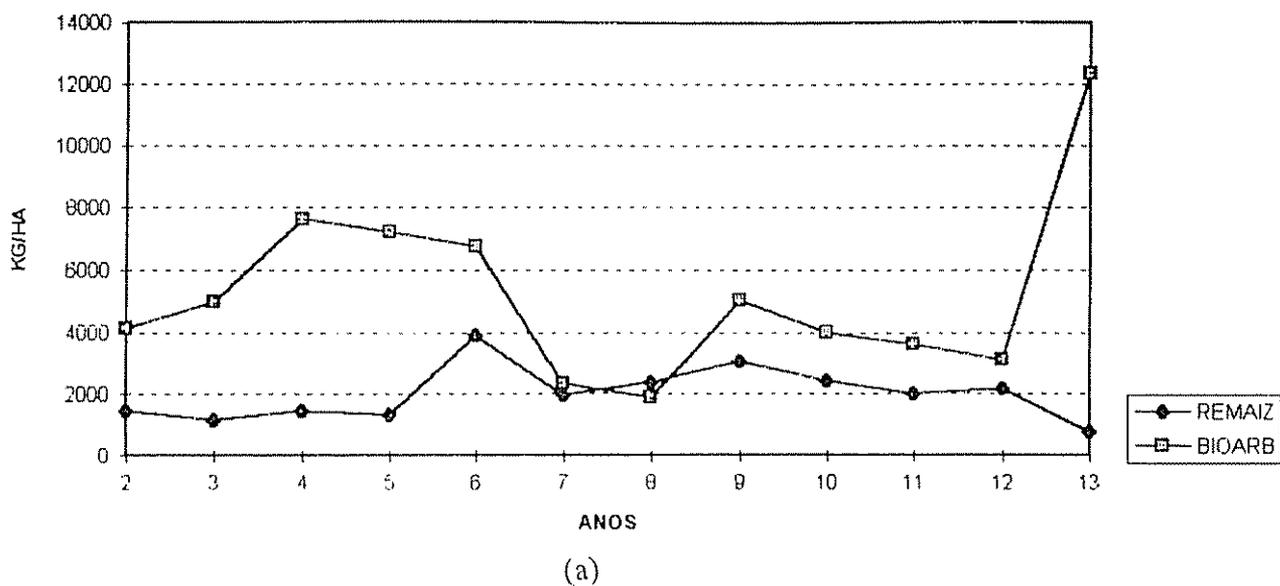


Figura 40. Tendencia del rendimiento de maíz por la variación de la biomasa de *Gliricidia sepium* con (a) y sin (b) fertilización nitrogenada CATIE, Turrialba, 1995

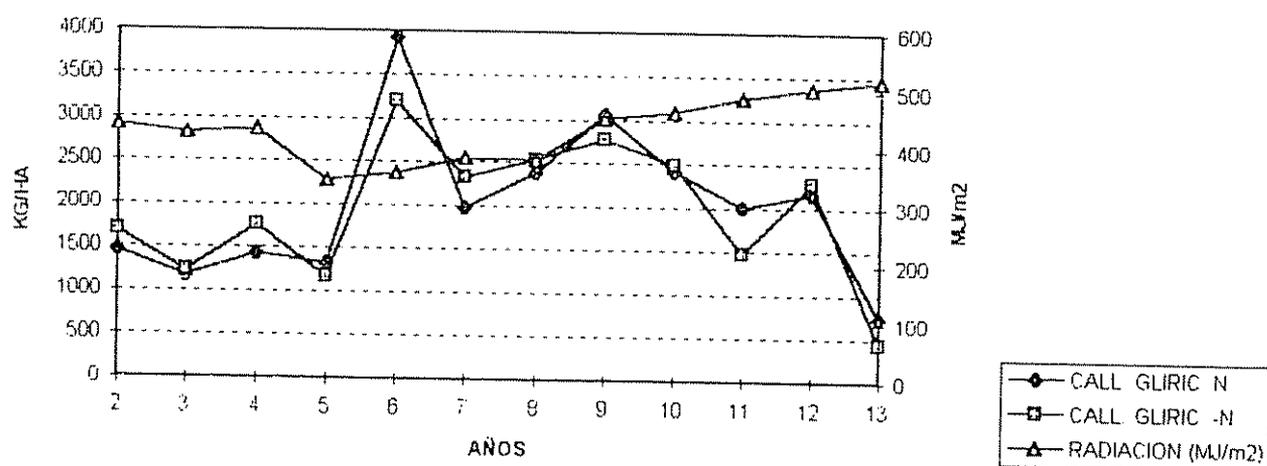
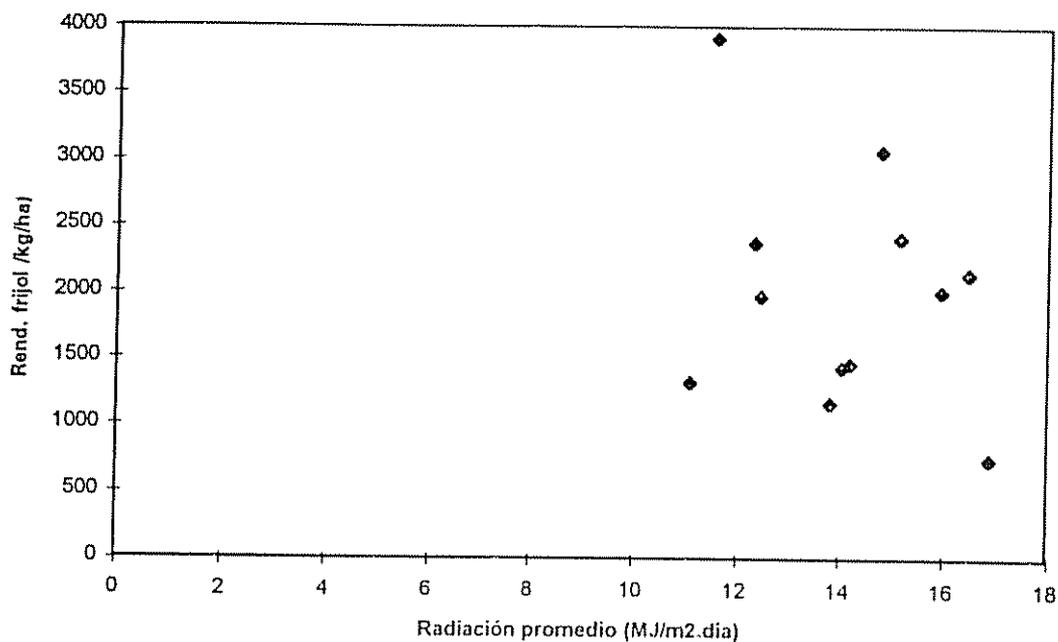


Figura 41 Variación del rendimiento de maíz en los callejones de *Gliricidia sepium* sin fertilización y con fertilización por la radiación CATIE, Turrialba, 1995.

Rendimiento de maíz en los callejones de *Gliricidia* con fert. y la radiación solar promedio diario



Rendimiento de maíz en los callejones de *Gliricidia* con fert. y la radiación solar promedio diario

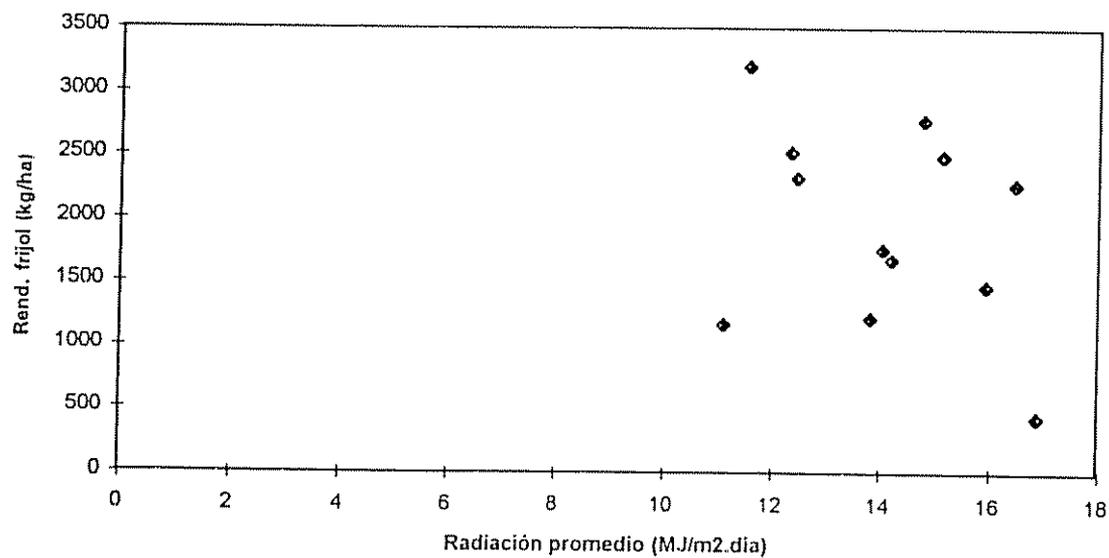


Figura 42. Relación entre el rendimiento de maíz en asocio con *Gliricidia* y la radiación solar promedio diario durante el ciclo del cultivo CATIE, Turrialba, 1995

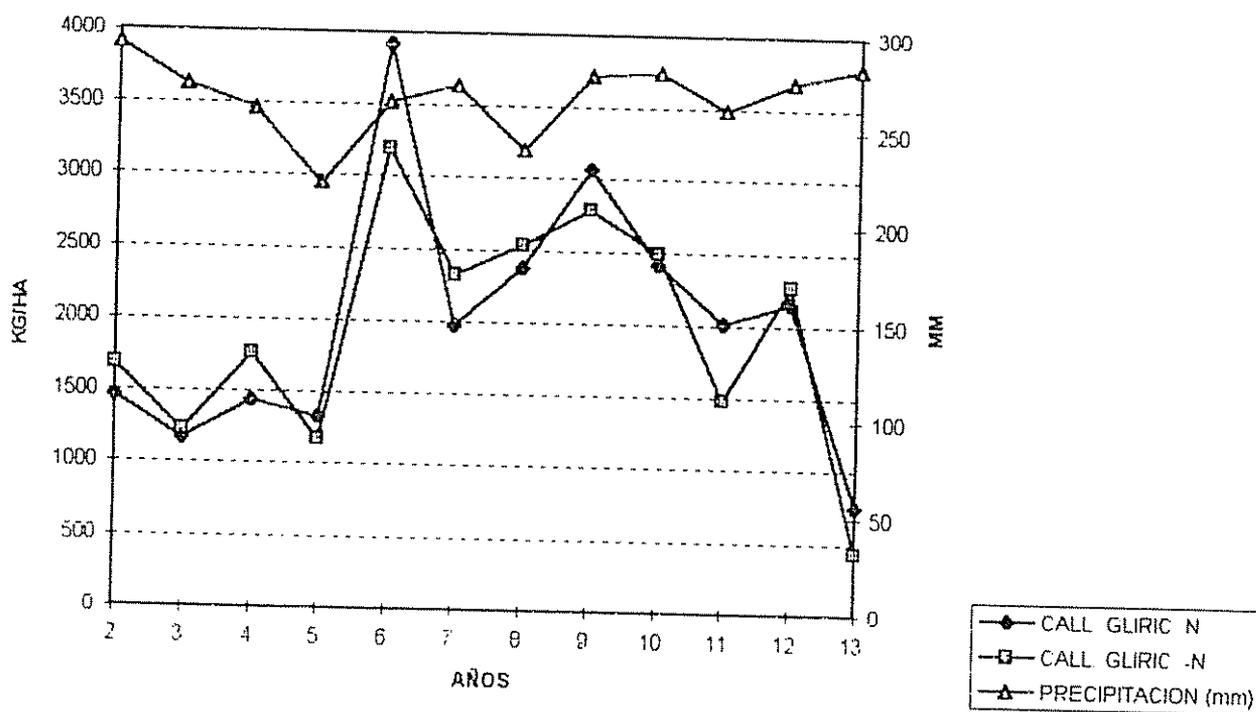
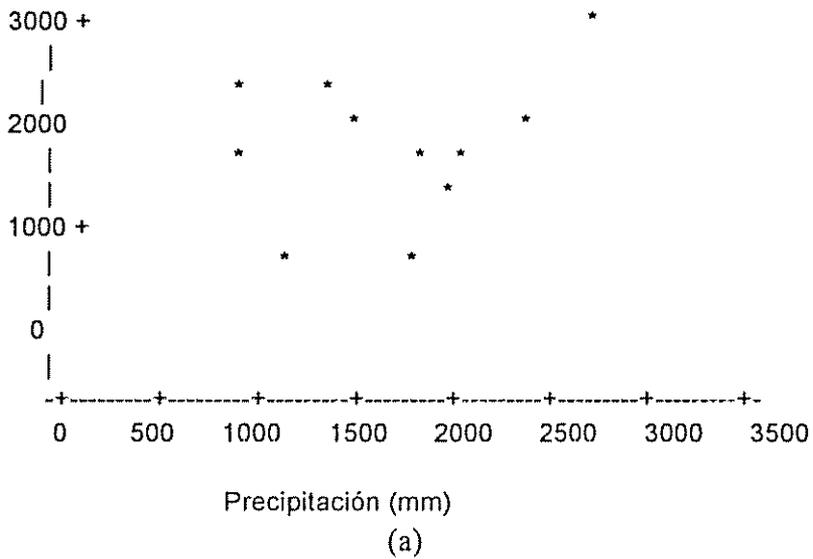


Figura 43. Variación entre el rendimiento de maíz en asocio con *G. septium* y la precipitación global durante el ciclo del cultivo CATIE, Turrialba, 1995

$$\text{Rendma}=1264+0,2598 \text{ Prec}$$

$$r^2=0,056$$

Rendimiento de maíz (kg/ha) sin fertilización



$$\text{Rendma}=1263+0,2598 \text{ Prec}$$

$$r^2=0,14$$

Rendimiento de maíz (kg/ha) con fertilización

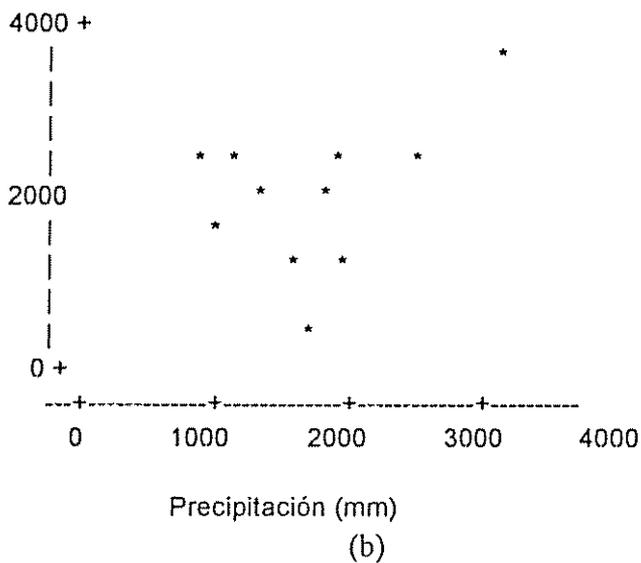


Figura 44. Relación entre el rendimiento de maíz en asocio con *Erythrina* y la precipitación global durante el ciclo del cultivo. CATIE, Turrialba, 1995.

Los rendimientos con y sin fertilización, responden de manera positiva a la precipitación, pero, no de manera significativa.

No hubo una tendencia clara del efecto de la precipitación en los periodos críticos, por ejemplo, en el año 10, presentó los menores valores, pero altos rendimientos. El año 4 presentó no tan altos rendimientos, siendo el año de mayor precipitación.

De acuerdo con la Figura 45 y Cuadro 13, observamos que hubo un pequeño déficit de nitrógeno en el tejido vegetal en el cultivo de maíz. Esto fue probablemente debido a que como la *G. sepium* presentó una respuesta positiva a la fertilización nitrogenada, pareció ser más competitiva por este nutriente con los cultivos, reduciendo la disponibilidad para el maíz. Además de este cultivo no ser una planta leguminosa, disminuye la disponibilidad para el cultivo.

Cuadro 13. Concentraciones (%) adecuadas para el desarrollo del maíz y las encontradas en los callejones de *G. sepium*, en las parcelas con y sin fertilización nitrogenada.

CATIE, Turrialba, 1995

	Requerimiento	Sin N	Con N
Nitrógeno	2,7-4%	2,0	2,3
Fósforo	0,25-0,5%	0,25	0,3
Potasio	1,7-3,0%	1,6	2,0
Cálcio	0,2-1 0%	0,3	0,5
Magnesio	0,2-1,0%	0,25	0,4

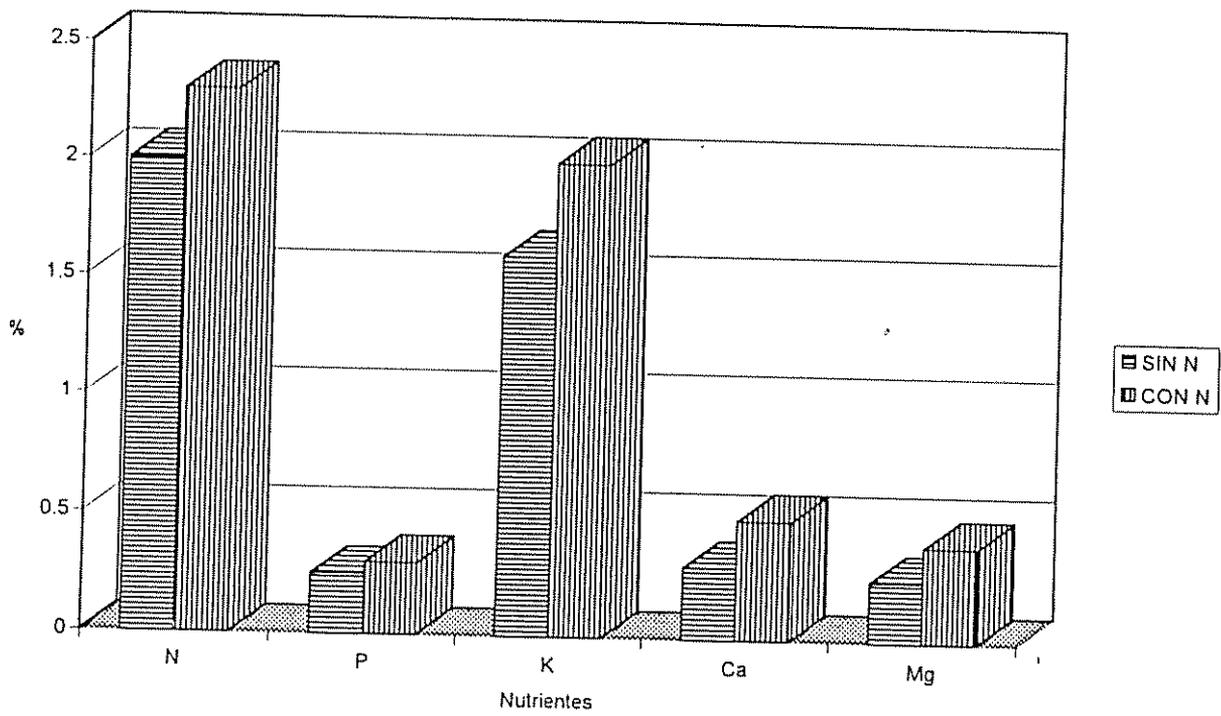


Figura 45 Contenido de los nutrientes en el tejido vegetal del cultivo de maíz en la fase de madurez fisiológica

4.7.5. Discusión sobre la competencia en los callejones

El asocio de los árboles con cultivos resulta en gran número de cambios microclimáticos, cuya importancia es determinada por la estructura y conformación del dosel de la especie arbórea, así como de su manejo.

Los mayores rendimientos encontrados en los tratamientos que reciben enmiendas orgánicas son debido al aporte de materia orgánica relacionado al mantenimiento de la humedad, al aporte de los nutrientes al suelo (Sánchez, citado por Pinto, 1992). Estas ventajas se esperarían tanto para la aplicación de enmiendas orgánicas (mulch o estiércol) como para los callejones, sin embargo, estos últimos tuvieron menores rendimientos de maíz, debido probablemente a los efectos competitivos de los árboles presentes en la área.

Los mejores resultados para frijol en el cultivo de callejones es debido quizás a un bajo requerimiento de la luz (por ser una planta C3) por ser un cultivo de ciclo corto, las posibilidades de competencia comparados con el maíz son menores. Además, de su relación positiva con la precipitación, o sea, responde positivamente a la variación de la precipitación.

De los sistemas evaluados, lo que puede ser considerado como no sostenible, o sea, lo que necesita ser ajustado en términos de su manejo, son los callejones con *G. sepium* asociado al maíz con fertilización nitrogenada porque ocurre competencia entre sus componentes, es decir, entre árbol y cultivo. Esto es debido a la biomasa arbórea, tuvo una relación negativa de manera significativa con los rendimientos de maíz, o sea, en la medida que aumenta la

producción de biomasa disminuye los rendimientos del cultivo. También hay que recordar como se comentó anteriormente, el efecto de la conformación de la estructura de la copa (extendida) y la densidad de los árboles en el campo (6 x 0,5 m), que dificulta la incidencia de la radiación solar sobre el cultivo, probablemente en la fase de llenado de grano, muy dependiente de este factor, lo cual limita la producción. La altura y el régimen de la poda, son aspectos que deben ser considerados cuanto al ajuste del sistema, con el objetivo de reducir la competencia por luz para el éxito de este sistema. Además probablemente pudo haber competencia por el nitrógeno entre la *Gliricidia* y el maíz, debido al pequeño déficit nutricional detectado en el tejido del cultivo.

Como fue observado anteriormente, la producción de la biomasa aérea de *Gliricidia* es mayor que la de *Erythrina*, y de estas, la primera produce más con la aplicación de fertilización nitrogenada, que la segunda, o sea, lo que indica que probablemente hay una interferencia en la asociación simbiótica, que hace que no responda a la fertilización nitrogenada. De esta forma, como la *Gliricidia* presenta más biomasa con fertilización, interferirá con más intensidad en la producción del maíz, por no ser este cultivo una leguminosa, ocasionando la competencia. Pero, un punto importante en cuanto a la alta producción de biomasa de *Gliricidia*, es la alta densidad en el campo, comparado con la de *Erythrina*. Posiblemente puede haber competencia por nitrógeno con *Gliricidia*, porque parece ser competitiva por este nutrimento, debido a que esta especie responde positivamente a la fertilización.

Referente a la competencia por agua, aunque la precipitación global del ciclo no sea baja su déficit, en determinados periodos, aún cortos como una o dos semanas, puede competencia por este factor. Pero, los efectos de estos eventos dependen de la severidad del período seco y la tolerancia de las plantas a la sequía

A lo largo del tiempo, no hubo déficit de precipitación en el ciclo correspondiente del cultivo del frijol. Solamente en el año 6, hubo una reducción drástica, aproximadamente 25 mm en todo el ciclo. En esta ocasión, hubo probablemente competencia por agua en la interacción árbol-cultivo, debido a que hubo una baja considerable en los rendimientos en los callejones tanto con *E. poeppigiana* como con *G. sepium*. En el cultivo de maíz, hubo una reducción en los rendimientos debido el déficit de precipitación en el año 5, en los callejones de las dos especies.

De acuerdo con los resultados de las correlaciones de los rendimientos con el índice de satisfacción hídrica, solamente el maíz en el sistema *Erythrina* con maíz, o la fase de floración o llenado de granos está teniendo alguna restricción de agua

Los índices de cosecha más bajos para el maíz, puede indicar que las entradas al sistema de la planta en los cultivos en callejones están siendo utilizadas para la producción de biomasa en mayor proporción, y menos para la producción de grano.

4.8. Sostenibilidad de la relación beneficio/costo a lo largo del tiempo

4.8.1. Relación Beneficio/Costo o Factor de Productividad Total

Para el análisis, el periodo evaluado fue 1982-1994, correspondiendo a los sistemas de monocultivo tradicional de frijol en rotación con maíz, aplicación de mulch de las especies: *Erythrina poeppigiana*, *Gliricidia sepium* y *Gmelina arborea*, y cultivo en callejones de las dos primeras especies citadas anteriormente. Cada sistema fue comparado con la fertilización a base de nitrato de amonio. Además se consideró el cultivo yuca que si utilizó durante los primeros tres años.

En el Cuadro 14 aparece el valor total de los ingresos correspondientes a los rendimientos de los cultivos, maíz, frijol y yuca, y los costos fijos y variables de capital y mano de obra. De estos resultados, los sistemas que obtuvieron los mayores ingresos netos, fueron los sistemas control (sin mejora ambiental), callejones de *Gliricidia*, *Erythrina*, el mulch de *Erythrina poeppigiana*, el estiércol, mulch de *Gliricidia*, *Erythrina* y *Gmelina*

En el mismo Cuadro 14, se presentan los detalles de los costos fijos, variables de capital y mano de obra.

Cuadro.14 . Analisis financiero (US\$), de trece años, de cultivo en callejones, en La Montaña, Turrialba, Costa Rica									
TRAT.	RENDIMIENTOS TOTALES (kg/ha)		INGRES. BRUTO (\$/ha)		COSTOS (\$/ha)		VALOR TOTAL		INGRESO NETO
	MAIZ*	FRIJOL*	YUCA	FIJOS	VARIABLES DE CAPITAL	VARIABLES DE M.OBRA	TOTAL		
CONTROL -N	26960,33	8184,25	23993	10992,84	1296	150	6615	4377,84	
CONTROL N	37633,13	10281,34	28525	14287,99	2286	510	7965	6322,99	
E.MULCH -N	41204,36	15333,54	23982	16916,37	1776	4950	12295	4621,37	
E.MULCH N	44300,27	17741,08	29332	19157,37	2766	5310	13645	5512,37	
ESTIERC. -N	41115,65	12174,24	30496	16004,64	5376	1350	11895	4109,64	
ESTIERC. N	47307,86	15392,02	33400	18924,43	6366	1710	13245	5679,43	
GM.MULCH -N	36429,79	13377,56	25034	15251,47	1776	4950	12295	2956,47	
GM.MULCH N	38999,53	16696,17	24525	17263,54	2766	5310	13645	3618,54	
GL.MULCH -N	35780,06	11954,75	27825	14722,94	1556	2550	9675	5047,94	
GL.MULCH N	39381,81	13418,1	29962	16265,98	2546	2910	11025	5240,98	
E. ALLEY -N	32276,03	14416,18	20641	14614,95	1296	2550	9115	5499,95	
E. ALLEY N	31072,33	16365,1	21280	15429,195	2286	2910	10465	4964,19	
GL. ALLEY -N	30928,67	12859,21	19154	13474,29	1296	2550	9115	4359,29	
GL. ALLEY N	31804,41	15259,13	20567	14940,42	2286	2910	10465	4475,42	
Precios (valor menos costo de cosecha) - Maiz - \$0.17/kg, Frijol - \$0.49/kg, Yuca - \$0.10/kg									
Rendimientos para trece años de maiz y frijol (1982-1994) - tres años de yuca (1982-1985)									
COSTOS FIJOS									
Mano de obra 63 hombre/día con yuca, 48 días/ha									
sin yuca, mano de obra a \$5.00/día, Capital -\$172/año									
(herbicida, preparación de terreno, pesticidas)									
Cultivo en callejones 20 hombres/día para establecer									
callejones y 20 hombres/día (dos veces al año) para									
poda 80 hombres/día para establecer plantación de									
material de mulch.									
COSTOS VARIABLE DE CAPITAL									
Fertilizante pk 1.66/kg, 130kg/ha/año.									
N mineral - \$0.55/kg, 150Kg/ha anual									
aplicado -Estiércol - \$7.50/t (200/ha 2 veces									
al año, Transporte de estiércol y coberturas									
aplicar fertilizante.									
1-20 \$/ha por aplicación (hecha dos veces									
al año).									
COSTOS VARIABLE DE MANO DE OBRA									
40 hombres/día por hectárea para									
cortar y aplicar coberturas. 20 hombres/día/ha									
para aplicar estiércol. 5 hombres/día para									
aplicar fertilizante.									

En todos los sistemas con fertilización nitrogenada, los rendimientos de los cultivos son mayores, y consecuentemente el ingreso bruto, pero, en compensación, los costos variables y de capital son mayores que los no fertilizados. De esta forma, el ingreso neto de los sistemas con fertilización son mayores. Sin embargo, el cultivo en callejones de *Erythrina poeppigiana* no se comporta de esta forma, o sea, sin fertilización hay un mayor ingreso neto.

Cuando el cultivo en callejones de las especies *Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium* es comparado con la parcelas con mulch de la misma especie, el ingreso neto de los callejones sin fertilización es mayor que las parcelas con mulch también sin fertilización. Sin embargo en las parcelas fertilizadas, el ingreso neto es mayor en las parcelas con mulch.

Los costos totales de los cultivos en callejones es menor que en las parcelas que reciben mulch, pero mayor que en el control. Esto es debido a las varias etapas necesarias para la preparación de las parcelas que reciben mulch (tallos y hojas), o sea, los gastos de mano de obra para la poda de los árboles provenientes de otra área, el transporte, el picado y la aplicación en el suelo, además de una área necesaria para la producción de la biomasa; mientras en los callejones las etapas no incluyen el transporte y área adicionales, lo que redundando consecuentemente en menores los costos.

El análisis de varianza de la variable B/C o Factor de producción total, a lo largo de 13 años, mostró significancia para todos los tratamientos e interacciones, excepto para la interacción triple año*trat*N (Ferreira, 1995).

La comparación de las medias de tratamiento se presenta en el Cuadro 15 y en la Figura 46.

Cuadro 15. Promedios de la relación B/C para cada tratamiento a lo largo de los trece años del ensayo. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

TRATAMIENTO	Promedio(*)	Sin N	Con N
Control	1,46 a	1,34	1,58
Callejones <i>Gliricidia</i>	1,42 a	1,20	1,64
Callejones <i>Erythrina</i>	1,14 b	1,18	1,11
Estiércol	1,14 b	1,08	1,20
Mulch de <i>Gliricidia</i>	1,08 b	1,21	0,94
Mulch de <i>Erythrina</i>	0,97 c	0,97	0,97
Mulch de <i>Gmelina</i>	0,77 d	0,75	0,79

(*) Promedios con la misma letra en una columna no difieren estadísticamente entre sí, Duncan 5%

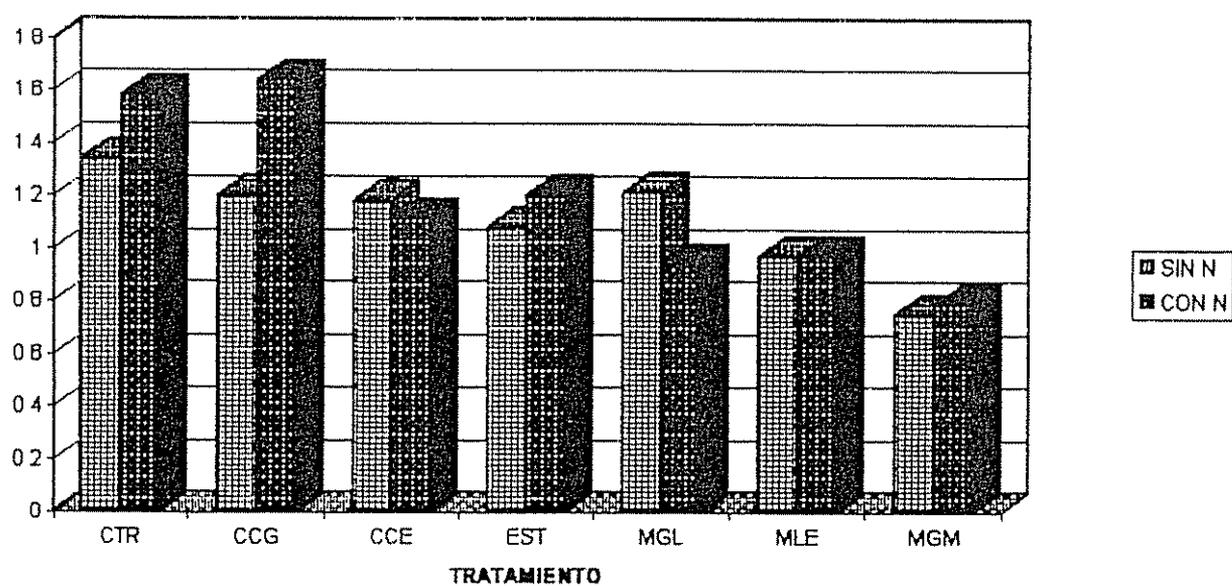


Figura 46 Promedios de la relación Beneficio/Costo para cada tratamiento CATIE,
Turrialba, Costa Rica, 1995

Observamos que los tratamientos control y los callejones de *Gliricidia*, son los superiores en términos de B/C, principalmente los que reciben fertilización nitrogenada, siendo más viables en comparación a los demás. En intermedio, los callejones de *Erythrina*, estiércol y parcelas que reciben mulch de *Gliricidia*, y los más bajos los mulchs de *Erythrina* y *Gmelina*. De éstos, los callejones de *Erythrina* y mulch de *Gliricidia* presenta mayores valores en las parcelas no fertilizadas, o sea, que son más viables económicamente en esta situación.

Si examinamos la variación a lo largo del tiempo de la relación B/C, de manera agregada para todos los tratamientos, (Cuadro 16) vemos que en los años en que se plantó yuca, o sea, hasta el año 1985, tuvieron relaciones más altas que los años subsiguientes. De manera desglosada, en el cuadro A5, vemos las variaciones por tratamiento, sigue el mismo patrón de variación.

Cuadro 16. Promedios de la relación B/C para los trece años del ensayo. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
1,42	1,66	1,58	1,10	1,13	1,06	0,72	0,78	1,04	1,99	0,62	0,74	0,97

4.8.2. Medidas de Degradabilidad

Corresponde a las tendencias de la relación B/C en el tiempo, que como el expuesto anteriormente en la metodología, es dado por los coeficientes de regresión.

De acuerdo con el Cuadro 17 y Figura 47, se observan que en general hubo una leve tendencia de degradabilidad en el tiempo de la relación B/C. El mejor comportamiento correspondió al cultivo en callejones de *Gliricidia* y el peor al tratamiento control.

Cuadro 17. Medidas de degradabilidad de la relación B/C en el tiempo. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

TRATAMIENTO	Sin N	Con N
Control	-0,09	-0,09
Callejones <i>Gliricidia</i>	-0,01	-0,03
Callejones <i>Erythrina</i>	-0,03	-0,05
Estiércol	-0,04	-0,05
Mulch de <i>Gliricidia</i>	-0,02	-0,02
Mulch de <i>Erythrina</i>	-0,07	-0,08
Mulch de <i>Gmelina</i>	-0,04	-0,04

4.8.3. Medidas de Inestabilidad

Las medidas de inestabilidad alrededor de la tendencia de la relación B/C, es dada como el presentado en la metodología, es dada por el coeficiente de variación.

En el Cuadro 18 y la Figura 48, se presentan las medidas de inestabilidad. Se observa mayor estabilidad en los tratamientos sin N. También se observa buena estabilidad del control y del estiércol. No se observa un comportamiento superior de los cultivos en callejones como era esperado, excepto en el caso de *Erythrina* con N.

Cuadro 18. Medidas de inestabilidad de la relación B/C, en regresiones sobre el tiempo.

CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

TRATAMIENTO	Sin N	Con N
Control	0,24	0,31
Callejones <i>Gliricidia</i>	0,40	0,56
Callejones <i>Erythrina</i>	0,36	0,29
Estiércol	0,30	0,32
Mulch de <i>Gliricidia</i>	0,36	0,60
Mulch de <i>Erythrina</i>	0,35	0,53
Mulch de <i>Gmelina</i>	0,28	0,38

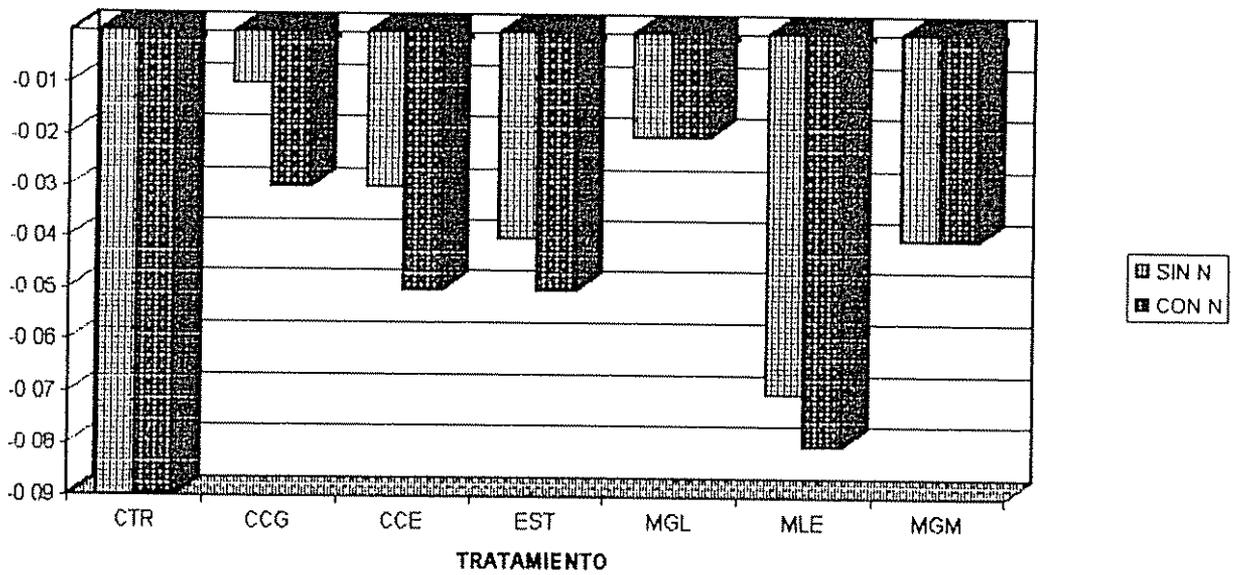


Figura 47 Medidas de degradabilidad de la relación Beneficio/Costo CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

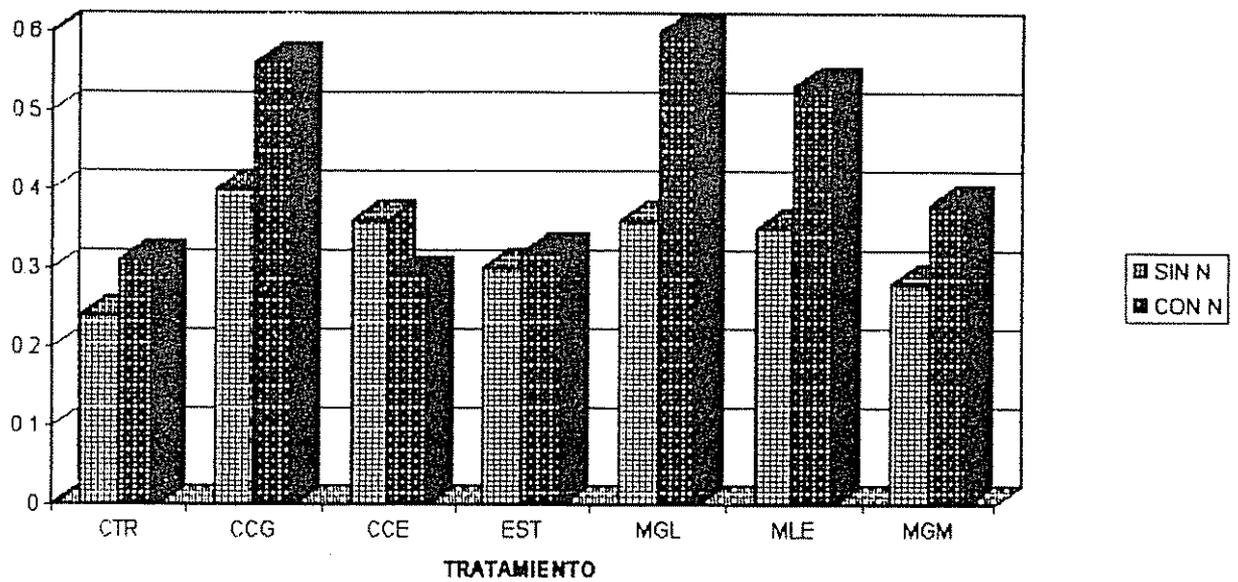


Figura 48 Medidas de inestabilidad de la relación Beneficio/Costo CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995

En general, a manera de conclusión, se observaron relaciones positivas B/C para la mayoría de los tratamientos, excepto para los mulchs en virtud del alto uso de mano de obra y la necesidad de áreas adicionales para su producción. En general el tratamiento control es el que muestra los mayores cocientes B/C indicando que los tratamientos no tradicionales no pueden justificarse en base a este indicador. El control es también el de mayor degradabilidad y estabilidad.

4.9. Análisis ecológico-económico

4.9.1. Relación Beneficio/Costo Ambiental

Los resultados que se presentan en el Cuadro 19, que la mayoría de los tratamientos presentan mayores beneficios ambientales (BX-BT son positivos) comparados con el tratamiento control (uso tradicional). Los mayores costos ambientales corresponden a los sistemas que reciben estiércol y mulch.

Se destaca el bajo costo del mulch de *Gliricidia* en relación a los restantes, lo cual es función de la baja área adicional para producir esta enmienda (11 m²). Para la ganancia ambiental unitaria o relación beneficio costo ambiental, hubo diferencia significativa entre el sistema que recibió mulch de *Gmelina* y los restantes. Notamos también que hubo una tendencia de mayores valores de la ganancia ambiental unitaria para los callejones de *G. sepium* y *E. poeppigiana* y las parcelas que recibieron mulch de esta última especie, para los tratamientos no fertilizados (Cuadro 19). El impacto de la mejora ambiental basado en los beneficios ambientales, fue mayor para el tratamiento que recibió estiércol tanto en las parcelas

fertilizadas como fertilizadas, seguidos para los sistemas que recibieron mulch externo de *Erythrina* y *Gliricidia* y para los callejones de las dos especies. Esto fue debido a las externalidades tales como: control de la erosión, aporte de nutrientes al suelo, mantenimiento de la humedad, y en la estabilidad y sostenibilidad de los beneficios ecológico-económicos.

Cuadro 19. Relación beneficio/costo o ganancia ambiental unitaria (GAU) y IMA (Impacto de la mejora ambiental). CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

	TRAT	Bx-Bt	Cx-Ct	GAU	Q	IMA
S	E. mulch	240,12	470,76	0,51a	18,54	12,95
I	Estiercol	390,11	501,84	0,78a	20,94	18,63
N	Gm. mulch	-86,44	470,15	-0,18b	22,98	-3,76
	Gl. mulch	220,67	270,15	0,82a	20,50	10,76
N	E. call.	165,84	207,69	0,80a	16,59	9,99
	Gl. call.	167,93	207,69	0,81a	20,18	8,32
C	E. mulch	16,29	470,76	0,03a	18,54	0,88
O	Estiercol	247,10	501,84	0,49a	20,94	11,80
N	Gm. mulc	-311,15	470,15	-0,66b	22,98	-13,54
	Gl. mulch	35,07	270,15	0,13a	20,50	1,71
N	E. call.	-92,87	207,69	-0,45a	16,59	-5,60
	Gl. call.	-45,99	207,69	-0,22a	20,18	-3,66

Promedios seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí.

Q= Enmiendas o estiércol aplicados (kg/ha/año).

En el Cuadro 20, se determinó el impacto de la mejora ambiental, por el aporte de los nutrientes presentes en la materia orgánica, basado en el valor de uso, o sea, el valor de los nutrientes en el mercado, como fertilizantes. Obtuvimos entonces, el valor de la mejora del ambiente por tonelada de mulch aplicada. Observamos que el mayor impacto de la mejora del ambiente son para los tratamientos que recibieron mulch externo de *Gmelina*, *Erythrina* y *Gliricidia*, con \$13,728, \$13,032 y \$ 13,017/ha/año, respectivamente; estiércol y por último los callejones.

4.9.2. Balance agroeconómico ecológico

De acuerdo con el expuesto en la metodología, se valoró los nutrientes aportados por la lluvia, las enmiendas orgánicas (mulch externo y por el material de poda), los fertilizantes artificiales, considerados como entradas al sistema, y por la cosecha de los cultivos y la poda de los árboles, considerados como salidas. Estas entradas menos las salidas fueron restadas, cuyo valor se refirió al balance monetario de los nutrientes. O sea, es cuanto queda en el suelo en términos monetarios de los nutrientes.

CUADRO 22. Valoración de los nutrientes en US\$/ha en los mulchs y estiércol en los tratamientos sin fertilización

MULCHS	Biomasa	N	P	K	Ca	Mg		
						kg/ha/año.....	
ESTIERCOL	18.544	154,6	26,8	139,6	99,8	52,6		
GM. MULCH	20,94	188,4	25,2	145,8	162	55,2		
E. MULCH	22.984	229	23,2	144,6	77	47,4		
GL. MULCH	20.504	249,4	17,6	118,4	73	21,6		
E. Call.	16.594	139	12	78	41	17		
G. Call	20.182	174	14	108	60	26		
MULCHS	N	P	K	Ca	Mg	TOTAL	Biomasa	total/ Biom.
ESTIERCOL	86,03	22,24	115,87	2,69	35,77	216,6	18.544	11.680
GM. MULCH	103,62	20,92	121,014	4,374	55,2	287,468	20,94	13.728
E. MULCH	125,95	19,26	120,02	2,079	47,4	299,539	22.984	13.032
GL. MULCH	137,17	14,61	98,27	1,971	21,6	266,711	20.504	13.017
E. Call.	76,45	9,96	64,74	1,107	14,96	167,22	16.594	10,077
G. Call.	95,70	11,62	89,64	1,620	17,68	216,260	20.182	10,71
Precio de los nutrientes en forma de fertilizantes								
N=\$0.55/kg	Mg=\$0.68							
P=\$ 0.83/kg								
K=\$0.83/kg								
Ca=\$0.027/kg								
							GM. MULCH= Mulch de <i>Gmelina arborea</i>	
							E. MULCH= Mulch de <i>Erythrina poeppigiana</i>	
							GL. MULCH= Mulch de <i>Gliricidia sepium</i>	
							E. CALL = Callejones de <i>Erythrina poeppigiana</i>	
							GL. CALL= Callejones de <i>Gliricidia sepium</i>	

a. Control

El tratamiento control, o sea, lo que no recibió enmiendas orgánicas, presentó un balance negativo para el nitrógeno y calcio, cuando no se realizó la fertilización nitrogenada. Esto indica que el aporte de nutrientes provenientes de la lluvia y fertilizantes, con las respectivas salidas por la cosecha de los cultivos, tuvo una pérdida de \$19,58 y \$0,12/ha/año de nitrógeno y calcio, respectivamente, a lo largo de los 13 años (Cuadro 21). El restante de los balances fueron positivos

Cuando se aplicó fertilizante nitrogenado, hubo un balance positivo tanto del nitrógeno como del calcio, habiendo un aumento cuya diferencia fue de \$ 72,05 y \$ 0,48/ha/año, respectivamente. En la medida que se realizó la fertilización, los demás nutrientes, presentaron reducciones, debido a que hubo más salidas por la cosecha.

Cuadro 21 . Valoración de los nutrientes en el balance de nutrientes en el tratamiento control. Dos niveles de Nitrógeno, media de 13 años, \$/ha/año, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

	N	P	K	Ca	Mg	Tot	N	P	K	Ca	Mg	Tot
	(\$/ha/año)											
Lluvia	2,75	0,17	2,07	0,04	0,71	5,74	2,75	0,17	2,07	0,04	0,71	5,67
Fertiliz	0	31,87	89,64	0	4,53	126,04	82,50	31,87	89,64	0,76	4,53	209,3
Entr	2,75	32,04	91,71	0,04	5,24	131,78	85,25	32,04	91,71	0,80	5,24	215,04
Cose	22,32	5,90	24,32	0,16	3,60	56,30	32,78	7,30	31,37	0,20	4,83	76,48
Salid	22,32	5,90	24,32	0,16	3,60	56,30	32,78	7,30	31,37	0,20	4,83	76,48
Balan	-19,57	26,14	67,39	-0,12	1,64	75,48	52,47	24,74	60,34	-0,60	0,41	138,55

b. Callejones de *Gliricidia*

En este sistema, cuando no se aplicó fertilización nitrogenada, el valor del nitrógeno en el balance fue negativo, o sea, hubo pérdidas en términos monetarios de \$ 15,89/ha/año (Cuadro 22). A partir del momento que adicionó fertilización nitrogenada, hubo un aumento de \$ 58,03/ha/año de nitrógeno. Pero, como en el caso anterior, la fertilización proporcionó aumento en la salida.

Cuadro 22. Valoración de los nutrientes en el balance de nutrientes en el tratamiento callejones de *Gliricidia*. Dos niveles de Nitrógeno, medias de 13 años, \$/ha/año, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

	SIN N						CON N					
	N	P	K	Ca	Mg	Tot	N	P	K	Ca	Mg	Tot
	\$/ha/año											
Lluvia	2,75	0,17	2,07	0,04	0,71	5,74	2,75	0,17	2,07	0,04	0,71	5,74
Bomb	11,05	3,49	40,67	0,32	2,04	57,57	23,10	2,24	40,67	0,32	2,04	68,37
Fert	0	31,87	89,64	0	4,53	126,04	82,50	31,87	89,64	0,76	4,53	209,3
Ent	13,80	35,53	132,38	0,36	7,28	189,35	108,35	34,28	132,38	1,12	7,28	271,84
Cose	28,35	6,95	31,71	0,24	4,66	71,91	32,93	7,52	35,79	0,23	5,05	81,52
Tron	1,37	0,14	1,66	0,07	0,34	3,58	1,48	0,17	1,66	0,07	0,41	3,79
Salid	29,72	7,09	33,37	0,31	5,0	75,51	34,41	7,69	37,39	0,30	5,46	85,35
Balan	-15,92	28,44	99,01	0,05	2,28	113,84	73,94	26,59	94,99	0,82	1,82	198,11

c. Callejones de *E. poeppigiana*

En este tratamiento, los balances fueron negativos para el nitrógeno sin fertilización, respectivamente. Los restantes de los nutrientes, presentaron una ganancia positiva cuando no se fertilizó. Al igual que los tratamientos anteriores, hubo una reducción de la ganancia en términos de la mejora del ambiente, cuando se hizo la fertilización (Cuadro 23).

Cuadro 23 Valoración de los nutrientes en el balance de nutrientes en el tratamiento callejones de *E. Poeppigiana*. Dos niveles de Nitrógeno, medias de 13 años, \$/ha/año, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

	SIN N						CON N					
	N	P	K	Ca	Mg	Tot	N	P	K	Ca	Mg	Tot
	\$/ha/año											
Lluvia	2,75	0,17	2,07	0,04	0,71	5,74	2,75	0,17	2,07	0,04	0,71	5,74
Bomb	18,97	3,40	40,67	0,32	4,08	67,44	25,30	2,49	40,67	0,32	4,08	72,86
Fert	0	31,87	89,64	0	4,53	126,04	82,50	31,87	89,64	0,76	4,53	209,3
Ent	21,72	35,44	132,38	0,36	9,32	189,9	110,55	34,53	132,38	1,12	9,32	287,9
Cose	29,31	6,92	37,52	0,26	5,57	79,58	36,13	8,05	42,97	0,30	6,02	93,47
Tron	1,28	0,28	5,98	0,09	0,72	8,35	1,43	0,33	5,89	0,07	0,54	8,26
Salid	30,59	7,20	43,50	0,35	6,29	87,93	37,56	8,38	48,86	0,37	6,56	101,73
Balan	-8,87	28,24	88,88	0,01	3,03	101,97	72,99	26,15	83,52	0,75	2,76	186,17

d. Mulch de *Gmelina*

El tratamiento, solo mostró balances positivos, o sea, no está habiendo pérdidas monetarias de todos los nutrientes evaluados. En el caso del nitrógeno, cuando se aplicó fertilizante, la cantidad aumentó casi el doble, pasando de \$75,68 a \$150,97/ha/año. Los otros nutrientes siempre disminuye el valor en el suelo (Cuadro 24). Los nutrientes provenientes de la madre naturaleza, es decir, de la lluvia y de las enmiendas orgánicas ya sería suficiente para suplir las necesidades del cultivo y todavía quedar en el suelo. O sea, no sería necesario realizar la fertilización tanto nitrogenada como a base de fósforo, potasio y magnesio

Cuadro 24 . Valoración de los nutrientes en el balance de nutrientes en el tratamiento

callejones de Mulch de *Gmelina*. Dos niveles de Nitrógeno, medias de 13 años, \$/ha/año, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

	SIN N						CON N					
	N	P	K	Ca	Mg	Tot	N	P	K	Ca	Mg	Tot
	\$/ha/año											
Lluvia	2,75	0,17	2,07	0,04	0,71	5,74	2,75	0,17	2,07	0,04	0,71	5,74
Enmie	103,62	20,92	121,01	4,37	37,54	287,46	103,62	20,92	121,01	4,37	37,54	287,46
Fert	0	31,87	89,64	0	4,53	126,04	82,50	31,87	89,64	0,76	4,53	209,30
Entr	106,37	52,96	212,72	4,41	42,78	419,24	188,87	52,96	212,73	5,17	42,78	502,50
Cose	30,68	8,03	35,69	0,23	5,34	79,97	37,89	9,00	37,35	0,24	6,19	90,67
Salid	30,68	8,03	35,69	0,23	5,34	79,97	37,89	9,00	37,35	0,24	6,19	90,67
Balan	75,69	44,93	177,03	4,18	37,44	339,27	150,98	43,96	175,37	4,93	36,59	411,83

e. Mulch de *Gliricidia*

Al igual que los otros mulchs, este tratamiento mulch de *Gliricidia*, sólo presentó valores positivos y similares entre ambos niveles de nitrógeno, el balance de nitrógeno es mayor cuando se aplicó fertilizante inorgánico (Cuadro 25) Igual que el tratamiento anterior, los aportes de nutrientes de la madre naturaleza ya sería suficiente para suplir las necesidades del sistema.

Cuadro 25 . Valoración de los nutrientes en el balance de nutrientes en el tratamiento de Mulch de *Gliricidia*. Dos niveles de Nitrógeno, medias de 13 años, \$/ha/año. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995.

	SIN N						CON N					
	N	P	K	Ca	Mg	Tot	N	P	K	Ca	Mg	Tot
	\$/ha/año											
Lluvia	2,75	0,17	2,07	0,04	0,71	5,74	2,75	0,17	2,07	0,04	0,71	5,74
Enmie	137,17	14,61	98,27	1,97	14,69	266,71	137,17	14,61	98,27	1,97	14,69	266,71
Fert	0	31,87	89,64	0	4,53	126,04	82,50	31,87	89,64	0,76	4,53	209,30
Entr	139,92	46,65	189,98	2,01	19,93	398,49	222,42	46,65	189,99	2,77	19,93	481,75
Cose	30,35	7,88	34,59	0,22	5,47	78,51	37,67	7,99	35,60	0,23	6,25	87,65
Salid	30,35	7,88	34,59	0,22	5,47	78,51	37,67	7,99	35,60	0,23	6,25	87,65
Balan	109,57	38,77	155,39	1,79	14,46	319,98	184,75	38,66	154,38	2,54	13,68	394,01

f. Mulch de *E. poeppigiana*

Al igual que los otros, este tratamiento presentó balances positivos para todos los nutrientes, habiendo aumento del contenido de nitrógeno en el suelo, pero disminuyendo para los demás (Cuadro 26). Además de la suficiencia de los nutrientes provenientes de la lluvia y de la enmiendas externas.

Cuadro 26 . Valoración de los nutrientes en el balance de nutrientes en el tratamiento callejones de Mulch de *E. poeppigiana*. Dos niveles de Nitrógeno, medias de 13 años, \$/ha/año. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995

	SIN N						CON N					
	N	P	K	Ca	Mg	Tot	N	P	K	Ca	Mg	Tot
	\$/ha/año											
Lluvia	2,75	0,17	2,07	0,04	0,71	5,74	2,75	0,17	2,07	0,04	0,71	5,74
Enmie	125,95	19,26	120,02	2,08	32,23	299,54	125,95	19,26	120,02	2,08	32,23	299,54
Fert	0	31,87	89,64	0	4,53	126,04	82,50	31,87	89,64	0,76	4,53	209,30
Entr	128,70	51,30	211,73	2,12	37,47	431,32	222,42	51,30	211,73	2,88	37,47	514,58
Cose	34,54	9,38	38,43	0,26	5,64	88,25	37,67	9,54	40,42	0,30	6,19	94,12
Salid	34,54	9,38	38,43	0,26	5,64	88,25	37,67	9,54	40,42	0,30	6,19	94,12
Balan	94,16	41,92	173,30	1,86	31,83	343,07	173,53	41,76	171,31	2,58	31,28	420,46

g. Estiércol

Este tratamiento, se comportó de la misma forma que los demás mulchs, presentando los balances positivos, aumentando el valor para el nitrógeno y disminución para los demás nutrientes (Cuadro 27). Este sistema todavía aportó más nutrientes provenientes de la lluvia y de las enmiendas, en relación a los demás tratamientos que reciben mulch externo.

Cuadro 27 . Valoración de los nutrientes en el balance de nutrientes en el tratamiento callejones de mulch de estiércol. Dos niveles de Nitrógeno, medias de 13 años, \$/ha/año. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1995

	SIN N						CON N					
	N	P	K	Ca	Mg	Tot	N	P	K	Ca	Mg	Tot
	\$/ha/año											
Lluvia	2,75	0,17	2,07	0,04	0,71	5,74	2,75	0,17	2,07	0,04	0,71	5,74
Enmie	128,32	22,24	115,87	2,69	35,77	304,89	128,32	22,24	115,87	2,69	35,77	304,89
Fert	0	31,87	89,64	0	4,53	126,04	82,50	31,87	89,64	0,76	4,53	209,30
Entr	131,07	54,28	207,58	2,73	41,01	436,67	213,57	54,28	207,58	3,49	41,01	519,93
Cose	33,16	9,13	38,43	0,29	5,89	86,90	40,70	9,63	42,16	0,27	6,60	99,36
Salid	33,16	9,13	38,43	0,29	5,89	86,90	40,70	9,63	42,16	0,27	6,60	99,36
Balan	97,91	45,15	169,15	2,44	35,12	349,77	172,87	44,65	165,42	3,22	34,41	420,57

Entonces, en el Cuadro 28, tenemos el resumen de la mejora ambiental por la valoración de los nutrientes en el suelo, con dos niveles de fertilización. Observamos que los sistemas que presentan los mayores balances ecológicos-económicos tanto con y sin

fertilización, son los tratamientos que reciben mulch y estiércol, intermedios para los callejones y por último el control.

Cuadro 28- Resumen de la valoración de los nutrientes en 13 años, en el balance de los tratamientos con y sin fertilización, Turrialba, Costa Rica

Tratamientos	Sin N						Con N					
	N	P	K	Ca	Mg	Tot	N	P	K	Ca	Mg	Tot
	\$/ha/año											
Contr	-19,57	26,14	67,39	0,12	1,64	75,48	52,47	24,74	60,34	0,60	0,41	138,56
Call.Gl	-15,92	28,44	99,01	0,05	2,28	113,86	73,94	26,59	94,99	0,82	1,82	198,16
Call.Er	-8,87	28,24	88,88	0,01	3,03	111,29	72,99	26,15	83,52	0,75	2,76	186,17
Mul.Er	94,16	41,92	173,3	1,86	31,83	343,07	173,53	41,76	171,31	2,58	31,28	420,46
MuGm	75,69	44,93	177,03	4,18	37,44	339,27	150,98	43,96	175,37	4,93	36,59	411,83
Mul Gl	109,57	38,77	155,39	1,79	14,46	319,98	184,75	38,66	154,38	2,54	13,68	394,01
Estiérc	97,91	45,15	169,15	2,44	35,12	349,77	172,87	44,65	165,42	3,22	34,41	420,57

4.9.3. Valoración de los nutrientes del suelo

Los nutrientes del suelo, fueron valorados económicamente basados en el valor de estos en forma de fertilizantes artificiales, encontrados en el mercado. De acuerdo con el Cuadro 29, observamos que hubo una reducción (pérdida) monetaria del fósforo y nitrógeno en todos los tratamientos en las parcelas con y sin fertilización, a lo largo de los trece años. Pero, los callejones tuvieron una menor pérdida de fósforo en relación a los otros sistemas, esto indica la capacidad de absorción de este nutriente en las capas más profundas, además de la ciclaje de los nutrientes debido a la presencia de los árboles.

Para el potasio y magnesio, hubo un aumento en todos los tratamientos en el tiempo. Para el calcio, solamente en el tratamiento control tuvo una pérdida. El nivel de nitrógeno reduce un poco en todos los tratamientos. A manera de conclusión, los sistemas que reciben enmiendas externas y los callejones hubo una pequeña pérdida de fósforo, pero que no fue significativo cuando consideramos el contenido total de fósforo en el suelo

Para las parcelas con fertilización nitrogenada, el nitrógeno y fósforo, redujeron en todos los tratamientos. Mientras el potasio, calcio y magnesio redujeron solamente en el tratamiento control. Esto indica que cuando no se aplican enmiendas externas o de los árboles presentes en la área, hay una tendencia de pérdida monetaria de los nutrientes en el suelo a lo largo del tiempo, siendo necesario complementar los niveles de estos nutrientes con fertilizantes artificiales.

Cuadro 29. Beneficio (\$/ha/año) de los árboles y las enmiendas en la fertilidade del suelo en un periodo de 13 años. CATIE, Turrialba, 1995.

	Sin N					Con N				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	\$/ha/año									
Control	-55	-17,82	19,3	-8	19,7	-55	-23,52	-51,9	-12,7	-16,28
E. Mulch	-120	-26,62	168,3	16	122,4	-193	-32,46	356	14,61	32,62
Estiércol	-55	-9,59	330	19	202,5	-55	-10,2	246	8,12	97,96
Gm. mulch	-110	-25,89	220,1	31	141,5	-110	-30,82	161,9	1,3	30,66
Gl. mulch	-55	-28,77	330	12	56,9	-28	-14,2	194,2	-13,3	288,79
Call. Ery.	-110	-9,51	174,3	14,0	121	-110	-10,59	170	9,8	130
Call. Glir.	-100	-9,18	252,5	15,82	110	-165	-10,89	259	10,87	146,9

4. 10. Discusión de la parte ecológica-económica

Las relaciones positivas de la relación B/C para la mayoría de los tratamientos, excepto para los mulchs, es debido al alto uso de mano de obra y la necesidad de áreas adicionales para su producción. En general el tratamiento control es el que muestra las mayores relaciones B/C indicando que los tratamientos no tradicionales no pueden justificarse con base en este indicador. Esta mayor relación para el tratamiento control es debido presentar los más bajos costos, debido no haber las etapas de poda, aplicación del mulch, transporte, etc. Aumentando de esta manera la relación beneficio/costo, mismo que los ingresos brutos no sean altos, en relación a los demás tratamientos.

Además, el tratamiento control presenta una mayor tendencia degradante cuanto a los rendimientos a lo largo de los 13 años de ensayo, pero, al mismo tiempo estable, cuanto a la reducción. Esto muestra el carácter poco sostenible de esta agricultura tradicional (rotación de cultivos anuales) practicada actualmente por los agricultores. Pero, un punto importante es cuanto a la estabilidad de la tendencia degradante, o sea, las reducciones no son bruscas y sí lentamente.

Las ganancias brutas incrementales por unidad de costo total incremental o relación beneficio/costo ambiental, son mayores para los sistemas que reciben mulch de *Gliricidia* y para los cultivos en callejones sin fertilización con nitrato de amonio.

La adopción del sistema cultivo en callejones se justificaría donde la mano de obra no es escasa, porque tanto los callejones como las parcelas que reciben mulch externo, son sistemas que requieren mano de obra intensiva, debido a las constantes podas de los árboles en la propia área o la utilización de material de cercas vivas, recuperación de barbechos, etc.

La determinación del impacto de la mejora ambiental, basados en los nutrientes presentes en el mulch aplicado en las parcelas, o sea, el valor de la mejora del ambiente por tonelada de mulch aplicada. Obtuvimos mayor impacto de la mejora del ambiente, para los tratamientos que reciben mulch externo de *Gmelina*, *Erythrina* y *Gliricidia*, con \$13,728, \$ 13,032 y \$ 13,017, respectivamente; estiércol y por último los callejones.

El balance ecológico-económico, o sea, la valoración de la mejora ambiental, por el aporte de nutrientes al suelo, a través del balance de nutrientes, mostró que los tratamientos control y en los callejones de las dos especies estudiadas, hay un balance negativo para el nitrógeno, cuando no se fertilizó con nitrato de amonio, no habiendo consecuentemente la mejora real del ambiente, porque las salidas fueron mayores que las entradas, o sea, está saliendo más por la cosecha. Vale la pena resaltar que los niveles de calcio fueron negativos solamente en el tratamiento que no se echó mulch, o sea, el control. Pero, a partir del momento que se hizo la fertilización nitrogenada, hubo un aumento de los niveles de nitrógeno en todos los tratamientos y del nivel de calcio en el control, contribuyendo consecuentemente a la mejora real del suelo. Pero, para los otros nutrientes, hubo una reducción, lo que ocasionó consecuentemente un desequilibrio nutricional. Lo que indica que la dependencia externa, puede ocasionar desestabilización del sistema.

Además, un punto muy importante, es cuanto al aumento de la cantidad de nutrientes que sale por la cosecha, en la medida que se realiza la fertilización nitrogenada, pero, de todos los tratamientos, los requerimientos nutricionales de los cultivos es mucho más pequeño de que está siendo aplicado. Es claro que contribuye a la mejora del ambiente, pero, digamos que está teniendo un costo innecesario con la fertilización, o sea, se bajase la cantidad que está siendo aplicada, no habría problemas cuanto a las necesidades nutricionales de los cultivos, o sea, está teniendo un exceso de los nutrientes principalmente de Nitrógeno, desequilibrando nutricionalmente los demás. Entoñces, si es necesario fertilizar, pero se podría hacer en una proporción más baja, para que no hayan altos costos. De esta manera, hubo necesidad de

realizar la fertilización los tratamientos control y en los callejones, pero, para no haber un costo innecesario, como fue hablado anteriormente, podría disminuir un poco más la cantidad de fertilizante que está siendo suministrada. Como en este caso la madre naturaleza no está aportando las cantidades mínimas exigidas es necesario adquirir tales nutrientes en el mercado. En los tratamientos que reciben mulch, observamos que no vale la pena realizar la fertilización debido que las necesidades nutricionales de los cultivos están siendo supridas, además está quedando todavía en el suelo, solamente con los aportes provenientes de la madre naturaleza. Indicando de esta forma, el carácter sostenible de esta sistema

Un punto muy importante en cuanto a la transferencia, o posibilidad de adopción de esta tecnología por los finqueros, es que tienen múltiples criterios para evaluar la nueva tecnología, incluyendo la factibilidad económica, riesgo, contribución a la seguridad alimentaria, tiempo tomado para observar el retorno de la inversión, y requerimiento de mano de obra.

En cuanto a las demandas de mano de obra, de acuerdo con Kass (1988) y Cárter (1995) el cultivo en callejones es una tecnología de mano de obra intensiva; y probablemente no será adoptado en donde la mano de obra es actualmente un factor limitante de la producción. Además, el cultivo en callejones es altamente inflexible en los periodos de requerimiento de la mano de obra. El trabajo de mantenimiento, la poda de árboles y la deshierba deben ser llevados a cabo a tiempo. La producción de los cultivos será riesgosa si estas operaciones se atrasan, aunque los productores no pueden siempre responder a las

necesidades. Las operaciones en conflicto en la finca, decisiones a nivel externo y enfermedades pueden contribuir para el atraso del trabajo de mantenimiento.

Además de esto, el cultivo en callejones tiene la desventaja de proveer limitados retornos iniciales a la inversión. Los finqueros generalmente tienen que esperar 3 a 4 años antes, que las producciones altas, por la mejora en el suelo, sean obtenidas. A menos que los beneficios a corto plazo (como combustible, madera y estacas) sean de alto valor, o que otros beneficios directos sean obtenidos, los finqueros probablemente no se encuentran deseosos de adoptar la tecnología.

Un aspecto importante según Cáster (1995), en la adopción del cultivo en callejones, es la presencia de incentivos. La literatura indica que en donde los finqueros han establecido cultivo en callejones, fueron ofrecidas algunas formas de incentivos para hacerlo. Los incentivos han tomado varias formas, como: semillas de variedades mejoradas, fertilizantes gratis, ayuda alimenticia. Además, pueden existir la expectativa entre los finqueros de otros beneficios resultantes de su asociación con institutos de investigación o proyectos aparentemente ricos. Muchos trabajadores argumentan que los incentivos son necesarios cuando se introduce una tecnología que no produce ganancias inmediatas, y que los incentivos pueden ser retirados, después de que la tecnología es probada. Desafortunadamente, los incentivos raramente son retirados, y al proveerlos, los proyectos han enmascarado algunas de las razones reales por detrás del interés de los finqueros por adoptar la tecnología.

Los sistemas que no recibieron enmiendas externas o en los callejones, hubo una tendencia de pérdida monetaria de los nutrientes en el suelo a lo largo del tiempo, siendo necesario complementar los niveles de estos nutrientes con fertilizantes artificiales. Los callejones hay una menor tendencia de pérdida monetaria en relación a los demás sistemas.

VI. CONCLUSIONES

1. Los niveles de amoníaco y nitrato en el suelo, son alterados con la adición de la materia orgánica en el suelo. El amoníaco, aumenta después de la adición de las enmiendas, pero, a lo largo del tiempo hay una reducción. Esto puede ser debido a la transformación en otras sustancias nitrogenadas, por ejemplo en nitrato, lixiviación o la utilización por el propio cultivo. El tratamiento que no recibe materia orgánica, presenta un aumento de los niveles hasta la cosecha del cultivo. Esto indica probablemente la capacidad competitiva de los árboles presentes o la inhibición por la propia materia orgánica. En los tratamientos con árboles, la reducción de los niveles no es tan drástica como en las parcelas que reciben mulch externo, indicando en este caso, la capacidad acumulativa de esta sustancia por los árboles, evitando pérdidas por lixiviación.

2. Los niveles de nitrato en el suelo, aumentan después de la aplicación de la enmiendas orgánicas, luego se reducen y finalmente aumentan. Este aumento superior puede ser debido a la transformación del amoníaco en esta sustancia, aumentando consecuentemente la disponibilidad para los cultivos.

3. Los sistemas del cultivo en callejones con los socios *Erythrina poeppigiana* y maíz en rotación con frijol y *Gliricidia sepium* asociado a frijol, son considerados sostenibles en este periodo de 13 años de ensayo, en términos de la no evidencia de competencia en estos sistemas. Hay competencia en algún periodo de tiempo por agua, pero que no llega a afectar la sostenibilidad de los sistemas.

4. En los callejones con *Gliricidia sepium* asociada a maíz con fertilización nitrogenada, fue detectada una interferencia de la biomasa arbórea con los respectivos cultivos, en términos de la incidencia de la radiación solar, debido a la densidad, y la respuesta positiva en cuanto a la fertilización nitrogenada, haciendo que sea competitiva por este nutriente con los cultivos. Esto es debido a la biomasa arbórea, que tiene una relación negativa de manera significativa con los rendimientos de maíz, o sea, en la medida que aumenta la producción de biomasa disminuye los rendimientos del cultivo. También hay que recordar como se comentó anteriormente, el efecto de la conformación de la estructura de la copa (extendida) y la densidad de los árboles en el campo (6 x 0,5 m), que dificulta la incidencia de la radiación solar sobre el cultivo, probablemente en la fase de llenado de grano, muy dependiente de este factor, lo cual limita la producción. La altura y el régimen de la poda, son aspectos que deben ser considerados cuanto al ajuste del sistema, con el objetivo de reducir la competencia por luz para el éxito de este sistema.

5. En cuanto a la competencia por nutrientes, parece no haber problemas porque el contenido de los nutrientes presentes en la biomasa de los cultivos, está en buena proporción, en ambos cultivos, tanto asociado a la *G. sepium* como a la *E. poeppigiana*

6. Los mayores rendimientos encontrados en los tratamientos que reciben enmiendas orgánicas son debido al aporte de materia orgánica relacionado al mantenimiento de la humedad, al aporte de los nutrientes al suelo. Estas ventajas se esperarían tanto para la aplicación de enmiendas orgánicas (mulch o estiércol) como para los callejones, sin embargo,

estos últimos tuvieron menores rendimientos de maíz, debido probablemente a los efectos competitivos de los árboles presentes en la área.

7. Los mejores resultados para frijol en el cultivo de callejones es debido quizás a un bajo requerimiento de la luz (por ser una planta C3) por ser un cultivo de ciclo corto, las posibilidades de competencia comparados con el maíz son menores. Además, de su relación positiva con la precipitación, o sea, responde positivamente a la variación de la precipitación.

8. La producción de la biomasa aérea de *Gliricidia* es mayor que la de *Erythrina*, y de estas, la primera produce más con la aplicación de fertilización nitrogenada, que la segunda, o sea, lo que indica que probablemente hay una interferencia en la asociación simbiótica, que hace que no responda a la fertilización nitrogenada. De esta forma, como la *Gliricidia* presenta más biomasa con fertilización, interferirá con más intensidad en la producción del maíz, por no ser este cultivo una leguminosa, ocasionando la competencia.

9. Los índices de cosecha más bajos para el maíz, puede indicar que las entradas al sistema de la planta en los cultivos en callejones están siendo utilizadas para la producción de biomasa en mayor proporción, y menos para la producción de grano.

10. Las relaciones positivas de la relación B/C para la mayoría de los tratamientos, excepto para los mulchs, es debido al alto uso de mano de obra y la necesidad de áreas adicionales para su producción. En general el tratamiento control es el que muestra las mayores

relaciones B/C indicando que los tratamientos no tradicionales no pueden justificarse con base en este indicador. Esta mayor relación para el tratamiento control es debido presentar los más bajos costos, debido no haber las etapas de poda, aplicación del mulch, transporte, etc. Aumentando de esta manera la relación beneficio/costo, mismo que los ingresos brutos no sean altos, en relación a los demás tratamientos.

11. El tratamiento control presenta una mayor tendencia degradante cuanto a los rendimientos a lo largo de los 13 años de ensayo, pero, al mismo tiempo estable, cuanto a la reducción. Esto muestra el carácter poco sostenible de esta agricultura tradicional (rotación de cultivos anuales) practicada actualmente por los agricultores. Pero, un punto importante es cuanto a la estabilidad de la tendencia degradante, o sea, las reducciones no son bruscas y sí lentamente.

12. Las ganancias brutas incrementales por unidad de costo total incremental o relación beneficio/costo ambiental, son mayores para los sistemas que reciben mulch de *Gliricidia* y para los cultivos en callejones sin fertilización con nitrato de amonio.

13. Las ganancias ambientales netas son negativas en todos los tratamientos. Esto indicaría que los tratamientos agroforestales solamente se justificarían como sustitutos del tratamiento tradicional (control) debido a la incorporación y cuantificación de externalidades tales como: control de la erosión, aporte de nutrientes al suelo, mantenimiento de la humedad, y en la estabilidad y sostenibilidad de los beneficios ecológico-económicos. Además, se

justificaría su adopción donde la mano de obra no es escasa, porque tanto los callejones como las parcelas que reciben mulch externo, son sistemas que requieren mano de obra intensiva, debido a las constantes podas de los árboles en la propia área o la utilización de material de cercas vivas, recuperación de barbechos, etc.

14. La determinación del impacto de la mejora ambiental, basados en los nutrientes presentes en el mulch aplicado en las parcelas, o sea, el valor de la mejora del ambiente por tonelada de mulch aplicada. Obtuvimos mayor impacto de la mejora del ambiente, para los tratamientos que reciben mulch externo de *Gmelina*, *Erythrina* y *Gliricidia*, con \$13,728, \$ 13,032 y \$ 13,017, respectivamente; estiércol y por último los callejones.

15. El balance ecológico-económico, o sea, la valoración de la mejora ambiental, por el aporte de nutrientes al suelo, a través del balance de nutrientes, mostró que los tratamientos control y en los callejones de las dos especies estudiadas, hay un balance negativo para el nitrógeno, cuando no se fertilizó con nitrato de amonio, no habiendo consecuentemente la mejora real del ambiente, porque las salidas fueron mayores que las entradas, o sea, está saliendo más por la cosecha. Vale la pena resaltar que los niveles de calcio fueron negativos solamente en el tratamiento que no se echó mulch, o sea, el control. Pero, a partir del momento que se hizo la fertilización nitrogenada, hubo un aumento de los niveles de nitrógeno en todos los tratamientos y del nivel de calcio en el control, contribuyendo consecuentemente a la mejora real del suelo. Pero, para los otros nutrientes, hubo una reducción, lo que ocasionó

consecuentemente un desequilibrio nutricional. Lo que indica que la dependencia externa, puede ocasionar desestabilización del sistema.

16. Además, un punto muy importante, es cuanto al aumento de la cantidad de nutrientes que sale por la cosecha, en la medida que se realiza la fertilización nitrogenada, pero, de todos los tratamientos, los requerimientos nutricionales de los cultivos es mucho más pequeño do que está siendo aplicado. Es claro que contribuye a la mejora del ambiente, pero, digamos que está teniendo un costo innecesario con la fertilización, o sea, se reduce la cantidad que está siendo aplicada, no habría problemas cuanto a las necesidades nutricionales de los cultivos, o sea, está teniendo un exceso de los nutrientes principalmente de Nitrógeno, desequilibrando nutricionalmente los demás. Entonces, si es necesario fertilizar, pero se podría hacer en una proporción más baja, para que no hayan altos costos

17. De esta manera, hubo necesidad de realizar la fertilización en los tratamientos control y en los callejones, pero, para no haber un costo innecesario, como fue hablado anteriormente, podría disminuir un poco más la cantidad de fertilizante que está siendo suministrada. Como en este caso la madre naturaleza no está aportando las cantidades mínimas exigidas es necesario adquirir tales nutrientes en el mercado. En los tratamientos que reciben mulch, observamos que no vale la pena realizar la fertilización debido que las necesidades nutricionales de los cultivos están siendo supridas, además está quedando todavía en el suelo, solamente con los aportes provenientes de la madre naturaleza. Indicando de esta forma, el carácter sostenible de esta sistema.

En el tiempo, los sistemas de cultivo en callejones pierden monetariamente menos fósforo en el suelo y aumento del potasio, calcio y magnesio. Los sistemas que reciben mulch externo pierden más fósforo que los callejones, también aumentando los niveles de potasio, calcio y magnesio. Todos los sistemas pierden nitrógeno a lo largo del tiempo.

VII. RECOMENDACIONES

1. Para el éxito de la sostenibilidad del sistema del cultivo en callejones, precisamente el asocio de *Gliricidia sepium* y maíz con fertilización nitrogenada, sería deseable primeramente comprobar se está teniendo competencia por la luz, determinando la radiación solar que está siendo absorbida realmente por los cultivos. Entonces, se la cantidad de radiación está abajo de los niveles críticos para suplir las necesidades del cultivo, se recomendaría reducir la densidad del componente arbóreo que presenta originalmente 6 x 0,5 m, para en el mínimo 6 x 1 o 6 x 1,5 m. En este caso, habrá un inconveniente cuanto a la reducción de la producción de la biomasa arbórea, pero, consecuentemente disminuirá la competencia. En este caso específico, habría solamente un único costo referente a la eliminación de los árboles. Pero también, una otra opción sería probar la posibilidad de ejecutar una poda de los árboles, poco antes del inicio del llenado de grano de maíz. Pero esto no compensaría en términos económicos debido al aumento de los costos de la poda, disminuyendo la viabilidad económica de este sistema. O una otra opción sería no realizar la fertilización nitrogenada, para que haya reducción de la producción de biomasa, debido a que la *G. Sepium* responde positivamente la fertilización, permitiendo la incidencia de la radiación solar para los cultivos.

2. Un punto importante cuando se evalúa un sistema agroforestal de mediano a largo plazo, es fundamental que la base de datos sea bien ordenada, e relación a la facilidad de la identificación de las variables, unidades, formas de cálculo, y que tengan los registros mínimos indispensables para la ejecución del trabajo.

3. Sería necesario que otros trabajos agroforestales siguieran la misma línea de este, es decir, incluir tanto los aspectos biofísicos como ecológicos-económicos, para realmente probar la viabilidad del sistema agroforestal en cuestión, permitiendo que se haga la transferencia de tecnología a los agricultores, que es la meta principal para atingir.

4. El concepto de rentabilidad ecológico económica en función del concepto de valor de uso en términos del balance de nutrientes traducidos este en materia económica, probó ser una herramienta extremadamente interesante como base para profundizar en el análisis económico de los sistemas agroforestales.

5. Para si realizar una análisis económico-ecológico agroforestal, es necesario que los economistas y físico biólogos desarrollen un trabajo conjunto y estrecho en la planificación total del experimento. Si cre firmemente que el análisis ecológico económico agroforestal podría ser una aplicación muy útil para lograr: producir conservando y conservar produciendo

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, J. A. 1995. Elementos de Economía Ambiental Aplicada a la Agroforestería. En publicación, CATIE.
- BARNETT, V. C.; Landaus, S.; Welham, S. J. Measuring sustainability. 1994. In: *Environmental and Ecological Statistics 1*. pg. 21-36.
- BENITES, J.R. 1990. Agroforestry systems with potential for acid soils of the humid tropics of Latin America and the Caribbean. *Forest Ecology and Management* 36: 81-101.
- CARTER, J. 1995. Alley farming: have resource-poor farmers benefited? ODF. *Natural Resource perspectives*.
- CORLETT, J.E. Ong, C.K. y Black, C.R. 1989. Microclimatic modification in intercropping and alley-cropping systems. In: Reifsnnyder, W.S. and Darnhofer, T.O (eds.), *Meteorology and Agroforestry*, pp. 419-430. ICRAF, Nairobi, Kenya.
- COULSON, C.L.; Mungai, D.N.; Stigter, C.J.; Mwangi, P.W. y Njiru, D.M. 1989. Studies of sustainable crop improvement through an agroforestry intervention. University of Nairobi/Kenya Forest Res. Inst./Kenya Agri. Res. Inst., Nairobi, Kenya (unpubl. report).
- DUGUMA, B.; Kang, B.T. y Okali, D.U.U. 1988. Effect of pruning intensities of three woody leguminous in alley cropping with maize and cowpea on an alfisol. *Agroforestry Systems* 6:19-35.
- ETHERINGTON, J.R. 1975. *Environment and Plant Ecology*. John Wiley, London. UK.
- EVESEN, C.L. y Yost, R.S. 1990. The growth and lime replacement value of three woody green manures produced by alley cropping in west Sumatra. In: Moore, E. (ed), *Agroforestry land-use systems*, pp. 109-112. NFTA. Waimanalo. Hawaii, USA.
- FASSBENDER, H. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2 ed. CATIE. Turrialba. 530p.
- FERNANDES, E.C.M., Davey, C.B. y Sanchez, N.C. 1990. Alley cropping on an Ultisol: Mulch, fertilizer and hedgerow root pruning effects. *Agronomy Abst.* 56.
- FERNANDES, E.C.M. 1990. Alley cropping on acid soils. Ph. D. Thesis Department of soil Sci. North Carolina.
- FERREIRA, P. Tavares, F. Aguirre, J. y Kass, D. 1995. Estabilidad y Sostenibilidad de la relación beneficio/costo en un experimento agroforestal de rotación maíz-frijol, CATIE.
- GRIME, J.P. 1979. *Plant Strategies and Vegetation Processes*. John Wiley, London, UK.

- GUEVARA, C. 1976. Management of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de wit for maximum yield and nitrogen contribution to intercropped corn. Thesis, Ph. D., Honolulu, Unisversity of Hawaii. 126p.
- HAGGAR, J.P. 1990. Nitrogen and Phosphorus dynamics of systems integrating trees and annual crops in the tropics. Doctor Thesis. Cambridge. University of Cambridge. 162p.
- HAGGAR, J.P. 1993. Nitrogen dynamics of tropical agroforestry and annual cropping systems. In: Soil Biol. Biochem. Vol. 25, No. 10, p. 1363-1378.
- HOLDRIGE, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 216p.
- HUXLEY, P.A. 1983. Plant research and agroforestry. Nairobi, Kenia, ICRAF 617p.
- ICRAF. 1989. Annual Report for 1988. International Council for Research in agroforestry, Nairobi, Kenya.
- ICRISAT. 1989. Annual Report for 1988. International Crops Research Institute for the Semiarid Tropics, Hyderabad, India.
- JIMENEZ, O. F. 1995. Clima y Agricultura con énfasis en Agroforesteria. CATIE, Costa Rica. 21p.
- KANG, B. T.; WILSON, G.F.; SIPKENS, L. 1981. Alley cropping maize (*Zea mays*) and *Leucaena leucocephala* Lam. in Southern Nigeria. Plant and Soil (Holanda) 63 (2):165-179.
- KANG, B.T.; WILSON, G.F.; LAWSON, T.L. 1987. Cultivo en hileras. una opción estable a la agricultura nómada. IICA. Nigeria.
- KANG, B.T.; REYNOLDS. L. and ATTA-KRAH, A.N. 1990. Alley farming Adv. Agron. 43:315-359.
- KASS, D. 1987. Alley cropping of annual food with woody legumes in Costa Rica. In: Beer, J.W., Fassbender, H.W., y Heuveldop, J. (eds.), Advances in Agroforestry Research : Proceedind of a Seminar, pp. 197-208. CATIE, Costa Rica.
- KASS, D.; Araya, J.F. 1987. Alley cropping with *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. on farmers field in Costa Rica. In *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. management and improvement NFTA Spec. Púb. 87-01. p.50-58.
- KASS, D.C.L.; Barrantes, A.; Bermudez, W.; Campos, W.; Jimenez, M. y Sanchez, J. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivo en callejones (alley cropping) en "La Montaña". Turrialba, Costa Rica. El Chasqui 19: 5-14.

- LAWSON, T.L. y Kang, B.T. 1990. Yield of maize and cowpea in an alley cropping system in relation to available light. *Agric. For Meteorology* 52: 347-357.
- MONCADA, R. G. 1995. La Sostenibilidad y el Desarrollo agrícola. Pgs. 117-128. In: *El desarrollo sostenible: un desafío a la política económica agroalimentaria*. 1ª de. San José, CR: DEI, 1995. 280 p. (Colección ecológica-teología)
- MONTAGNINI, F. et al. 1992. *Sistemas agroforestales: en los trópicos*; 2a ed.; San José, Costa Rica: Organización para Estudios Tropicales. 622p.
- MUNLOGOY, K.; SANGINGA, N. 1990. Nitrogen contribution by *Leucaena* in Alley cropping. *IITA Reserach* (1): 14-17.
- NAIR, P.K.R. 1987. Soil productivity under agroforestry. In: Gholz, H.L. (ed.), *Agroforestry: Realities, Possibilities and Potentials*, pp. 21-30. Martinus Nihoff, Dordrecht, The Netherlands.
- NAIR, P.K.R. 1993. *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer Academic Publisher. 499 p.
- NEWMAN, E.I. 1983. Interactions between plants. In: Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B. and Ziegler, H. (eds.), *Physiological Plant Ecology III. Encyclopedia of Plant Physiology*, Vol. 12C. Springer, Berlin, Germany.
- NEUMANN, F. Y Pietrowicz, P. 1989. Light and water availability in fields with and without trees. An example from Nyabisindu in Rwanda. In: Reifsnyder, W.S. and Darnhofer, T.O. (eds.), *Meteorology and Agroforestry*, pp. 401-406. ICRAF, Nairobi, Kenya.
- PALM, C.A. y Sanchez, P.A. 1990. Decomposition and Nutrient Release Patterns of the Leaves of Three Tropical Legumes. *Biotropica* 22(4): 330-338.
- RAINTREE, J.B. y Warner, K. 1986. Agroforestry pathways for intensification of shifting agriculture. *Agroforestry systems* 4: 39-54.
- SALAZAR, A. 1990. Cultivo en callejones. Algunos resultados de Investigación en Turrialba-Cuenca Amazónica del Perú (mimeografiado).
- SALAZAR, A. 1991. Cultivo en callejones, algunos resultados de investigación en Yurimaguas, Cuenca Amazonica de Peru. p. 677-674 en T.J. Smyth, W.R. Raun, y F. Bertsch, eds. *Manejo de suelos tropicales en Latinoamérica*. Soil Science Dept. North Carolina Státe University. Raleigh, USA.
- SALAZAR, A.; Szott, L.T. y Palm, C.A. 1993. Crop-tree interactions in alley cropping systems on alluvial soils of the Upper Amazon Basin. *Agroforestry Systems* 22: 67-82.

- SANCHEZ, P.A. 1987. Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. In: Stepler, H.A.; Nair, P.K.R. (eds.) *Agroforestry: a decade of development*. Nairobi, Kenya, ICRAF. p. 205-223.
- SINGH, R.P., Ong, C.K., y Saharan, N. 1989. Above and below ground interactions in alley-cropping in semiarid India. *Agroforestry Systems* 9:259-274.
- SZOTT, L.T. 1987. Improving the productivity of shifting cultivation in the Amazon basin of Peru through the use of leguminous vegetation. Ph. D. thesis. North Carolina State Univ. Raleigh, USA.
- ODIGI, G.A.; Abu, J.E. y Adeola, A.O. 1989. Effect of alley width and pruning height on crop yields in Gambari, southwestern Nigeria. Paper presented at the International Conference on Agroforestry, July 1989; University of Edinburgh, UK.
- O'SULLIVAN, T.E. 1985. Farming systems and soil management: The Philippines/Australian development assistance program experience. In: Craswell, E.T., Remenyi, J.V., y Nallana, L.G. (eds.), *Soil Erosion Management*, ACIAR Proceedings Series 6, pp. 77-81. ACIAR, Canberra, Australia.
- YAMOAHI, C.F.; AGBOOLA, A.A.; WILSON, G.F. 1986. Nutrient contribution and maize performance in Alley cropping systems. *Ag. systems* 4:247-254.
- YOUNG, A. 1989. *Agroforestry for Soil Conservation*. ICRAF, Nairobi and CAB International, Wallingford, UK.

ANEXOS

Cuadro A1. Análisis de varianza para los niveles de amoníaco y nitrato. Experimento CATIE-Turrialba, 1995.

FUENTE DE VAR.	GL.	CUADRADO MEDIO	
		Amoniaco	Nitrato
BLOQUE	2	58,2353	82,3059
TRAT	6	68,0001	54,8886**
BLO*TRAT	12	74,9602	11,6207
FERT	1	46,5618	348,7596
TRAT*FERT	6	89,1931	16,2198
BLO*F(TRAT)	14	66,2818	21,5319
FECHA	3	54,2781	666,7479
TRAT*FECHA	18	99,5937	50,9757**
FECHA*FERT	3	51,4797	76,2069**
TRAT*FECHA*FERT	18	58,2898	10,3763**

** Significativa al 1%.

Cuadro A2. Análisis de varianza para los rendimientos de frijol y maíz . Experimento CATIE, Turrialba, 1995.

FUENTE DE VAR.	GL.	CUADRADO MEDIO	
		REND. FRIJOL	REND. MAIZ
BLOQUE	2	$6,9 \cdot 10^5$ **	$6,08 \cdot 10^5$
TRAT	6	$14,25 \cdot 10^5$ **	$164,06 \cdot 10^5$ **
BLO*TRAT	12	$1,73 \cdot 10^5$ **	$10,28 \cdot 10^5$ **
FERT	1	$19,39 \cdot 10^5$ **	$125,55 \cdot 10^5$ **
TRAT*FERT	6	$6,4 \cdot 10^4$	$7,65 \cdot 10^5$
BLO*A(TRAT)	14	$1,17 \cdot 10^5$ **	$6,10 \cdot 10^5$
ANO	11	$103,35 \cdot 10^6$ **	$315,08 \cdot 10^5$ **
TRAT*ANO	66	$1,80 \cdot 10^5$ **	$11,61 \cdot 10^5$ **
ANO*FERT	11	$1,90 \cdot 10^5$ **	$15,35 \cdot 10^5$ **
TRAT*ANO*FERT	64	$3,77 \cdot 10^4$	$3,81 \cdot 10^5$

** Significativa al 1%.

Cuadro A3. Analisis de varianza para los indices de cosecha de los cultivos de maíz y frijol.
CATIE, Turrialba, 1995.

FUENTE DE VAR.	GL.	CUADRADO MEDIO	
		ICF	ICM
BLOQUE	2	0,984	0,011
TRAT	6	0,317	0,033**
BLO*TRAT	12	0,566	0,057
FERT	1	0,960	0,025*
TRAT*FERT	6	0,526	0,004
BLO*A(TRAT)	14	0,626	0,003
ANO	11	179,01**	0,1845**
TRAT*ANO	65	0,2062	0,0067
ANO*FERT	11	0,6821	0,0116*
TRAT*ANO*FERT	65	0,5193	0,0045

*, ** Significativa al 5 y 1%, respectivamente.

Cuadro A4. Variación a lo largo del tiempo de la producción de biomasa arbórea (ton/ha/año)
de *Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium*, con y sin fertilización nitrogenada.
CATIE, Turrialba, 1995.

ANOS	Eryt. -N	Eryt. N	Gliric. -N	Gliric. N
1,5	2483	1841	3320	6578
2,0	2583	1634	3257	4124
2,5	4993	3020	6349	9981
3,0	4872	3081	4572	4984
3,5	6208	3976	9510	1073
4,0	4989	3202	7154	7645
4,5	5812	3010	6097	5849
5,0	3724	2010	6893	7196
5,5	5868	3462	8268	7956
6,0	4007	2362	7083	6755
6,5	5586	2923	2766	3184
7,0	1949	1483	2145	2319
7,5	1326	1029	3531	3383
8,0	2315	1174	2080	1864
8,5	2326	1876	4461	3128
9,0	4642	3051	6542	4993
9,5	3477	2094	3803	3993
10,0	3380	2095	3747	3993
10,5	2342	1825	2955	2783
11,0	5970	7381	3868	3585
11,5	2720	2119	3906	3459
12,0	2361	2064	2809	3099
12,5	1451	1300	2983	3099
13,0	1417	1287	1298	1233

Cuadro A5. Variación en el tiempo de la relación Beneficio/Costo, de los tratamiento: control, mulch de *Erythrina*, estiércol, mulch de *Gmelina*, mulch de *Gliricidia*, callejones de *Erythrina* y *Gliricidia*. CATIE, Turrialba, 1995.

a. Control

ANO	SIN N	CON N
1	2.176	2.314
2	2.276	2.517
3	1.756	3.124
4	1.363	1.395
5	1.143	1.555
6	1.151	1.268
7	0.985	0.947
8	0.786	1.088
9	1.246	1.429
10	1.373	1.893
11	1.357	0.768
12	0.748	1.111
13	1.036	1.075

b. Mulch de *Erythrina*

ANO	SIN N	CON N
1	1.649	1.555
2	1.701	1.741
3	2.215	1.579
4	1.188	1.112
5	1.221	1.367
6	1.078	1.032
7	0.749	0.715
8	1.134	0.963
9	0.918	1.192
10	1.670	2.617
11	0.556	0.466
12	0.565	0.591
13	0.913	0.677

c. Estiércol

ANO	SIN N	CON N
1	1.399	1.574
2	1.553	1.626
3	1.408	1.636
4	1.123	1.206
5	1.004	1.426
6	0.986	1.141
7	0.678	0.671
8	0.800	1.005
9	0.900	0.997
10	1.850	2.116
11	0.740	0.663
12	0.634	0.763
13	0.982	0.825

d. Mulch de *Gmelina*

ANO	SIN N	CON N
1	1.505	1.569
2	1.433	1.451
3	1.314	1.375
4	1.261	1.103
5	1.148	1.154
6	1.084	1.136
7	0.572	0.620
8	0.563	0.736
9	0.927	1.017
10	1.293	1.731
11	0.702	0.442
12	0.704	0.884
13	0.849	0.773

e. Mulch de *Gliricidia*

ANO	SIN N	CON N
1	1.517	1.190
2	1.694	1.430
3	1.413	1.222
4	1.276	0.962
5	1.325	1.104
6	1.197	0.778
7	0.750	0.561
8	0.824	0.684
9	1.221	0.995
10	2.474	2.663
11	1.035	0.390
12	0.930	0.577
13	1.380	0.629

f. Callejón de *Erythrina*

ANO	SIN N	CON N
1	1.218	1.206
2	1.894	1.895
3	1.720	1.635
4	1.226	1.125
5	1.266	1.187
6	1.238	1.256
7	0.808	0.759
8	0.681	0.738
9	1.112	1.137
10	1.667	1.526
11	0.372	0.418
12	0.577	0.461
13	2.209	0,560

g. Callejón de *Gliricidia*

ANO	SIN N	CON N
1	1.144	1.573
2	1.633	2.018
3	1.502	1.940
4	1.083	1.289
5	1.033	1.212
6	1.133	1.535
7	0.900	1.002
8	0.871	0.874
9	1.085	1.469
10	2.560	4.444
11	0.518	0.866
12	1.057	1.572
13	1.133	1.571

Cuadro A7. Correlaciones de los rendimientos de maíz y frijol en los callejones de *E. poeppigiana* y *G. sepium* entre la precipitación, radiación y biomasa arbórea.

Cuadro A7.1. Cultivo de frijol con nitrógeno

	PREC	RAD	BIO
CE	0,7589 (0,0042)	-0,0681 (0,8335)	0,39729 (0,2010)
CGI	0,8507 (0,0005)	-0,2211 (0,4897)	0,45593 (0,1363)

Cuadro A7.2. Cultivo de frijol sin nitrógeno

	PREC	RAD	BIO
CE	0,899 (0,0001)	0,3766 (0,2275)	0,37664 (0,2275)
CGI	0,4924 (0,1039)	0,0285 (0,9336)	0,0567 (0,854)

Cuadro A7.3. Cultivo de maíz sin nitrógeno

	PREC	RAD	BIO
CE	0,753 (0,0048)	-0,146 (0,6497)	0,439 (0,153)
CGI	0,236 (0,48)	0,08323 (0,8078)	0,4435 (0,129)

Cuadro A7.4. Cultivo de maíz con nitrógeno

	PREC	RAD	BIO
CE	0,694 (0,0123)	-0,233 (0,3901)	0,00419 (0,9897)
CGI	0,38 (0,24)	0,0285 (0,9336)	0,0567 (0,01)

CE = Callejón de *E. poeppigiana*

Cgl = Callejón de *G. sepium*

PREC = Precipitación

RAD = Radiación

BIO = Biomasa arbórea