

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
SUBDIRECCION GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA
PROGRAMA DE POSGRADO

TESIS

DINAMICA DEL NITROGENO EN UN CULTIVO EN CALLEJONES DE PORO
Erythrina poeppigiana (WALPERS) O. F. COOK Y MADERO NEGRO
Gliricidia sepium (Jack) Steud CON FRIJOL COMUN Phaseolus
vulgaris L.

Tesis sometida a consideración del Comité Técnico Académico
del Programa de Estudios de Posgrado de Ciencias Agrícolas y
Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de
Investigación y Enseñanza

Tesis Magister Scientiae

por

MILAGRO LEON ESCOBAR MUNERA

Turrialba, Costa Rica

Septiembre de 1990

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

MAGISTER SCIENTIAE

COMITE ASESOR:

Carlos Ramírez, Ph.D.
Profesor Consejero

Germán Sánchez, Ph.D.
Miembro del Comité

Donald Kass, Ph.D.
Miembro del Comité

Roberto Díaz, M.S.
Miembro del Comité

Ramón Lastra Rodríguez, Ph.D.
Coordinador, Programa de Estudios de Posgrado

Dr. José Luis Parisí
Subdirector General Adjunto de Enseñanza

Milagro León Escobar Múnera
Candidato

DEDICATORIA

Con todo mi amor a mi esposa María del Rosario quien supo comprender y actuar con fortaleza en todo momento.

A mis adoradas hijas María Inés y Ana Mercedes, quienes vinieron a este mundo durante el desarrollo de la Maestría.

A mi querida madre Ana Elisa y mis hermanos Carlos Julio, Luz Mercedes, María Elena, Jairo Luis, Víctor Manuel y Silvio Alberto. Mis sobrinos Juan Camilo y Juan Carlos.

A mis tíos Eligio, Libardo, Mercedes, Joaquín y Carlos, mi suegro Heriberto y demás familiares.

A la memoria de mi hijo Jesús María, mi padre Carlos Arturo, mis tíos Juan Pablo, Luis, Bertha e Isaías, mis abuelas Tulia Rosa y Carmen y mi suegra María Inés.

Al pueblo de Colombia.

A los productores pequeños de Latinoamérica.

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor Carlos Ramírez mi profesor consejero cuyos consejos y apoyo fueron importantes para la realización de la tesis.

Al Proyecto Arboles Fijadores de Nitrógeno y su Líder Germán Sánchez por el apoyo financiero del trabajo, al Doctor Donald Kass por sus sugerencias y a los empleados y trabajadores del Proyecto por la ayuda que me dieron.

A la Organización de Estados Americanos por la adjudicación de la Beca que me permitió estudiar en CATIE.

Al Doctor Ramón Lastra y el señor Gerardo Martínez por su colaboración en asuntos logísticos.

Al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y el Ambiente de Colombia por permitirme venir a estudiar la maestría.

A Don Joaquín Salazar, Rigoberto Núñez, Doctor Roberto Díaz, Mario Jiménez, Ana Aguirre, Patricia Leandro, Gustavo Ortiz y Carlos Castillo quienes colaboraron en los análisis químicos.

Al Doctor Pedro Oñoro y al personal del Centro de Cómputo quienes colaboraron en los análisis estadísticos.

A los profesionales colombianos de CATIE y sus esposas, por su apoyo y amistad sincera.

A la familia Barrantes y al Doctor Donald Masterson por su permanente colaboración.

A todas aquellas personas que de una u otra forma aportaron su granito de arena para salir adelante en esta tarea.

BIOGRAFIA

El autor nació en Sopetrán, Departamento de Antioquia, Colombia, en Marzo 1 de 1953.

En 1964 terminó sus estudios primarios en al escuela Jorge Robledo, del municipio de Sta. Fé de Antioquia. En 1970 obtuvo el título de Bachiller en el Liceo San Luis Gonzaga del mismo municipio.

En junio de 1980 recibió el título de Ingeniero Forestal en La Universidad nacional de Colombia, sede Medellín.

Trabajó en Maderas del Riosucio de junio de 1979 a enero de 1981, en donde realizó trabajos sobre inventarios forestales, silvicultura tropical, explotación forestal e industrias de la madera.

Desde febrero de 1981 hasta la fecha trabaja en el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y el Ambiente en el Servicio Nacional de Protección Forestal, en donde ha realizado trabajos sobre Nutrición y Fertilización Forestal.

En septiembre de 1988 ingresó al programa de postgrado de CATIE, recibiendo en septiembre de 1990 el grado de Magister Scientiae con énfasis en Agroforestería.

INDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE	vi
RESUMEN	viii
SUMMARY	x
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE FIGURA	xv
APENDICE	xvii
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. PRODUCCION DE BIOMASA (mulch) DE <u>Erythrina poeppigiana</u> , <u>Gliricidia sepium</u> y <u>Gmelina arborea</u>	3
2.2. EFECTO DEL MULCH EN LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO	6
2.3. EFECTO DEL MULCH SOBRE LOS PARAMETROS EDAFICOS	7
2.3.1. Acidez del suelo	7
2.3.2. Materia Orgánica	9
2.3.3. Nitrógeno	12
2.3.4. Capacidad de Intercambio Catiónico	17
2.3.5. Fósforo, bases intercambiables y elementos menores	18
2.4. EL CULTIVO DEL FRIJOL	19
2.4.1. Rendimiento del cultivo	19
2.4.2. Fijación de nitrógeno	20
2.4.3. Efecto del nitrógeno inorgánico sobre la fijación	21
3. MATERIALES Y METODOS	23
3.1. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO	23
3.2. SUELOS	23
3.3. HISTORIA GENERAL DEL ENSAYO	26
3.4 UNIDAD EXPERIMENTAL	27
3.5. TRATAMIENTOS	30
3.5.1. Control (C)	30
3.5.2. Mulch de poró (MP)	30
3.5.3. Estiércol de vaca (M)	31
3.5.4. Mulch de Gmelina (MGM)	31
3.5.5. Mulch de Gliricidia (MGL)	31
3.5.6. Cultivo en Callejones de poró (PCC)	31
3.5.7. Cultivo en Callejones de Gliricidia (GCC)	32
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL	35
3.7. VARIABLES EDAFICAS	36

3.7.1. Mineralización de nitrógeno en el suelo (NM)	36
3.7.2. Otros parámetros de la fertilidad del suelo	38
3.8. VARIABLES FISIOLÓGICAS DEL CULTIVO	38
3.8.1. Biomasa de hoja-tallo, raíces y vainas	39
3.8.2. Determinación de la producción de grano	39
3.8.3. Contenido de nutrimentos en las hojas	40
3.8.4. Rizobio nativo en el suelo	41
3.9. EVALUACION ESTADISTICA	42
4. RESULTADOS Y DISCUSION	48
4.1. DINAMICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO	48
4.1.1. Nitrógeno	48
4.1.2. Materia Orgánica	59
4.1.3. Acidez del suelo	61
4.1.4. Bases Intercambiables	62
4.1.5. Fósforo y Elementos Menores	63
4.1.6. Contenido de humedad	64
4.2. COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DEL FRIJOL	67
4.2.1. Producción de biomasa	67
4.2.2. Índice de cosecha	68
4.2.3. Componentes del Rendimiento	68
4.2.4. Rendimiento del cultivo	70
4.2.5. Nutrición Mineral	72
4.2.6. Fijación de nitrógeno	76
4.3. DINAMICA DEL NITROGENO	78
4.3.1. Disponibilidad de nitrógeno en el suelo	78
4.3.2. Comportamiento del nitrógeno disponible durante el ciclo del cultivo	81
4.3.2.1. Período vegetativo	81
4.3.2.2. Período reproductivo	82
5. CONCLUSIONES	84
6. RECOMENDACIONES	86
7. BIBLIOGRAFIA	87

RESUMEN

ESCOBAR MUNERA, M. L. 1990. Dinámica del nitrógeno en cultivos en callejones de Poró Erythrina poeppigiana y madero negro Gliricidia sepium con frijol común Phaseolus vulgaris

Palabras claves: Cultivo en callejones, Erythrina poeppigiana, Gliricidia sepium, frijol, nitrógeno, mineralización, fijación, rendimiento, fertilidad, suelo, disponibilidad, Rhizobium, reciclaje de nutrimentos, sostenibilidad.

Esta investigación se realizó en el experimento de cultivos en callejones de La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, el cual se estableció en el año de 1982 con el objetivo de evaluar el comportamiento agronómico de cultivo en callejones del poró (Erythrina poeppigiana) y el madero negro (Gliricidia sepium) en asocio con cultivos anuales, que desde 1985, han sido maíz (Zea mays) en rotación con frijol común (Phaseolus vulgaris). El diseño del experimento se incluyeron otros tratamientos a saber: mulches de poró y madero negro, mulch de Gmelina arborea, estiércol de vacuno, todas con una fertilización base anual de PK ($40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$, $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$). Además existen otras parcelas extras con aplicaciones orgánicas (poró y estiércol) sin fertilización. La mitad de todas las parcelas grandes, sin incluir las extras, recibieron una fertilización con N ($25,3 \text{ kg ha}^{-1}$). Consistentemente la producción de ambos cultivos ha sido mayor, cerca de $1 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ en el caso del maíz y alrededor de $600 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en el de frijol, sobre el control. En años anteriores además se han estudiado diversos parámetros edáficos con el fin de estudiar los cambios inducidos por los cultivos en callejones que puedan estar asociados con los aumentos en la producción.

En esta ocasión se estudió el ciclo del frijol que se sembró en diciembre de 1989 y se cosechó en marzo de 1990. Se evaluó la dinámica del nitrógeno disponible en el suelo, a través del nitrógeno mineralizado mediante incubación anaeróbica durante el ciclo del cultivo y su relación con el rendimiento del frijol Phaseolus vulgaris. Se estudió además algunos parámetros químicos asociados con la fertilidad del suelo en el ciclo del cultivo. Al mismo tiempo se analizó la respuesta del cultivo tomando en cuenta los parámetros índice de cosecha, componentes del rendimiento, absorción de nutrimentos y la fijación de nitrógeno mediante la técnica de ureidos. Además se hizo el recuento de rhizobio nativo mediante la prueba del número más probable.

Para el análisis estadístico se empleó un diseño en parcelas divididas con siete tratamientos, dos niveles de nitrógeno y tres repeticiones. Los cambios en los parámetros del suelo antes de la siembra y después de la cosecha se estudiaron mediante la prueba T de student. El efecto de los tratamientos sobre la humedad del suelo y la mineralización de nitrógeno por incubación anaeróbica se analizó usando el modelo de parcelas subdivididas en el tiempo. Las respuestas del frijol en producción de biomasa, rendimiento, concentración foliar de nitrógeno y ureidos a los tratamientos, fertilización con N y fertilización con PK, se evaluaron usando el modelo de parcelas divididas. La contribución de los componentes

del rendimiento sobre la cosecha de grano, se evaluó usando el modelo de regresión múltiple. Las relaciones contenido de humedad vs nitrógeno mineralizado, nitrógeno mineralizado vs rendimiento, biomasa total vs rendimiento y nitrógeno foliar vs rendimiento relativo, se analizaron utilizando el paquete estadístico de Palmer.

En la evaluación de los parámetros edáficos se encontró que la materia orgánica aumentó aproximadamente en un 8% en comparación con la que había al inicio del experimento; sin embargo, ésta bajó ligeramente de $58,6 \text{ mg.g}^{-1}$ a $53,1 \text{ mg.g}^{-1}$ durante el ciclo del frijol; así la MO parece mantenerse en el tiempo, pero dicha sostenibilidad fue similar en todos los tratamientos.

En el tratamiento con mulch de poró se obtuvo el mayor rendimiento del frijol ($1573.9 \text{ Kg. ha}^{-1}$) a pesar de que en los cultivos en callejones se obtuvo la mayor biomasa. La fertilización con nitrógeno afectó aparentemente de manera negativa la fijación de N_2 , ya que la concentración de ureidos fue menor en la floración y en el inicio del llenado de las vainas, esta posiblemente causó la disminución significativa del rendimiento. El recuento de rhizobio hecho a la floración fue mayor por un factor de alrededor 100 en los tratamientos con mulch de poró y cultivo de callejones con poró y madero negro lo cual sugiere un efecto de las leguminosas arbóreas sobre la población nativa cuyas consecuencias agronómicas y ecológicas han de evaluarse en trabajos futuros. La fertilización base con PK no influyó significativamente en el rendimiento, indicando que las enmiendas orgánicas, mulch de poró y estiércol, pueden formar la base de una producción sostenible al igual que los cultivos de callejones.

La adición de enmiendas orgánicas aumentó el índice de mineralización de N en el suelo, a su vez éste fue mayor durante el ciclo vegetativo del cultivo y menor en el ciclo reproductivo, especialmente entre la floración y el inicio del llenado de las vainas en donde el índice bajó en promedio de $56,1$ a $29,2 \text{ } \mu\text{g.ml}^{-1}$ de amonio. En el período vegetativo del frijol el índice de mineralización estuvo gobernado por la humedad del suelo, pero la caída de éste índice entre la floración y el inicio del llenado de vainas posiblemente fue por una mayor absorción de N por el cultivo. La baja correlación entre el N_{min} y el rendimiento ($R^2 = 0,07$) pudo deberse a que la fijación de nitrógeno enmascaró la relación, tal como lo confirmó el alto contenido de ureidos en las plantas; la cual pudo a su vez ser coadyuvada por la contribución del mulch al N disponible del suelo.

Se encontró que el principal factor limitante del rendimiento del frijol fue posiblemente el nitrógeno y en forma preliminar se determinó un nivel crítico de requerimiento interno de $4,8 \%$ N. Aparentemente la fijación de N_2 en el frijol está desempeñando un papel importante en el rendimiento de éste y es de esperarse que también esté afectada por el N disponible a lo largo del desarrollo del cultivo. En un futuro debería estudiarse este aspecto así como la contribución de la fijación de N de los árboles al sistema.

SUMMARY

ESCOBAR MUNERA, M.L. 1990. Nitrogen dynamics in alley cropping with poró (Erythrina poeppigiana), madero negro (Glyricidia sepium) and common bean (Phaseolus vulgaris).

KEYWORDS: Alley cropping, Erythrina poeppigiana, Phaseolus vulgaris, Glyricidia sepium, beans, nitrogen fixation & mineralization, yields, fertility, soil, availability, rhizobium, nutrient cycling, sustainability.

This study was carried out within the alley cropping experiment established in 1982 at La Montaña experimental station, CATIE, Turrialba, Costa Rica. The overall purpose of the experiment is to study of poró and madero negro associated with crop rotations of corn and beans (Zea mays, Phaseolus vulgaris). The experimental design included poró and madero negro mulch, Gmelina arborea mulch and cow dung. All of these treatments were combined with fertilization with P and K (40 kg/ha P_2O_5 , 80 kg/ha K_2O). Additional plots were established with only organic fertilization.

Half the large plots, (excluding additional plots) received N fertilization (25,3 kg/ha). The production of both crops has been consistently greater with organic additives as compared to control plots (1 t.m./ha for corn, 600 kg/ha for corn). In previous years edaphic conditions have been studied in relation to production gains related to alley cropping.

This study examined the bean cropping cycle from December 1989 until harvest in March 1990. Nitrogen soil dynamics were analyzed in terms of mineralization via anaerobic incubation. Other parameters related to soil fertility were also studied. At the same time crop response was studied through the harvest index, yield components, nutrient absorption and nitrogen fixation via ureides content at flowering and pod fill initiation. The native Rhizobium count was enumerated using the most probable number test.

The experimental design employed divided plots with 7 treatments, 2 levels of N and 3 repetitions. Changes in soil parameters (pre-planting and post-harvest) were analyzed using Student's T test. Soil humidity and anaerobic incubation were analyzed through temporally divided plots. The response of Phaseolus in terms of biomass production, yield, foliar nitrogen concentration and ureides in relation to the treatments were evaluated using the divided plots model. Bean production was analyzed using multiple regression models. The relations water content vs. nitrogen mineralization, yield vs. nitrogen mineralization, biomass vs. yield and foliar nitrogen vs. yield were analyzed using Palmer's Statistical Package.

Organic material increased 8% with respect to initial conditions; even so OM was reduced slightly from 58,6 $mg.g^{-1}$ to 53,1 $mg.g^{-1}$. This indicates that OM levels remain stable in time, and across treatments.

The poró mulch treatment provided the highest bean yields (1573,9 kg/ha) despite the fact that biomass production was higher with alley

cropping. Nitrogen fertilization decreased atmospheric nitrogen fixation. Ureides concentration was lower during flowering and pod filling, which possibly reduced bean yields. Rhizobium counts during flowering were greater by a factor of 100 in the treatments with poró mulch, alley cropping with poró and madero negro which suggests an effect of the arboreal legumes on native Rhizobium counts. Agronomic and ecologic consequences of this phenomena should be evaluated in future studies. Base fertilization with P & K did not influence yields, which indicates that the organic fertilizers can provide the basis for sustainable production as well as alley cropping strategies.

The addition of organic fertilizers increased the N mineralization index, which was greater during vegetative growth and lower during reproductive growth, especially from flowering until pod filling, when NH_4^+ levels dropped from 56,1 to 29,2 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. During vegetative growth the mineralization index was limited by soil humidity, but the fall of this parameter between flowering and pod filling may have been caused by greater N absorption by the bean crop. The low correlation between N_{min} and yield ($R^2 = 0.07^{\text{ns}}$) may have been due to masking caused by N fixation, which is consistent with the high levels of ureides in the plants and which could have been increased by the N contribution coming from the mulch.

The main limiting factor for bean yield appears to be Nitrogen, with a preliminary critical level of 4,8% N. Nitrogen fixation in beans is an important factor in determining crop yields, and is also affected by de available soil N. This aspect along with the contribution of the arboreal component to N fixation should be studied in future experiments.

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Contenido total de nutrimentos adicionados en las enmiendas y fertilizantes, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990	5
Cuadro 2. Métodos utilizados para la determinación de nutrimentos, pH y MO en suelos, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.	26
Cuadro 3. Métodos químicos utilizados para la determinación del contenido de nutrimentos en tejidos vegetales, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.	32
Cuadro 4. Dosis de mulch y estiércol en ton.ha ⁻¹ aplicados en el experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.	35
Cuadro 5. Muestreo de suelos para la determinación de la mineralización neta de amonio por incubación anaeróbica durante el ciclo del cultivo de frijol <i>P. vulgaris</i> , experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.	36
Cuadro 6. División de los grados de libertad para un diseño en parcelas divididas.	44
Cuadro 7. División de los grados de libertad para un diseño en parcelas subdivididas.	45
Cuadro 8. División de los grados de libertad para un diseño en bloques completos al azar.	46
Cuadro 9. Efecto de los tratamientos sobre los parámetros del suelo a 0-20 cm de profundidad, antes de la siembra y después de la cosecha del frijol <i>P. vulgaris</i> , experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.	50

Cuadro 10. Comparación de los promedios de los parámetros del suelo ($\text{Prob} > T$), determinados antes de la siembra y después de la cosecha del frijol P. vulgaris, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990. 51

Cuadro 11. Amonio neto mineralizado en incubación anaeróbica por tratamiento y período de muestreo, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990. 52

Cuadro 12. Medias ajustadas del amonio neto mineralizado ($\mu\text{g.ml}^{-1}$) en incubación anaeróbica por tratamiento, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990. 54

Cuadro 13. Medias ajustadas para comparar el amonio neto mineralizado por incubación anaeróbica en cada período de muestreo, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990. 57

Cuadro 14. Contenido de humedad en el suelo por tratamiento, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990. 65

Cuadro 15. Efecto de los tratamientos sobre biomasa total, índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento del frijol P. vulgaris, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990. 68

Cuadro 16. Influencia de los componentes del rendimiento en la producción de grano del frijol P. vulgaris, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990. 69

Cuadro 17. Contenido foliar de nutrimentos por tratamiento en las plantas de frijol P. vulgaris durante la floración, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990. 73

Cuadro 18. Efecto de los tratamientos sobre la concentración foliar de nitrógeno (%), experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990. 74

Cuadro 19. Efecto de los tratamientos sobre el número más probable de rizobio en el suelo y el contenido de ureidos del frijol P. vulgaris en la floración e inicio del llenado de vainas, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990. 77

Cuadro 20. Aproximación de nitrógeno disponible en el suelo, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990. 80

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Climadiagrama de la Estación Experimental de La Montaña, basado en registros de los últimos cinco años, CATIE, Turrialba, Costa Rica.	24
Figura 2.	Unidades experimentales en el experimento de cultivos en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica.	25
Figura 3.	Distribución de los tratamientos en las unidades experimentales, ensayo cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica.	28
Figura 4.	Distancia de siembra del cultivo de frijol en el área útil de las subparcelas y área de muestreo de biomasa y cosecha, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, Turrialba, Costa Rica.	29
Figura 5.	Esquema de la metodología de dilución e inoculación de plantas para el recuento de rhizobium nativo mediante la técnica del número más probable.	43
Figura 6.	Amonio neto mineralizado por tratamiento durante el ciclo del frijol <u>P. vulgaris</u> , experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.	53
Figura 7.	Amonio neto mineralizado promedio de tratamientos durante el ciclo del frijol <u>P. vulgaris</u> , experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.	56
Figura 8.	Humedad del suelo promedio de tratamientos durante el ciclo del frijol <u>P. vulgaris</u> , experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.	56
Figura 9.	Climadiagrama de la estación La Montaña durante el ciclo del frijol <u>P. vulgaris</u> , experimento de cultivo en callejones, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.	66

Figura 10. Relación entre el nitrógeno foliar en la floración y el rendimiento relativo del frijol P. vulgaris, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

75

APENDICE

- Cuadro 1A. Datos climáticos presentados durante el desarrollo de la investigación, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.
- Cuadro 2A. Parámetros del suelo a 0-20 cm de profundidad antes de la aplicación de las enmiendas y la fertilización, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, Nov. de 1989.
- Cuadro 3A. Nutrimentos aportados por las enmiendas, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, Nov. de 1989.
- Cuadro 4A. Datos de la biomasa de frijol, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.
- Cuadro 5A. Datos de los componentes del rendimiento y cosecha de grano, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.
- Cuadro 6A. Datos del monitoreo del contenido de humedad, durante el ciclo del frijol, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.
- Cuadro 7A. Datos del monitoreo de la mineralización neta de amonio por incubación anaeróbica, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.
- Cuadro 8A. Datos del número más probable de rizobio en el suelo en el momento de la cosecha, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.
- Cuadro 9A. Datos de la concentración de ureídos en floración e inicio del llenado de vainas, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

- Cuadro 10A. Análisis de covarianza del amonio neto mineralizado por incubación anaeróbica, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.
- Cuadro 11A. Coeficientes de determinación de la relación entre contenido de humedad y amonio neto mineralizado por incubación anaeróbica en cada período de muestreo durante el ciclo del frijol P. vulgaris, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.
- Cuadro 12A. Análisis de varianza de un diseño en parcelas subdivididas del contenido de humedad del suelo durante el ciclo del frijol P. vulgaris, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.
- Cuadro 13A. Análisis de varianza de índice de cosecha, biomasa total y componentes del rendimiento, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.
- Cuadro 14A. Análisis de varianza del rendimiento del frijol P. vulgaris, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.
- Cuadro 15A. Análisis de varianza para estudiar el efecto de la fertilización de PK en los tratamientos con mulch de Poró y estiércol sobre el rendimiento del frijol P. vulgaris, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.
- Cuadro 16A. Análisis de varianza del No. más probable de Rhizobium en el suelo, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.
- Cuadro 17A. Análisis de varianza del nitrógeno foliar determinado en floración del frijol P. vulgaris, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

1. INTRODUCCION

La agricultura de subsistencia practicada por una mayoría de productores pequeños del trópico americano, sobre todo en suelos de ladera, provoca su degradación continua e imposibilitan la explotación sostenible. La producción agrícola se desmejora, entre otros factores, debido al reducido empleo de los fertilizantes, generalmente de precio alto y de eficiencia baja.

Es necesario ofrecer opciones de producción de costo reducido a estos campesinos, basadas en niveles bajos de insumos y prácticas de conservación del recurso suelo que promuevan el mantenimiento de la materia orgánica y la fertilidad de los suelos.

Una alternativa prometedora es la aplicación de residuos vegetales, ya sea en la superficie del suelo o incorporados a éste, procedente de árboles de rápido crecimiento capaces de fijar nitrógeno y aumentar el reciclaje de nutrimentos. A esta práctica se le asignan las siguientes ventajas: aumenta el contenido de materia orgánica del suelo (Jones, 1971; Hussain, 1987), el contenido de nutrimentos (Kang et al, 1981-1985), la capacidad de intercambio catiónico (Jones, 1971; Ayanaba y Okigbo, 1976) y el contenido de humedad del suelo (Lal, 1974); además, regula la temperatura (IITA, 1983; Lal, 1974; Bolaños, 1989), reduce la emergencia de malezas (Lal, 1974; IITA, 1972), disminuye la pérdida de suelo (Ayanaba y Okigbo, 1976; IITA, 1986; Vega et al, 1987; Lal, 1989a) y aumenta la productividad de los cultivos (IITA, 1983-1984; Araya, 1987).

En el ensayo de La Montaña, Turrialba (Costa Rica), la aplicación de cobertura verde (mulch) procedente de las podas semestrales de árboles de Erythrina poeppigiana y Gliricidia sepium plantados en franjas, ha aumentado la

producción del cultivo de frijol Phaseolus vulgaris, manejado en una rotación anual con maíz Zea mays durante seis años (Kass, 1989). Sin embargo, los cambios en varios parámetros edáficos no han sido significantes como para explicar los aumentos consistentes en la producción. Se ha detectado, sin embargo, una correlación entre los rendimientos de los cultivos con pequeños cambios en los contenidos de la materia orgánica y el calcio del suelo (Sánchez, 1989). Lo anterior sugiere la existencia de procesos y cambios en la disponibilidad de los nutrimentos que aunque parecen desempeñar un papel importante en el rendimiento del cultivo, no se detectan aparentemente en los análisis químicos de rutina. Así, enfoques metodológicos novedosos han de utilizarse para identificar y cuantificar estas transformaciones para mejorar el entendimiento del cultivo en callejones y así aumentar eventualmente la eficiencia de este sistema agroforestal.

Esta investigación, del Proyecto Arboles Fijadores de Nitrógeno se realizó con los siguientes objetivos:

- Estudiar la influencia de cultivos en callejones de E. poeppigiana y G. sepium, sobre el potencial máximo de mineralización de nitrógeno y otras variables del suelo, tales como, pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables, fósforo, elementos menores y rhizobio nativo.
- Analizar las respuestas del P. vulgaris en producción de biomasa, componentes del rendimiento, índice de cosecha, absorción de nutrimentos y fijación de nitrógeno.
- Hacer una evaluación preliminar del nitrógeno disponible del suelo y su relación con el rendimiento del cultivo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. PRODUCCION DE BIOMASA (mulch) DE Erythrina poeppigiana, Gliricidia sepium y Gmelina arborea

La aplicación de mulch en cultivos agrícolas, procedente de la poda de los árboles asociados es muy usada en cultivos en callejones (Kang et al, 1981) y es posible emplearla en terrenos cultivados rodeados de cercas vivas (Fassbender, 1987). Las especies E. poeppigiana y G. sepium son usadas en cultivos en callejones en Costa Rica (Kass, 1985; Sánchez, 1989); G. arborea es conocida como una especie promisoría para la producción de leña en América Central (Rose y Salazar, 1983; Rodríguez, 1985), y con uso potencial en cercas vivas de las zonas secas y húmedas tropicales (Catie, 1986).

La leguminosa E. poeppigiana tiene una alta capacidad de producción de follaje. Bajo las condiciones de Turrialba, Costa Rica, produjo hasta $18,5 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ de materia seca con una densidad de $280 \text{ árboles} \cdot \text{ha}^{-1}$ en asocio con árboles de café (Russo y Budowski, 1986). En Cultivos en Callejones en La Montaña (CATIE), esta especie con una densidad de $555 \text{ árboles} \cdot \text{ha}^{-1}$ produjo en promedio $4,82 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{poda}^{-1}$; teniendo en cuenta de que éstas han aumentado en el transcurso de los años (Kass et al, 1989). Las diferencias en producción de material de poda, se debe a que en el asocio con café, el rendimiento corresponde a una poda anual, la cual produjo más biomasa en comparación con dos y tres podas anuales (Russo y Budowski, 1986). Si se consideran dos podas anuales en el ensayo de La Montaña la producción anual sería de $9,74 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$, cercano a lo

obtenido en el asocio con café de 11,8 ton.ha⁻¹. Un aspecto que influye en la producción de biomasa es la densidad; en el ensayo 170 (CATIE), la producción de material vegetal cada 6 meses es mayor cuando los árboles están a 6x1 m de distancia (4,96 ton.ha⁻¹), y disminuye progresivamente a distancias de 6x2 m (3,32 ton.ha⁻¹), 6x3 m (2,68 ton.ha⁻¹) y 6x4 m (1,91 ton.ha⁻¹); los rendimientos más altos están asociados con una mayor estabilidad en la producción de los cultivos anuales (Sánchez, 1989).

Utilizando G. sepium se ha obtenido rendimientos de 15,2 ton.ha⁻¹.año⁻¹ de materia seca con 5 podas al año y una densidad de 10000 árboles por hectárea (Kang y Mulongoy, 1987). En cultivos en callejones del ensayo de La Montaña con una densidad de 3333 árboles.ha⁻¹, se obtuvo durante 10 podas semestrales un promedio de 6,0 ton.ha⁻¹.poda⁻¹ (Kass et al, 1989); considerando las dos podas por año el rendimiento se duplicaría en promedio a 12 ton.ha⁻¹.año⁻¹.

La producción de follaje en Hojancha (Costa Rica) para G. arborea se ha estimado en 1,09 ton.ha⁻¹.año⁻¹ (Rose y Salazar, 1983); en esta misma localidad, rebrotes de dos años en una plantación de 900 árboles.ha⁻¹ produjeron hasta 4,4 ton.ha⁻¹ de follaje cuando había tres rebrotes por árbol (Rodríguez, 1985).

Las podas de los árboles en cultivos en callejones, pueden suministrar cantidades significantes de nutrimentos al cultivo asociado, y esta depende de la especie, las condiciones del sitio, la distancia entre árboles y la frecuencia de podas. En Turrialba, en una poda anual de E. poeppigiana asociado al café, se encontró valores de 273,2 kg.ha⁻¹ de N , 24,1 kg.ha⁻¹ de P, 130 kg.ha⁻¹ de K, 224,7 kg.ha⁻¹ de Ca y 56,1 kg.ha⁻¹ de Mg; con dos podas anuales, las cantidades de N, P y K fueron similares, pero el Ca y el Mg se redujeron; cuando se hicieron 3 podas en el año la cantidad de todos los nutrimentos disminuyó

considerablemente (Russo y Budowski, 1986). En las condiciones de Ibadan, Nigeria, en una poda de G. sepium (10000 arb.ha⁻¹) después de 2 años, se encontraron valores en de 126 kg.ha⁻¹ de N, 8 kg.ha⁻¹ de P y 86 kg.ha⁻¹ de K; en podas semestrales, realizadas posteriormente, la cantidad de nutrimentos, fue significativamente mayor o menor (Yamoah et al, 1986). La cantidad de nutrimentos adicionada por 5 podas de G. sepium durante un año en una densidad de 10000 arb.ha⁻¹ fue de 169 kg.ha⁻¹ de N, 11 kg.ha⁻¹ de P, 149 kg.ha⁻¹ de K, 66 kg.ha⁻¹ de Ca y 17 kg.ha⁻¹ de Mg (Kang et al, 1989). Es notable la baja cantidad de P que puede aportar el follaje de Gliricidia, la cual fue corroborada posteriormente en estudios de descomposición del follaje por Arguello et al (1987).

En el Cuadro 1 se da información de la cantidad de nutrimentos que aportaron algunas enmiendas y fertilizantes durante un año en el ensayo de La Montaña-CATIE.

Cuadro 1. Contenido total de nutrimentos adicionados en las enmiendas y fertilizantes¹, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Enmienda o Fertilizante ¹	N	P	K	Ca	Mg
	kg/ha/año				
Estiércol de vaca	154,6	26,8	139,6	99,8	52,6
Mulch de Gmelina	188,4	25,2	145,8	162,0	55,2
Mulch de Erythrina	229,0	23,2	144,6	77,0	47,4
P-K-Mg	---	38,8	108,0	28,0	10,0
N-P-K-Mg	150,0	38,8	108,0	28,0	10,0

1: Promedio de 12 determinaciones (dos por año).
(Fuente: Kass et al, 1989).

En el caso del nitrógeno, aparte de la cantidad que puede aportar el mulch de los árboles, también puede tener un papel importante la fijación de N₂. Estimados realizados para E. poeppigiana y G. sepium indican valores de 60 y 13 kg.ha⁻¹.año⁻¹ respectivamente (Dommerges, 1987). En algunos

estudios se ha encontrado que G. sepium tiene una alta capacidad de nodulación y de acumulación de Nitrógeno en las raíces en comparación con otras leguminosas como Leucaena leucocephala, Dalbergia melanoxylum, E. parcelli, E. variegata y E. glauca (Patil and Prasunamma, 1986). Este aspecto puede ser importante en el suministro de N al cultivo asociado, cuando los nódulos del árbol senescen.

2.2. EFECTO DEL MULCH EN LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

La aplicación de mulch en el suelo mejora la conservación de la humedad. Por ejemplo, en Nigeria donde el uso del mulch es una práctica común en la actividad agrícola; la aplicación de una capa de protección de 8,8 - 11 ton.ha⁻¹ de paja aumentó la humedad del suelo de 4,3% a 7,8% (Ayanaba y Okigbo, 1976). La evaluación durante tres ciclos de cultivo de maíz a una profundidad de 0-20 cm del suelo, mostró en promedio un aumento del contenido de humedad en 3,55 cm en las parcelas con aplicación de mulch (Lal, 1974).

En otro experimento los cultivos en callejones de Leucaena y Gliricidia aumentaron la infiltración acumulada y rata de infiltración de agua, medidas a 20-40-60-80-100 y 120 min durante un período de evaluación de 6 años, en comparación con los cultivos limpios en labranza cero en Ibadán (Nigeria); sin embargo, ambos parámetros disminuyeron a través del tiempo; los cultivos en callejones de estas dos especies tienen poco efecto sobre la capacidad de absorción de agua pero influyeron altamente en la conductividad del agua en el suelo (Lal, 1989d).

La aplicación de mulch regula la temperatura en el suelo debajo de los niveles perjudiciales para los cultivos; en cultivos de maíz, por ejemplo, la aplicación de mulch de Mucuna utilis bajó la temperatura en el suelo de 37 °C a 32

$^{\circ}\text{C}$ (IITA, 1983). Su efecto regulador es también importante; pues permite menores diferencias en la fluctuación de la temperatura diaria (Lal, 1974).

En investigaciones realizadas durante 6 años en Nigeria se encontró que la textura del suelo no fue afectada por la aplicación del mulch en cultivos en callejones; la densidad aparente y la resistencia al penetrómetro sí disminuyeron; la retención de humedad del suelo y la capacidad de agua disponible aumentaron en relación con los cultivos limpios sin labranza. Los sistemas basados en *Leucaena* tuvieron efectos más favorables en las propiedades físicas del suelo que los basados en *Gliricidia* (Lal, 1989c)

2.3. EFECTO DEL MULCH SOBRE LOS PARAMETROS EDAFICOS

2.3.1. Acidez del suelo

La reacción del suelo es una propiedad importante, ya que influye sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de éste.

En relación con las propiedades químicas del suelo, las condiciones de alta acidez aumentan las concentraciones de iones H^+ , los cuales no solamente influyen sobre la absorción de otros iones inorgánicos, sino que pueden influenciar directamente el desarrollo vegetal. La acidez aumenta también la proporción de Al y Mn en la solución del suelo, produciendo muchas veces toxicidad y además disminuye las concentraciones de Ca, Mg, K, Cu, Zn y Mo; el B por el contrario disminuye en condiciones de pH alto (Fassbender, 1982).

El pH juega un papel muy importante en los procesos de intercambio catiónico; inicialmente los cationes liberados mantienen un pH neutro o ligeramente ácido; progresivamente la planta extrae nutrimentos y el suelo se acidifica, porque los sitios de adsorción que se desocupan en las arcillas son

llenados por iones H^+ ; éstos iones provienen de las excreciones radiculares de la planta y de la reacción del dióxido de carbono liberado por la respiración radicular con el agua. A pH altos hay mayor contenido de bases cambiâbles, las cuales pueden evitar una acidez progresiva del suelo mediante el intercambio permanente de sus bases con la solución del suelo (Fassbender, 1987).

La estabilidad y textura del suelo se favorece a pH altos ya que la dispersión o floculación es óptima, a través de la intensa actividad biológica se facilita la formación de agregados y la intensidad de agregación es constante (Fassbender, 1982).

El pH influye sobre los microorganismos del suelo. Por ejemplo los actinomicetos no son tolerantes a pH bajos y el tamaño de la comunidad microbiana está inversamente relacionada con la concentración de iones H^+ . Las algas y las bacterias tampoco toleran condiciones de alta acidez, ambos tipos de microorganismos se desarrollan bien en pH neutros. Por el contrario, los hongos y los protozoarios se desarrollan en un rango de pH amplio, desde condiciones extremadamente ácidas hasta pH muy alcalinos; en la mayoría de los casos en suelos ácidos, los hongos son los responsables en gran parte de las transformaciones bioquímicas, aunque algunas bacterias tienen actividad a bajo pH. Algunos procesos biológicos como la nitrificación y la fijación de N_2 , prosperan mejor bajo condiciones de pH neutras, ya que la participación de las bacterias es decisiva; sin embargo, en condiciones ácidas algunos hongos pueden ayudar en la mineralización de N y algunas bacterias pueden fijar N_2 (Alexander, 1977; Brady, 1974; Fassbender, 1982).

El efecto de la adición de materiales orgánicos sobre el pH del suelo, en algunos trabajos, muestra una tendencia hacia la acidificación. La aplicación de dosis de 5, 10, 15

y 20 ton.ha⁻¹ de hojas de L. leucocephala y S. bispinosa en macetas con un sustrato franco-arcilloso, después de 6 meses disminuyeron el pH en forma significativa en comparación con el control y la fertilización con NPK; la disminución fue aun más significativa a medida que las dosis aumentaron (Hussain, 1987). Las hojas de Leucaena creciendo en franjas a distancias de 2, 4 y 8 m aumentaron el pH cuatro meses después de aplicadas, pero a los nueve meses el pH disminuyó; en el control (parcelas sin árboles y sin mulch) el pH aumentó levemente a los nueve meses (Jama et al, 1988). En cultivos en callejones de Leucaena y Gliricidia a distancias de 2 y 4 entre las franjas, el pH mostró una tendencia a disminuir durante un período de evaluación de 4 años, a 0-5 cm y 5-10 cm de profundidad; esta disminución fue corroborada con el aumento significativo de la acidez extraíble durante el mismo período (Lal, 1989b). Cabe destacar que la disminución del pH en los 2 primeros casos no es preocupante; sin embargo, en el tercer caso, se registró un descenso de casi una unidad para los primeros 5 cm del suelo durante 4 años. En el experimento de La Montaña el cambio del pH durante 4 años fue muy pequeño (Sánchez, 1989).

2.3.2. Materia Orgánica

La materia orgánica del suelo es muy importante ya que tiene capacidad para suministrar nutrimentos como N, P, S y K; favorece la formación de agregados y la estabilidad del suelo; aumenta la retención de humedad, la capacidad de intercambio catiónico, y la capacidad amortiguadora del suelo para resistir variaciones de pH o salinidad; reduce la capacidad de retención del fósforo (Fassbender, 1982; Charreau, 1976)). Además se le apuntan varios efectos secundarios no bien documentados.

Sin duda alguna, uno de los principales objetivos que se persiguen en una agricultutra sostenible, es el

mantenimiento de la materia orgánica a niveles que permita una producción aceptable, mediante el suministro regulado de nutrimentos. Algunas formas para aumentar la materia orgánica del suelo, consisten en agregar materiales frescos sin descomponer como estiércol, compost y materiales vegetales aplicados en la superficie del suelo o incorporados a éste.

La aplicación de enmiendas orgánicas ha sido una práctica muy usual en Asia y Africa para mejorar los rendimientos de los cultivos y la materia orgánica del suelo. Por ejemplo en un vertisol de la India, la aplicación de $5,6 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ de estiércol durante 10 años, aumentó el rendimiento de arroz y el carbono orgánico del suelo en comparación con el control, y estos aumentos fueron similares a la fertilización con N y P; en un oxisol de Africa Central cultivado con una rotación de maíz-arroz durante 5 años, el estiércol aumentó el C, N, pH, Ca y K del suelo en comparación con el control y la fertilización con NPK (Sánchez, 1982). En Nigeria, en una rotación de algodón, sorgo y maní, el estiércol de corral aplicado al suelo en dosis de $12,5 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ por 20 años, aumentó el carbono orgánico de 0,22% a 0,82% y la cáscara de maní aplicada al suelo durante nueve años, aumentó el C orgánico de 0,45% a 0,67% (Jones, 1971). En Pakistán se demostró a nivel de invernadero, que la adición de 5 , 10 , 15 y 20 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ de hojas verdes de L. leucocephala y S. bispinosa, en macetas con un sustrato franco arenoso, aumentaron significativamente el carbono, en comparación con el control y aplicación de NPK; el aumento fue progresivo a medida que era mayor la dosis (Hussain, 1987). En cultivos en callejones de Nigeria, los residuos procedentes de las podas de L. leucocephala aumentaron significativamente el contenido de carbono en el suelo en relación con el control en una rotación maíz-soya (Kang et al ,1985), y en maíz (Kang et al, 1981; Jama et al, 1988).

El mulch no siempre aumenta el carbono del suelo. En Ibadán (Nigeria), el carbono disminuyó durante cuatro años de cultivo de maíz-caupí en cultivos en callejones de L. leucocephala y G. sepium, con y sin labranza, a profundidades de 5 y 10 cm, respectivamente. Sin embargo, el sistema sin labranza preservó más la materia orgánica en comparación con labranza en donde las pérdidas fueron mayores, probablemente debido a una mayor mineralización de la materia orgánica y la erosión (Lal, 1989b). En los ensayos de La Montaña y Cabiria, Turrialba (Costa Rica), la materia orgánica aumentó desde el inicio del experimento, pero evaluaciones realizadas durante 4 años de 1984 a 1988 se notó una leve disminución (Sánchez, 1989). La adición de residuos de maíz y soya marcados con C_{14} a un suelo franco arcilloso aluvial aumentó la tasa de descomposición de la materia orgánica nativa del suelo; indicando que los residuos, especialmente de leguminosas pueda que no siempre contribuyan a mantener o aumentar los niveles de la materia orgánica del suelo. De esta manera los residuos sí tienen relevancia como fuente de nutrimentos, especialmente N cuando se adicionan a suelos bajos en materia orgánica (Hallam y Bartholomew, 1953).

Es importante señalar que los aumentos en la materia orgánica ocurrieron en suelos donde hubo por lo general menos del 1% de C (Jones, 1971; Kang et al, 1981-1985; Jama et al, 1988). En suelos donde se notó degradación de la materia orgánica, los contenidos de carbono eran superiores al 2% (Sánchez, 1989; Lal, 1989). En estos casos parece ser que la materia orgánica no se incrementa fácilmente en el suelo por encima de un nivel, el cual está aparentemente determinado por su textura y los factores climáticos (Fox, 1978).

2.3.3. Nitrógeno

El N en el suelo se encuentra en forma orgánica y en forma inorgánica. Las formas orgánicas representan entre el 85% y 95% del N total del suelo y generalmente están como aminoácidos, aminoazúcares, hidroxiaminoácidos, N orgánico hidrolizado y hexosaminas (Burbano, 1984; Stevenson, 1982). El nitrógeno mineral, entre 5% y 15%, se encuentra principalmente como amonio y nitrato (Fassbender, 1982) y trazas de óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de N (NO_2), amoníaco (NH_3). El N es absorbido por las plantas como amonio y nitrato principalmente (Runge, 1983).

Las formas de N en el suelo son dinámicas; por esta razón su valoración en el suelo es más difícil. La determinación del nitrógeno total aporta muy poco para la interpretación, ya que no permite conocer la capacidad del suelo para suministrar N a la planta, excepto cuando en el mismo el N total es menor del 0,05%; en algunas ocasiones se ha podido usar este parámetro para evaluar niveles críticos de N del suelo en cultivos de maíz y algodón (Guerrero, 1984).

Una de las dificultades para evaluar la disponibilidad de N, con base en el N mineral del suelo, se debe a la marcada fluctuación estacional del nitrato. Generalmente éste se acumula durante la estación seca, aumenta repentinamente al comienzo de las lluvias por el efecto de Birch, y después baja debido a pérdidas por lixiviación con la continuación de las lluvias (Greenland, 1958; Fassbender, 1982; Sánchez, 1982). Quinlan (1984), no pudo encontrar una explicación satisfactoria, cuando utilizó el N mineral del suelo, para evaluar el N liberado por el mulch de poró y su relación con el N asimilado por la planta, en el experimento de cultivos en callejones de La Montaña, Turrialba, Costa Rica.

El nitrógeno disponible en el suelo depende en gran medida de la mineralización del N orgánico. Mediante este proceso los componentes orgánicos, ya sea del humus del suelo o de los residuos vegetales y animales recién incorporados al mismo, se transforman a formas inorgánicas nitrogenadas tales como amonio, nitrito y nitrato. Esta mineralización consiste de tres etapas; aminización, la transformación de proteínas a amina; amonificación, transformación de amina en amonio; y nitrificación, transformación de amonio en nitrato con una etapa intermedia corta de formación de nitrito (Sánchez, 1982; Runge, 1983).

Algunas pérdidas de nitrógeno pueden ocurrir por desnitrificación, el cual consiste en la reducción de nitratos a óxido nitroso y principalmente a nitrógeno gaseoso. Este proceso es llevado a cabo por microorganismos desnitrificantes heterotróficos, tales como las *Pseudomonas*; ocurre cuando el oxígeno es limitante, bajo condiciones de alta humedad del suelo y en presencia de substratos orgánicos fácilmente utilizables. También influyen otros factores como el pH, temperatura, concentración de nitratos y las condiciones redox. Otras pérdidas ocurren por volatilización del amoniaco (Fassbender, 1982).

Para tratar de realizar una evaluación del nitrógeno disponible del suelo más acorde con la nutrición de N de los cultivos, se ha desarrollado una serie de métodos químicos y biológicos, cuyas ventajas y desventajas se describen brevemente a continuación.

La estimación del nitrógeno mineral residual ayuda a cuantificar el nitrógeno disponible antes de la siembra, pero tiene muchas limitaciones, ya que depende de la profundidad efectiva de enraizamiento del cultivo y de las condiciones climáticas (Herrón et al, 1968; White y Pesek, 1959).

El nitrógeno mineralizado, es uno de los parámetros que con más frecuencia se ha empleado para evaluar el N disponible en el suelo. El nitrógeno mineralizado por incubación aeróbica (Bremmer, 1965a) o incubación anaeróbica (Waring y Bremmer, 1964), ha correlacionado muy bien con el rendimiento o el nitrógeno asimilado por las plantas en condiciones de campo, tales como maíz (Cornforth, 1968), raigrass (Keeney y Bremmer, 1966), arroz (Dolmat et al, 1980), banano y caña de azúcar (Guerrero, 1984). Mediante el uso de la incubación aeróbica, se ha establecido niveles críticos que oscilan entre 40 y 50 ppm de N mineralizado (Guerrero, 1984). La incubación anaeróbica es preferible por su sencillez y además ha correlacionado mejor que la incubación aeróbica (Keeney y Bremner, 1966; Kadirgamathoiyah y Mackensie, 1970; Dolmat et al, 1980). También, el amonio producido anaeróbicamente ha correlacionado muy bien con el amonio, nitritos y nitratos mineralizados durante incubación aeróbica (Waring y Bremmer, 1964). Los dos métodos aportan solamente un índice de la cantidad de N potencialmente mineralizable y disponible para las plantas a partir de las reservas orgánicas del suelo, lo cual no necesariamente refleja el N realmente disponible in situ.

El nitrógeno del suelo potencialmente mineralizable, permite establecer la capacidad de mineralización del suelo en el largo plazo (Stanford y Smith, 1972). Este método tiene la desventaja de que es laborioso, costoso y lento y solo es útil en suelos con similar potencial de mineralización de nitrógeno.

Los índices químicos de disponibilidad del nitrógeno orgánico del suelo, empleando métodos de extracción intensiva por calentamiento de agua en NaOH 4,5 N (Geist y Hazard, 1975), extracción intermedia con calentamiento de CaCl_2 0,01 M (Stanford, 1968) y extracción relativamente

suave con KMnO_4 0,05 N (Stanford y Smith, 1978) entre otros, permiten determinar la fracción orgánica de nitrógeno del suelo que es susceptible de mineralización; sin embargo, tienen la desventaja de que en la mayoría de los casos hay baja correlación con las mediciones biológicas de la disponibilidad de nitrógeno.

En la interpretación de pruebas químicas y biológicas de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, bajo condiciones controladas, se puede obtener una estimación más segura del nitrógeno mineralizado durante el cultivo; el nitrógeno asimilado es considerado como una función del nitrógeno mineral inicial y la disponibilidad relativa del nitrógeno orgánico del suelo (nitrógeno mineralizado) (Stanford, 1982). Uno de los factores que dificulta la evaluación del nitrógeno por este método, son las cantidades variables del N mineral antes de la siembra.

Bajo condiciones de campo, el nitrógeno residual se ha empleado como una guía útil para afinar las cantidades recomendadas de fertilizantes nitrogenados, basado en el rendimiento esperado del cultivo, estimación de la necesidad de nitrógeno según el nivel del rendimiento y la cantidad de nitrato en el suelo (Stanford, 1982). Este método es útil para diversos suelos con igual potencial de mineralización.

Una forma de obtener un mejor índice de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo es midiendo conjuntamente el nitrógeno residual del suelo y el nitrógeno mineralizable. Estas dos variables asociadas a la cantidad de nitrógeno aplicado sirvieron para explicar en forma muy satisfactoria el efecto del nitrógeno disponible (sumatoria de las tres variables) con el rendimiento potencial de raíces de remolacha (Carter et al, 1974).

El efecto del mulch sobre el nitrógeno total del suelo es muy variable. En macetas con un sustrato franco-arcilloso

las hojas de L. leucocephala y S. bispinosa en dosis de 20 ton.ha⁻¹ aumentaron significativamente el nitrógeno total de 0.038% a 0,058% y 0,059% en Leucaena y Sesbania respectivamente (Hussain, 1987); en este ensayo, había bajo contenido de N en el sustrato antes de la aplicación de las hojas. En cultivos en callejones de Leucaena con maíz en el sur de Nigeria hubo aumentos significativos del nitrógeno total en relación con el testigo (Kang et al, 1981); sin embargo, en otro ensayo realizado en el mismo país, el contenido de nitrógeno del suelo bajó al cabo de 4 años de evaluación; al final de este período, en las parcelas con labranza cero y en cultivos en callejones de Leucaena (4m) tenían más nitrógeno que los demás tratamientos (Lal, 1989b). Estudios semejantes realizados durante 4 años en los ensayos de La Montaña y Cabiria, CATIE (Turrialba-Costa Rica), mostraron una leve disminución en el nitrógeno total del suelo en una rotación de los cultivos maíz-frijol, incluyendo los cultivos en callejones (Sánchez, 1989).

Se ha encontrado que el mulch tiene un efecto favorable sobre la mineralización de N. En pruebas in vitro las hojas finamente molidas de Gliricidia adicionadas a tres tipos de suelo, en dosis de 5% y 10% del peso del suelo, aumentaron el nitrógeno mineralizado por incubación aeróbica después de 2, 6, 14, 22 y 30 días; la tasa más alta de mineralización ocurrió a los 14 días para amonio y a los 30 días para nitrato (Cornforth y Davis, 1968). En otro experimento, en suelos enriquecidos con mulch y sembrados con mijo negro, se encontró después de 8 y 15 días, que la mineralización de N fue inducida por las plantas y que la adición del mulch aumentó dicha mineralización en un 36% y 20% en dos tipos de suelos diferentes (Charreau, 1976).

Cuando se aplican fertilizantes nitrogenados, por ejemplo urea, pueden ocurrir pérdidas por volatilización de amoníaco, ya que los residuos vegetales en la superficie del

suelo aumentan las tasas de hidrólisis de la urea (Barreto, 1990).

2.3.4. Capacidad de Intercambio Catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), se refiere a los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa, desadsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes y establecen un equilibrio entre ambas fases (Fassbender, 1982). Los estimados de la CIC de suelos de carga variable (Ultisoles y Oxisoles), basados en el acetato de amonio a pH 7 o BaCl_2 -trietanolamina a pH 8,2, sobreestiman la capacidad del suelo para retener cationes en la mayor parte de las situaciones de campo; los estimados son más reales cuando se suman los cationes intercambiables (K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , Al^{+3}) para indicar la CIC efectiva (Fox, 1978; Fassbender, 1982). En Hawaii se encontró que los rendimientos de la caña de azúcar estaban más asociados con el porcentaje de saturación de Ca basado en la suma de cationes (Fox, 1978).

Se considera que el mantenimiento de la materia orgánica es casi sinónimo del mantenimiento de la CIC, especialmente en suelos muy lixiviados de carga variable. Por ejemplo, Brams citado por Sánchez (1981) encontró en Oxisoles de Sierra Leona, después de un período de 5 años, que la disminución de la materia orgánica influyó en la reducción de la CIC. En Senegal del Sur, los suelos bajo cubierta forestal con buen contenido de materia orgánica y arcilla presentaron una CIC de $7,8 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$, noventa años después del corte de los árboles, la CIC bajó a $2,50 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$, como consecuencia de la disminución de la materia orgánica y la arcilla (Charreau, 1976).

Generalmente se ha empleado la adición de residuos vegetales al suelo para aumentar la CIC. En Nigeria, la

aplicación de $16,4 \text{ ton.ha}^{-1}$ de residuos aumentó la CIC de $4,64$ a $6,32 \text{ cmol}^+.\text{kg}^{-1}$ (Ayanaba y Okigbo, 1976). En una evaluación durante 4 años de cultivo de maíz-caupí, a una profundidad de 0-5 cm la CIC disminuyó significativamente en parcelas con labranza debido quizás a una mayor oxidación de la MO, pero aumentó significativamente con labranza mínima y levemente en cultivos en callejones de Leucaena y Gliricidia (Lal, 1989b). El estiércol aplicado en dosis de $2,5$ y 5 ton.ha^{-1} en suelos con baja CIC y agricultura intensiva, aumentó la CIC de $0,98$ a $4,28 \text{ cmol}^+.\text{kg}^{-1}$ (Jones, 1971).

2.3.5. Fósforo, bases intercambiables y elementos menores.

En Nigeria, en un suelo franco arenoso, el mulch procedente de las podas de Leucaena, aplicado en una secuencia de maíz-soya cultivados entre las franjas de los árboles durante 6 años, ocasionó una disminución leve del P a 15 cm de profundidad, pero lo aumentó a una profundidad de 30 cm; K, Ca y Mg aumentaron significativamente a ambas profundidades (Kang et al, 1985). En otro estudio similar de Leucaena con maíz, solamente el Ca aumentó significativamente, mientras que P, K y Mg disminuyeron (Kang et al, 1981). En la costa de Kenya (Africa), los resultados preliminares de una evaluación de 10 meses, de una rotación maíz-pasto asociada a franjas de Leucaena a distancias de 2, 4 y 8 m; K, Ca y P aumentaron con el tiempo mucho más que en el control, el Mg presentó menor disminución en el control; no hubo diferencias aparentes entre los tratamientos, lo cual indicó que las densidades de los árboles hasta la fecha aparentemente no contribuyeron al mejoramiento de la fertilidad del suelo (Jama et al, 1988). Evaluaciones a 0-5 cm de profundidad del suelo en un alfisol de Nigeria (Africa), de una rotación de maíz-caupí asociada a franjas de Leucaena y Gliricidia a distancias de 2 y 4 m, mostraron a los 4 años, aumentos leves de P, Ca y K,

mientras que el Mg aumentó significativamente en todos los tratamientos; el Mn intercambiable disminuyó o no cambió drásticamente con la duración del cultivo, pero su aumento al final del cuarto año pudo influir en la disminución del pH (Lal, 1989b). En los ensayos de La Montaña y Cabiria, Turrialba (Costa Rica), las evaluaciones durante 4 años mostraron que el P tiende a disminuir, en tanto que K, Ca y Mg aumentaron en la mayoría de los tratamientos (Sánchez, 1989).

2.4. EL CULTIVO DEL FRIJOL

2.4.1. Rendimiento del cultivo

El frijol (P. vulgaris L.) es un componente básico en la dieta tradicional de Latinoamérica, donde es cultivado por pequeños agricultores y en sistemas de cultivos altamente diversificados (Rosas y Blis, 1986). Esta especie ha sido muy utilizada en cultivos en callejones en CATIE (Sánchez, 1989). Los rendimientos en monocultivos están alrededor de 500-1000 kg.ha⁻¹ en la mayoría de los países Latinoamericanos (Sanders y Alvarez, 1978; Ruiz et al, 1978; Tapia y Barquero, 1988). En el ensayo de La Montaña la producción de frijol durante seis años, en cultivos en callejones de Poró y Gliricidia, el rendimiento de frijol ha fluctuado en promedio de 740 kg.ha⁻¹ a 1515 kg.ha⁻¹, siendo mayor en las parcelas sin árboles con aplicaciones de mulch de Poró y Gmelina (Kas et al, 1989). Evaluaciones sobre la estabilidad de la producción del cultivo del frijol en estos sistemas realizadas durante 4 años en La Montaña, indican que los rendimientos de frijol observaron mayor estabilidad en los tratamientos con árboles, a pesar de su menor rendimiento en comparación con las parcelas con Mulch de Poró, y esta estabilidad ha sido mejor cuando se aplica nitrógeno; los árboles aparentemente no compiten con el cultivo y el reciclaje de nutrimentos se mejora en comparación con el control (Sánchez, 1989). Los rendimientos

obtenidos con cultivos en callejones de *Gliricidia* en Jilgueral, Junquillo y Acosta (Costa Rica) fueron muchos más bajos en comparación con los obtenidos en La Montaña (Araya, 1987). Los rendimientos de frijol obtenidos en cultivos en callejones de *Cassia spectabilis* y *S. sesban* en Rwanda, de 458 a 700 kg.ha⁻¹ son menores que los de La Montaña, en este sitio los suelos son de baja fertilidad y clima semiárido (IITA, 1987). El efecto de residuos vegetales en presencia de fósforo en el Brasil, ha dado muy buenos resultados en sistemas de labranza mínima; allí los rendimientos del frijol, incluyendo el control sin residuos orgánicos, son superiores a los de La Montaña; quizás se trata de variedades de mayor rendimiento y condiciones climáticas más favorables (Miyasaka y Lovadini, 1967). En otra localidad del Brasil (Campinas), los rendimientos fueron bajos en comparación con los obtenidos en La Montaña; el mulch de leguminosas (soya) tuvo un mayor efecto en el rendimiento (608-633 kg.ha⁻¹), en comparación con el mulch de gramíneas (*Melinis minutiflora*), y una combinación de gramíneas-leguminosas y estiércol (Miyasaka, 1966). Los resultados anteriores evidencian que el mulch tiene efectos benéficos en el rendimiento del frijol; las diferencias presentadas en localidades, posiblemente se debe a factores climáticos, edáficos y de la variedad.

2.4.2. Fijación de nitrógeno

La fijación de nitrógeno por el cultivo juega un papel importante en el rendimiento y ésta depende de la variedad. En general se ha encontrado que la fijación puede variar entre 30 y 125 kg.ha⁻¹ (Fassbender, 1967; Rosas y Bliss, 1986; Westerman et al, 1981). Lo anterior indica que el frijol es una de las leguminosas que presenta un buen potencial de fijación en comparación con otras especies (Rosas y Blis, 1985) y la no exploración de esta posibilidad, sea la razón por la cual muchas variedades

presenten rendimientos bajos. Algunos factores que han incidido en una baja fijación del frijol son cultivares y/o cepas pobres en su capacidad de fijación, condiciones ambientales adversas y/o métodos inadecuados para estimar la fijación (Rosas y Bliss, 1986).

Se ha encontrado que la nodulación de frijol se favorece con la adición de mulch. En un ensayo en Brasil, las plantas presentaron una mejor nodulación cuando en el suelo se aplicó residuos de leguminosas, gramíneas o una combinación de éstas; se encontró que los residuos de las gramíneas favorecen más la formación de nódulos (Miyasaka, 1966). En otro ensayo en Brasil con 2 variedades de frijol, la nodulación del cultivo fue estimulada en plantas no inoculadas que recibieron bagaso de caña; las plantas que recibieron estiércol, presentaron nodulación similar al testigo (Rushel y Saito, 1977).

2.4.3. Efecto del nitrógeno inorgánico sobre la fijación

Se ha establecido que la fijación de N_2 del frijol, depende del nitrógeno disponible del suelo; el aumento de éste o de la fertilización con N disminuyen la fijación.

En cuanto al N disponible del suelo, en plantas de soya en condiciones de campo, se encontró una relación inversa entre los niveles de nitrato y la fijación de nitrógeno (Herridge, 1982). Westerman et al (1981) en plantas de frijol, encontraron una relación curvilínea entre la disminución del nitrógeno fijado y el aumento del N disponible en el suelo.

El frijol responde a la fertilización con nitrógeno (Rosolem, 1987); no obstante, cuando no hay respuesta del cultivo, excluyendo otras limitantes edáficas, es porque la fertilización ha sido insuficiente o no se ha fraccionado.

Además, si el mismo se ha aplicado al momento del establecimiento de la simbiosis, tales como la infección y el desarrollo de los nódulos, el posible aporte de la fijación al desarrollo del cultivo se reduce. Sin embargo pequeñas dosis de fertilizante al inicio del crecimiento de la leguminosa pueden tener un efecto sinérgico sobre la fijación al favorecer el desarrollo del tejido foliar lo cual mejora el suministro de fotosintatos a los nódulos en etapas posteriores del desarrollo del cultivo (Pate y Dart 1961). El exceso de nitrato procedente del fertilizante reduce los sitios de infección ya que se disminuye la producción de lectinas por el hospedero y por lo tanto la absorción de los rhizobia a los pelos radiculares, paso necesario para la infección. El atraso en el desarrollo de nódulos se atribuye a la distracción de fotosintatos en la absorción de N. Si el N se aplica cuando los nódulos están formados y son funcionales se reduce la fijación y se puede inducir una senescencia temprana de los nódulos. La integridad de los bacteroides también se ve afectada por altas concentraciones de N (Pate y Dart, 1961; Gibson, 1983).

En resumen el efecto del N sobre la simbiosis es variable y depende de las dosis de aplicación, del estado fenológico del cultivo y de la variedad (Pate y Dart, 1961; Westerman et al, 1981).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

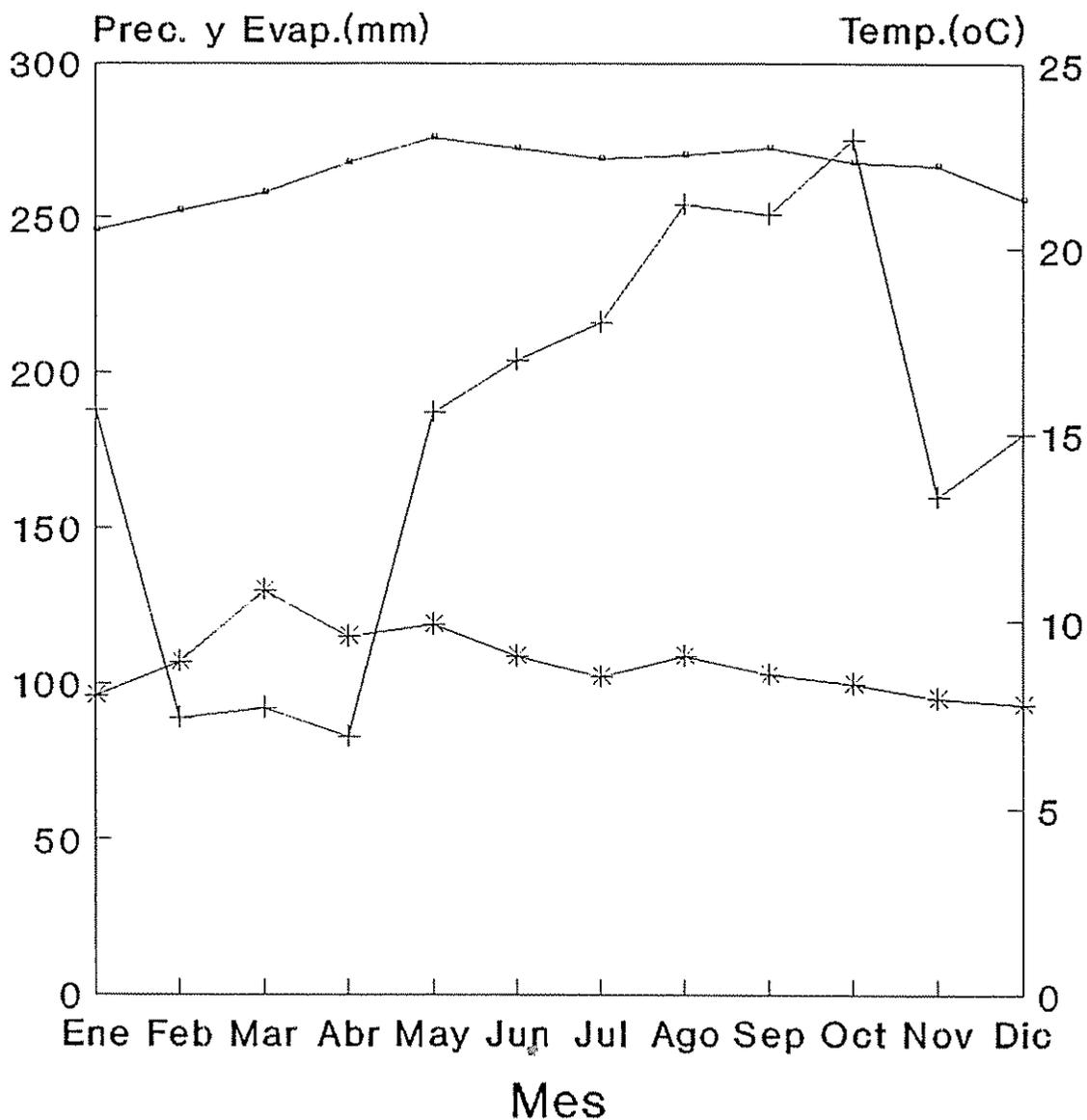
El ensayo de cultivos en callejones, establecido en 1982, donde se realizó el presente estudio, está localizado en la Estación Experimental LA MONTAÑA, CATIE, Turrialba, Costa Rica, a $9^{\circ} - 53'$ latitud norte y $83^{\circ} - 34'$ longitud oeste. Parámetros de importancia son: altitud de 602 msnm, temperatura media anual de 22°C y una precipitación media anual de 2637,7 mm con una estación seca corta de enero a abril (Figura 1). De acuerdo con la Clasificación de Holdridge (1987), el área en mención pertenece a la zona de vida bosque muy húmedo Premontano (bmh-PM).

3.2. SUELOS

El suelo es de origen aluvial con una textura arcillosa en los primeros 15 cm, clasificado en el orden inceptisol, sub-orden Tropepts, gran grupo Humitropepts, sub-grupo Typic Humitropepts, y familia fina, halloysitic isohipertérmico (Kass *et al*, 1989).

Para el análisis de fertilidad, antes de la aplicación de los tratamientos y después de la cosecha, se tomó en el área útil de cada subparcela tres submuestras de suelo a 0-20 cm de profundidad, en una cantidad aproximada de 400 g de suelo por subparcela (Figura 2). Las muestras se secaron al aire libre bajo sombra, luego se tamizaron en malla de 2 mm y molieron en un mortero de porcelana. Las muestras se emplearon para la determinación de pH, MO, N_t , P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn y acidez extraíble siguiendo las metodologías ilustradas en el cuadro 2.

El análisis químico realizado antes de la aplicación de los tratamientos, indica que los suelos tienen buen contenido de materia orgánica, fósforo y bases intercambiables (Díaz-Romeu y Hunter, 1978). Sin embargo, un



Climadiagrama

— Temp. + Prec. * Evap.

Figura 1. Climadiagrama de la Estación Experimental de La Montaña, basado en registros de los últimos cinco años, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

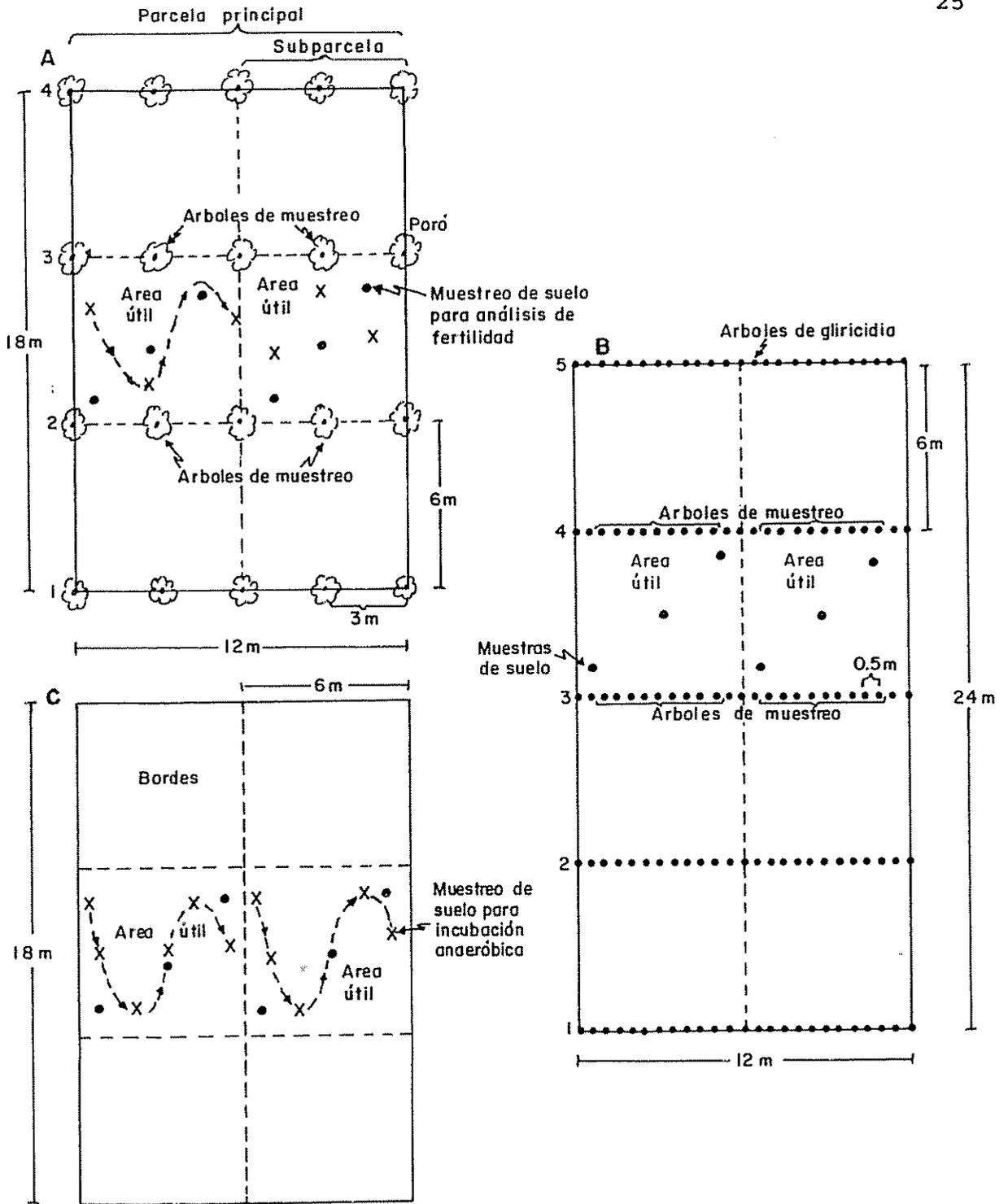


Figura 2 Unidades experimentales: A) cultivos en callejones de poró, B) cultivos en callejones de gliricidia, C) parcelas sin árboles. Experimento La Montaña, Turrialba, Costa Rica

pH ácido y altos contenidos de Mn hacen sospechar posibles limitaciones del rendimiento del frijol por toxicidad de Al y/o Mn (Flor). La disponibilidad de N a la planta, podría estar limitada por la presencia de algunos materiales como gibbsita y alloisita* que al reaccionar con radicales orgánicos forman complejos resistentes a la descomposición (Fox, 1978). De acuerdo con las categorías definidas para Costa Rica, este suelo posee condiciones de fertilidad media (Berth, 1986).

Cuadro 2. Métodos utilizados para la determinación de nutrimentos, pH y MO en suelos, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Parámetro	Método	Lectura	Referencia
pH 1:2,5	H ₂ O	Potenciómetro	Diaz-Romeu y Hunter, 1978
MO	K ₂ Cr ₂ O ₇ + H ₂ SO ₄ + Sal Mohr	Titulación	Saiz del Rio y Bornemiza, 1962
N	Semimicro kjeldahl	Titulación	Diaz-Romeu, 1977
P	Olsen Mod.	Abs. Atómica	Diaz-Romeu y Hunter, 1978
K Cu Zn Mn	KCl 1N	Abs. Atómica	Diaz-Romeu y Hunter, 1978

3.3. HISTORIA GENERAL DEL ENSAYO

El ensayo se estableció en 1982. En los primeros tres años, se sembró en mayo de cada año, maíz (Z. mays L., Cv Tuxpeno C-7), y yuca (Manihot esculenta Crants, V. Valencia) en densidades de 30000 y 10000 plantas.ha⁻¹, respectivamente. Después del tercer año, (mayo de 1985) no se volvió a sembrar yuca, y el maíz y el frijol se comenzaron a sembrar con densidades de 40000 y 133000

*: Kass, D. 1990. Presencia de gibbsita y alloisita en los suelos de La montaña. Turrialba, C. R., CATIE. (Comunicación personal).

plantas. ha^{-1} , respectivamente. Dos veces por año, se podaron los árboles y se aplicaron las enmiendas en mayo y septiembre, inmediatamente antes de la siembra del maíz o del frijol; y además se hizo una fertilización base de 88 $\text{kg}.\text{ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ de P_2O_5 como superfosfato triple, 130 $\text{kg}.\text{ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ de K_2O como KCl. En cada ciclo del cultivo se hizo análisis de la fertilidad del suelo antes de la siembra (Cuadro 2), además se determinó la producción de materia seca, rendimiento y asimilación de nutrimentos del cultivo, producción de biomasa de los árboles y cantidad de nutrimentos aplicados (Kass et al, 1989; Sánchez, 1989).

3.4 UNIDAD EXPERIMENTAL

Consiste en parcelas de 12 x 18m, divididas en dos subparcelas de 6 x 18 m; las parcelas con árboles de Gliricidia son de 12x24 m, divididas en dos subparcelas de 6x24 m (Figura 2). Adicionalmente existen seis parcelas extras de 6x18 m. En total hay 18 unidades experimentales (parcelas grandes) de 12x18 m, 3 de 12x24 m y 6 de 6x18 m, para un total de 48 sub-parcelas (Figura 3).

El frente de trabajo se inició con el muestreo de suelos para el análisis de fertilidad en Noviembre 14 de 1989; seguidamente se hizo la aplicación de los tratamientos en Noviembre 19-28 de 1989. Antes de sembrar se usó herbicida para el control de malezas; para la siembra (Diciembre 12-15 de 1990) se empleó semillas de frijol variedad Negro Huasteco, desinfectada con vitavax, en una cantidad de 240000 semillas. ha^{-1} . En las parcelas con árboles se usó distancias de 0,40x0,25 m, ~~X~~ 12 surcos o 576 golpes por callejón; en las parcelas con árboles de Poró correspondieron 36 surcos o 1728 golpes, en las parcelas con árboles de Gliricidia correspondieron 48 surcos o 2304 golpes (Figura 4A). En las parcelas sin árboles las distancias fueron de 0,50x0,25 m o sea 36 surcos y 1728 golpes (Figura 4B); se sembraron 3 semillas por hoyo.

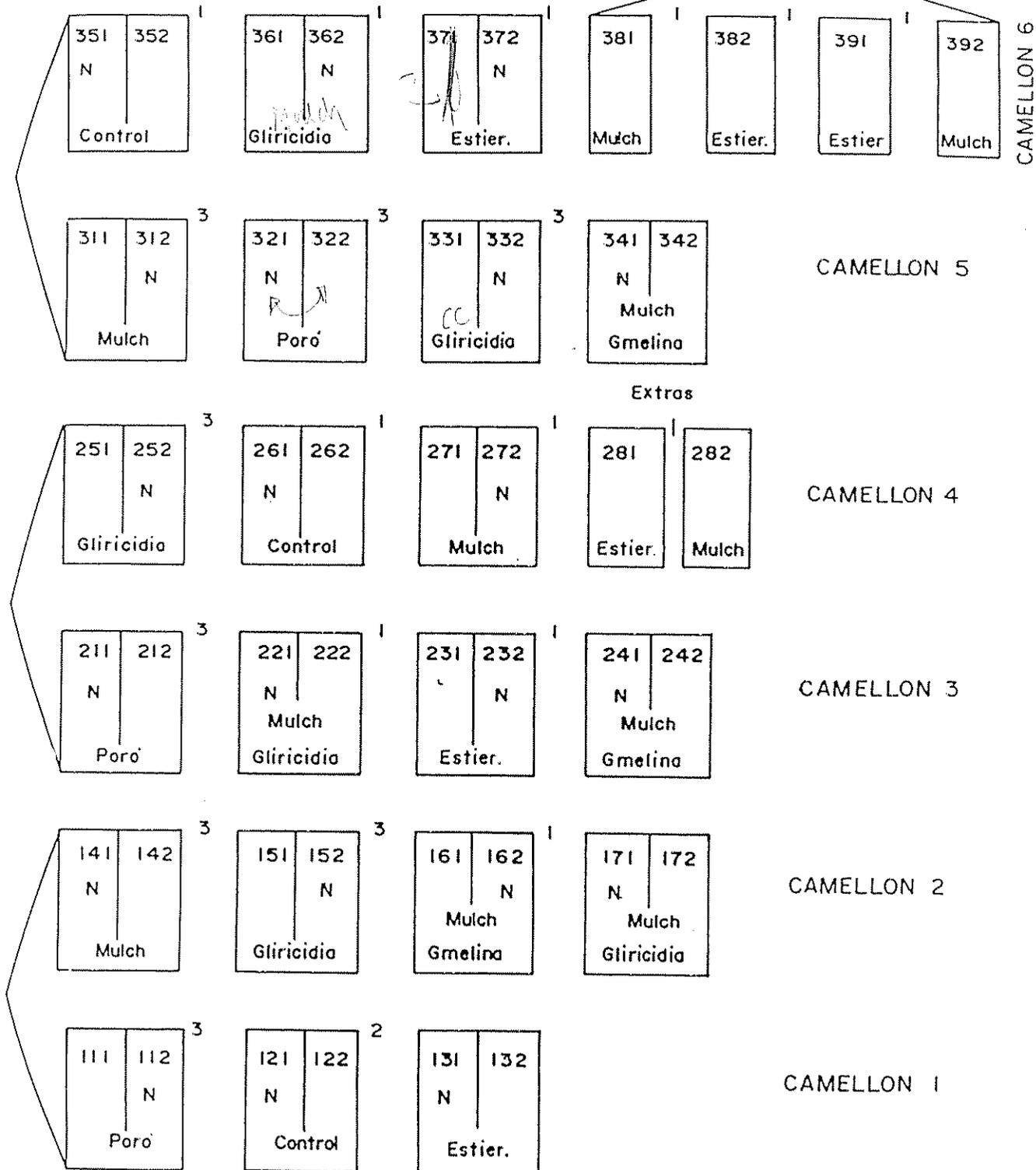


Fig. 3 Disposición de parcelas en el campo del ensayo en cultivo de callejones, mostrando localización de camellones, repeticiones y parcelas extras, "La Montaña", Turrialba, Costa Rica

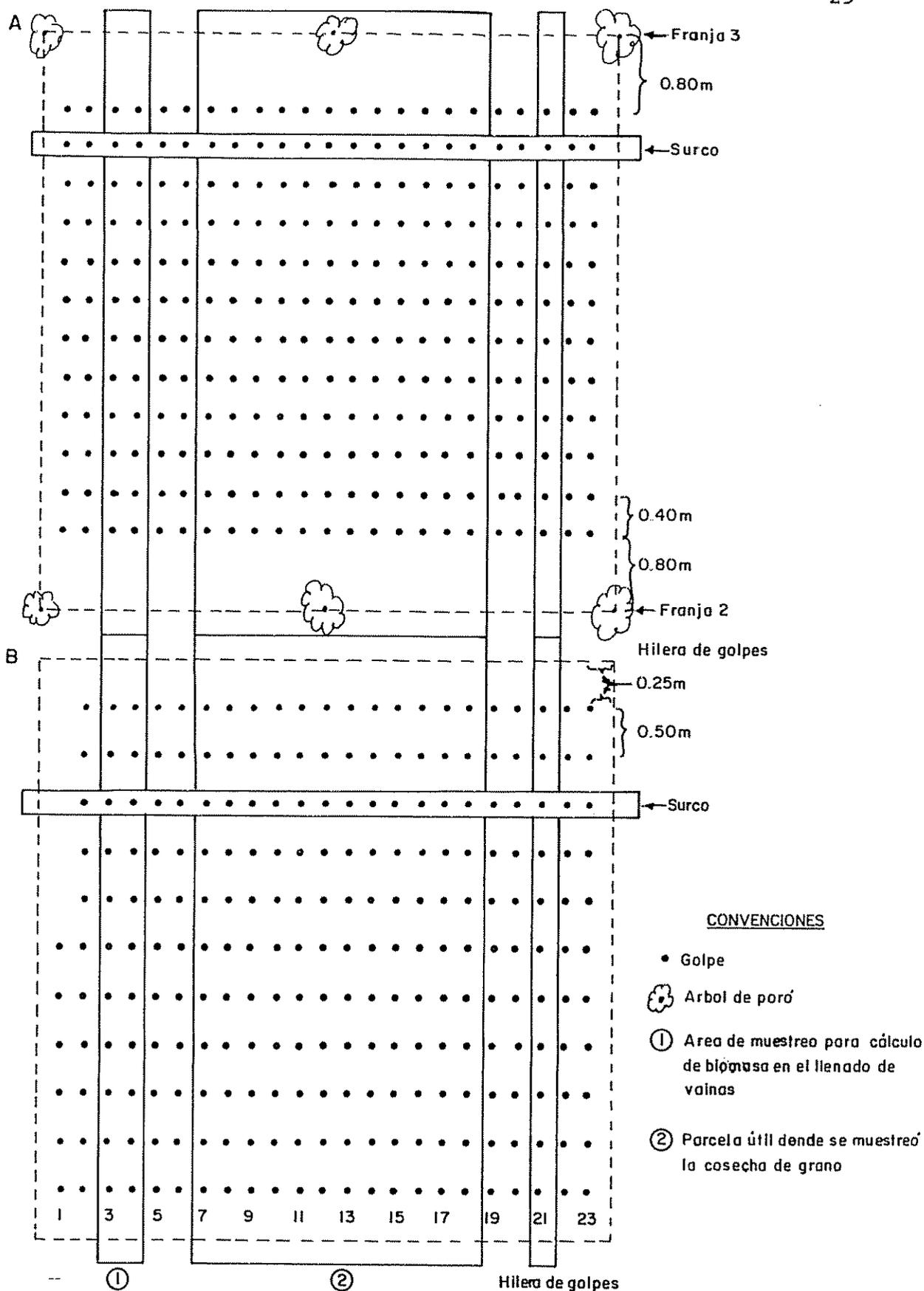


Figura 4 Distancia de siembra del cultivo de frijol en el área útil de las sub-parcelas A) cultivos en callejones, B) parcelas sin árboles. Experimento La Montaña, Turrialba, Costa Rica

Después de la siembra se aplicó furacán en cada golpe y tres semanas más tarde se hizo un raleo de plántulas para dejar dos por golpe.

La fertilización se realizó veinte días después de la siembra (Ene 3-4 de 1990). En todas las parcelas grandes, con excepción de las extras, se aplicó $83,33 \text{ kg.ha}^{-1}$ de superfosfato triple ó 40 kg.ha^{-1} de P_2O_5 (50 g.surco^{-1} de SPT) y $161,66 \text{ kg.ha}^{-1}$ de KCl u 80 kg.ha^{-1} de K_2O (97 g.surco^{-1} de KCl); luego, en una de las subparcelas de cada parcela grande se aplicó 55 kg.ha^{-1} de urea o $25,3 \text{ kg.ha}^{-1}$ de N (33 g.surco^{-1} de urea).

Después de la fertilización, para el control de plagas y enfermedades, se hicieron tres aspersiones con una mezcla de 28,3-42,4 g de benlate, 84,9 g de trimiltox, 84,9 g de orthene y 42,4-56,6 g de adherente.

3.5. TRATAMIENTOS

3.5.1. Control (C)

No hubo aplicación de mulch ni estiércol en las parcelas grandes 121-122, 261-262, 351-352 (Figura 3). Solamente se devolvieron los residuos de maíz procedentes del cultivo anterior.

3.5.2. Mulch de poró (MP)

Consistió en la aplicación sobre la superficie del suelo, de ramas y hojas frescas de poró (E. poeppigiana) procedentes de árboles ubicados en un relicto de vegetación natural y de árboles asociados a cultivos de café. En cada parcela grande 141-142, 271-272, 311-312 (Figura 3), se aplicó 432 kg de materia fresca, lo que es equivalente a 20000 kg.ha^{-1} . Adicionalmente en tres parcelas extras 281-381-391 (Figura 3), cuyas dimensiones son la mitad de las parcelas grandes, se aplicó 216 kg.ha^{-1} del mismo material.

3.5.3. Estiércol de vaca (M)

En las parcelas grandes 131-132, 231-232, 371-372 (Figura 3) se aplicó sobre la superficie del suelo 432 kg de estiércol de vaca fresco procedente de la Finca de Ganadería de CATIE, equivalente a $20000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Igualmente en las tres parcelas extras 271-382-391 (Figura 3), cuyas dimensiones son la mitad de las parcelas grandes, se aplicó $216 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

3.5.4. Mulch de Gmelina (MGM)

En las parcelas grandes 161-162, 241-242, 341-342 (Figura 3), se aplicó sobre la superficie del suelo, 432 kg de ramas y hojas frescas de árboles de G. arborea ubicados en relictos de vegetación natural equivalente a $20.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

3.5.5. Mulch de Gliricidia (MGL)

En las parcelas grandes 151-152, 221-222, 361-362 (Figura 3), se aplicó sobre la superficie del suelo, ramas y hojas frescas de árboles de G. sepium ubicados en cercas vivas equivalente a $20.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

3.5.6. Cultivo en Callejones de poró (PCC)

Los árboles en las parcelas grandes 111-112, 211-212 y 321-322 (Figura 3), se sembraron en 1982 por medio de estacas de 2 m de longitud a una distancia de 6 m entre las franjas y 3m entre los árboles (555 árboles por hectárea, Figura 2A). Antes de la siembra se aplicó sobre la superficie del suelo las ramas de la poda de estos árboles, equivalente en promedio a una dosis de $16700 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Para el cálculo de la biomasa fresca aplicada, se seleccionaron cuatro árboles por parcela grande (dos árboles por subparcela) ubicados en las franjas intermedias de la

parcela que dan origen al callejón central (Figura 2A). Se pesó por árbol, la biomasa verde total y se obtuvo una submuestra consistente en tres ramas tomadas al azar, para el registro de peso verde de hojas y tallos. De cada rama se tomó una submuestra de hojas y otra de tallo para determinar peso seco usando la fórmula:

$$PS = PV \cdot (ps \cdot pv^{-1}) \quad (1)$$

PS = Peso seco de hojas o tallo por rama, PV = Peso verde de hojas o tallo por rama, ps = peso de hojas o tallo de la submuestra después de secada en horno a 70 °C hasta peso constante, pv = peso verde de la submuestra antes de secar.

Las submuestras también se emplearon para calcular la relación hoja.tallo⁻¹ y determinar el contenido de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn y Fe, usando los métodos de análisis químico citados en el cuadro 3.

Cuadro 3. Métodos químicos utilizados para la determinación del contenido de nutrimentos en tejidos vegetales, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Parámetro	Método	Lectura	Referencia
N	Microkjeldahl	Titulación	Muller, 1961
P/S	Digestión nítrico perclórica	Colorimetría	Johnson y Ulrich, 1967
K Ca MG Cu	Digestión nítrico perclórica	Abs. Atómica	Jonhson y Ulrich, 1967
Mn Zn			

La cantidad de nutrimentos aportada por cada tratamiento en kg.ha⁻¹ se calculó mediante la fórmula:

$$N = C * MS \quad (2)$$

C = Concentración del nutrimento en porcentaje determinada en cada componente; MS = Peso seco de los componentes de cada tratamiento (Cuadro 4); N = Cantidad del nutrimento adicionado en cada tratamiento en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

3.5.7. Cultivo en Callejones de Gliricidia (GCC)

Los árboles se sembraron en 1982 en las parcelas grandes 151-152, 251-252 y 331-332 (Figura 3), por medio de estacas de 60 cm de longitud a una distancia de 6 m entre franjas y 0,5 m entre árboles, dando origen a 3333 árboles por hectárea (Figura 2B). Este tratamiento consistió en la aplicación sobre la superficie del suelo de las ramas y hojas frescas de la poda de estos árboles, equivalente a $17000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Para el cálculo de la biomasa fresca aplicada, se muestreó cuatro hileras de nueve árboles cada una por parcela grande (dos hileras por subparcela), en el tercer callejón comprendido entre las franjas de árboles 3 y 4 (Figura 2B). Por hilera se pesó la biomasa verde total en kilogramos; luego se tomó tres ramas al azar, se pesó por separado las hojas y los tallos para calcular la relación $\text{hoja} \cdot \text{tallo}^{-1}$; por último, se tomó una submuestra de hoja y otra de tallo por rama, para obtener el peso seco según la fórmula (1), determinar la concentración y cantidad de nutrimentos.

En el caso de los tratamientos Mulch de Poró, estiércol, Mulch de Gmelina y Mulch de Gliricidia se tomó tres submuestras de hoja y tres de tallo por tratamiento para calcular peso seco, determinar la concentración de nutrimentos por medio de los métodos ya citados en el cuadro 4 y calcular la cantidad adicionada de éstos por hectárea.

Una de las limitantes para cuantificar la cantidad aportada de nutrimentos, en las parcelas sin árboles con aplicación de material vegetal de Poró, Gliricidia y Gmelina, fue la no cuantificación por separado de la cantidad de hoja y tallo aportados. Este aspecto es de especial relevancia, en vista de que la concentración de nutrimentos difiere según la parte de la planta; además, la cantidad de tallo que se aplicó juega un papel importante en la inmovilización de los elementos nutritivos. Por esta razón, la relación hoja-tallo se tomó con base en datos del ensayo y de otros trabajos realizados en zonas ecológicamente similares con árboles de la misma especie y estado de desarrollo similar. En el caso de poró, se usó el porcentaje de hoja y tallo obtenido en cultivos en callejones de Poró. Para Gmelina se empleó 20% de hoja y 80% de tallo basado en las evaluaciones hechas por Rodríguez (1985) en árboles con brotes de dos años aparentemente más jóvenes que los árboles de donde se tomó el mulch; en el caso de Gliricidia se usaron los porcentajes determinados en el ensayo de 36,7% hoja y 63,3% tallo, los cuales se consideran que sobreestiman la proporción de hoja, ya que el mulch aplicado tenía un contenido alto de tallo. Los porcentajes de los datos de materia fresca y seca, por hoja y tallo en cada tratamiento, se registran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Dosis de mulch y estiércol en $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ aplicados en el experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Tratamientos	Peso verde			Peso seco		
	hoja	tallo	total	hoja	tallo	total
Control	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mulch de Poró	9,86	10,14	20,00	2,42	2,40	4,82
Estiércol	-	-	20,00	-	-	6,00
Mulch Gm.	4,00	16,00	20,00	1,52	6,94	8,46
Mulch Gl.	7,34	12,66	20,00	2,01	5,76	7,77
Poró (CC)	8,23	8,47	16,30	1,97	2,03	4,00
Gliricidia (CC)	6,24	10,76	17,00	1,87	3,23	5,10

CC: Cultivo en Callejones

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental usado fue de parcelas divididas, donde los tratamientos se asignaron a las parcelas grandes siguiendo un diseño en bloques al azar, con tres repeticiones; los niveles de nitrógeno se asignaron a las subparcelas (Figura 3).

Modelo General

$$Y_{ijk} = u + B_i + I_j + E_{ij} + N_k + IN_{jk} + E_{ijk} \quad (3)$$

Y_{ijk} = Variable dependiente; MS, REND, VAR_{edáficas}, N_{foliar}, Ureidos.

u = Media 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 de los tratamientos con nitrógeno

E_{ijk} = Error total del experimento

3.7. VARIABLES EDAFICAS

3.7.1. Mineralización de nitrógeno en el suelo (NM)

En las 48 subparcelas del ensayo (Figura 2), durante el ciclo de desarrollo del cultivo, se hicieron 6 muestreos en las fechas y estado fenológico del cultivo que se indican en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Muestreo de suelos para la determinación de la mineralización neta de amonio por incubación anaeróbica durante el ciclo del cultivo de frijol *P. vulgaris*, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Fecha	Muestreo	Edad	Estado Fen.	Observaciones
17-11-89	01	-----	-----	Descanso tierra
20-12-89	02	-----	Germinación	Poca lluvia-
16-01-90	03	30 d	V4-R5 ¹	Fertilización
30-01-90	04	44 d	Floración	Más del 80 % plants
14-02-90	05	58 d	R7-R8 ²	-----
12-03-90	06	64 d	Maduración	Mucha lluvia, cosecha

1 : Estado intermedio entre la tercera hoja trifoliada desplegada y prefloración,

2 : Más del 70 % de las vainas formadas e iniciación del llenado de vainas,

d : Días,

Por subparcela, en el área de muestreo, se tomaron 6 submuestras con un palín pequeño a una profundidad de 5 cm, con el fin de obtener una muestra compuesta (Figura 2); luego se homogenizaron en el laboratorio sin secado del suelo, tratando de mantener las condiciones de campo, y después se tomó una muestra de 60-70 g, para determinar el contenido de humedad en el suelo, usando la fórmula 4.

$$CH = (SH-SS)/SS \quad (4)$$

CH = Contenido de humedad en el suelo, SH = peso del suelo húmedo, SS = peso del suelo seco en estufa Boekel a

105 °C hasta peso seco constante. Este contenido de humedad se empleó para ajustar las muestras de suelo húmedo a peso seco incubadas anaerobicamente.

La mineralización neta de amonio, se determinó por incubación anaeróbica del suelo fresco durante 7 días a 40 °C siguiendo la metodología de Bremner (Waring y Bremner, 1964).

Se eligió este método debido a las siguientes razones:

. Es un método más sencillo comparado con la incubación aeróbica (Stanford, 1982).

. El amonio producido anaeróbicamente ha presentado correlaciones muy altas con la cantidad de N total (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^{-2}) mineralizado durante la incubación aeróbica (Waring y Bremner, 1964).

. Los índices de mineralización obtenidos anaeróbicamente han correlacionado muy bien con el nitrógeno asimilado por algunas plantas como L. perenne (Keeney y Bremner, 1966; Kadirgamathoiyah y Mackensie, 1970), arroz (Dolmat et al, 1980) y maíz (Cornforth, 1968). Además, se ha demostrado en algunas investigaciones que el índice de disponibilidad de nitrógeno se expresa mejor en incubación anaeróbica que aeróbica (Keeney y Bremner, 1966; Dolmat et al, 1980).

El muestreo de suelos a 5 cm de profundidad se realizó teniendo en cuenta de que allí se encuentra un gran porcentaje del sistema radicular con la mayor cantidad de nódulos (observaciones personales); Avilan citado por Rosolem (1985), indicó que más del 70% de las raíces del suelo se encuentran en los primeros 10 cm. Además, ocurren las ratas de mineralización más altas en el perfil del suelo (Matson et al, 1987). Es de esperar que las adiciones de materia orgánica fresca al ser mineralizadas por los

microorganismos pueden afectar la microflora y su actividad a esta profundidad.

3.7.2. Otros parámetros de fertilidad del suelo

Estos parámetros permiten caracterizar la fertilidad del suelo y son los siguientes; pH y acidez extraíble, MO, N_t , C/N, bases intercambiables (K, Ca, Mg), P, elementos menores (Cu, Zn, Mn, Fe). La determinación de estos parámetros, antes de la aplicación de los tratamientos y después de la cosecha, permitió evaluar si hubo cambios significativos en la fertilidad del suelo, durante el ciclo del cultivo. Descripciones detalladas de cada uno de estos parámetros se encuentran en Fassbender (1982) y Sánchez (1982). Para el cálculo de la relación C/N se tuvo en cuenta el contenido de N_t determinado en las 48 subparcelas del ensayo y el C orgánico obtenido a partir de la MO determinada en esas mismas subparcelas. La fórmula empleada en el cálculo del C orgánico fue:

$$\% C = \% MO / 1,724 \quad (5)$$

La relación C/N se calculó dividiendo el contenido de C entre el contenido de N_t .

3.8. VARIABLES FISIOLÓGICAS DEL CULTIVO

El desarrollo de la planta de frijol comprende 2 fases sucesivas, la vegetativa y la reproductiva. La fase vegetativa se inicia en el momento en que la semilla dispone de condiciones favorables para germinar, y termina cuando aparecen los primeros botones florales. En esta fase se forma la mayor parte de la estructura vegetativa que la planta necesita para iniciar su reproducción. La fase reproductiva termina cuando el grano alcanza el grado de madurez necesario para la recolecta. Las siguientes son las 10 etapas que se han identificado (Tapia y Camacho, 1988):

Fase vegetativa

V0: Germinación
 V1: Emergencia
 V2: Hojas primarias
 V3: 1a. Hoja trifoliada
 V4: 3a. hoja trifoliada

Fase reproductiva

R5: Prefloración
 R6: Floración
 R7: Formación de vainas
 R8: Llenado de vainas
 R9: Maduración

Las variables fisiológicas empleadas en este ensayo corresponden todas a la fase reproductiva; ellas son el estado nutricional de la planta en la floración, materia seca en el llenado de vainas, producción de grano en la maduración, componentes del rendimiento (número de plantas por hectárea, número de vainas por planta, número de granos por vaina y peso seco de cien granos), índice de cosecha y eficiencia de asimilación de nitrógeno.

3.8.1. Biomasa de hoja-tallo, raíces y vainas

Cuando el cultivo estaba en el llenado de vainas, estado fenológico (R8), se muestreó en el área útil de cada subparcela el tercer y cuarto golpe a partir del extremo (Figura 4). Cada área de muestreo tenía 6 m² en donde teóricamente debería haber un máximo de 48 plantas (12 surcos x 2 hileras de golpes x 2 plantas). Se contó el número de plantas para medir sobrevivencia, luego se separaron las ramas (hoja-tallo), raíces, vainas y se pesaron. Posteriormente se tomó una submuestra de cada componente (144 submuestras en total) para obtener el peso seco y determinar el contenido de nutrimentos usando las metodologías descritas en el Cuadro 3.

3.8.2. Determinación de la producción de grano

En la maduración fisiológica del cultivo (R9), se hizo el muestreo para determinar la producción de grano. En el área útil de cada subparcela se eligió una área de 18 m² (Figura 4), en la cual teóricamente habría 288 plantas (12 surcos x 12 hileras de golpes x 2 plantas). Solamente se

cosechó la parte aérea. Se contó el número de golpes y plantas para determinar la sobrevivencia. Con el fin de calcular los componentes del rendimiento (No. plantas.ha⁻¹, No. vainas.planta⁻¹, No. de granos.vaina⁻¹, peso seco de 100 granos), se eligieron 12 plantas al azar, se separó y contó las vainas y sus granos. Posteriormente se tomó otra submuestra de 100 granos para determinar el porcentaje de peso seco; con este valor se calculó el peso seco de las semillas de la submuestra y se corrigió este peso al 14% de humedad mediante la fórmula:

$$P = PS*(100/86) \quad (6)$$

P = Peso de grano a 14% de humedad, PS = peso seco de grano. La fórmula (6) resultó de una regla de tres, en que al peso seco se le asignó un 86% y para un aumento del 14% de humedad se asignó el 100% a la cantidad final P.

El resto de las plantas cosechadas por subparcela, se llevaron y secaron bajo sombra, luego se separó, desgranó y pesó los granos. El contenido de humedad se determinó usando un medidor de humedad Dole 400. De acuerdo con este CH se estableció el porcentaje de peso seco de granos y después se hizo la corrección al 14% de humedad usando la fórmula (6). Por último, se obtuvo el peso de grano a 14% de humedad por área útil de cada subparcela, sumando los valores obtenidos en la submuestra y en el resto de las plantas. Adicionalmente se determinó el índice de cosecha dividiendo el rendimiento de grano sobre la biomasa total.

3.8.3. Contenido de nutrimentos en las hojas

Con el objetivo de evaluar el estado nutricional del cultivo y la fijación de nitrógeno, se tomó en el área útil de cada subparcela (Figura 2), la segunda y tercera hoja a partir del ápice de las plantas en una cantidad aproximada de 200 g de peso verde. Luego las muestras se secaron en

horno a 70 °C hasta peso seco constante, después se molieron y pasaron a través de una malla No. 60. Posteriormente se determinó N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Zn y Fe usando los métodos de análisis químico ya descritos en el Cuadro 3. Los ureidos se extrajeron con agua caliente por 2 minutos y se leyeron por colorimetría usando un patrón de alantonina (Herridge, 1982); del mismo extracto, se determinaron los nitratos por destilación a vapor con óxido de magnesio y aleación de devarda (Bremner, 1965b). Los ureidos y nitratos también se determinaron en la hoja-tallo del frijol en el llenado de vainas, con el fin de calcular la abundancia relativa de ureidos mediante la fórmula:

$$AR (\%) = U/(U+NO_3) \quad (7)$$

AR = Abundancia relativa de ureidos en (%), U = ureido en el tejido en $\mu\text{g.ml}^{-1}$, NO_3 = nitratos en el tejido en $\mu\text{g.ml}^{-1}$.

La definición preliminar del nivel crítico del nitrógeno foliar del frijol, en las condiciones climáticas de Turrialba y variedad, siguió la metodología sugerida por Cate y Nelson (1971).

La eficiencia de asimilación de nitrógeno se determinó dividiendo el nitrógeno exportado en grano sobre el N asimilado por la planta entera.

3.8.4. Rizobio nativo en el suelo

La determinación del número de rizobia nativo en el suelo se hizo utilizando la técnica del número más probable (Somasegaran y Hoben, 1985).

Cinco días después de la cosecha, en las parcelas sin nitrógeno de los tratamientos Control, Mulch de Poró, Mulch de Gmelina, Mulch de Gliricidia, cultivo en callejones de Poró y cultivo en callejones de Gliricidia, se hizo un

muestreo de suelos a una profundidad de 5 cm siguiendo la misma metodología descrita para determinar el contenido de humedad. En total se muestrearon 18 subparcelas, en las cuáles se recolectó una muestra compuesta de 200 g de suelo húmedo aproximadamente y luego se homogenizaron en el Laboratorio. Después, por subparcela se pesó 150 g de suelo húmedo en un erlenmeyer de 1000 ml y se hizo una dilución con agua destilada. Por último, en los tratamientos C (-N), MGL (-N) y MGM (-N) se hizo diluciones decimales del $1:10^{-3}$, $1:10^{-4}$ y $1:10^{-5}$; en los tratamientos PCC (-N), GCC (-N) y MP (-N), las diluciones fueron 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} ; cada dilución tenía 5 frascos con 2 cartuchos de 3 semillas cada uno. En total se emplearon 330 frascos (Figura 5).

Las plántulas de frijol variedad Negro Huasteco se obtuvieron de semillas que se pusieron a germinar en papel de germinación previamente asperjado con solución de CRONE que no contiene nitrógeno.

En Abril 5 de 1990 cuando las plantas tenían 19 días de edad, se hizo el registro de nodulación; por frasco, la presencia de nódulos se anotó con un signo positivo (+), y a la no presencia de nódulos se consignó con signo negativo (-). El cálculo del número más probable de rizobio en el suelo por tratamiento se basó en las tablas de Alexander (1977).

3.9. EVALUACION ESTADISTICA

Para el estudio del efecto de los tratamientos (C, MP, M, MGM, MGL, PCC, GCC) y de la fertilización con N, sobre la producción de materia seca, rendimiento del cultivo, parámetros edáficos antes de la siembra y después de la cosecha, concentración foliar de N, abundancia relativa de ureidos en la floración y llenado de vainas, índice de cosecha se usó el modelo en parcelas divididas de la

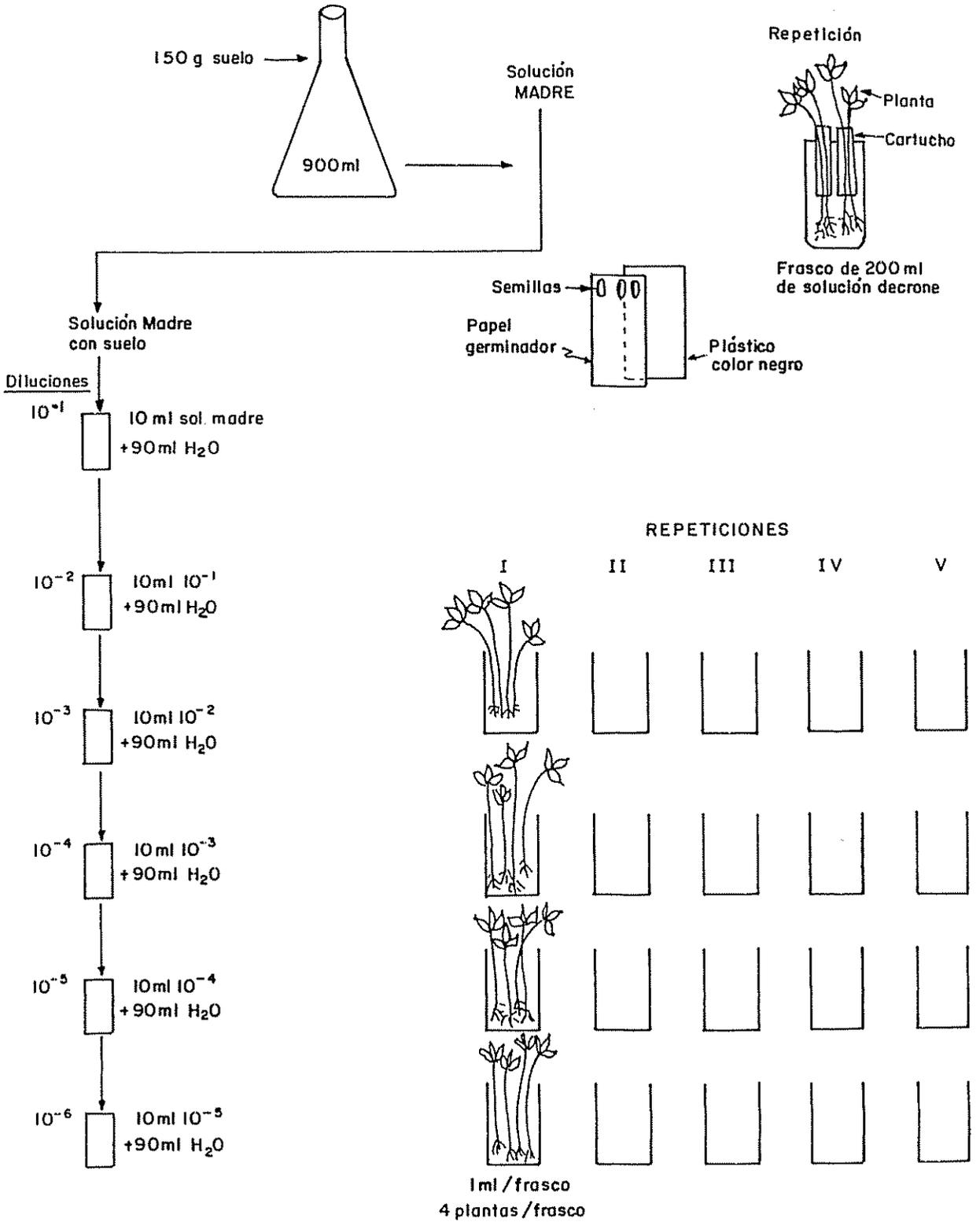


Figura 5. Esquema de la metodología de dilución e inoculación de plantas para el recuento de Rhizobium nativo mediante la técnica del número más probable

ecuación (3). La división de los grados de libertad (Cochran y Cox, 1974), se describe en el Cuadro 6.

Cuadro 6. División de los grados de libertad para un diseño en parcelas divididas.

F de Var.	gl
Bloques	(r-1)
Tratamientos	(α -1)
Error (a)	(α -1)(r-1)
Nitrógeno	(β -1)
Trat. x Nitrog.	(α -1)(β -1)
Error (b)	a(r-1)(β -1)
Total	ra(β -1)

r: Número de repeticiones
 α : Número de tratamientos
 β : Niveles de nitrógeno
 (Fuente : Cochran y Cox, 1974)

El estudio del efecto de la fertilización con PK se basó siguiendo el modelo en parcelas divididas (ecuación 3). Los tratamientos correspondieron a la aplicación de mulch de poró y estiércol en las parcelas extras 281, 282, 381, 382, 391, 392 y las parcelas grandes sin nitrógeno 132, 142, 231, 271, 311, 371 (Figura 3). Los niveles de PK fueron: cero en las parcelas extras y 40 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ + 80 kg.ha⁻¹ de K₂O en las parcelas grandes sin nitrógeno.

Para estudiar los efectos de los tratamientos, fertilización de N y período de muestreo, sobre el potencial de mineralización de nitrógeno en el suelo y el contenido de humedad, se empleó un modelo de parcelas sub-divididas, tal como se describe en la ecuación siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + I_j + E_{ij} + N_k + IN_{jk} + E_{ijk} + M_l + IM_{jl} + NM_{kl} + INM_{jkl} + E_{ijkl} \quad (8)$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable dependiente, N_{min} ,
 μ = Media general de la población,
 β_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. x Nitrog.,
 E_{ijk} = Error en las subparcelas,
 M_l = Efecto del período de muestreo,
 IM_{jl} = Efecto de la interacción Trat. x Muestreo,
 NM_{kl} = Efecto de la interacción Nitrog. x Muestreo,
 INM_{jkl} = Efecto de la interacción Trat. x Nitrog. x Muestreo
 E_{ijkl} = Error total del experimento

En el caso de la mineralización de N se empleó como covariable el CH, ya que es uno de los factores que más influyen en ésta (Fassbender, 1982).

La división de los grados de libertad, se describe en el Cuadro 7.

Cuadro 7. División de los grados de libertad para un diseño en parcelas subdivididas.

F de Var	gl
Bloque	(r-1)
Tratamiento	(α -1)
Error (a)	(r-1)(α -1)
Nitrógeno	(β -1)
Trat. x Nitrog.	(α -1)(β -1)
Error (b)	α (r-1)(β -1)
Muestreo	(F-1)
Trat. x Muestro	(α -1)(F-1)
Nitrog. x Muestro	(β -1)(F-1)
T x N x M	(α -1)(β -1)(F-1)
Error (c)	α (r-1)(β -1)(F-1)

r: Número de repeticiones
 α : Número de tratamientos
 β : Niveles de nitrógeno
 F: Número de muestreos
 (Fuente: Steel y Torrie, 1985)

El efecto de los tratamientos C (-N), MP, (-N), MGM (-N), MGL (-N), PCC (-N), GCC (-N), en el rhizobio nativo del suelo, se estudió mediante un modelo de bloques al azar, tal como se describe en la ecuación siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + I_j + E_{ij} \quad (9)$$

Donde:

Y_{ij} = Variable dependiente, Rhizobio nativo del suelo,
 μ = Media de la población,
 β_i = Efecto del bloque,
 I_j = Efecto del tratamiento,
 E_{ij} = Error total del experimento.

La división de los grados de libertad, se describe en el Cuadro 8.

Cuadro 8. División de los grados de libertad para un diseño en bloques completos al azar.

F de Var	gl
Bloques	(r-1)
Tratamiento	(α -1)
Error	(r-1)(α -1)
Total	r α -1

r: No. repeticiones, α : No. Tratamientos
(Fuente: Cochran y Cox, 1974).

Para relacionar: el nitrógeno mineralizado en cada período de muestreo vs rendimiento; número de plantas.ha⁻¹, número vainas.planta⁻¹, número de granos.vaina⁻¹ y peso seco de 100 granos vs rendimiento, se usó el análisis de regresión múltiple empleando el modelo siguiente (Nelder et al, 1983):

$$Y_1 = B_0 + B_1 X_{11} + \dots + B_{p-1} X_{1.p-1} + E_1 \quad (10)$$

Donde :

B_0, B_1, \dots, B_{p-1} son parámetros,
 Y_1 = variable respuesta (Rendimiento)
 $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1,p-1}$ son variables independientes y corresponden al nitrógeno mineralizado en cada muestreo, y las variables del rendimiento ($\text{No. plantas.ha}^{-1}$, $\text{No. vainas.planta}^{-1}$, $\text{No. granos.vaina}^{-1}$, peso seco de 100 granos).
 E_i = error con distribución normal,
 $I = 1, \dots, n$.

Para estudiar los cambios de los parámetros edáficos (pH, acidez, MO, N_t , C/N, K, Ca, Mg, P, Cu, Zn, Mn, Fe), antes de la aplicación de los tratamientos y después de la cosecha, se usó la prueba T de student (Freese, 1970; Caballero, 1985).

Para el ajuste de los modelos diseño de bloques completos al azar, parcelas divididas, parcelas subdivididas, análisis de regresión múltiple y pruebas de T, se empleó el paquete estadístico SAS (1987).

En la evaluación de la relación entre: contenido de humedad vs nitrógeno mineralizado; nitrógeno mineralizado en las épocas de siembra, fertilización, floración y llenado de vainas vs rendimiento; nitrógeno foliar en la floración vs rendimiento; biomasa vs rendimiento se empleó el paquete estadístico de Palmer (1988).

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. DINAMICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Los cultivos en callejones pueden contribuir al mantenimiento de la fertilidad del suelo si conservan la materia orgánica, controlan la erosión, mejoran las propiedades físicas del suelo, aumentan la fijación de nitrógeno y promueven el reciclaje de nutrimentos (Sánchez, 1987; Young, 1989)).

Con el fin de estimar posibles cambios en el suelo durante el ciclo del cultivo del frijol, se determinaron por tratamiento algunos parámetros del suelo antes de la siembra y después de la cosecha (Cuadro 9). La discusión que sigue se hace con la salvedad que los mismos han de tomarse con suma cautela por limitaciones metodológicas y el poco tiempo transcurrido entre ambos muestreos.

4.1.1 Nitrógeno

El contenido de N, antes de la siembra y después de la cosecha no presentó diferencias significativas entre los cultivos en callejones y el control (Cuadro 9), indicando que éstos no han tenido influencia significativa en este parámetro del suelo, aunque sí presentan valores levemente superiores. Los cambios del nitrógeno en el ciclo del cultivo por tratamiento fueron mínimos, con una significancia de $P > 0,062$ en el tratamiento con mulch de poró (Cuadro 10). Este resultado concuerda con las evaluaciones hechas por Sánchez (1989), para un período de 4 años en el mismo sitio. Aunque el contenido de nitrógeno parece ser alto (Diaz-Romeu y Hunter, 1978; Cuadro 9), es factible esperar limitaciones de este nutrimento, pues la descomposición de la materia orgánica es aparentemente lenta debido al asocio de los coloides orgánicos con arcillas muy

activas de carga negativa para formar complejos órgano-minerales muy estables (Fox, 1978). En los suelos de La Montaña se ha reportado la existencia de arcillas tipo alloisita y gibbsita, que no son semejantes a los minerales amorfos tipo alofana, de conocida reactividad. Sin embargo, su comportamiento en el suelo formando los complejos organominerales anteriormente mencionados, podrían explicar no solamente la ausencia de cambios dramáticos en los contenidos de materia orgánica del suelo a través del período de evaluación del presente experimento, sino también los altos contenidos de materia orgánica en estos suelos. Cabe recalcar que el manejo del experimento es de labranza cero, que tampoco favorece la mineralización de la materia orgánica (Lal, 1989b). Al existir un reservorio grande las adiciones de los diferentes tratamientos en este experimento son insuficientes para provocar cambios notables en los contenidos de materia orgánica y nitrógeno, en el período relativamente corto durante el cuál se ha evaluado el experimento.

Por el contrario, en suelos pobres en N, las adiciones de mulch tuvo efectos favorables sobre el N total tanto a corto plazo (Hussain, 1987) como a largo plazo (Kang et al, 1981).

Otro aspecto que puede estar influyendo en la dinámica del N del suelo es la exportación de este elemento en la cosecha tanto del maíz (grano) y el frijol (grano y rastrojo).

Cuadro 9. Efecto de los tratamientos sobre los parámetros del suelo a 0-20 cm de profundidad, antes de la siembra y después de la cosecha del frijol *p. vulgaris*, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Parámetros	T r a t a m i e n t o s						
	C	MP	M	MGM	MGL	PCC	GCC
pH	AS 4,76ab	4,91ab	4,96a	4,91ab	4,91ab	4,70b	4,86ab
	DC 4,71a	4,88a	4,91a	4,85a	4,85a	4,75a	4,91 a
Acidez ¹	AS 1,13a	0,75a	0,72a	0,81a	0,82a	0,70a	0,77 a
	DC 1,08a	0,55a	0,66a	0,86a	0,70a	0,95a	0,55 a
MO ²	AS 57,58a	58,71a	59,95a	56,91a	60,76a	60,40a	55,66 a
	DC 51,5bc	51,0c	54,3ab	50,8c	55,0a	55,7a	53,1abc
N ²	AS 2,63ab	2,78ab	2,88a	2,61b	2,81ab	2,86ab	2,70ab
	DC 2,62a	2,54a	2,82ab	2,55b	2,62a	2,88a	2,67 a
C/N	AS 12,7a	12,2ab	12,0ab	12,5ab	12,6a	12,2ab	11,6 b
	DC 11,4a	11,6a	11,2a	11,5a	12,1a	11,2a	11,5 a
K ¹	AS 0,91ab	1,13a	1,01ab	1,01ab	0,84b	0,93ab	1,10ab
	DC 0,87b	1,14a	1,01ab	1,10a	1,06a	1,02ab	1,10 a
Ca ¹	AS 5,20a	5,45a	6,27a	5,01a	5,37a	5,24a	5,51 a
	DC 6,31a	6,49a	6,64a	5,62a	6,64a	5,83a	6,32 a
Mg ¹	AS 1,00a	0,97a	1,04a	1,00a	0,97a	0,93a	1,00 a
	DC 0,97b	1,45a	1,38ab	1,18ab	1,10ab	1,10ab	1,28ab
CIC ¹	AS 8,25a	8,31a	9,04a	7,85a	8,01a	7,82a	8,40 a
	DC 9,23a	9,65a	9,70a	8,76a	9,51a	8,91a	9,26 a
Sat. B %	AS 83,7a	90,7a	89,6a	88,9a	89,1a	90,7a	90,5 a
	DC 87,9a	94,2a	92,7a	90,0a	92,0a	88,4a	93,9 a
P ³	AS 26,1a	27,0a	31,5a	26,0a	32,3a	29,0a	32,8 a
	DC 23,8b	22,6b	35,1a	28,1b	29,5ab	26,3b	27,6 b
Cu ³	AS 21,6a	20,2a	21,5a	23,4a	22,4a	21,5a	23,1 a
	DC 22,0a	21,8a	23,9a	21,3a	21,8a	21,4a	21,8 a
Zn ³	AS 2,70a	2,46a	2,51a	2,60a	2,46a	2,48a	2,53 a
	DC 3,13a	2,45b	2,83ab	2,50ab	2,71ab	2,61ab	2,38 b
Mn ³	AS 40,1ab	43,1ab	37,3b	45,0ab	40,8ab	50,0ab	40,3 ab
	DC 46,1a	46,8a	46,8a	46,6a	47,3a	45,1a	45,0 a
Fe ³	AS 27,1ab	26,7ab	25,8ab	26,1ab	25,8ab	26,2ab	27,4 a
	DC 26,2a	25,8a	25,4a	24,9a	26,1a	26,5a	25,8 a

1 : $\text{cmol}^+, \text{kg}^{-1}$

2 : mg. g^{-1}

3 : $\mu\text{g. ml}^{-1}$

AS: Antes de siembra

DC: Después de cosecha

C : Trat. control

MP: Mulch de Poró

M: Estiércol

MGM: Mulch de Gmelina

MGL: Mulch de Gliricidia

PCC: Cultivos en Callejones de Poró

GCC: Cult. en Callej. de Gliricidia

Letras iguales en una misma línea no difieren significativamente al nivel del 5%.

Cuadro 10. Comparación de los promedios de los parámetros del suelo ($\text{Prob} > T$), determinados antes de la siembra y después de la cosecha del frijol *P.vulgaris*, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Parámetro	T r a t a m i e n t o s						
	C	MP	M	MGM	MGL	PCC	GCC
pH	0,727	0,604	0,760	0,676	0,547	0,664	0,617
P	0,478	0,113	0,428	0,587	0,532	0,529	0,436
K	0,795	0,767	0,993	0,490	0,046	0,468	0,979
Ca	0,267	0,124	0,814	0,463	0,181	0,395	0,182
Mg	0,848	0,011	0,235	0,292	0,424	0,292	0,011
Acidez	0,903	0,224	0,832	0,862	0,579	0,391	0,145
Cu	0,812	0,052	0,206	0,111	0,757	0,926	0,285
Zn	0,131	0,907	0,094	0,619	0,467	0,571	0,396
Mn	0,019	0,158	0,033	0,536	0,010	0,297	0,068
Fe	0,315	0,367	0,614	0,364	0,752	0,751	0,038
N	0,926	0,062	0,666	0,672	0,464	0,931	0,843
MO	0,002	0,005	0,040	0,025	0,027	0,144	0,548
C/N	0,238	0,117	0,001	0,071	0,867	0,048	0,771

C : Control
 MP : Mulch de Poró
 M : estiércol
 MGM: Mulch de Gmelina
 MGL: Mulch de Gliricidia
 PCC: Cult. Callej. Poró
 GCC: Cult. Callej. Glir.

Debido a que la evaluación del nitrógeno total del suelo no refleja su disponibilidad, se evaluó la mineralización de N mediante incubación anaeróbica, dado que este parámetro ha correlacionado muy bien con absorción de N en estudios anteriores (Keeney y Bremner, 1966; Dolmat *et al*, 1980). Así se consideró relevante aclarar la influencia de los diversos tratamientos, incluyendo el cultivo en callejones sobre este parámetro al igual de su evolución durante el desarrollo del cultivo del frijol, aspecto de relevancia si se consideran aspectos fenológicos y fisiológicos del mismo.

En el Cuadro 11 se presenta el amonio neto mineralizado por tratamiento y período de muestreo. Como se puede observar en este cuadro, los cultivos en callejones de Poró

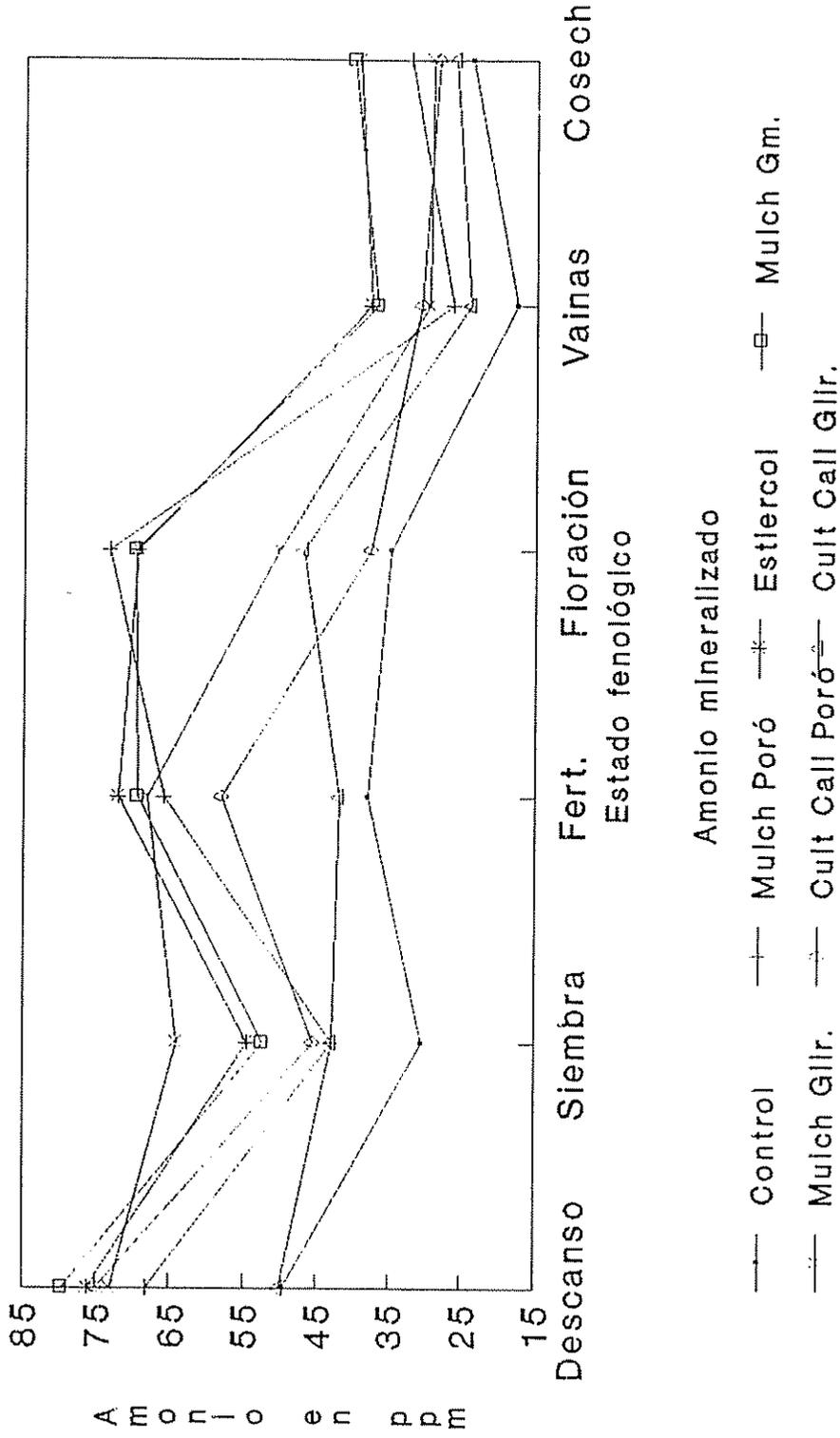


Figura 6. Amonio neto mineralizado por tratamiento durante el ciclo del frijol *P. vulgaris*, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

El cultivo en callejones de Poró indujo en forma significativa mayor mineralización de N que el control, pero no sucedió lo mismo en el cultivo en callejones de Gliricidia. En las parcelas sin árboles con aplicación de estiércol, mulch de Gmelina, mulch de poró y mulch de Gliricidia, se presentó la mayor mineralización de N, y en las dos primeras enmiendas, dicha mineralización fue significativamente superior a la que hubo en cultivos en callejones (Cuadro 12).

Cuadro 12. Medias ajustadas del amonio neto mineralizado en incubación anaeróbica por tratamiento, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Tratamiento	Amonio ppm ($\mu\text{g.g}^{-1}$ de suelo)
Estiércol	57,1 a
Mulch de Gmelina	55,8 a
Mulch de Poró	52,8ab
Mulch de Gliricidia	48,4ab
Cult. Callej. Poró	46,4 b
Cult. Callej. Glir.	42,1bc
Control	35,3 c

Letras iguales no difieren al 5%.

Es evidente que la adición de materia orgánica al suelo aumentó la mineralización de N, de allí que la vegetación y en especial los árboles puedan mejorar la disponibilidad de N en el suelo. El efecto del mulch en el aumento del nitrógeno mineralizado, se ha demostrado en otros estudios mediante la incubación de suelos con material vegetal (Cornforth y Davis, 1968; Charreau, 1976).

El comportamiento del amonio neto mineralizado durante el ciclo del frijol tuvo un patrón irregular. La mayor mineralización se registró durante el descanso antes de la aplicación de las enmiendas, luego disminuyó a la siembra,

aumentó nuevamente a la fertilización, luego descendió al valor mínimo entre floración e inicio del llenado de vainas, y aumentó ligeramente a la cosecha (Figura 7). En el período vegetativo del cultivo, la mineralización de N fue significativamente más alta que la presentada en el período reproductivo, especialmente al inicio del llenado de vainas (Cuadro 13). Es importante resaltar que los mayores valores se encontraron antes de la aplicación de los tratamientos, sin embargo, los datos muestran diferencias notorias entre tratamientos, lo cuál es un reflejo del efecto residual de los mismos sobre el índice de mineralización, pues la determinación se hizo casi seis meses después de haberse aplicado, período durante el cuál además la dinámica del N pudo verse afectada por el cultivo del maíz. Esto sugiere un efecto a largo plazo de los tratamientos sobre la dinámica de N en el sistema. Una mineralización de N alta antes de la siembra puede ser también influencia del efecto del descanso (seis semanas), donde la absorción de N por las malezas fue posiblemente baja. Estos valores contrastan con los menores valores obtenidos durante el llenado de vainas y a cosecha, lo cuál sugiere que el N disponible sí fue utilizado por el cultivo. Sería interesante continuar con los estudios de este índice, no sólo durante el descanso entre cultivos sino también durante el ciclo del maíz para estudiar como se recupera la capacidad de mineralización, la cuál estaría en función de los tratamientos, el descanso y los cultivos. En qué medida precisa contribuye cada uno de estos factores, incluyendo su interacción debería ser el tema de investigaciones posteriores.

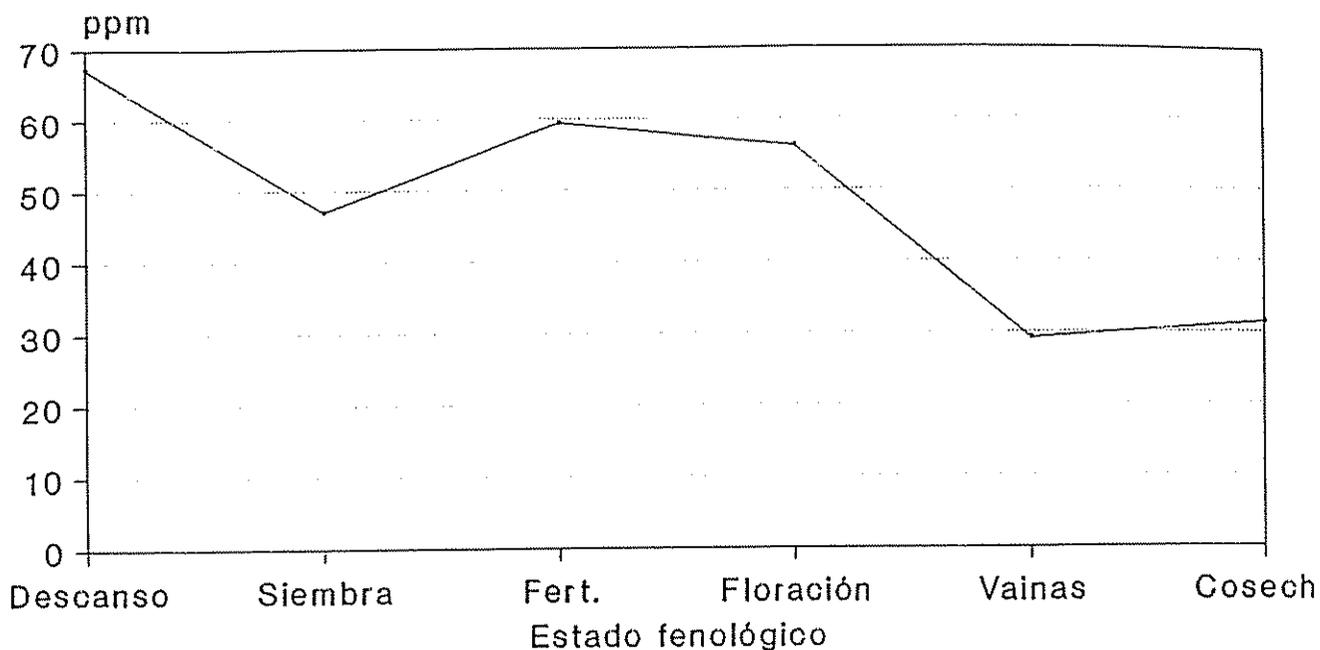


Figura 7. Amonio neto mineralizado promedio de tratamientos durante el ciclo del frijol *P. vulgaris*, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

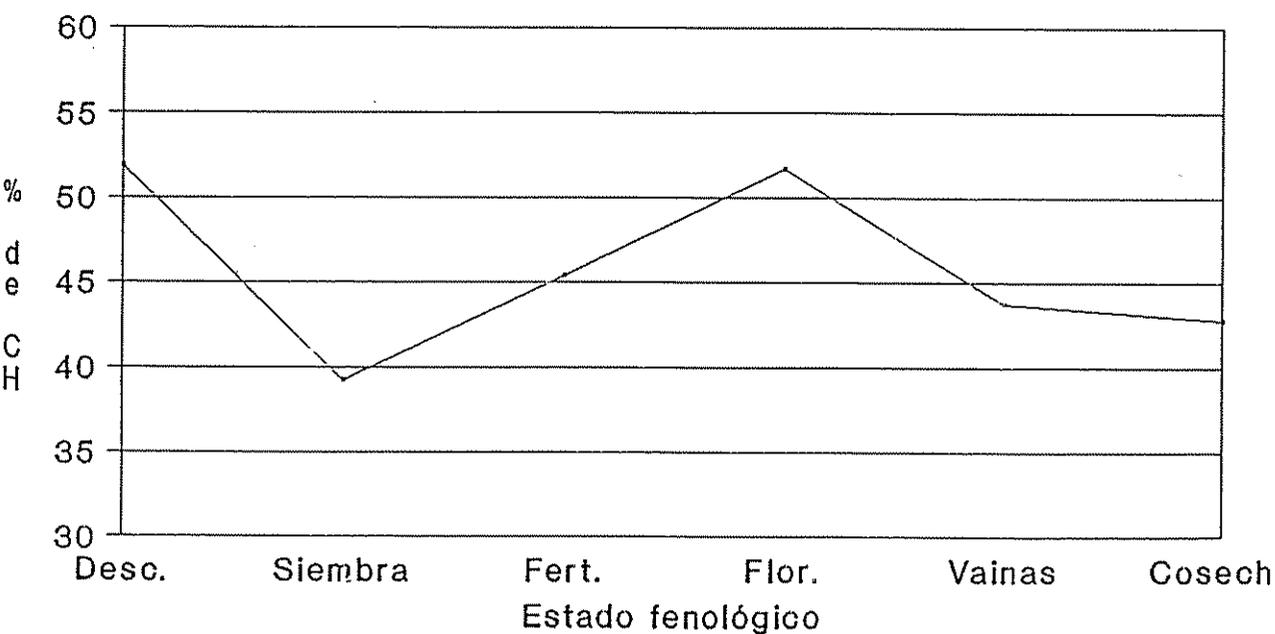


Figura 8. Humedad del suelo promedio de tratamientos durante el ciclo del frijol *P. vulgaris*, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Cuadro 13. Medias ajustadas para comparar el amonio neto mineralizado por incubación anaeróbica en cada período de muestreo, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Muestreo	Amonio ($\mu\text{g.g}^{-1}$ de suelo)
Descanso	63,2 a
Fertilización	59,6ab
Siembra	56,1 b
Floración	51,4 b
Cosecha	33,3 c
Vainas	30,8 c

Letras iguales no difieren al 5%

Varios factores incidieron sobre el patrón de mineralización de N. Uno de los factores más importantes fue la humedad del suelo, pues la tasas de la mineralización están en proporción directa con la disponibilidad de agua (Runge, 1983; Fassbender, 1982; Plymale *et al*, 1987). Al comparar las Figuras 7 y 8, se observa que la mineralización de N estuvo gobernada por el cambio en la humedad en el suelo; sin embargo, después de la fertilización, período en el que hubo la mayor asociación ($R^2 = 0,5090^{**}$) y la floración ($R^2 = 0,4499^{**}$), parece que aparte de la humedad, otros factores influyeron, principalmente en el inicio del llenado de vainas, donde la asociación entre el CH del suelo y la mineralización fue de las más bajas ($R^2 = 0,1455^{**}$).

Posiblemente, los valores más bajos de este índice de mineralización de N en el suelo entre la floración e inicio del llenado de las vainas se debió a un agotamiento del nitrógeno orgánico potencialmente mineralizable del suelo. Es factible que las concentraciones de nitrógeno orgánico hidrolizable, tales como las hexaminas, amino e hidroxiaminas, que son las fracciones de fácil descomposición por los microorganismos, hayan sido inducidas a ser mineralizadas durante este período. Que el cultivo

puede inducir esta movilización lo sugiere trabajos anteriores en los que algunas plantas como el mijo negro indujeron la mineralización de N (Charreau, 1976). Lo anterior sugiere que durante este período se presentó la mayor absorción de N por el cultivo, lo cuál corrobora algunos resultados obtenidos en Brasil (Gallo e Miyasaka, 1961; Haag et al., 1967). También se encontró que estas fracciones orgánicas estuvieron estrechamente relacionadas a la cantidad de N posteriormente usado por plantas de maíz (Cornforth, 1968).

A la luz de este resultado, se puede decir que el comportamiento de la mineralización de N durante el ciclo del cultivo indicó en cierta forma la disponibilidad de N en el suelo. La baja correlación del N mineralizado en cada etapa de muestreo con el rendimiento, cuyo mayor valor se encontró cuando se hizo la fertilización ($R^2 = 0,03^{NS}$), quizás se debió a dos razones. En las primeras etapas desde la siembra hasta la floración, la mayor disponibilidad de N posiblemente correspondió con un período en el cuál la planta tenía una baja demanda de N a causa de su poco desarrollo. En etapas fenológicas más avanzadas del cultivo, por el contrario, puede existir una mayor demanda de N y por lo tanto se esperararía una mayor concordancia entre la disponibilidad de N medido con este índice y la absorción por la planta. Sin embargo, no hubo una correlación en esta fase pues aparentemente la planta tuvo acceso a otro reservorio de N, posiblemente el aportado por la simbiosis con *Rhizobium* que tuvo un efecto enmascarador (ver más adelante la discusión sobre papel de la fijación de N). Cabe apuntar que en el período donde quizás hubo la mayor absorción por el cultivo, el índice de mineralización disminuyó en sólo catorce días de 51,4 a 30,8 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ en promedio para todos los tratamientos (Figura 8). Este nivel más bajo en el inicio del llenado de vainas sugiere que hubo movilización de las reservas disponibles del N del

suelo por el cultivo en el período antes mencionado. Si esto es cierto, el N mineralizado complementaría a la fijación como fuente de este elemento. Es necesario continuar los estudios con más detalle para tener un panorama más claro del efecto de las adiciones sobre la biomasa microbiana y las diferentes fracciones de la materia orgánica, para determinar como afecta el N recientemente mineralizado los diferentes reservorios del N orgánico del suelo. Al lado, se debe estudiar con mayor detalle la absorción de N por los cultivos, frijol y maíz.

4.1.2. Materia Orgánica

Se ha considerado que los sistemas agroforestales contribuyen a aumentar, o al menos a mantener, los niveles de materia orgánica en el suelo (Sánchez, 1987; Young, 1989). En el experimento de La Montaña, la MO aumentó en forma global en un 8% ocho años después de que se inició el experimento. Sin embargo, al comparar el efecto de los cultivos en callejones en relación con el control, el aumento no fue significativo antes de la siembra del frijol, pero después de la cosecha los cultivos en callejones de Poró, superaron significativamente al control (Cuadro 9). Al estudiar el comportamiento de la MO, antes de la siembra y después de la cosecha, se nota que ésta disminuyó en todos los tratamientos, pero la disminución no fue significativa en los cultivos en callejones de Poró y Gliricidia, mientras que en los demás tratamientos sí (Cuadro 10). Lo anterior indica que aunque este sistema aparentemente impidió una degradación más rápida de la MO durante el ciclo del cultivo en comparación con los demás tratamientos, estos resultados han de tomarse con precaución pues tal vez no son el reflejo de la tendencia global (anual) del experimento, para lo cuál sería necesario incluir el ciclo del maíz. Se debe mencionar que los niveles de MO en las parcelas de este experimento se han mantenido dentro de valores que se

consideran adecuados en el suelo (Díaz-Romeu y Hunter, 1978).

Bajo las condiciones en que se realizó esta investigación, la disminución de la materia orgánica pudo deberse a la influencia de los residuos vegetales frescos incluyendo los residuos de maíz en combinación con el mulch de los árboles ricos en nitrógeno. Posiblemente estos residuos causaron un aumento de la biomasa microbiana, la cual posteriormente atacó las fracciones más asequibles de la MO del suelo hasta causar su baja. Al respecto, existen evidencias en la literatura de que los residuos de maíz y soya influyeron en las pérdidas de la materia orgánica nativa del suelo, en un período de 20 a 247 días; las pérdidas aumentaron con las dosis y el tiempo (Hallan y Bartholomew, 1953).

Un mantenimiento favorable de MO del suelo en el Control, que no difirió significativamente con la mayoría de los tratamientos, antes de la siembra y después de la cosecha (Cuadro 9), pudo deberse a la adición anual de los residuos de la cosecha de maíz en todos los tratamientos. En el control, la adición de hoja, tallo y raíz de maíz puede alcanzar hasta unos 3370 kg.ha⁻¹.año⁻¹; en cultivos en callejones de Poró y Gliricidia, tal cantidad asciende en promedio a 6640 kg. ha⁻¹.año⁻¹ (Sánchez, 1989). Se considera que el retorno de los residuos del maíz y la fertilización básica de PK entre otros, pueden haber evitado un deterioro severo de la fertilidad del suelo en el control. En un Ultisol de Panamá, la incorporación de los residuos del maíz aumentaron el rendimiento del cultivo y con el tiempo hubo un deterioro progresivo del rendimiento en los tratamientos donde no se aplicaron, lo cual se atribuyó al aporte de potasio por los residuos (Name *et al*, 1990).

El aumento de la materia orgánica por cultivos en callejones en relación con el control ha sido bajo en el

experimento de La Montaña. Debido quizás a que los niveles de MO inicial eran altos y que existen factores intrínsecos del suelo, como la presencia de minerales que al reaccionar con radicales orgánicos forman complejos que impiden su rápida mineralización (Fox, 1978). En esta forma, a pesar que el aporte de residuos orgánicos en el control sea menor que en otros tratamientos (Sánchez, 1990), la baja tasa de mineralización de una reserva inicialmente grande, ha mantenido niveles comparables al de cultivos en callejones. Por otro lado, los contenidos de MO no se incrementan fácilmente por encima de un nivel en el cuál, éste se determina por factores climáticos y de textura del suelo (Fox, 1978); en este sentido hay que tener en cuenta las altas precipitaciones y temperaturas de La Montaña (Figura 1). Resultados similares se han encontrado en suelos fértiles de Africa (Lal, 1989b); sin embargo, los efectos favorables han sido notorios en suelos con bajo contenido de C orgánico (Kang et al, 1981-1985; Jama et al, 1989).

Ultimamente se plantea que la MO total del suelo no podría ser un parámetro que indique mejor la productividad, ya que en general hay muy poca correlación entre ésta y el crecimiento de las plantas. Quizás lo más importante para la productividad de las plantas es un mejor entendimiento de las entradas orgánicas, las cuáles se podrían predecir como la fertilización y el enclavamiento; un mayor conocimiento de este aspecto redundaría en un manejo más eficiente de los agroecosistemas tropicales (Sánchez et al, 1989).

4.1.3. Acidez del suelo

El pH antes de la siembra y después de la cosecha, varió en un rango muy estrecho de 4,7-5,0 y 4,7-4,9 respectivamente, y no se presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 9). De acuerdo con Troug, citado por Fassbender (1982), los suelos de La Montaña son muy ácidos, lo cuál indica que se podrían presentar

problemas de toxicidad de Al y/o Mn. Si bien es cierto que la saturación de la acidez extraíble es baja, ya que no supera el 15%, podría presentarse una eventual toxicidad de Al, debido a que el frijol es una planta de baja tolerancia a éste; Flor reportó un nivel crítico del 10% de saturación de Al.

En relación con el pH registrado al inicio del experimento en 1982, se notó un leve aumento (Kass *et al*, 1989), el cual fue corroborado por los resultados de Quinlan (1984) y Sánchez (1989). Por el contrario, el cambio en el pH durante el ciclo del frijol 1989-1990 disminuyó, aunque el cambio no fue significativo en todos los tratamientos (Cuadro 10). En el transcurso del tiempo, los cultivos en callejones de Poró y Gliricidia no han cambiado en forma significativa el pH del suelo en comparación con el control (Cuadro 9), coincidiendo con los resultados obtenidos en otros experimentos en África (Jama *et al*, 1988; Lal, 1989). Además, pruebas de invernadero indican que las hojas de *Leucaena* y *Sesbania* disminuyeron el pH en solo 6 meses (Hussain, 1987).

La hipótesis de que el reciclaje de bases en la hojarazca de los árboles puede ayudar a reducir la acidificación del suelo no está completamente demostrada, debido precisamente a la incongruencia en los resultados en el largo plazo.

4.1.4. Bases Intercambiables

Se ha planteado que los árboles en cultivos en callejones pueden absorber nutrientes de los horizontes profundos y reciclarlos a través de la hojarazca a la superficie del suelo (Young, 1989). El efecto de los cultivos en callejones en el ensayo de La Montaña, en términos generales, no ha aumentado significativamente los contenidos de K, Ca y Mg en el suelo, en relación con el control (Cuadro 9). Los cambios de las bases, desde el

inicio del experimento no han sido relevantes (Kass et al, 1989).

Durante el ciclo del cultivo, Ca aumentó en todos los tratamientos, mientras que K y Mg aumentaron con excepción del Control (Cuadro 9), en forma no significativa (Cuadro 10). Al comparar estos resultados con los coeficientes de degradación determinados por Sánchez (1989), hay concordancia con el aumento de K y Mg en la mayoría de los tratamientos, pero en Ca hay algunas diferencias, en el sentido de que hubo degradación en los tratamientos en el control y en cultivos en callejones de Poró y Gliricidia. La tendencia en el aumento de las bases intercambiables, coincide con las evaluaciones realizadas en Nigeria durante 4 años en cultivos en callejones de Leucaena y Gliricidia (Lal, 1989b).

Posiblemente la baja influencia del reciclaje de las bases por los árboles de Poró y Gliricidia en relación con el control, se debe a que el suelo presenta niveles adecuados de estos nutrimentos (Diaz-Romeu y Hunter, 1978), a la adición de los desechos de maíz que pueden tener un efecto residual en el sistema y la fertilización base con PK en todas las parcelas.

4.1.5. Fósforo y Elementos Menores

El fósforo, al igual que los elementos menores Cu, Zn y Fe casi no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, antes de la siembra y después de la cosecha (Cuadro 9). En el caso del P, hubo un aumento importante en el suelo, en relación con los contenidos registrados al inicio del experimento; por ejemplo el control, duplicó los valores iniciales que estaban alrededor de $12 \mu\text{g.ml}^{-1}$ (Kass et al, 1989). Esto puede interpretarse por la influencia que a lo largo de estos años, han tenido los residuos del maíz y la fertilización básica con PK, hasta el punto de que los

niveles en el suelo, aumentaron desde contenidos deficientes hasta adecuados (Flor, 1985). En el ciclo del cultivo el P disminuyó en la mayoría de los tratamientos, pero no significativamente (Cuadro 10). Se considera que estas disminuciones no afectaron el rendimiento del frijol, ya que a pesar de ello el suelo mantuvo niveles altos de P (Flor, 1985).

El aumento consistente del Mn en forma significativa en la mayoría de los tratamientos (Cuadro 10), podría explicar la disminución del pH en el suelo durante el ciclo del cultivo.

4.1.6. Contenido de humedad

Se ha reconocido que las propiedades físicas del suelo, por ejemplo la capacidad de retención de agua, son tan importantes como los niveles de nutrimentos en la fertilidad y la producción de los cultivos. Así se ha planteado que los sistemas agroforestales, como el cultivo en callejones, favorecen la agricultura y las propiedades físicas del suelo (Young, 1989). Los cultivos en callejones de Poró y Gliricidia en el experimento de La Montaña, mantuvieron el suelo con mayor contenido de humedad en relación con el control. A su vez éstos presentaron menor humedad en el suelo, en comparación con las parcelas sin árboles con aplicación de enmiendas (Cuadro 14), debido posiblemente a la transpiración de los árboles.

Cuadro 14. Contenido de humedad del suelo por tratamiento, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

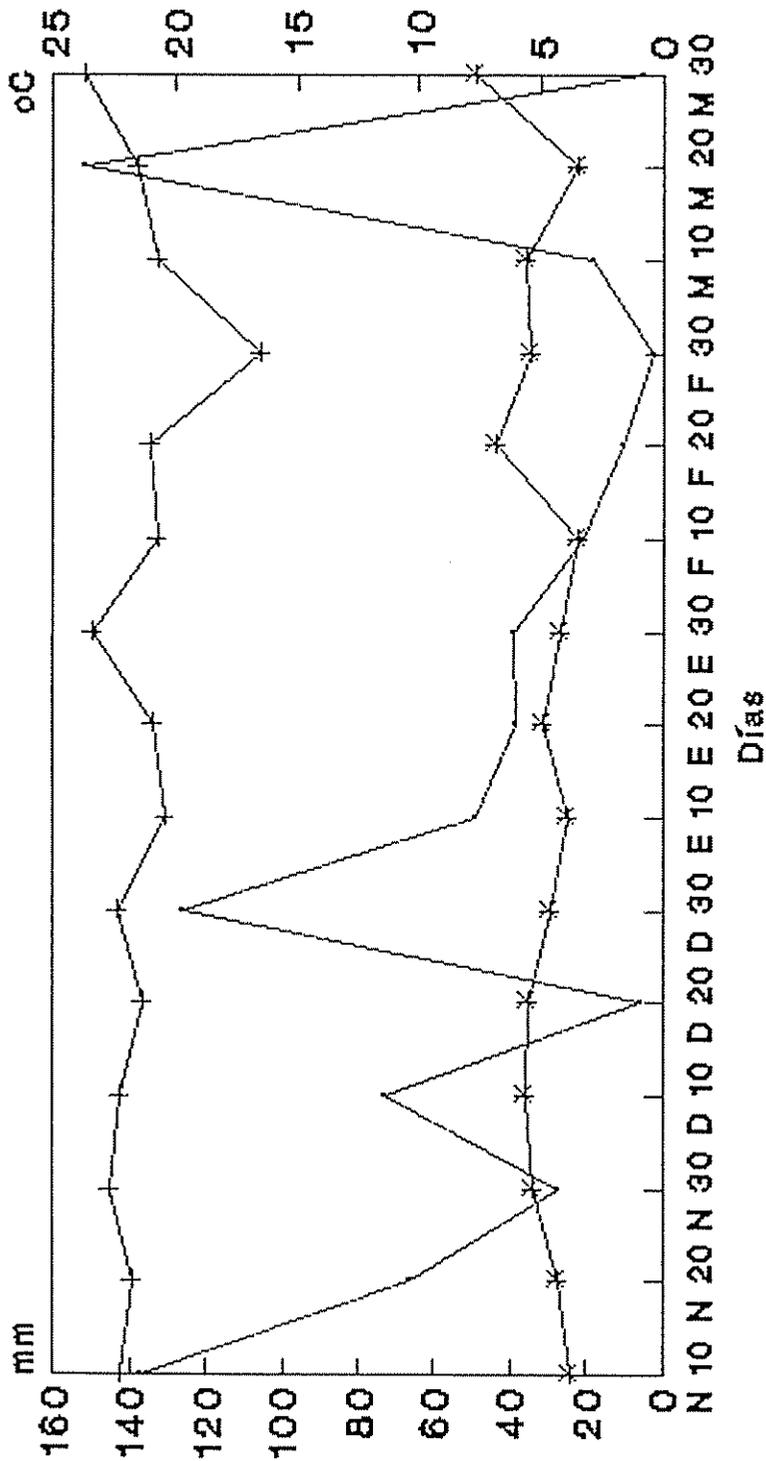
Tratamientos	Promedio
Mulch de Gliricidia	0,50 a
Mulch de Gmelina	0,48 a
Estiércol	0,47ab
Cult. Call. Poró	0,45bc
Mulch de Poró	0,43cd
Cult. Call. Glir.	0,42cd
Control	0,41 d

Letras iguales no difieren al 5 %

El aumento en el contenido de humedad en el suelo en relación con el control corrobora los resultados ya obtenidos en investigaciones con cultivos en callejones de *Leucaena* (Lal, 1974) y sistemas de labranza cero (Bolaños, 1989).

A pesar de las precipitaciones altas en La Montaña, una inadecuada distribución de la lluvia durante el ciclo del cultivo, podría generar períodos cortos de stress a las plantas. La humedad del suelo pudo ser crítica en la siembra e inicio del llenado de vainas, períodos en que la evaporación fue mayor que la precipitación (Figura 9). En ambos casos el CH no bajó del 30% (Figura 7), el cual fue superior al determinado para plantas de frijol en el punto de marchitamiento en Brasil (Miyasaka *et al*, 1966). Se cree que este factor pudo influir negativamente en el rendimiento, pero no como para causar una disminución significativa.

Los daños por plagas y enfermedades no fueron de importancia en el rendimiento del cultivo. Al comienzo hubo poco ataque de babosas debido a la baja precipitación. Durante el desarrollo del cultivo, se observaron



Parámetro

— Prec. — Temp. *— Evap.

Figura 9. Climadiagrama de la estación La Montaña durante el ciclo del frijol *P. vulgaris*, experimento de cultivo en callejones, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

defoliaciones causadas por Crysomelidos, pero éstas fueron controladas por la aplicación periódica de insecticidas.

4.2. COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DEL FRIJOL

Para alcanzar varios de los objetivos de esta investigación, se analizaron algunas variables como biomasa, índice de cosecha, componentes del rendimiento, rendimiento, nutrición mineral y fijación de nitrógeno, con el fin de poder identificar cuál o cuáles de ellas, están desempeñando un papel importante en la producción del sistema.

4.2.1. Producción de biomasa

La producción de biomasa total fue afectada significativamente por los tratamientos ($P > F$ 0,0159), más no por la fertilización con N ($P > F$ 0,8096) y la interacción Trat. x N ($P > F$ 0,2211). En los cultivos en callejones de Poró y Gliricidia, se presentó la mayor biomasa del frijol, pero ésta no superó significativamente a la que ocurrió en las parcelas sin árboles con aplicación de mulch de Poró y estiércol. En el control el cultivo presentó la menor producción de biomasa (Cuadro 15).

En algunos estudios se ha encontrado que la biomasa tiene correlaciones muy altas con el rendimiento del frijol, las cuáles dependen de la variedad (Jeffrey, 1985). En el experimento de La Montaña, la asociación de estas dos variables fue más alta en las parcelas sin árboles ($R^2 = 0,3966^*$), que cuando se incluyeron las parcelas con árboles ($R^2 = 0,2001^*$). Este resultado indica que en cultivos en callejones existe aparentemente algún factor limitante que impide una asociación positiva entre biomasa y rendimiento en el cultivo del frijol, el cuál no permite que la producción, aunque mayor que en el control, se exprese plenamente.

Cuadro 15. Efecto de los tratamientos sobre biomasa total, índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento del frijol *P. vulgaris*, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

TRAT	Biomasa kg.ha ⁻¹	Índice Cosecha	Plantas por ha.	Vainas planta	Granos vaina	Peso seco %	REND kg.ha ⁻¹
C	1873c	0,45ab	139639a	6,5c	5,6a	20,6b	839 b
MP	2925ab	0,54a	136389ab	12,0a	5,8a	20,8ab	1574 a
M	2583abc	0,47ab	125648bc	10,6ab	6,0a	21,9a	1193ab
MGM	1870c	0,48ab	134444abc	8,3bc	5,5a	21,2ab	891 b
MGL	2191bc	0,45ab	132037abc	8,8bc	5,1a	20,4b	945 b
PCC	3228a	0,40b	126481bc	8,5bc	5,8a	21,2ab	1217ab
GCC	3110ab	0,39b	123426c	8,8bc	5,8a	20,8ab	1147 b

Letras iguales en un misma columna no difieren al 5%

C : Control

MGL: Mulch de Gliricidia

MP : Mulch de Poró

PCC: Cult. Call. de Poró

M : Estiércol

GCC: Cult. Call. de Glir.

MGM: Mulch de Gmelina

4.2.2. Índice de cosecha

En este experimento se encontró que el índice de cosecha no es afectado en forma significativa por los cultivos en callejones de Poró y Gliricidia (Cuadro 15). Sin embargo, presentaron los menores índices en comparación con los demás tratamientos, debido al desarrollo de una mayor biomasa. En forma global, el índice de cosecha es inferior al rango normal 0,5-0,6, lo cual sugiere que la variedad Negro Huasteco tendría limitaciones de adaptación al sitio.

4.2.3. Componentes del Rendimiento

Para los cuatro componentes del rendimiento, sólomente hubo efecto significativo de los tratamientos en el número de vainas por planta ($P > F$ 0,0066). En el número de granos por vaina ($P > F$ 0,3462), peso seco de 100 semillas ($P > F$ 0,5218) y número de plantas por hectárea ($P > F$ 0,2922) no hubo efecto significativo. Los cultivos en callejones redujeron significativamente el número de vainas por planta en comparación con mulch de Poró y ésta pudo ser una de las

razones por la cuál su rendimiento fue menor (Cuadro 15). En evaluaciones anteriores, en el mismo ensayo, el frijol presentó menos vainas por planta en las parcelas sin árboles (Barón, 1986). No hay una explicación clara para esta incongruencia. Sin embargo, se puede argumentar que el estado de desarrollo de los árboles, cuya producción de biomasa de poda ha aumentado en el tiempo desde el establecimiento del experimento (Kass *et al*, 1989), no es comparable después de 5 años. En qué medida estas diferencias se deban a la influencia de los árboles es difícil de determinar con base en la información disponible.

De los componentes del rendimiento estudiados, se encontró que el número de vainas por planta tuvo la mayor contribución sobre el rendimiento del cultivo y en una menor escala el número de plantas por hectárea (Cuadro 16), lo cuál coincide con lo obtenido por otros autores (Ríos, 1976; Barón, 1986).

Cuadro 16. Influencia de los componentes del rendimiento en la producción de grano del frijol *P. vulgaris*, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Variable	Pr> F	Coficiente	Pr> T
Intercepto		-1535,1128	0,0560
Plantas.ha ⁻¹	0,0114	0,0098	0,0069
Vainas.planta ⁻¹	0,0001	74,5443	0,0002
Granos.vaina ⁻¹	0,8103	-22,1846	0,7377
Peso seco	0,2366	38,4505	0,2366
Modelo: Pr> F = 0,0003 R ² = 0,4322 CV = 24,16			

Los resultados obtenidos corroboran otros trabajos ya realizados, en el sentido de que el componente No. de vainas por planta ejerce la mayor influencia, tanto directa como indirecta, sobre el rendimiento del frijol (Ríos, 1976; Barón, 1986).

4.2.4. Rendimiento del cultivo

El rendimiento del frijol presentó diferencias significativas entre tratamientos ($P > F$ 0,0199) y entre niveles de N ($P > F$ 0,0102). La interacción trat. x N no tuvo efecto significativo ($P > F$ 0,3042).

La mayor cosecha de grano se encontró en las parcelas sin árboles con aplicación de mulch de Poró. Esta fue significativamente superior a los demás tratamientos, con excepción de cultivos en callejones de Poró (Cuadro 15). Aunque los cultivos en callejones no superaron significativamente el rendimiento del frijol del control, hubo una mayor producción, que en el menor de los casos fue de 308.4 kg.ha⁻¹. La baja producción presentada en los tratamientos con mulch de Gmelina y Gliricidia, contrasta con el alto rendimiento de años anteriores (Kass et al, 1989; Sánchez, 1989). La mayor respuesta en las parcelas con aplicación de mulch de poró, es explicable, ya que este tratamiento tuvo el mayor número de vainas por planta, componenete que contribuyó más al rendimiento (Cuadro 16). También presentó el mayor índice de cosecha y un número alto de plantas por hectárea (Cuadro 15).

En general, el rendimiento del cultivo fue similar al de los años anteriores, indicando que a lo largo de los años hay sostenibilidad en el sistema (Kass et al, 1989). El rendimiento del frijol en cultivos en callejones de Gliricidia fue casi igual o mejor al presentado en la región de Acosta y Puriscal, Costa Rica, y superior al que practica el agricultor tradicionalmente en estas regiones (Araya, 1987). El rendimiento promedio de frijol aquí obtenido fue más alto que el presentado en monocultivos para el período 1971-80 en la región Centroamericana (Rosas y Blis, 1985), y superior al presentado en el período 1971-74 en la mayoría de los países de latinoamérica, con excepción de Argentina y Chile (Saunders y Alvarez, 1978). Sin embargo, este

rendimiento es bajo cuando se compara con el de variedades mejoradas (Tapia y Camacho, 1988). De acuerdo con el potencial promedio de cosecha ($1115,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), puede decirse que la variedad Negro Huasteco en las condiciones climáticas de Turrialba es aparentemente de bajo potencial de producción (Amaral et al, 1980).

La fertilización con N disminuyó significativamente el rendimiento del frijol de $1200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a $1031 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Este resultado fue diferente al que tradicionalmente se ha dado en el experimento; el frijol siempre respondió a la fertilización nitrogenada, aunque no en forma significativa en la mayoría de las veces (Kass et al, 1989). En este experimento no se fracciona el N, lo cual no sigue las recomendaciones dadas para este cultivo. De esta manera, la dosis de N sería suficiente para afectar negativamente la fijación de N, pues la concentración de ureidos bajó significativamente durante la floración y menos durante llenado de vainas, al punto que la fijación aportaría menos N en etapas posteriores del desarrollo del cultivo, cuando el N inicial de fertilizante posiblemente se haya lixiviado o volatilizado. Esta restricción no debe sorprender, ya que en algunas investigaciones, p.e. en el Brasil, se ha encontrado que no hay respuesta al nitrógeno cuando se aplica cobertura verde al suelo (Miyasaka et al, 1967).

La fertilización con P y K en los tratamientos con mulch de poró y estiércol no aumentó significativamente el rendimiento del frijol ($P > F 0,5371$), el cual fue apenas un 8% superior al rendimiento sin PK de $1300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Este resultado es esperable, ya que los niveles de fósforo y potasio son adecuados en el suelo; sus valores antes de la siembra fueron de $26-32 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ de P y $0,84-1,10 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ de K. La aproximación de los niveles críticos para P y K en el suelo son de $14 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ y $0,15 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectivamente (Flor, 1985).

El estudio del efecto de PK sobre el rendimiento se hizo utilizando parcelas grandes con aplicación de mulch de Poró y estiércol y PK en las subparcelas. En este sentido, los resultados indican que para las condiciones edáficas en que se realizó el experimento, la aplicación de mulch de Poró y estiércol, aparentemente son suficientes para mantener una producción sostenida del frijol.

Obviamente estos resultados no serían suficientes para establecer una recomendación, pues habría que estimar en que medida ha influido el efecto acumulado de fertilizaciones anteriores. También habría que estimar el efecto de la extracción en la cosecha sobre el balance a largo plazo de estos nutrimentos. Sería interesante establecer el efecto sinérgico que podría tener el P sobre el reciclaje de nutrimentos atribuible a los árboles, lo cuál sería posible si existieran parcelas controles sin fertilización en cultivos en callejones.

4.2.5. Nutrición Mineral

Los resultados del análisis foliar realizados a las plantas de frijol en la floración, se registran en Cuadro 17. Comparando el estado nutricional de las plantas en los tratamientos de menor rendimiento (C, MGM, MGL), con aquellos tratamientos en donde hubo los rendimientos más altos (MP, PCC, GCC, M); el P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn y Fe, no presentan diferencias apreciables. En algunos casos la concentración de estos nutrimentos es más baja en los tratamientos de mayor biomasa, debido quizás al efecto de dilución. En este sentido, se puede afirmar que las concentraciones de estos nutrimentos son adecuadas para el rendimiento normal del frijol y en general están por encima de los niveles críticos definidos para ellos en el cultivo; con excepción del Mg, que sí presentó concentraciones más bajas (Flor, 1985). Es posible que esta variedad tolere bajos niveles de Mg.

En el caso del nitrógeno, la concentración foliar, resultó consistentemente más alta en aquellos tratamientos dónde hubo mayor rendimiento (MP, PCC, M, GCC), en relación con aquellos dónde el rendimiento fue menor, o sea en C, MGM y MGL (Cuadro 17).

Cuadro 17. Contenido foliar de nutrimentos por tratamiento en las plantas de frijol *P. vulgaris* durante la floración, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Nutrimentos	T r a t a m i e n t o s						
	C	MP	M	MGM	MGL	PCC	GCC
N %	4,27	4,80	4,74	4,51	4,48	4,72	4,92
P %	0,56	0,65	0,59	0,58	0,59	0,62	0,65
K %	2,62	2,44	2,70	2,75	2,79	2,55	2,61
Ca %	0,96	0,89	0,80	0,85	0,86	0,90	0,87
Mg %	0,21	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20
S %	0,21	0,21	0,20	0,22	0,21	0,21	0,22
Cu ppm	24	28	18	23	26	31	28
Zn ppm	72	66	58	66	69	72	70
Mn ppm	155	120	105	115	118	155	137
Fe ppm	210	179	172	169	152	196	169

C : Control

MP : Mulch de Poró

M : Estiércol

MGM: Mulch de Gmelina

MGL: Mulch de Gliricidia

PCC: Cult. Callej. de Poró

GCC: Cult. Callej. de Glir.

No se pudo inferir sobre el Boro y el Molibdeno, dos nutrimentos que pueden estar desempeñando un papel importante en la nutrición del cultivo. En el caso del Molibdeno, se sabe que está ligado a la fijación de nitrógeno, ya que es un componente principal de la nitrogenasa (Mora, 1983). Los contenidos foliares de N, P y Cu son consistentemente más altos que los encontrados en otras variedades de frijol en Brasil; no así K, Ca, Mg, Fe y Mn, los cuáles están en concentraciones inferiores; el S presentó un nivel más o menos similar (Rosolem, 1987). En comparación con plántulas en invernadero; N, P, K y Ca

presentaron concentraciones más altas, mientras que Mg y S estuvieron en niveles más bajos (Neto et al, 1971). Las diferencias encontradas se debe a los requerimientos nutricionales específicos de las variedades, a las características del tejido y época de muestreo. Por estas razones resulta necesario definir niveles críticos de los nutrimentos, por variedad y localidad.

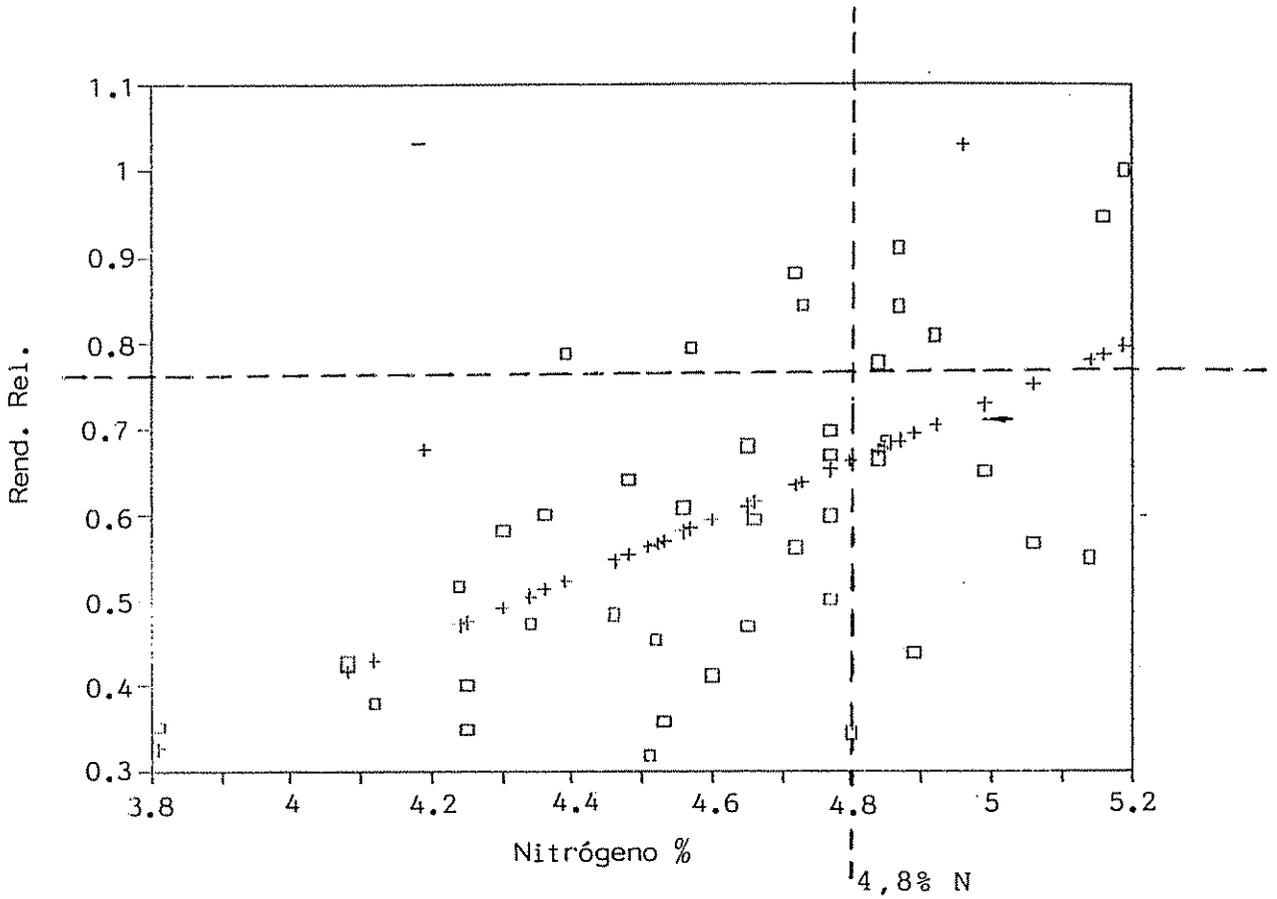
Como se anotó antes, el N es quizás el único nutrimento limitante del rendimiento del cultivo. El contenido foliar de nitrógeno en las plantas presentó niveles foliares significativamente más altos, en los tratamientos dónde se presentó el mayor rendimiento (PCC, MP, M, PCC), el rango varió de 4,71 %N a 4,92 %N; en los tratamientos dónde hubo menor rendimiento (MGM, MGL, C), la concentración foliar bajó significativamente, el rango varió de 4,26 %N a 4,56 %N (Cuadro 18).

Cuadro 18. Efecto de los tratamientos sobre la concentración foliar de nitrógeno (%) en plantas de frijol *P. vulgaris*, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Tratamiento	Nitrógeno
Cult. Call. Glir.	4,92 a
Mulch de poró	4,80 ab
Estiércol	4,74 ab
Cult. Call. Poró	4,71 ab
Mulch de Gmelina	4,51 bc
Mulch de Glir.	4,48 bc
Control	4,26 c

Letras iguales no difieren al 5%

En el análisis de regresión entre el nitrógeno foliar y el rendimiento relativo (%) del cultivo, el mejor ajuste mostró un $R^2 = 0,32$, el cuál indica un grado de asociación muy bajo, pero sin embargo, el modelo fue significativo ($F = 18,98^*$; Figura 10). En forma preliminar, para la variedad



$$Y = -0,97 + 0,34X$$

$$R^2 = 0,32$$

$$n = 42$$

Figura 10. Relación entre el nitrógeno foliar en la floración y el rendimiento relativo del frijol, experimento de cultivos en callejones, La Montaña, Turrialba, Costa Rica.

Negro Huasteco y las condiciones de clima dadas en la zona durante el ciclo del cultivo, el nivel crítico de nitrógeno foliar siguiendo la metodología de Cate y Nelson (1971), estaría alrededor de 4,80 %N. Este valor es cercano al determinado en forma global para muchas variedades de frijol (Flor, 1985). Un nivel crítico relativamente alto, en comparación con el determinado en variedades altamente productivas en Brasil (Rosolem, 1985), indica posiblemente efectos de la variedad. Es recomendable que en estudios posteriores se establezca la validez de estos resultados.

4.2.6. Fijación de nitrógeno

Se usaron dos variables para obtener información sobre la fijación de N_2 en el frijol, el rizobio nativo del suelo y la concentración de ureidos en floración y llenado de vainas. Los tratamientos influyeron significativamente en el rizobio nativo ($P > 0,0010$) pero no en los ureidos ($P > 0,2148$).

Como se observa en el Cuadro 19, la población de rizobio fue significativamente superior en los cultivos en callejones y en las parcelas sin árboles con mulch de Poró. Las poblaciones de bacterias infectivas en los tratamientos mencionados pueden conducir a una mejor nodulación, e indican que los árboles parecieran estimular la población nativa de rizobio. El hecho de que no hubiera diferencias significativas en la concentración de ureidos sugiere que la mayor población de rizobio no parece estar relacionada con una mayor nodulación y la fijación de N_2 . Aparentemente las poblaciones de bacterias infectivas nativas no parecen limitar la nodulación; sin embargo, es necesario establecer la necesidad de inoculación en este experimento. Sería interesante estudiar con más detalle el significado ecológico y agronómico de este estímulo sobre las bacterias.

Cuadro 19. Efecto de los tratamientos sobre el número más probable de rizobio en el suelo en la cosecha y el contenido de ureídos del frijol *P. vulgaris* en floración e inicio del llenado de vainas, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Tratamiento	Rhizobio ¹	Ureídos (ppm)	
		R5	R7-R8
Control	1,6d	90,8c	309,2a
Mulch de poró	70,0ab	213,3abc	300,0a
Mulch Gmelina	3,4c	281,3a	358,3a
Mulch Gliricidia	2,9c	115,2bc	329,2a
Cult. Callej. Poró	84,0a	172,5abc	430,8a
Cult. Callej. Glir.	15,0bc	136,8bc	390,0a

1: (Rhizobio.g⁻¹ de suelo)*10⁴.

Letras iguales no difieren al nivel del 5%.

R5 = Floración R7-R8 = Período entre formación y llenado de vainas

La alta concentración de ureídos indica que la fijación de N₂ está jugando un papel importante en la nutrición nitrogenada del cultivo del frijol. Sin embargo dado que este índice aporta un estimado puntual sobre la fijación de N₂, el mismo no aporta información que permita discriminar el efecto de diferentes concentraciones de N disponible en los diversos tratamientos sobre la fijación de N₂. Con base en esta información, no se puede establecer si hubo diferencias en la tasa de fijación en algunas etapas del cultivo del frijol. Consecuentemente, es posible pensar todavía que existan diferencias en la fijación de N₂ entre tratamientos.

En esta investigación se encontró una disminución del rendimiento del frijol al fertilizar con N, la cuál parece afectó negativamente la fijación de N₂. En los muestreos realizados en floración e inicio del llenado de vainas, la concentración de ureídos fue consistentemente menor en las plantas que recibieron fertilización de N. En la floración los ureídos bajaron (promedio de todos los tratamientos) significativamente de 215 a 139 µg.ml⁻¹, al inicio del

llenado de vainas éstos bajaron de 363,3 a 328,2 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. Es posible que la fertilización de N afectó el funcionamiento de los nódulos y redujo la fijación (Pate y Dart, 1961). Investigaciones anteriores han encontrado que la fertilización con N reduce el número y peso seco de nódulos de las plantas de frijol, y la actividad de la nitrogenasa fue menor en las dosis más altas de nitrógeno (Westerman et al, 1981).

La abundancia relativa de ureídos fue en promedio de 99% al inicio del llenado de vainas. Este patrón de fijación indicó que la fijación está aparentemente jugando un papel importante en la nutrición nitrogenada del frijol, en consecuencia la misma complementaria las fuentes disponibles en el suelo. Posiblemente, la menor fijación presentada en el tratamiento mulch de poró (Cuadro 19), estuvo relacionada con una mayor disponibilidad de N; en algunas investigaciones se ha encontrado una relación inversa entre los niveles de nitrato en el suelo y la fijación de nitrógeno (Herridge, 1982).

4.3. DINAMICA DEL NITROGENO

Dentro de los factores limitantes, el nitrógeno probablemente tuvo gran relevancia en el rendimiento del frijol, dado que los niveles foliares del cultivo en el experimento de La Montaña durante la evaluación correlacionaron, aunque en poco grado, con el rendimiento (Figura 10). La posible contribución de la fijación de N, por otro lado se vió disminuida al fertilizar con N, lo cuál pudo explicar la reducción de la producción observada en el cultivo.

4.3.1. Disponibilidad de nitrógeno en el suelo

Las principales fuentes del nitrógeno disponible en los suelos del experimento de La Montaña, estarían representadas

por el nitrógeno mineral inicial en el suelo en el momento de la siembra, el N orgánico, expresado por el potencial de mineralización de nitrógeno durante el ciclo del cultivo, el cual pudo estar afectado en mayor o menor medida por el nitrógeno aportado por las enmiendas (tratamientos) y el nitrógeno residual de cosechas pasadas de maíz y en menor cuantía por los rastrojos frescos de este cultivo. En los cultivos en callejones, un porcentaje del nitrógeno aportado por la biomasa de poda y la hojarazca de los árboles (Ruso y Budowski, 1986) es fijado por éstos (Dommerges, 1987), y posiblemente es recirculado en los diversos compartimentos del sistema. Como con cada cosecha de los cultivos anuales se exporta una cantidad apreciable de N, es necesario estimar el impacto de esta exportación sobre la dinámica del N en el sistema, especialmente los aportes de las especies fijadoras, árboles y frijol.

En el Cuadro 20 se presenta una información aproximada de las tres principales fuentes que contribuyeron al nitrógeno disponible del suelo. El N inicial está representado por el amonio en el momento de la siembra, en promedio representó $8,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en los primeros 5 cm. Como se puede observar hubo poca variación entre los tratamientos y representó la reserva más baja comparada con el N_{min} y el N aplicado por los tratamientos. Obviamente este nitrógeno es el disponible de la mineralización de la materia orgánica del suelo y representa una pequeña fracción del N disponible durante un ciclo del cultivo.

El N_{min} durante el ciclo del cultivo pudo aportar al N_{disp} unos $27 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en promedio, tomando como base los primeros 5 cm. En esta fuente hay diferencias entre los tratamientos, los valores mayores correspondieron a las parcelas sin árboles con estiércol, Mulch de Gmelina, Mulch de Poró y Mulch de Gliricidia. Su contribución fue menor en comparación con el N procedente de las enmiendas. Este fue

Cuadro 20. Aproximación del nitrógeno disponible en el suelo, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Tratamientos	N _{inic.}	N _{min}	N _{aplic.} kg.ha ⁻¹	N _{disp}	N _{asim}	EA ³
Control	7,6	17,3	0,0	24,9	50,5	57,0
Mulch poró	8,9	31,4	104,8	145,1	75,8	78,1
Estiércol	9,0	33,4	81,0	123,4	59,4	59,4
Mulch Gmelina	9,2	32,5	60,2	101,9	50,7	63,3
Mulch Glir.	9,3	30,9	73,3	113,5	56,1	60,4
PCC ¹	8,1	24,7	110,9	143,7	83,2	56,1
GCC ²	8,7	21,3	119,2	149,2	78,7	53,1

1: cultivos en callejones de poró

2: cultivos en callejones de gliricidia

3: Eficiencia de asimilación = $(N_{exp}/N_{asim}) * 100$

uno de los índices empleados para evaluar el nitrógeno disponible del suelo. Aunque este índice, ha correlacionado muy bien con en el rendimiento de varios cultivos como raigrass (Keeney y Bremner, 1966), arroz (Dolmat *et al.*, 1980) y maíz (Cornforth, 1968), en esta investigación no se se encontró correlación, el modelo de mejor ajuste presentó un $R^2 = 0,07$.

El N aplicado en las enmiendas representó en promedio para los cultivos en callejones 115 kg.ha⁻¹. Posiblemente ésta fue la fuente que tuvo una mayor contribución con el N disponible en el suelo. Aquí jugó un papel importante la calidad del sustrato en lo que concierne a la relación hoja.tallo.

La eficiencia de asimilación aproximada de N en las plantas de frijol fue alta, en todos los tratamientos estuvo por encima del 50%. Esto sugiere que las plantas tienen acceso a un reservorio de N no contabilizado que está enmascarando la eficiencia real de absorción, haciéndola parecer más alta. Este reservorio es probablemente la fijación de N₂. En algunas variedades de frijol en Brasil se

ha determinado que el nitrógeno fijado representa en promedio el 68% del N total en la planta, pero esta puede ser menor, dependiendo de la eficiencia de la variedad (Rushell et al, 1982), y del N disponible, que en este experimento varió con los tratamientos.

4.3.2. Comportamiento del nitrógeno disponible durante el ciclo del cultivo

4.3.2.1. Período vegetativo

Se considera que en el período comprendido entre la siembra y el inicio de la floración, el nitrógeno disponible del suelo estuvo representado por la mineralización de N del suelo, el nitrógeno rápidamente disponible del muclh aplicado (Quinlan, 1984; Argüello, 1987) y el N de los residuos del maíz de los ciclos anteriores. En esta etapa de desarrollo del cultivo las exigencias de nitrógeno del cultivo son bajas (Gallo y Miyasaka, 1961) y hay una alta disponibilidad de N que no es asimilado por la planta. Es posible que en este período hubo pérdidas de nitrógeno en el sistema, bien sea por volatilización (Cornforth y Davis, 1968) o lixiviación, sin descartar la adsorción por arcillas. La fertilización con nitrógeno realizada en el intermedio de este período, no contribuyó al rendimiento, quizás porque se hizo en un momento en el cuál la planta había pasado el período de strees de N; por el contrario, esta fertilización afectó la fijación de nitrógeno (Herridge, 1982; Gibson, 1983; Westerman et al, 1981). Se debe tener en cuenta que esta situación no es similar en todos los tratamientos; especialmente en aquellos, dónde hubo el menor rendimiento y las concentraciones foliares de N más bajas (Cuadros 15 y 17). Por el contrario, la disponibilidad de nitrógeno fue insuficiente, debido a una alta inmovilización en tallos, especialmente en el material vegetal de Gmelina y Gliricidia. Aunque no se cuantificó, la relación hoja.tallo⁻¹ fue muy baja en estos dos

tratamientos. En el control las fuentes de nitrógeno fueron más exiguas.

La época de aplicación pudo influir en la baja disponibilidad de N en estos tratamientos, ya que en este ensayo las enmiendas se aplicaron quince días antes de la siembra. En Nigeria, el mayor rendimiento de grano de maíz en cultivo en callejones de Gliricidia, se alcanzó cuando el mulch se aplicó en el momento de la siembra (IITA, 1987).

4.3.2.2. Período reproductivo

En el período comprendido entre la floración y el inicio del llenado de vainas, el escenario fue diferente. De un lado se presentó quizás la mayor asimilación del cultivo (Gallo y Miyasaka, 1961; Haag et al, 1967; Westerman et al, 1981), y por el otro, la disponibilidad de nitrógeno disminuyó posiblemente debido a la absorción del cultivo y a las pérdidas por desnitrificación o lavado. La capacidad de mineralización del suelo, la cantidad de nitrógeno que puede aportar el mulch y la fijación de nitrógeno del frijol jugaron un papel importante durante esta fase del cultivo. La mineralización de N disminuyó a su nivel más bajo indicando que posiblemente la mayor absorción de N por el cultivo ocurrió en este período; sin embargo, para dilucidar la importancia de la mineralización habría que determinar por otros medios el nitrógeno derivado de la fijación.

El nitrógeno procedente del mulch dependió de la cantidad aportada, la relación hoja.tallo⁻¹ y la tasa de descomposición del material. La cantidad suministrada por el mulch fue diferente en cada tratamiento (Cuadro 20). El mayor aporte quizás lo hizo el mulch de poró en las parcelas sin árboles, mientras que en algunos tratamientos como mulch de Gmelina y Gliricidia fue menor, ni hablar del control donde no se aplicó mulch (Cuadro 20). Un mayor rendimiento del frijol en el tratamiento mulch de poró, aparte de los

factores ya citados, se debió aparentemente a una mayor capacidad del mulch para suministrar nitrógeno en las etapas donde el cultivo mas lo requirió. Por el contrario, en el control y en las parcelas con aplicación de mulch de Gmelina y Gliricidia, la disponibilidad de nitrógeno fue baja en las etapas críticas, incidiendo en el bajo estado nutricional al inicio de floración ya mencionado. En los cultivos en callejones de Poró y Gliricidia, un menor rendimiento comparado con la aplicación de mulch de poró fue debida posiblemente a una menor cantidad aplicada de N y a la competencia de los árboles, aunque esta competencia pudo ser compensada por el aporte del nitrógeno fijado, pues tanto el poró como Gliricidia tienen capacidad para fijar nitrógeno (Dommerges, 1987; Patil y Prasunamma, 1986; IITA, 1988).

En el ensayo de La Montaña, si bien es cierto que se desconoce el efecto preciso que puede tener la fijación de nitrógeno de los árboles sobre el rendimiento de los cultivos maíz y frijol, no es aventurado afirmar que gran parte de la sostenibilidad de la producción, se deba al influjo de N fijado por los árboles. Este es uno de los aspectos que merece ser investigado con mayor atención en el futuro.

5. CONCLUSIONES

5.1. La materia orgánica se ha mantenido en el transcurso del experimento desde que se inició en 1982, esta sostenibilidad ha sido similar en todos los tratamientos.

5.2. El potencial de mineralización de nitrógeno del suelo se aumentó en forma significativa por la enmiendas orgánicas, con excepción del cultivo en callejones de Gliricidia. Este potencial no tuvo correlación con el rendimiento del frijol, ya que pudo ser enmascarado por la fijación de N_2 . El patrón de mineralización varió durante el ciclo del cultivo, el cuál estuvo influenciado por la humedad del suelo y posiblemente por la absorción del cultivo del frijol.

5.3. La aplicación de mulch de poró en las parcelas sin árboles produjo el mayor rendimiento del frijol, en comparación con los demás tratamientos. El rendimiento en los cultivos en callejones no superó significativamente al control en este período de evaluación. El bajo rendimiento obtenido en los tratamientos con mulch de Gliricidia y Gmelina, posiblemente se debió a la alta relación tallo hoja.

5.4. La fertilización con nitrógeno disminuyó significativamente el rendimiento del frijol, debido posiblemente a la restricción de la fijación de N_2 . Este resultado fue distinto al presentado en ciclos anteriores.

5.5. La fijación de N_2 del frijol desempeñó un papel importante en el rendimiento. Este factor podría constituir la base del aumento en la productividad de cultivos en callejones en el ciclo del frijol.

5.6. El nitrógeno fue el principal nutrimento que quizás limitó el rendimiento del frijol. Hubo correlación entre la concentración foliar de N determinado en el período de la floración y el rendimiento. En forma preliminar se definió un nivel crítico de 4,80 %N.

5.7. La fertilización con PK no aumentó el rendimiento. Posiblemente el aporte de mulch de poró y estiércol constituyan la base para un rendimiento sostenible, al igual que en los cultivos de callejones.

6. RECOMENDACIONES

6.1. En las parcelas sin árboles con aplicación de mulch de Poró, Gliricidia y Gmelina, cuantificar exactamente la cantidad aportada en hoja y tallo.

6.2. Hacer pruebas de invernadero para verificar si la siembra inmediatamente después de la aplicación de enmiendas, mejora o no la utilización del N procedente de éstas.

6.3. Introducir un control absoluto en dónde no se devuelvan los residuos de maíz y no se haga fertilización básica con fósforo y potasio.

6.4. Establecer la necesidad de la inoculación del frijol con cepas y variedades de frijol seleccionadas en el ensayo .

6.5. Continuar con los estudios de la dinámica del N en el experimento para la rotación completa maíz-frijol.

6.6. Realizar pruebas de la fertilización fraccionada de nitrógeno después de siembra y floración. Ajustar mediante pruebas de invernadero y campo el nivel crítico preliminar de N definido para esta variedad de frijol.

6.7. Establecer mejor las características de la dinámica de los reservorios de nutrimentos en las diferentes fracciones de la materia orgánica, incluyendo la biomasa microbiana y su contribución en la nutrición del cultivo y los árboles asociados.

6.8. Establecer la importancia de la fijación de N_2 en los árboles y del frijol y su relevancia en la productividad del sistema.

7. BIBLIOGRAFIA

ALEXANDER, M. 1977. Soil microbiology. 2 ed. New York, Wiley. 467 p.

_____ 1965. Most-Probable-Number Method for microbial population. In Methods for soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Eds. C.A. Black; D. D. Evans; J. L. White; L. E. Esminger; F. E. Clark. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. p. 1467-1472.

ARAYA, F. 1986. Efecto del madero negro Gliricidia sepium (Jacq) Steud. como abono verde en un sistema de maíz Zea mays-fríjol Phaseolus vulgaris L. en relevo en Acosta, Puriscal, San José, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 108 p.

ARGUELLO, H.; KASS, D.; BERMUDEZ, W. 1987. Nutrient release from prunings of Gliricidia sepium. In Gliricidia sepium (Jacq.) Walp.: Management and improvement. Proceedings of a workshop, Turrialba, Costa Rica, 1987. Honolulu, Hawaii, Nitrogen Fixing Tree Association/CATIE. p.68-69. (Special publication No. 87-01)

AYANABA, A.; OKIGBO, B.N. 1976. Cobertura de protección para mejorar la fertilidad del suelo y la producción agrícola. In Materias orgánicas fertilizantes. FAO. Boletín de suelos No. 27. p. 32-34.

BARON R., J. E. 1986. Métodos de establecimiento de Gliricidia sepium (Jacq.) Walp. y su efecto sobre la producción de maíz (Zea mays) y frijol (Phaseolus vulgaris L.) sembrados en callejones entre los árboles (Alley cropping). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 126 p.

BARRETO H. J. 1990. Cambios en las propiedades químicas, patrones de fertilización y encalamineto en suelos bajo labranza cero. In Labranza de conservación en maíz. Documento de trabajo, El Batán, México, 1988. Eds. H. Barreto; R. Raab; A. Violic; A. Tasistro. El Batán, México, CIMMYT/PROCIANDINO. p. 43-70.

- BERTSCH, F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica, Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. 76 p.
- BRADY, N. C. 1974. The nature and properties of soils. 8 ed. New York, Macmillan. 639 p.
- BREMNER, J.M. 1965a. Nitrogen availability indexes. In Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. Eds. C. A. Black; D. D. Evans; J. L. White; L.E. Ensminger; F.E. Clark. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. p. 1324-1345.
- _____. 1965b. Inorganic forms of nitrogen. In Methods for soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Eds. C. A. Black; D. D. Evans; J. L. White; L. E. Ensminger; F. E. Clark. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. p. 1179-1237.
- BOLAÑOS, J. 1989. Suelos en relación a la labranza de conservación: Aspectos físicos. In Labranza de conservación de maíz: Documento de trabajo, El Batán, México, 1988. Eds. H. Barreto; R. Raab; A. D. Violic; A. Tasistro. El Batán, México, CIMMYT/PROCIANDINO. p. 19-42.
- BUDELMAN, A. 1987. Gliricidia sepium (Jacq) Walp. in the Southern Ivory Coast: Production, composition and decomposition of the leaves biomass. In Gliricidia sepium (Jacq) Walps.: Management and improvement. Proceedings of a workshop, Turrialba, Costa Rica, 1987. Honolulu, Hawaii, Nitrogen fixing tree association/CATIE. p. 74-81p. (Special publication no. 87-01)
- _____. 1988. The performance of the leaf mulches of Leucaena leucocephala, Flemingia macrophylla and Gliricidia sepium in weed control. Agroforestry Systems (Holanda) 6:137-146.
- BURBANO, O. H. 1984. El componente bioquímico en la productividad y fertilidad del suelo. In Fertilidad del suelo, diagnóstico y control. Ed. F. Silva Mojica. Bogotá, Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p 99-139.

- CABALLERO, W. 1985. Introducción a la estadística. San José, Costa Rica, IICA. 289 p.
- CARTER, J. N.; JENSEN, M. E.; BOSMA, S. M. 1974. Determining nitrogen fertilizer needs for sugar beets from residual nitrate and mineralizable nitrogen. *Agronomy Journal* (EEUU) 66:319-323.
- CATE, R. B.; NELSON, L. A. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two class. *Soil Science Society of American Proceedings* (EEUU) 35:658-659.
- CATIE. 1984. Normas para la investigación silvicultural de especies para leña. CATIE (C.R.). Serie Técnica. Manual Técnico No.1. 115 p.
- CATIE. 1986. Silvicultura de especies promisorias para la producción de leña en América Central, resultados de cinco años de investigación. CATIE (C.R.). Serie Técnica. Informe Técnico No.86. 220 p.
- CHARREAU, C. 1976. Materia orgánica y propiedades bioquímicas del suelo en la zona tropical árida del Africa Occidental. *In* Materias orgánicas fertilizantes; Documentos seleccionados del informe de la consulta de expertos FAO/SIDA. Roma, Italia, FAO. p. 148-167.
- COCHRAN, W. G.; COX, G. M. 1974. Diseños experimentales. México, Trillas. 629 p.
- CORNFORTH, I. S.; Davis, J, B. 1968. Nitrogen transformations in tropicals soils. 1. The mineralization for nitrogen - richs organics materials added to soil. *Tropical Agriculture* (Trin.) 45(3):211-221.
- _____. 1968. The potential availability of organic nitrogen fractions in some West Indian soils. *Experimental Agriculture* (G.B.) 4:193-201.
- DIAZ-ROMEY, R. 1977 Determinación de nitrógeno total en suelos por el método semi-micro-kjeldahl. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 2 p. (mimeografiado)

- _____.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.
- DOLMAT, M. T.; PATRICK JUNIOR, W. H.; PETERSON, F. J. 1980. Relation of available soil nitrogen to rice yield. Soil Science (EEUU) 129:229-237.
- DOMMERGES, Y. R. 1987. The role of biological nitrogen fixation in agroforestry. In Agroforestry: a decade of development. Eds. H. A. Stepler; P. K. R. Nair. Nairobi, ICRAF. p. 245-271.
- FASSBENDER, H. W. 1967. La fertilización del frijol (Phaseolus sp). Turrialba (C.R.) 17(1):46-52.
- _____. 1982. Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. 398 p.
- _____. 1987. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. CATIE (C.R.). Serie de Materiales de Enseñanza No. 29. 475 p.
- FLOR C. A. S.F. Diagnóstico y tratamiento de problemas de micronutrientos en frijol. CIAT (Col.). Programa de frijol. 17 p.
- _____. 1985. El diagnóstico de problemas en frijol. In Frijol: Investigación y producción. Eds. M. López; F. Fernández; A. Van Schoonhoven. Cali, Colombia, PNUD/CIAT. p. 385-399.
- FOX, P. L. 1978. Soil with variable charge: Agronomic and fertility aspects. In Soils with variable charge. Ed. B. K. G. Theng. Lower Hutt, New Zealand, Society of Soil. Science p. 195-223.
- FREESE, F. 1970. Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales. México, Publicidad Artística Litográfica. 102 p.

- GALLO, R.; MIYASAKA, S. 1961. Composicao quimica do feijoeiro e absorcao de elementos nutritivos, do florescimento a maturacao. *Bragantia (Bra.)* 20(40):867-884.
- GEIST, J. M.; HAZARD, J. W. 1975. Total nitrogen using a sodium hydroxide index and double sampling theory. *Soil Science Society of American Proceedings (EEUU)* 39:340-343.
- GIBSON, A. H.; JORDAN, D. C. 1983. Ecophysiology of nitrogen-fixing systems. *In* *Physiological Plant Ecology 3. Responses to the chemical and biological environment*. Ed. L. Lange; P. S. Nobel; C. B. Osmond; H. Ziegler. Berlin, Springer Verlag. p. 302-390 (*Encyclopedia of Plant Physiology; New Series, v 12 C*)
- GUERRERO, S. A. 1984. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. *In* *Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. 2 ed.* Editor F. Silva Mojica. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 29-84.
- HAAG, H. P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H.; GARCIA, H. 1967. Absorcao de nutrientes pela cultura do feijoeiro. *Bragantia (Bra.)* 26(30):381-391.
- HALLAN, M. J.; BARTHOLOMEW, W. V. 1953. Influence of rate of plant residue addition in accelerating the decomposition of soil organic matter. *Soil Science Society of American Proceedings (EEUU)* 17(4):365-368.
- HERRIDGE, D. F. 1982. Use of the ureide technique to describ the nitrogen economy of field. *Plant Physiology (EEUU)* 70:7-11.
- HERRON, G. M.; TERMAN, G. L.; DREIER, A. F.; OLSON, R. A. 1968. Residual nitrate nitrogen in fertilized deep loess-derived soils. *Agronomy Journal (EEUU)* 60:477-482.
- HOLDRIDGE, L. R. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.

- HUSSAIN, A.; IBRAHIM, M. 1987. Evaluation of Sesbania bispinosa and Leucaena Leucocephala leaves applied as green manure supplement to inorganic fertilizer. Nitrogen Fixing Tree Research Report (EEUU) 5:63-64.
- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR TROPICAL AGRICULTURE. 1982. Research Highlights 1981. Ibadán, Nigeria. 76 p.
- _____. 1983. Effect of in-situ mulch on soil temperature and maize production. In IITA. Research Highlights for 1983. Ibadán, Nigeria. p. 34-37.
- _____. 1984. Cowpea production under drought conditions with and without in-situ mulch in Burkine faso. In IITA. Research Highlights 1984. p. 26-28.
- _____. 1987. IITA Annual Report and Research Highlights 1986. Ibadán, Nigeria. 151 p.
- _____. 1988. IITA Annual Report and Research Highlights 1987/1988. Ibadán, Nigeria. 161 p.
- JAMA, B.; GETAHUN, A.; NGUJI, D.; MACKLIN, B. 1988. Leucaena alley cropping for the Kenyan coast. Nairobi, Kenya, ICRAF. 165 P. (ICRAF reprint no. 45)
- JOHNSON, C.M.; ULRICH, A. 1967. Analitical methods for use in plant analysis. California Agricultural Experimental Station. Bulletin No.4. 22 p.
- JONES, M.J. 1971. The maintenance of soil organic matter under continous cultivation at Samarr, Nigeria. Journal of Agricultural Science (G.B.) 77:473-482.
- KADIRGAMATHOYIAH, S.; MACKENSIE, A. F. 1970. A study of soil nitrogen organic fractions and correlation with yield response of Sudan-Sorghum hybrid grass on Quebec soils. Plant and Soil (Holanda) 33:120-128.
- KANG, B. T.; WILSON, G. F.; SIPKENS, L. 1981. Alley cropping (Zea mays) and Leucaena (Leucaena leucocephala Lam) in Southern of Nigeria. Plant and Soil (Holanda) 63:165-179.

- _____.; GRIMME, H.; LAWSON, T.L. 1985. Alley cropping sequentially cropped maize and cowpea with *Leucaena* on a sandy soil in Southern Nigeria. *Plant and Soil* (Holanda) 85:267-277.
- _____.; MULONGOY, K. 1987. *Gliricidia sepium* as a source of green manure in an alley cropping system. In: *Gliricidia sepium* (Jacq) Walp.: Management and improvement. Proceedings of a workshop, Turrialba, Costa Rica, 1987. Honolulu, Hawaii, Nitrogen Fixing Tree Association/CATIE. p. 44-49. (Special publication no. 87-01)
- KASS, D. 1986. Alley cropping of annual food crops with woody legumes in Costa Rica. In *Advances in agroforestry research; proceedings of a seminar*. Turrialba, Costa Rica, CATIE-GTZ. p. 197-208.
- _____.; BARRANTES, A.; BERMUDEZ, W.; CAMPOS, W.; JIMENEZ, M.; SANCHEZ, J. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivo en callejones (Alley Cropping), en La Montaña, Turrialba, Costa Rica. *El Chasqui*. Boletín Informativo sobre Recursos Naturales (C.R.) No. 19: 5-24 .
- KEENEY, D. R.; BREMMER, J. M. 1966. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. *Agronomy Journal* (EEUU) 58:498-503.
- LAL, R. 1974. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched tropical soils. *Plant and Soil* (Holanda) 40:129-143.
- _____. 1989a. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol. 2. Water runoff, soil erosion and nutrient loss. *Agroforestry Systems* (Holanda) 8:97-111.
- _____. 1989b. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol. 3. Changes in soil chemical properties. *Agroforestry Systems* (Holanda) 8:113-132.

- _____. 1989c. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol. 4. Effects on soil physical and mechanical proprieties. Agroforestry Systems (Holanda) 8(3):197-216.
- _____. 1989d. Agroforestry systems and soil surface management of tropical alfisol. 5. Water infiltrability, transmissivity and soil water sorptivity. Agroforestry Systems (Holanda) 8(3):217-238.
- MIYASAKA, S.; PAES DE CAMARGO, A.; INFORZATO, R.; IGUE, T.. 1966. Efeitos da cobertura e da incorporacao ao solo, imediatamente antes do plantio, de diferentes formas de matéria organica nao decomposta, na cultura do feijoeiro. *Bragantia* (Bra.) 25(32):249-363.
- _____.; LOVADINI, L. A. C.; FREIRE, E. S.; VAN RAIJ, B. 1967. Efeitos sobre a producao do feijoeiro, da aplicacao de diversos tipos de matéria organica, nao decomposta, na presenca da adubacao mineral com P, NP, ou PK. *Bragantia* (Bra.) 26(14):187-196.
- MORA DE GONZALEZ, N. 1983. Fijación simbiótica de nitrógeno por plantas leguminosas: Aspectos biológicos. *Suelos Ecuatoriales* (Col.) 12(2):18-27.
- MORALES, M. A. 1987. Selección y evaluación de cepas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli tolerantes al suministro restringido de fósforo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R., Universidad de Costa Rica/Catie. 97 p.
- MULLER, L. 1961. Un aparato micro-kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materiales vegetales. *Turrialba* (C.R.): 11(1):17-25.
- NAME, B.; JOT SMITH, T.; MARQUEZ, E. 1990. Dinámica del potasio en un Ultisol de Panamá. 20 p. Presentado en: Congreso Latinoamericano sobre Manejo de Suelos del Trópico (3, 1990, San José, C. R.)
- NELDER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. 1983. Applied linear regression models. Homewood, U.S.A., R. D. Irwin. 547 p.

- NETO, A. C.; ACCORSI, W. R.; MALAVOLTA, E. 1971. estudos sobre a nutriçao mineral do feijoeiro (Phaseolus vulgaris var. Roxino). Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Bra.) 28:257-274.
- PALMER, H. J. 1988. Palmer's statistical packages. s.n.t.
- PATE, P. S.; DART, P. J. 1961. Nodulation studies in legumes. 4. The influence of inoculum strain and time of application of amonium nitrate on symbiotic response. Plant and Soil (Holanda) 15:329-346.
- PATIL, S. D.; PRASUNAMMA, K. 1986. A preliminary evaluation of nodules from six nitrogen fixing tress. Nitrogen Fixing Trees Research Reports (EEUU) 4:20-21.
- PLYMALE, A. E.; BOERNER, E. J.; LOGAN, T. J. 1987. Relative nitrogen mineralization and nitrification in soils of two contrasting hardwood forests: Effects of site microclimate and initial soil chemistry. Forest Ecology and Management (Holanda) 21:21-36.
- QUINLAN, M.M. 1984. Mulches from two tropical tree species Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook and Gmelina arborea Rox. as nitrogen sources in the production of maize (Zea mayz). Tesis Mag. Sc., Turrialba, C. R., Universidad de Costa Rica/CATIE. 74 p.
- RIOS, M. E. 1976. El rendimiento y los componentes del frijol común (Phaseolus vulgaris L.) en el Oriente de Guatemala. Tesis Universidad de San Carlos, Guatemala. 52 p.
- RODRIGUEZ, E. 1985. Gmelina arborea, especie promisoría para la producción de madera de uso rural e industrial en Hojanca, Costa Rica. In Actas de los Simposios sobre Técnicas de Producción de Leña en Fincas Pequeñas y Recuperación de Sitios Degradados por medio de la Silvicultura Intensiva. Ed. R. Salazar. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 199-208.
- ROSAS, J.; BLISS, F. A. 1986. Mejoramiento de la capacidad de fijación de nitrógeno en frijol común. Ceiba (Hond.) 27(1):95-104.

- ROSE, D.; SALAZAR, R. 1983. Cuantificación de la producción de leña de un rodal de G. arborea Oxb. en Hojanca- Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE/DGF/ROCAP. 17 p.
- ROSOLEM, C.A. 1987. Nutricao e adubacao feijoeiro. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potasa e do Fosfato, Piracicaba, Brasil. Boletim Técnico 8. 91 p.
- RUNGE, M. 1983. Physiology and Ecology of Nitrogen Nutrition. In Physiological plant ecology. 3. Responses to chemical and biological environment. Ed. O. L. Lange; P. S. Nobel; C. B. Osmond; H. Ziegler. Berlin, Springer Verlag. p. 163-200. (Encyclopedia of Plant Physiology; New Series, v. 12C).
- RUSHELL, A. P.; VOSE, P. B.; MATSUI, E.; TSAI SAITO, S. M. 1982. Field evaluation of N₂-fixation and N-utilization by Phaseolus bean varieties determined by ¹⁵N isotope dilution. Plant and Soli (Holanda) 4:145-162.
- _____.; SAITO, S. M. T. 1977. Efeito da inoculacao de rhizobium, nitrogenio e matéria organica na fixacao simbiotica de nitrogenio em feijao (Phaseolus vulgaris L.). Revista Brasileira de Ciencia do solo (Brasil) 1(1):21-24.
- RUSSO, R.O.; BUDOWSKI, G. 1986. Effect pollarding frequency on biomass of Erythrina poeppigiana as a coffee shade tree. Agroforestry Systems (Holanda) 4:145-162.
- SAIZ DEL RIO, J. F.; BORNEMIZA, E. 1962. Análisis químico de suelo. Métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA. 107 p.
- SALAZAR, A.; PALM, CH. A. 1987. Screening of leguminous trees for alley cropping on acid soils of the humid tropics. In Gliricidia sepium (Jacq) Walp : Management and improvement. Proceedings of a Workshop, Turrialba, Costa Rica, 1987. Honolulu, Hawaii, Nitrogen Fixing Tree Association/CATIE. p. 61-67. (Special publication no. 87-01)
- SANCHEZ, J.F. 1989. Análisis de la estabilidad y dinámica de sistemas de producción de cultivos en callejones. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 174 p.

SANCHEZ, P. A. 1982. Suelos del trópico: Características y manejo. San José, Costa Rica, IICA. 634 p.

_____. 1987. Soil productivity and sustainability in agroforestry system. In Agroforestry: a decade of development. Eds. H.A. Steppeler; P. K. R. Nair. Nairobi, Kenya, ICRAF. p. 205-223.

_____.; PALM, CH. A.; SZOTT, L. T.; CUEVAS, E.; LAL, R. 1989. Organic input management in tropical agroecosystems. In Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Result of the conference, Kahului, Maui, Hawaii, October 7-15 1988. Eds. D. C. Coleman; J. Malcon Oades; G. Uehara. Maui, Hawaii, NIFTAL Project. p. 125-171.

SAUNDERS, J. H.; ALVAREZ, C. 1978. Evolución de la producción de frijol en América Latina durante la última década. Cali, Colombia, CIAT. 48 p.

SAS INSTITUTE. 1987. PC DOS SAS/START release 6.03. Cary, NC. 956 p.

SOMASEGARAN, P.; HOBEN, H. J. 1985. Methods in Legume-Rhizobium Technology. Hawaii, Niftal/Mircen. 367 p.

STANFORD, G.; SMITH, S. J. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Science Society of America Proceedings (EEUU) 36:464-472.

_____.; SMITH, S. J. 1978. Oxidative release of potentially mineralizable soil nitrogen by acid permanganate extraccion. Soil Science (EEUU) 126:210-218.

_____. 1982. Assesment of soil nitrogen availability. In Nitrogen in agricultural soils. Ed. F. J. Steve. Madison, ASA-CSSA-SSSA. p. 651-688. (Agronomy Monograph No. 22)

STEVENSON, F. J. 1982. Organic Forms of soil nitrogen. In Nitrogen in agricultural soils. Ed. F. J. Steve. Madison, ASA-CSSA-SSSA. p 67-122. (Agronomy Series No. 2)

- TAPIA, B. H.; CAMACHO, H. A. 1988. Manejo integrado de la producción de frijol basado en labranza Cero. Managua, Nicaragua, GTZ. 181 p.
- VEGA, L. E.; EIJK-BOS; MORENO, L. A. 1987. Alley cropping with G. sepium (Jacq) Walps. (Matarratón) and its effect on the soils losses on hillslopes in Urabá, Colombia. In Gliricidia sepium (Jacq) Walps.: management and Improvement. Proceedings of a Workshop, Turrialba, Costa Rica, 1987. Honolulu, Hawaii, Nitrogen Fixing Tree Association/CATIE. p. 68. (Special Publication no. 87-01)
- WARING, S.A.; BREMNER, J.M. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as a index of nitrogen availability. Nature (G. B.) 201:951-952.
- WESTERMAN, D. T.; KLEINKOPF, G. E.; PORTER, L. K.; LEGGET, G. E. 1981. Nitrogen sources for bean seed production. Agronomy Journal (EEUU) 73:247-254.
- WHITE, W. C.; PESEK, J. 1959. Nature of residual nitrogen in Iowa soils. Soil Science Society of America Proceedings (EEUU) 23:39-42.
- YAMOAHA, C.F.; AGBOOLA, A.A.; WILSON, G.F. 1986. Nutrient contribution and maize performance in alley cropping systems. Agroforestry Systems (Holanda) 4:247-254.
- YOUNG, A. 1989. Ten hypothesis for soil-agroforestry research. Agroforestry Today 1(1):12-16.

Cuadro 1A. Datos climáticos presentados durante el desarrollo de la investigación, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

MES	T1	P2	HR3	RS4	E5	VV6
NOV 89	22,2	230,7	87,9	326,3	85,5	2,8
DIC 89	21,3	203,8	90,3	347,4	100,8	3,8
ENE 90	20,9	126,8	92,1	316,4	83,4	2,5
FEB 90	20,8	33,4	87,5	373,3	100,9	3,6
MAR 90	21,3	175,2	90,1	356,5	107,5	3,5

- 1: Temperatura promedio diaria en 0C,
- 2: Precipitación total en mm,
- 3: Humedad relativa promedio diaria en %,
- 4: Radiación solar en cal.cm-1.dia-1,
- 5: Evaporación total del tanque tipo A en mm,
- 6: Velocidad del viento promedio diario en km.hora-1.

Cuadro 2A. Parámetros del suelo a 0-20 cm de profundidad antes de la aplicación de las enmiendas y la fertilización, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989.

Parámetro	X	DE	CV%
pH	4,8	0,12	2,5
MO mg.g-1	58,6	1,70	2,9
N "	2,75	0,10	3,9
C/N	12,4	0,37	3,0
K cmol+.kg-1	1,0	0,10	10,1
Ca1 "	5,4	0,40	7,5
Mg1 "	1,0	0,03	3,4
Acidez1 "	0,8	0,14	17,4
CICl "	8,2	0,40	4,9
Sat B %	90,0	1,83	2,0
P µg.ml-1	29,3	3,01	10,3
Cu "	22,0	1,12	5,1
Zn "	2,5	0,09	3,6
Mn "	42,1	3,50	8,3
Fe "	26,3	0,85	3,2

X : Media de tratamientos
 DE: Desviación Standard

Cuadro 3A. Nutrimientos aportados por las enmiendas, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, Nov. de 1989.

Nutrimento (kg.ha-1)	T r a t a m i e n t o					
	MP	M	MGM	MGL	PCC	GCC
N	137,0	81,3	60,2	124,7	83,3	113,6
P	12,3	22,2	12,0	8,8	10,3	9,2
K	55,6	93,0	95,8	59,2	72,4	85,2
Ca	28,5	41,4	41,2	36,5	27,5	37,1
Mg	7,7	12,6	14,4	10,8	8,7	10,4
S	4,1	12,6	3,0	4,7	4,0	7,1
Cu	0,03	0,08	0,05	0,03	0,03	0,03
Zn	0,1	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1
Mn	0,2	1,1	0,8	0,3	0,2	0,2
Fe	0,8	2,4	0,6	1,6	0,6	0,5

MP : Mulch de Poró
M : Estiercol
MGL : Mulch de Glir.

MGM: Mulch de Gmelina
PCC: Cult. Call. de Poró
GCC: Cult. Call. de Glir.

W. J. ...

Cuadro 10A. Análisis de covarianza del amonio neto mineralizado por incubación anaeróbica, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

F de Var.	GL	SC	CM	F	P>F
CH	1	2585,33	2585,33	12,17	0,0007
Rep.	2	805,60	402,80	1,90	0,1544
Trat.	6	9916,52	1652,75	4,23	0,0161
Error a	12	4685,21	390,43		
Sub.	1	18,72	18,72	0,09	0,7670
TratxSub	6	1018,82	169,80	0,80	0,5720
Error b	14	1110,65	79,33		
Muestreo	5	31828,23	6365,64	29,98	0,0001
Mxtrat	30	7154,22	238,47	1,12	0,3210
MxSub	5	273,11	54,62	0,26	0,9355
MxTxSub	30	3386,66	112,88	0,53	0,9766
Error c	124	26331,85	212,35		
Total	236	117635,57			

Cuadro 11A. Coeficientes de determinación de la relación entre contenido de humedad y amonio neto mineralizado por incubación anaeróbica, en cada período de muestreo durante el ciclo del frijol P. vulgaris, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

Ecuación	R^2_{aj}	F	CV
1. $\text{Ln } Y = 5,25 - 0,56(1/X)$	0,1250	6,7136*	7,34
2. $\text{Ln } Y = 4,89 - 0,41(1/X)$	0,3579	19,5097***	7,16
3. $Y = 1,46 \times 10^2 - 38,76(1/X)$	0,4964	40,4339***	
4. $\text{Ln } Y = 30,21 + 16,77 \text{ Ln } X - 29,12 X$	0,4155	13,0835***	7,05
5. $Y = 60,09 - 13,07 (1/X)$	0,1236	6,6429*	37,38
6. $Y = -274,75 - 13,07(1/X)$	0,0047	1,0967**	33,47

Cuadro 12A. Análisis de varianza de un diseño en parcelas subdivididas del contenido de humedad del suelo durante el ciclo del frijol *P. vulgaris*, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

F de Var.	GL	SC	CM	P> F
Bloque	2	0,0705	0,0352	0,0005
Tratamientos	6	0,2068	0,0344	0,0002
Error (a)	12	0,0358	0,0029	0,0000
Nitrógeno	1	0,0064	0,0064	0,2002
Trat x N	6	0,0174	0,0029	0,5782
Error (b)	14	0,0500	0,0035	0,0000
Muestreo	5	0,4127	0,0825	0,0001
M x trat	30	0,1526	0,0050	0,2901
M x N	5	0,0224	0,0044	0,4103
MxtratxN	30	0,1196	0,0039	0,6155
Error (c)	125	0,5525	0,0044	0,0000
Total	236	1,7445	0,0000	0,0000

Cuadro 13A. Análisis de varianza de índice de cosecha, biomasa total y componentes del rendimiento del frijol, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

F. de Var.	IC ¹	Biomasa	pl.ha ⁻¹	vaina.pl ⁻¹
		P	> F	
Rep	0,2337	0,9234	0,0514	0,8496
Trat	0,1049	0,0159	0,2922	0,0066
Sub	0,1228	0,8096	0,6163	0,0604
TratxSub	0,1710	0,2211	0,7995	0,6579

1: Índice de cosecha.
pl : planta.

Cuadro 14A. Análisis de varianza del rendimiento del frijol *P. vulgaris*, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

F. de Var.	GL	SC	CM	F	P > F
Repetición	2	225314,51	112657,25	3,28	0,0679
tratamiento	6	2298129,97	3830221,66	3,99	0,0199
Error a	12	1152329,03	96027,41		
Subparcela	1	302651,52	302651,52	8,81	0,0102
TratxSub	6	275953,02	50441,92	1,34	0,3042
Error b	14	480938,56	34352,75		
Total	41	4735316,63			

Cuadro 15A. Análisis de varianza para estudiar el efecto de la fertilización de PK en los tratamientos con mulch de Poró y Estiércol sobre el rendimiento del frijol P. vulgaris, experimento de cultivo en callejones, Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

F. de Var.	GL	SC	CM	F	P > F
Repetición	2	429790,87	214895,43	2,92	0,1656
Tratamiento	1	93723,45	93723,45	6,55	0,1248
Error a	2	28630,55	14315,27		
Fert. PK	1	33520,64	33520,64	0,45	0,5371
TratxPK	1	507688,17	507688,17	6,89	0,0585
Error b	4	294867,17	73716,79		
Total	11	1388220,87			

Cuadro 16A. Análisis de varianza del número más probable de rizobio , experimento de cultivo en callejones, La Montaña, Turrialba, CATIE, Costa Rica, 1989-1990.

F. de Var	GL	SC	CM	F	P > F
Repetición	2	94309333333	4715466667	1,18	0,3478
Tratamiento	5	2106707166666	20000000000	10,51	0,0010
Error	10	40094200000	40094200000		
Total	17	260195850000			

Cuadro 17A. Análisis de varianza del nitrógeno foliar determinado en floración del frijol P. vulgaris, experimento de cultivo en callejones, La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1989-1990.

F. de Var.	GL	SC	CM	F	P > F
Repetición	2	0,4625	0,2312	9,05	0,0030
Tratamiento	6	1,8067	0,3011	3,87	0,0220
Error a	12	0,9328	0,0777		
Subparcela	1	0,0572	0,0572	2,24	0,1569
tratx Sub	6	0,2046	0,0341	1,33	0,3061
Error b	14	0,3579			
Total	41	3,8218			