



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**  
**U. N. A**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE**  
**F. A. R. E. N. A**

**TRABAJO DE DIPLOMA**

**MINERALIZACION DEL NITROGENO PROVENIENTE DEL  
MULCH DE *Leucaena leucocephala* (Lam. de Wit), Y  
*Gliricidia sepium* (Jacquin) Kunth Ex Walper EN UN  
SISTEMA DE CULTIVO EN CALLEJONES ASOCIADOS CON  
*Zea may* L. EN LA EPOCA DE PRIMERA DE 1997**

**AUTORES: Br. Mario Alvarez Gutiérrez**  
**Br. Pavel René Solís**

**ASESOR: Ing.M.Sc. Leonardo García**

**CONSULTORA: Lic. M. Sc Marcia Mendieta**

**MANAGUA, NICARAGUA, DICIEMBRE, 1999**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**U. N. A**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE**

**F. A. R. E. N. A**

**TRABAJO DE DIPLOMA**

**MINERALIZACION DEL NITROGENO PROVENIENTE DEL  
MULCH DE *Leucaena leucocephala* (Lam. de Wit), Y *Gliricidia sepium*  
(Jacquin) Kunth Ex Walper EN UN SISTEMA DE CULTIVO EN  
CALLEJONES ASOCIADOS CON *Zea may* L. EN LA EPOCA DE  
PRIMERA DE 1997**

**AUTORES: Br. Mario Alvarez Gutiérrez  
Br. Pavel René Solís**

**ASESOR: Ing.M.Sc. Leonardo García**

**CONSULTORA: Lic. M. Sc Marcia Mendieta**

**MANAGUA, NICARAGUA, DICIEMBRE, 1999**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Isidra Gutiérrez Méndez y Mario Alvarez Martínez por su gran amor, esfuerzo y comprensión que siempre me brindaron, ayudándome a obtener una de mis metas más deseadas que también es suya.

A mi hermano Adrián Alvarez Gutiérrez por su apoyo moral.

A mis abuelos Lily Martínez, Humberto Alvarez y demás familiares por su apoyo y confianza.

A mis amigas y amigos que de una u otra forma conté con su apoyo y a los cuales siempre tendré presente.

**Mario Alberto Alvarez G.**

## **DEDICATORIA**

Ante todas las cosas cuando hacemos algo o nos pasa algo en lo primero que pensamos es en Dios y los seres que más queremos por eso doy gracias a Dios por darme fuerza, voluntad y paciencia para enfrentar los tropiezos del camino, así como me enseñó el camino correcto para lograr obtener el grado de Ingeniero Agrónomo con orientación en Suelos y Agua todo esto con el apoyo de toda mi familia que me facilitó con su mayor esfuerzo los medios necesario para dicho logro por eso dedico este trabajo a las siguientes personas.

A mi Abuelita Mélida Solís, a mi Mamá Sidonia Solís. A mi tío Osmundo Solís y a Walter Díaz Neyra.

A mis hermanos Helder, Mayre, Juan Ruy, Tagny y todos mis amigos así como mis compañeros de la secundaria y Universidad que están presente así como los que no lo están y de los cuales guardo un grato recuerdo de su amistad por lo que hago mención especial a las siguientes personas:

Javier Gómez (pillina), Roberto Martín Cruz, Yáder Cajina, Roberto Noguera, Bernys Lazo, Mario Alvarez, Eliot Ubeda, Silvio Urbina, Carmen Dávila, Brenda Bustamante, y especialmente a una persona que me ha brindado su cariño, amistad y comprensión en todos los momentos Yamillette Yuniet Ugarte Reyes.

**Pavel René Solís**

## **AGRADECIMIENTO**

Los autores del presente trabajo queremos reconocer a las diferentes personas que contribuyeron a la realización de este estudio, a quienes brindamos nuestra más sincera gratitud.

A nuestro asesor Ing. Leonardo Garcia, por su constante apoyo, voluntad y paciencia en las sugerencias brindadas para la elaboración de nuestra investigación.

La asesoría otorgada por la Lic. Marcia Mendieta, por su aportes y dedicación en la revisión de este trabajo.

Al Lic. Gustavo Valverde por su colaboración y disposición en el desarrollo de nuestra tesis.

A todo el personal del laboratorio de química y física de la escuela de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria por su apoyo, amistad y colaboración en la realización de esta investigación.

A la Universidad Nacional Agraria especialmente a la Escuela de Suelos y Agua.

Mario Alvarez y Pavel Solís

## INDICE GENERAL

|   | Página |
|---|--------|
| DEDICATORIA                               | i      |
| AGRADECIMIENTOS                           | iii    |
| INDICE GENERAL                            | iv     |
| INDICE DE CUADROS                         | viii   |
| INDICE DE FIGURAS                         | ix     |
| INDICE DE ANEXOS                          | xi     |
| RESUMEN                                   | xiii   |
| I. INTRODUCCION                           | 1      |
| II. OBJETIVOS                             | 3      |
| 2.1 Objetivo General                      | 3      |
| 2.2 Objetivos Específicos                 | 3      |
| III. REVISION DE LITERATURA               | 4      |
| 3.1 Sistemas Agroforestales               | 4      |
| 3.2 Componente arbóreo                    | 7      |
| 3.2.1 <i>Leucaena leucocephala</i>        | 7      |
| 3.2.1.1 Descripción Taxonómica y Botánica | 7      |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.1.2 Distribución   | 7  |
| 3.2.1.3 Ecología   | 7  |
| 3.2.2 Usos de <i>Leucaena</i>                                | 8  |
| 3.2.2.1 Forraje  | 8  |
| 3.2.2.2 Abono verde  | 9  |
| 3.2.2.3 Producción de leña                                   | 9  |
| 3.2.2.4 Arbol para sombra                                    | 9  |
| 3.2.3 <i>Gliricidia sepium</i>                               | 10 |
| 3.2.3.1 Descripción Taxonómica y Botánica                    | 10 |
| 3.2.3.2 Distribución   | 10 |
| 3.2.3.3 Ecología   | 10 |
| 3.2.4 Usos de <i>Gliricidia</i>                              | 11 |
| 3.2.4.1 Árboles para sombra y soporte                        | 11 |
| 3.2.4.2 Producción de Forraje                                | 11 |
| 3.2.4.3 Cercas vivas   | 12 |
| 3.3 Cultivo en callejones                                    | 12 |
| 3.3.1 <i>Leucaena</i> en cultivo en callejones               | 12 |
| 3.3.2 <i>Gliricidia</i> en cultivo en callejones             | 13 |
| 3.3.3 El Sistema y los Rendimientos                          | 13 |
| 3.3.3.1 <i>Leucaena leucocephala</i>                         | 13 |
| 3.3.3.2 <i>Gliricidia sepium</i>                             | 14 |
| 3.3.4 Ventajas del Sistema                                   | 16 |
| 3.3.5 Desventajas del Sistema                                | 16 |
| 3.4 Efecto del mulch en cultivo agrícolas                    | 17 |
| 3.5 El Cultivo del Maiz ( <i>Zea mays</i> )                  | 18 |
| 3.5.1 Necesidades del Cultivo de Maiz                        | 18 |
| 3.5.2 Ritmo de absorción de nitrógeno                        | 19 |
| 3.5.3 Los requerimientos de nitrógeno por una planta de maíz | 19 |
| 3.6 Importancia del nitrógeno para los cultivos              | 20 |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.6.1 Contenido de nitrógeno en el suelo   | 20        |
| 3.6.2 Formas y Fuentes de Nitrógeno  | 21        |
| 3.6.3 Fijación de nitrógeno  | 23        |
| 3.6.4 Estudio del nitrógeno  | 23        |
| 3.7 Materia Orgánica en el suelo   | 25        |
| 3.7.1 Factores bióticos que influyen sobre la descomposición de<br>la materia orgánica       | 27        |
| 3.7.2 Influencia de los factores abióticos sobre la descomposición de<br>la materia orgánica | 28        |
| 3.7.2.1 Temperatura  | 29        |
| 3.7.2.2 Humedad y aireación  | 30        |
| 3.7.2.3 Factores edáficos  | 31        |
| 3.7.3 Importancia de la Materia Orgánica   | 33        |
| 3.7.4 Mineralización de la materia orgánica  | 34        |
| <b>IV. MATERIALES Y METODOS</b>  | <b>38</b> |
| 4.1 Localización del área de estudio   | 38        |
| 4.1.1 Clima  | 38        |
| 4.1.2 Geología   | 39        |
| 4.1.3 Suelo  | 39        |
| 4.2 Historia del sitio Experimental  | 39        |
| 4.3 Material Experimental  | 40        |
| 4.4 Producción de biomasa del material en estudio  | 40        |
| 4.5 Disposición de las parcelas  | 41        |
| 4.6 Conducción del Experimento   | 42        |
| 4.6.1 Muestreo de suelo  | 42        |
| 4.6.2 Poda e incorporación de residuo  | 42        |
| 4.6.3 Siembra del Experimento  | 43        |
| 4.7 Análisis de laboratorio  | 43        |
| 4.8 Procesamiento de la información  | 44        |

|   |    |
|---|----|
| 4.9 Variables medidas   | 44 |
| 4.9.1 Nitrógeno disponible  | 44 |
| 4.9.2 Mineralización del material incorporado   | 45 |
| 4.9.3 Dinámica de absorción del nitrógeno por el cultivo principal  | 46 |
| 4.9.4 Medición del rendimiento  | 46 |
| V. RESULTADOS Y DISCUSION   | 47 |
| 5.1 Comportamiento de la precipitación y temperatura  | 47 |
| 5.2 Mineralización del nitrógeno proveniente del material incorporado   | 48 |
| 5.3 Nitrógeno total potencialmente mineralizable  | 51 |
| 5.4 Comportamiento del Amonio   | 53 |
| 5.5 Comportamiento del nitrato  | 57 |
| 5.6 Nitrógeno (amonio y nitrato) potencialmente mineralizable (NoL) proveniente de la fracción lábil y su tasa de mineralización ( $K_1$ )        | 60 |
| 5.7 Nitrógeno (amonio y nitrato) potencialmente mineralizable (NoE) proveniente de la fracción estabilizada y su tasa de mineralización ( $K_2$ ) | 63 |
| 5.8 Dinámica de absorción de nitrógeno por el cultivo   | 64 |
| 5.9 Efectos de los tratamientos sobre el rendimiento  | 67 |
| 5.10 Otros beneficios del sistema (económicos)  | 69 |
| VI. CONCLUSIONES  | 71 |
| VII. RECOMENDACIONES  | 72 |
| VIII. BIBLIOGRAFIA  | 73 |
| IX. ANEXOS  | 78 |

## INDICE DE CUADROS

|  | Pagina |
|--|--------|
| Cuadro 1. Rendimiento en materia seca (ms) y su contribución en N,P,K, de un cultivo en callejones de <i>Gliricidia sepium</i> (Jacquin) Kunth ex Walper, con dos cosechas de maíz en Nigeria (cortes dos años luego de plantado). | 15     |
| Cuadro 2. Producción de biomasa de los tratamientos con especies arbóreas.   | 40     |
| Cuadro 3. Cantidad de materia seca y nitrógeno de cada residuo incorporado al suelo.   | 41     |
| Cuadro 4. Comparación de valores del nitrógeno total (amonio y nitrato) potencialmente mineralizado estimado y obtenido.   | 51     |
| Cuadro 5. Valores promedios de NoL y $K_1$ para cada tratamiento estimados por medio de la función lineal.   | 61     |
| Cuadro 6. Valores promedios de NoE y $K_2$ para cada tratamiento estimados por medio de la función lineal.   | 63     |
| Cuadro 7. Rendimiento del maíz en cada uno de los tratamientos.  | 67     |

## INDICE DE FIGURAS

|   | Pagina |
|---|--------|
| Figura 1. Distribución climática semanal de precipitación y temperaturas obtenidas durante el período de estudio.   | 47     |
| Figura 2. Nitrógeno total ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ) mineralizado en el tiempo.  | 49     |
| Figura 3. Comportamiento del nitrógeno total acumulado con respecto a la precipitación durante las 15 semanas de muestreos del suelo en el ensayo de cultivo en callejones en "El Plantel". | 52     |
| Figura 4. Comportamiento del amonio con respecto a la precipitación durante las 15 semanas de muestreo del suelo en el ensayo de cultivo en callejones en "El Plantel".                     | 54     |
| Figura 5. Comportamiento del amonio con respecto a la precipitación y temperatura en el tratamiento monocultivo con fertilizante químico (MCF).   | 56     |
| Figura 6. Comportamiento del amonio con respecto a la precipitación y temperatura en el tratamiento maíz con leucaena (ML).   | 56     |
| Figura 7. Comportamiento del amonio con respecto a la precipitación y temperatura en el tratamiento maíz con gliricidia (MG).   | 57     |

|  |    |
|--|----|
| Figura 8. Comportamiento del nitrato con respecto a la precipitación durante las 15 semanas de muestreo del suelo en el ensayo de cultivo en callejones en “El Plantel”. | 58 |
| Figura 9. Comportamiento del nitrato con respecto a la precipitación y temperatura en el tratamiento monocultivo con fertilizante químico (MCF).                         | 59 |
| Figura 10. Comportamiento del nitrato con respecto a la precipitación y temperatura en el tratamiento maíz con leuceana (ML).  | 59 |
| Figura 11. Comportamiento del nitrato con respecto a la precipitación y temperatura en el tratamiento maíz con gliricidia (MG).  | 60 |
| Figura 12a. Comportamiento de la absorción de nitrógeno por periodo de muestreo para cada tratamiento.   | 65 |
| Figura 12b. Comportamiento de la absorción de nitrógeno acumulado para cada tratamiento.   | 66 |

## INDICE DE ANEXOS

|   | Pagina |
|---|--------|
| Anexo 1. Datos promedios de precipitación (mm) y temperatura (°C) del ensayo de cultivo en callejones en la época de primera en "El Plantel".   | 79     |
| Anexo 2. Contenido de nitrógeno (ppm) proveniente de la mineralización de las enmiendas incorporadas en el suelo.   | 80     |
| Anexo 3. Nitrógeno total mineralizado acumulado (ppm) durante el período de muestreo del suelo.   | 81     |
| Anexo 4. Contenido de nitrógeno como amonio y nitrato (ppm) durante el período de muestreo del suelo.   | 82     |
| Anexo 5. Porcentajes de nitrógeno por período de muestreo en hojas de maíz durante el ciclo del cultivo.  | 83     |
| Anexo 6. Porcentajes de nitrógeno acumulado en hoja de maíz durante el ciclo del cultivo.   | 83     |
| Anexo 7. Valores de nitrógeno total potencialmente mineralizables (NoT) y de la fracción lábil (NoL) y estabilizada (NoE) con sus tasas de mineralización ( $K_0$ ) ( $K_1$ ) y ( $K_2$ ) estimados por medio de la función lineal. | 84     |

|  |    |
|--|----|
| Anexo 8. Peso húmedo de las muestras de suelo obtenido durante el período de muestreo en el ensayo de cultivo en callejones en “El Plantel”. | 85 |
| Anexo 9. Peso seco de las muestras de suelo obtenido durante el período de muestreo en el ensayo de cultivo en callejones en “El Plantel”.   | 86 |
| Anexo 10. Porcentaje de humedad del suelo obtenido durante el período de muestreo en el ensayo de cultivo en callejones en “El Plantel”.     | 87 |
| Anexo 11. Localización de la finca experimental “El Plantel”.  | 88 |
| Anexo 12. Croquis de campo del cultivo en callejones de <i>Gliricidia sepium</i> y <i>Leucaena leucocephala</i> .                            | 89 |

## RESUMEN

Este trabajo de tesis se realizó en la finca experimental “El Plantel” propiedad de la Universidad Nacional Agraria (U.N.A), situada en el km 42 de la carretera Masaya - Tipitapa, en el municipio de Zambrano departamento de Masaya. El objetivo fue evaluar la mineralización del nitrógeno proveniente del mulch de las especies arbóreas en la época de primera, en un sistema de cultivo en callejones asociados con maíz (*Zea mays* L.). Los tratamientos consistieron en: 1- Control (Monocultivo sin fertilizante), 2- Control (Monocultivo con fertilizante químico), 3- Maíz + Gliricidia y 4- Maíz + Leucaena.

El nitrógeno (amonio y nitrato) disponible estuvo representado por el nitrógeno orgánico, el cual fue influenciado por el nitrógeno aportado por las enmiendas y el nitrógeno residual de cosechas pasadas de maíz, encontrándose mayor cantidad de nitrógeno disponible estimado en el tratamiento Maíz + Leucaena (108.64 ppm) y menor cantidad en el monocultivo sin fertilizante (88.62 ppm). Los valores más bajos de nitrógeno mineralizable acumulado correspondieron al tratamiento monocultivo sin fertilizante (3.2 ppm) y el más alto de los valores fue para el tratamiento Maíz + Leucaena (104 ppm). Todos los tratamientos siguieron una tendencia ascendente, lo que se puede atribuir a una rápida liberación de nitrógeno proveniente de la fracción lábil de las enmiendas aplicadas, además se inicia un período de mineralización estable correspondiente al comportamiento de dichos residuos y su resistencia a ser descompuestos. Para los tratamientos Maíz + Gliricidia y Maíz + Leucaena, los valores de nitrógeno potencialmente mineralizable (NoL) estimados proveniente de la fracción lábil fueron de 21.56 y 22.60 ppm de nitrógeno, respectivamente. La variación de estos valores se debe a la cantidad y calidad de los residuos incorporados en el suelo. El nitrógeno potencialmente mineralizable (NoE) proveniente de la fracción estabilizada varió para todos los tratamientos entre 67.69 y 84.52 ppm de nitrógeno; estos valores presentan una curva de acumulación de nitrógeno mineralizado con una tendencia ascendente. La tasa de mineralización para la fracción lábil ( $K_1$ ) fue influenciada por las cantidades de materia seca

que se incorporó, donde se encontró mayor cantidad y calidad para la biomasa de Madero negro (2085.92 kg/ha) en comparación con Leucaena (1792.09 kg/ha), esto significa una mayor concentración de nitrógeno para la biomasa incorporada de Madero negro (66.96 kg/ha). Para la fracción estabilizada ( $K_2$ ) la tasa de mineralización presenta pequeñas variaciones, las que se deben a las cantidades de esta fracción en el suelo, las cuales son diferentes para cada tratamiento, por el manejo que se le ha dado con respecto a la cantidad de residuos orgánicos de cosechas anteriores, así como también la cantidad de biomasa de Leucaena y Gliricidia incorporada en las parcelas conformadas por dichas especies arbóreas y a la aplicación de fertilizante en el tratamiento monocultivo con fertilizante químico. La mayor producción de biomasa y contenido de nitrógeno, se registró en las parcelas de Gliricidia con 2085.92 kg/ha de biomasa y 66.96 kg/ha de nitrógeno. El tratamiento con mayor rendimiento en grano de maíz, fue para el monocultivo con fertilizante químico, siendo superior a maíz + Gliricidia, al monocultivo sin fertilizante y maíz + Leucaena. Estos rendimientos fueron del orden de : 2512.59, 2295.31, 2115.79 y 2042.22 kg/ha de grano de maíz, respectivamente.

## I. INTRODUCCION

En el mundo actual, tanto en los países en vía de desarrollo como los países desarrollados, no existe otra alternativa que la utilización de los abonos orgánicos disponibles, para disminuir el deterioro del medio ambiente causado por el uso excesivo de los fertilizantes químicos.

La real necesidad de aumentar la producción de alimentos para una población que crece constantemente y la degradación de los suelos aumentando progresivamente, obliga a pensar en el aprovechamiento sostenible del recurso suelo, sobre todo donde las áreas disponibles para la agricultura presentan limitaciones.

El aprovechamiento de los recursos orgánicos en la agricultura, es cada día de gran importancia si se quiere lograr un adecuado equilibrio biológico en el suelo y además garantizar cosechas rentables sin la utilización de fertilizantes químicos, que poco a poco se convierten en un peligro para el medio ambiente.

El hombre en su búsqueda constante de soluciones para frenar la destrucción de los recursos naturales del mundo y para lograr un aprovechamiento sostenible de los mismos, ha generado diferentes alternativas que integran el componente arbóreo con otros de índole agrícola y pecuario. Esto ha provocado un enorme interés en los sistemas agroforestales como una alternativa para la conservación y recuperación de áreas degradadas, ya que la incorporación de componentes arbóreos en los sistemas de producción ha demostrado ser un sistema productivo y sostenible, enfocado siempre en mejorar y mantener las condiciones del medio ambiente y las propiedades de los suelos.

La presente investigación pretende estudiar la tasa de descomposición y mineralización de nitrógeno proveniente del mulch de *Leucaena leucocephala* (Lam. de Wit) y *Gliricidia sepium* (Jacquin) aspecto de fundamental importancia para poder ajustar las podas del componente arbóreo en el ciclo del cultivo y el manejo del cultivo asociado a las curvas de liberación de nutrientes de follaje en descomposición dependiendo del material disponible. También se trata de establecer una curva entre la cantidad de nitrógeno mineralizado y la cantidad de nitrógeno absorbido por el cultivo del maíz, seleccionando este cultivo debido a su alto valor nutritivo y alta demanda de la población.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Evaluar el comportamiento de las formas del nitrógeno aprovechable por la planta, provenientes de la descomposición de *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* y materia orgánica nativa, en un sistema de cultivo en callejones asociados con el cultivo del maíz (*Zea mays* L.).

### **2.2 Objetivos Específicos**

- a) Estimar una tasa de descomposición del material orgánico fácilmente mineralizable en los suelos estudiados.
- b) Estimar una tasa de descomposición del material orgánico difícilmente mineralizable.
- c) Estimar la liberación de nitrógeno en el tiempo proveniente del material incorporado.
- d) Estimar un punto de equilibrio entre la velocidad de absorción del nitrógeno de las plantas con la velocidad de mineralización del mismo.
- e) Evaluar el efecto de las precipitaciones y temperaturas sobre la velocidad de descomposición del material incorporado.

### **III. REVISION DE LITERATURA**

#### **3.1 Sistemas Agroforestales**

Los sistemas agroforestales son formas de uso y manejo de los recursos naturales en los cuales especies arbóreas, arbustos y palmas son utilizadas en asociación deliberada con cultivos agrícolas o con animales en el mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal (Montagnini et al., 1992).

La importancia de los sistemas agroforestales radica en su habilidad para mejorar y mantener la producción agrícola y/o pecuaria, utilizando bajos niveles de insumos, protegiendo los suelos de la degradación y favoreciendo la productividad de los mismo (Montagnini et al., 1992).

Las prácticas agroforestales han sido aplicadas tradicionalmente por agricultores y ganaderos. Su empleo deberá de estar de acuerdo con cada condición bioclimática y socioeconómica local y conocimientos básicos sobre especies a utilizar, pues estos podrían reducir considerablemente la producción agrícola (Weaver, 1982; citado por Escobar, 1990).

Las actividades agroforestales constituyen la solución más natural de alimento, degradación de suelos y conservación de agua, así mismo ha problemas socioeconómicos como lo son los altos niveles de pobreza existentes ya que permite el mantenimiento de una producción estable (Montagnini et al., 1992).

Los sistemas agroforestales pueden contribuir a solucionar problemas en el uso de los recursos naturales debido a las funciones biológicas y socioeconómicas que pueden cumplir desde el punto de vista biológico, existen numerosas interacciones que pueden proveer ventajas si se encuentran bien manejadas. La presencia de árboles favorece a los sistemas de producción en aspectos tales como el mantenimiento del reciclaje de los nutrimentos y el aumento en la diversidad de las especies.

El reciclaje de nutrientes entre la vegetación y el suelo contribuye a mantener la productividad; al aumentar el número de especies pueden coexistir plantas de diversos requerimientos nutricionales, o especies que exploran diferentes estratos del suelo (especialmente en zonas áridas), lo que permite un mayor uso de los recursos disponibles. Además, debido a la estructura vertical proporcionada por los árboles y otras especies leñosas, pueden convivir plantas con diferentes requerimientos de luz; así mismo, los árboles protegen al suelo de los efectos del sol, del viento y de las fuertes lluvias que caracterizan a las zonas tropicales.

Las tres funciones antes mencionadas (el mantenimiento del ciclo de nutrientes, la utilización de especies con diversos requerimientos nutricionales y lumínicos y la protección física de los suelos) pueden obtenerse mediante el diseño de sistemas agroforestales; esto puede contribuir a crear sistemas más productivos y más estables que los monocultivos (Montagnini et al., 1992).

Así mismo, el uso de prácticas agroforestales puede proveer beneficios socioeconómicos y culturales, entre los cuales pueden mencionarse la disminución de los riesgos económicos para el agricultor al lograr diversificar la producción (Montagnini et al., 1992).

Como se ha visto, los efectos de los árboles y la fertilidad, varían según la especie y las condiciones ambientales; se debe diferenciar los impactos beneficiosos y los indeseados (Young, 1989; citado por Montagnini et al., 1992).

Es importante conocer los mecanismos que producen tales resultados, para poder decidir sobre las técnicas de manejo adecuadas para obtener impactos deseables. No es necesario estudiar todos los mecanismos posibles, sino que es preferible encontrar esfuerzos en examinar los aspectos claves del reciclaje de nutrientes involucrados en cada situación. En la mayoría de los casos es posible obtener datos útiles en estudios que incluyen los siguientes aspectos:

- 1- Parámetro de fertilidad de los suelos (Materia Orgánica, pH, contenido de Ca, Mg, K, N, P).
- 2- Producción y composición química de la biomasa aérea.
- 3- Caída y descomposición de hojarasca.
- 4- Biomasa y composición química de raíces.

En el caso de nitrógeno, además de su contenido total en el suelo, es importante conocer la tasa de mineralización, es decir, la transformación de nitrógeno orgánico a inorgánico, nitrato, amonio, aprovechados por las plantas (Lundren,1978; Montagnini,1990; Young,1989; citado por Montagnini et al., 1992).

Los efectos benéficos de los árboles sobre la fertilidad de los suelos pueden, incluir tanto una mejora en la estructura del suelo como un aumento en la disponibilidad de nutrientes. También pueden ocurrir efectos perjudiciales, tales como aumento en la acidez, producción de sustancias alelopáticas y competencia con otras especies por agua u otros nutrientes (Cozz, 1976; Salas y Fassbender, 1984; Lundgren, 1978; Nair, 1989; Sánchez et al.,1985; Young, 1989; citado por Montagnini et al., 1992).

Kang et al. (1981) citado por Escobar (1990), considera que los cultivos en callejones son una alternativa técnica para la agricultura migratoria de los trópicos húmedos, utilizando hileras de *Leucaena leucocephala*, *Erythrina poeppigina* y *Gliricidia sepium*, ya se han obtenido cosechas muy buenas y sostenidas de maíz, frijol y yuca.

Tórrez (1983) citado por Rodríguez (1993), indicó que hileras de *Leucaena* intercaladas con maíz, pueden contribuir a mantener la producción del cultivo. Además, proporciona leña y mejora el nivel de materia orgánica y nitrógeno del suelo.

Sánchez (1989) citado por Rodríguez (1993) demostró que la cobertura producida por árboles de *G. sepium* y *E. poeppigina* disminuyen la erosión, mejora las propiedades físicas de los suelos y favorece el ciclaje de nutrientes.

## **3.2 Componente arbóreo**

### **3.2.1 *Leucaena leucocephala***

#### **3.2.1.1 Descripción Taxonómica y Botánica**

*Leucaena leucocephala* conocida como Leucaena, pertenece a la familia leguminosae. Posee una corteza grisácea, con una altura de 20 m, sus hojas bipinnadas, las flores están arregladas en cabezuelas globosas; el fruto es una vaina de 20 cm de largo y 2 cm de ancho, puede poseer de 15-25 semillas por vaina. Las raíces típicamente son profundas, pivotantes y con crecimientos laterales descendientes en ángulos agudos a la raíz principal (CATIE, 1991).

#### **3.2.1.2 Distribución**

Esta especie es originaria de la América tropical desde el sur de México hasta Nicaragua. Es un árbol de uso múltiple y en la actualidad está siendo ampliamente investigado y en algunos casos cultivado a nivel experimental y comercial, en varios países tropicales de América, Asia y Africa (CATIE, 1991).

#### **3.2.1.3 Ecología**

A la especie *Leucaena leucocephala* se le ha detectado una considerable variación a los hábitos de crecimientos. Se adapta a una serie de sitios con condiciones de clima y suelo bastante variados, estas condiciones de adaptación varían un poco según la especie (CATIE 1991).

Esta especie se adapta muy bien a las tierras bajas, casi desde el nivel del mar hasta los 800-900 msnm. En cuanto a la precipitación, la especie crece desde sitios secos con 600 mm hasta húmedos con 1800mm de precipitación anual. *Leucaena leucocephala* se adapta bien a temperaturas medias anual, entre los 22 y los 30 °C.

Esta temperatura corresponde a las zonas bajas de los países centroamericanos. Estas características climáticas permiten definir las siguientes zonas de vidas (sistema Holdridge) como las apropiadas para el cultivo de leucaena: Bosque muy húmedo tropical, Bosque muy húmedo permontano, Bosque húmedo tropical, Bosque húmedo permontano y Bosque seco tropical.

En general los estudios de adaptación y de rendimiento que se han realizado con la especie en países tropicales, han mostrado que la adaptación de esta a diferentes tipos de suelo ocurre siempre y cuando no haya limitaciones en drenaje, que no sean suelos compactados ni ácidos; los mejores resultados sean obtenidos en suelos moderadamente ácidos (pH 6.5) a moderadamente alcalinos (pH 7.5) (CATIE, 1991).

Estas características de adaptación se deben en parte, al amplio y profundo sistema radicular, el cual le permite tener una mayor capacidad de exploración del suelo. Por ser una especie fijadora de nitrógeno, a través del desarrollo de nódulos y la formación de micorrizas, le permite una buena adaptación a suelos con factores limitantes, principalmente en aspecto de nutrición y disponibilidad de agua (CATIE, 1991).

### **3.2.2 Usos de Leucaena**

#### **3.2.2.1 Forraje**

Se sugiere establecer rodales a densidades de 20,000 árboles/ha (0.5m x 1m) y realizar la primera cosecha a un año después de la plantación. Las cosechas siguientes pueden practicarse cada tres meses en la época de lluvia y cada cuatro o cinco meses en la época seca, con el objeto de no permitir al material que se lignifique demasiado. La especie es utilizada para forraje, dada la alta digestibilidad del follaje de Leucaena (60-70%), el cual contiene entre 20 y 27 % de proteína, caroteno, vitamina K y otros nutrientes (Hedg, 1983; Patha y Patil, 1983; citado por CATIE, 1991).

### **3.2.2.2 Abono verde**

El árbol se debe plantar a 25cm uno del otro y 3 m o 4 m entre líneas. La primer cosecha se puede hacer al año o al segundo año y la siguiente cada tres o cuatro meses según la recuperación de los rebrotes y la época del año. Además, cuando la especie se utiliza como abono verde contribuye al aporte de materia orgánica, fijación de nitrógeno y protección de los cultivos (CATIE, 1991).

### **3.2.2.3 Producción de leña**

Actualmente es uno de los mayores usos que se le está dando a la especie en los países centroamericanos; para este fin la especie es plantada a 2 m x 2 m, si se quiere leña de mayor diámetro puede plantarse a 2 m x 2.5 m o 2.5 m x 2.5 m, aunque este último espaciamiento no es muy utilizado, por ser una especie de porte bajo y copa angosta. El primer aprovechamiento se puede realizar a los tres o cuatro años; los rebrotes pueden ser aprovechados cada dos años (CATIE, 1991).

### **3.2.2.4 Arbol para sombra**

*Leucaena leucocephala* se utiliza como sombra en cafetales, donde se planta a 4 m x 4 m o 5 m x 5 m al momento de establecerse la plantación de café, además, es necesario realizar podas anuales. Esta poda debe ser parcial, dejando siempre parte de la copa viva, la cual debe levantarse por lo menos 1 m arriba de la copa del cafeto (CATIE, 1991).

### **3.2.3 *Gliricidia sepium***

#### **3.2.3.1 Descripción Taxonómica y Botánica**

*Gliricidia sepium*, es conocida como madero negro, madre cacao, mata ratón, pertenece a la familia Leguminosae. Es una especie Caducifolia de tamaño mediano con altura de 10-15 m y diámetros menores a 40 cm. La corteza es lisa, de copa abierta con follaje ralo; la forma del árbol varia de recta a torcida y muy ramificada. Posee hojas compuestas imparipinnadas en disposición alterna, con folíolos opuestos. Las flores se presentan en racimos axilares, con una época de floración que inicia de diciembre a febrero. El fruto es una Legumbre aplanada dehiscente (CATIE, 1991).

#### **3.2.3.2 Distribución**

Es una especie nativa de las zonas bajas de México y América Central, se encuentra entre los 7°30' N hasta los 25°30' N, desde el norte de Sinaloa en México hasta Pedesi en Panamá además, *Gliricidia* es encontrada en Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador. También ha sido introducida en las islas del Caribe, Filipinas, Africa y el sur de Asia e Indonesia, en donde se ha naturalizado.

#### **3.2.3.3 Ecología**

En América Central se encuentra en las planicies y en las faldas de las montañas, hasta los 1600 msnm, encontrándose principalmente abajo de los 500 msnm. Las precipitaciones oscilan entre 600-2,500 mm/año. *Gliricidia* tolera una gran variedad de suelos, menos aquellos con mal drenaje interno, inclusive crece bien en suelos calcáreos (Chang, 1984; Nas, 1984; CATIE, 1986; citado por CATIE, 1991)

De acuerdo con los resultados de algunos ensayos de *Gliricidia* establecidos en el Oeste de Africa, Filipina y América Central, se reporta creciendo en suelos ácidos (pH 4-5) (CATIE, 1991).

La fertilidad natural no es un factor limitante para esta especie, pues se desarrolla bien en suelos pobres; prefiere suelos con una profundidad efectiva mayor de 30 cm ( Haggis y Quiroz, 1985; citado por CATIE, 1991), aunque se encuentra en suelos rocosos sin estratos definidos. El crecimiento de la especie se ve afectado por poca retención de humedad de los suelos; en sitios con más de 8 meses de déficit hídrico, suelos sobre pastoreados (compactados) o con problemas de inundaciones periódicas o mal drenados (CATIE, 1991).

### **3.2.4 Usos de *Gliricidia***

#### **3.2.4.1 Arboles para sombra y soporte**

*Gliricidia* además de conservar y mejorar el suelo, posee una copa ancha, de follaje fino, lo cual permite que la luz se filtre, por lo tanto, puede ser utilizada como sombra transitoria o permanente en plantaciones de cacao y plantaciones de café y té, o como soporte vivo para vainilla, pimienta negra y ñame (Mora, 1983; Skoupy y Vaclav, 1976; Vera, 1987; citado por CATIE, 1991).

#### **3.2.4.2 Producción de Forraje**

CATIE (1991) reportó que el follaje tierno mezclado con otros alimentos como gramíneas y malezas se ha utilizado para alimentar ganado vacuno, cabras, ovejas, etc. También se ha ensilado para suministrarlo durante la estación seca.

### **3.2.4.3 Cercas vivas**

La utilización de esta especie se debe a su fácil establecimiento y prendimiento a partir de estacas de 2 metros de longitud y diámetro de 4 – 12 cm en la base. CATIE (1991) realizó un aprovechamiento con rebrotes de dos años donde se obtuvo 12.5 tm/km de biomasa seca.

### **3.3 Cultivo en callejones**

Este sistema agroforestal, es conocido también como cultivo en fajas o hileras. Consiste en la asociación de arbustos y árboles ( generalmente fijadores de nitrógeno ) intercalados con franjas con cultivos anuales (Montagnini et al., 1992). Este tipo de asociaciones tiende a simular la vegetación natural pudiéndose mejorar la eficiencia del sistema de producción (Holdridge, 1959; citado por Jiménez, 1990).

El objetivo del sistema, es la producción de mulch ( abono verde ) proveniente de las podas de los árboles, el cual se aplica entre los callejones de los cultivos mejorando la fertilidad del suelo con un nivel bajo de insumos; así mismo, puede usarse el producto de esta poda como forraje de alta calidad. Como beneficio adicional está el control de malezas (Montagnini et al., 1992). Se ha demostrado que el sistema de cultivo en callejones contribuye a mantener la fertilidad del suelo y permite obtener rendimientos estables del cultivo asociado sin adición de fertilizantes minerales (Jiménez, 1990).

#### **3.3.1 Leucaena en cultivo en callejones**

Por las características del crecimiento y múltiples usos de la especie, esta se ha venido utilizando frecuentemente como el componente arbóreo en el sistema de cultivo en callejones, donde se planta con cultivos agrícolas como maíz, frijol, tubérculos o gramíneas para corte.

En este sistema agroforestal la especie se utiliza para distintos fines, como producción de leña, producción de forraje, cortinas rompevientos, estabilización de suelos cuando se planta en curvas a nivel y mejoramiento de suelos a través de la fijación de nitrógeno atmosférico y la incorporación del follaje (CATIE, 1991).

### **3.3.2 Gliricidia en cultivo en callejones**

Es un sistema muy útil, ha demostrado que puede suplir las necesidades de la mayoría de nutrientes de cultivos como el maíz y el frijol. El establecimiento de este sistema se hace a través de la siembra directa, o utilizando estacas y su manejo consiste en mantener podados los árboles mientras el cultivo crece, incorporando al suelo el material que se poda (CATIE, 1991).

*Gliricidia sepium*, es utilizada en setos en contorno, en laderas, así como en hileras en terrenos planos, ha demostrado ser un método barato y eficaz para controlar la erosión del suelo, mejorando su estructura y aumentando el rendimiento de los cultivos (AID, 1987; citado por CATIE, 1991).

### **3.3.3 El Sistema y los Rendimientos**

#### **3.3.3.1 *Leucaena leucocephala***

Por las características de los productos y los posibles usos de la *Leucaena*, resulta más apropiado conocer la capacidad de producción de la especie en términos de biomasa seca por área total, tanto del material leñoso, como del follaje que se utiliza como mulch, harina o follaje. La producción de biomasa así como la proporción de los distintos componentes (fuste, ramas, follaje), está determinado en parte, por la densidad de plantación, edad, calidad del sitio y el manejo a que esta haya sido sometida, por la época de cosecha, ya que la especie reduce el follaje en la época seca.

Dentro de los factores de suelo y clima que más influyen en su rendimiento son la altitud, grado de erosión del suelo, largo de la estación seca, disponibilidad de zinc y materia orgánica (Campos, 1990; citado por CATIE, 1991).

*Leuceana luecocephala* K-8, mostró en el pacífico seco de Costa Rica y para edades entre 2.4 y 5.4 años y entre 400 y 2,500 árboles/ha, un incremento medio anual de 11.6 tm/ha de biomasa seca total y 11.1 tm/ha de leña en peso seco (Salazar et al., 1987; citado por CATIE, 1991).

A los cinco años en San Pedro Sula, Honduras a 50 msnm, 1874 mm de precipitación anual, 26°C de temperatura media y suelo franco con pH de 5.6, se obtuvo una producción de 63.7 tm/ha de biomasa aérea seca (51.6 tm/ha de fuste y leña y 12.1 tm/ha de follaje), a una densidad de 2,500 árboles/ha (CATIE, 1991).

### 3.3.3.2 *Gliricidia sepium*

En Nigeria sobre suelo Alfisoles y con 1,250 mm de precipitación media anual, el primer corte de setos de *Gliricidia* después de 2 años, plantado a 0.5 x 4 m aportó el 71% de N total requerido por el cultivo de maíz. El N faltante fue posible suplirlo con una segunda poda del seto, 66 días después de plantado el maíz. Aunque puede requerirse de suplementación adicional de nitrógeno (Yamoah y Nilson, 1986; Yamoah et al., 1986; citado por CATIE, 1991).

Cuadro 1. Rendimiento en materia seca (ms) y su contribución en N, P, K, de un cultivo en callejones de *Gliricidia sepium* ( Jacquin ) Kunth ex Walper, con dos cosechas de maíz en Nigeria (cortes dos años luego de plantado).

|                      | MS    | N     |      | P     |      | K     |      |
|----------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|
| Podas                | kg/ha | kg/ha | %    | kg/ha | %    | kg/ha | %    |
| Hojarasca            | 1263  | 23    | 1.81 | 2     | 0.17 | 7     | 0.57 |
| 1 <sup>er</sup> poda | 3120  | 126   | 4.04 | 8     | 0.24 | 86    | 2.76 |
| 2 <sup>da</sup> poda | 2667  | 119   | 4.49 | 7     | 0.27 | 75    | 2.83 |
| 3 <sup>ra</sup> poda | 2667  | 144   | 4.47 | 8.9   | 0.27 | 92    | 2.86 |
| 4 <sup>ta</sup> poda | 3217  | 88    | 4.85 | 5     | 0.27 | 52    | 2.86 |

Fuente: Yamoah et al., (1986); citado por CATIE (1991).

MS = Materia Seca

N = Nitrógeno

P = Fósforo

K = Potasio

Salazar (1984) citado por Araya (1987) trabajando en plantas de café asociados con árboles de *Gliricidia* de 30 años de edad obtuvo una producción (peso seco de fuste 265 kg/árbol (84%), ramas 42.4 kg/árbol (14%), follaje 5.2 kg/árbol (2%).

Hernández, C.C. (1963) citado por Araya (1987) mostró que las condiciones climáticas afectaron grandemente la velocidad de descomposición de *Gliricidia* ya que , agregando 1 kg de materia fresca por m<sup>2</sup> (equivalentes a 38.8 kg/ha de sulfato de amonio), su descomposición dura 145.5 días durante la estación seca y 71.5 días en estación lluviosa.

Weeraratna (1986) citado por Araya (1987) en un trabajo de incubación de suelo mezclado con hoja de *Gliricidia* encontró que a las siete semanas el contenido de la fracción amonio pasó de 10.3 mg/100g de suelos a 17 mg/100g. También reportó que la fracción nitrato varió de 7.5 mg /100 g de suelo a 16.6 mg/100g. El nitrógeno total pasó de 10.3 mg/100 mg de suelo a 34.1 mg de suelo.

### **3.3.4 Ventajas del Sistema**

- 1- Se logra un mayor periodo de cultivo y un uso más intensivo de la tierra.
- 2- Las prácticas de cultivo y barbecho se realizan simultáneamente.
- 3- Aumento del contenido de materia orgánica del suelo, aumento de la fertilidad.
- 4- Se mejoran algunas características físicas de los suelos como la infiltración y la estructura; mantienen la humedad.
- 5- Disminuir los requerimientos de insumos externos (labores de preparación del suelo).
- 6- Proporcionar sombra y mayor protección al suelo (Reducción de la erosión).
- 7- El sistema puede establecerse en diferentes escalas (tamaño variable).
- 8- Reducción del crecimiento de malezas por efecto de la sombra y de la incorporación de material vegetal en el suelo (Montagnini et al., 1992).

### **3.3.5 Desventajas del Sistema**

- 1- Reducción del área al ser cultivada.
- 2- Posible disminución de la producción agrícola por efecto de sombra y competencia por nutrientes si no se maneja adecuadamente.

3- La aplicación de podas frecuentes, requiere aumento de mano de obra.

4- Limitante para producir con maquinaria agrícola (Montagnini et al., 1992).

### **3.4 Efecto del mulch en cultivos agrícolas**

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; citado por Escobar, 1990). La aplicación del material de poda de los árboles, en un cultivo en callejones, puede suministrar cantidades significativas de nutrientes al cultivo asociado; esta cantidad depende de la especie, condiciones del sitio, distancia de siembra y la frecuencia de podas (Escobar, 1990).

En las condiciones de Ibadan (Nigeria) en una poda de *G. sepium* (10,000 árboles/ha) después de dos años, se encontraron valores en el suelo de 126 kg/ha de N, 8 kg/ha de P, 86 kg/ha de K (Escobar, 1990).

La asociación de árboles leguminosos con cultivos perennes tales como café, té, o cacao, es una práctica muy activa. En cultivos perennes las cifras de producción de biomasa rica en nutrientes varía, dependiendo de las densidades de árboles y regímenes de poda. Este último afecta la producción de hojas y materiales leñosos de la biomasa producida, los cuales presentan diferentes contenidos de nitrógeno (Alavez, 1987).

Algunos estudios han mostrado que la proporción de nitrógeno incorporado al suelo por fijación es relativamente pequeña comparada con la proporción de nitrógeno reciclado a través de la biomasa producto de las podas y hojarasca depositadas en el suelo (Alavez, 1987).

La importancia de una abundante cantidad de biomasa depositada sobre el suelo, ya sea por la poda o por la caída natural de las hojas, es que al elevar el contenido de materia orgánica en el suelo, se mejora la disponibilidad de nutrientes y se reduce las pérdidas por lixiviación (Alavez, 1987).

Otros estudios han evaluado los efectos del mulch y se encontró que el mulch influye sobre la regulación del régimen hídrico del suelo, control de la erosión y menor incidencia de malezas.

También depende de la época de aplicación de cobertura verde (mulch) con respecto al ciclo de vida del cultivo y de los efectos alelopáticos que puedan presentarse entre las leguminosas arbóreas y el cultivo asociado (Alavez, 1987).

### **3.5 El Cultivo del Maíz (*Zea mays*)**

En América Central el maíz es uno de los cultivos que representa importantes ingresos para el pequeño agricultor y es parte del alimento básico en la dieta de la población (Navarro, 1985; citado por Jiménez, 1990).

El maíz se cultiva solo o asociado en las regiones pobladas de Centro América especialmente en las zonas secas. El maíz es un cultivo de subsistencia y es común encontrarlo en asocio con leguminosas de grano (CATIE, 1985; citado por Jiménez, 1990).

La técnica de asociar el maíz con árboles es relativamente nueva, la cual consiste en utilizar la biomasa de árboles o arbustos con potencial para restaurar la fertilidad del suelo y mantenimiento estable del cultivo (Jiménez, 1990). En América Tropical el área sembrada es de 23.8 millones de hectáreas con rendimiento de 1.3 ton/ha (Sánchez, 1981; citado por Jiménez, 1990).

#### **3.5.1 Necesidades del Cultivo del Maíz**

Se define como la cantidad máxima de elementos fertilizantes movilizados por la planta de maíz desde su emergencia hasta su recolección. A pesar de que el maíz tiene un ciclo vegetativo relativamente corto, las mayores extracciones se producen en los 60-75 días que

sigue el estado de 6-8 hojas. Las máximas extracciones diarias son de alrededor de 8 kg/ha/día. El nitrógeno es un componente esencial de todos los tejidos de la planta.

### **3.5.2 Ritmo de absorción de nitrógeno**

1- Desde la nacencia hasta el estado de 8 hojas absorbe 2%.

2- Desde el estado de 8 hojas hasta la floración absorbe 38%.

3- En la floración (15 días antes y 15 días después) absorbe 47%.

4- En la formación de la mazorca absorbe 37%.

Los datos anteriores ponen de manifiesto que el estado de floración que dura de 30-35 días es un período crítico porque en él se absorbe casi el 50% de las necesidades totales de nitrógeno, por ello es muy importante que la planta encuentre en el suelo en su momento, las cantidades de nitrógeno en forma asimilable que necesita.

### **3.5.3 Los requerimientos de nitrógeno por una planta de Maíz**

Estos se incrementan grandemente apartir de V6 (más o menos 20 días de edad) entre esta etapa y V18 (60 días de edad) se asimila el 60% del total que utilizara la planta en todo el ciclo. Entre los 65 y los 100 días (R1-R2)se asimila el 30% más para hacer el total de 90% (Bartolini, 1990).

## **3.6 Importancia del nitrógeno para los cultivos**

### **3.6.1 Contenido de nitrógeno en el suelo**

El nitrógeno es un elemento que con más frecuencia limita los rendimientos agrícolas y contribuye al déficit proteico tan extendido en los trópicos (Sánchez, 1981; citado por Alavez, 1987).

El contenido de N en los suelos está asociado con el desarrollo y evolución de las rocas parentales en el largo plazo. La mayor parte de las rocas originales de la corteza terrestre son ígneas, formadas del material magmático del núcleo interno de la tierra. En el momento en que el magma llegó a la superficie de la tierra, el N se volatiliza a la atmósfera, pero en forma paulatina, a lo largo de millones de años, el N se ha vuelto a acumular en los suelos, precipitado por las aguas de lluvia y a través del ciclo orgánico.

En los suelos con clima tropical, el contenido de N varía ampliamente entre 0.02% y 0.4% con valores muy altos en los suelos desérticos y semidesérticos; en casos extremos, como en los suelos muy ricos en materia orgánica, pueden llegar hasta el 2%.

Las cantidades de N presentes en los suelos están controladas, por las condiciones climáticas y la vegetación; estas últimas inciden, además, en las condiciones locales de la topografía, en el material parental, en las actividades del hombre y en el tiempo que estos factores actúan sobre el suelo. Los factores edáficos, como el pH, el drenaje, la presencia de inhibidores, influyen sobre los microorganismos del suelo y sobre el contenido de N.

La acumulación y distribución del N en los perfiles de los suelos es variable y depende de la cantidad, el origen y el grado de descomposición de la materia orgánica en las diferentes capas del suelo. Además, es el resultado de la actividad biológica. En efecto, a través del proceso de la humificación se producen componentes nitrogenados que incorporados al

suelo por microorganismos y, por otra parte, las raíces finas, al morir, se humifican en el suelo e incorporan nitrógeno (Fassbender y Bornemisza, 1987).

La materia orgánica humificada es una sustancia compleja, consolidada y muy resistente al ataque microbiano. Esta fracción, se encuentra en equilibrio con la fracción estabilizada en proceso lento de humificación. Aunque este constituye alrededor de un 80% a 90% del contenido de N total del suelo, su participación en el sistema activo del N del suelo y en la nutrición de los cultivos es muy reducido (García, 1993).

### **3.6.2 Formas y Fuentes de 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 se encuentran como aminoácidos, aminoazúcares, hidroxiaminoácidos, N orgánico hidrolizado y hexosaminas (Burbano, 1984; Stevenson, 1982; citado por Escobar, 1990).

El nitrógeno mineral, entre el 5% y 15%, se encuentra principalmente como amonio y nitrato y trazas de óxido nitroso ( $N_2O$ ), óxido nítrico (NO), dióxido de N ( $NO_2$ ), amoniaco ( $NH_3$ ) (Fassbender y Bornemisza, 1987). El nitrógeno es absorbido por las plantas como amonio y nitrato principalmente (Runge, 1983; citado por Escobar, 1990).

Según Baber (1984) citado por García (1993), el N del suelo está comprendido en cinco categorías: 1) el N de la materia orgánica, 2) el N mineral de la solución del suelo y el que se encuentra sobre los sitios de intercambio, 3) el N de los residuos frescos de plantas del suelo, 4) el fijado como  $NH_4^+$  en las capas interlaminares de los materiales arcillosos, 5) y el gaseoso en la atmósfera del suelo.

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%, algunas veces este parámetro es usado para evaluar niveles críticos de N del suelo en cultivo de maíz y algodón (Guerrero, 1984; citado por Escobar, 1990).

Unas 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 el N se acumula durante la estación seca, aumenta repentinamente al comienzo de la lluvias, lo que se conoce como efecto de Birch, y después baja debido a pérdidas por lixiviación con la continuación de las lluvias (Greenland, 1958, Fassbender, 1982; Sánchez, 1982; citados por Escobar, 1990).

El nitrógeno disponible en el suelo depende en gran medida de la mineralización del N orgánico. Mediante este proceso los componentes orgánicos, del humus del suelo, o de los residuos vegetales y animales incorporados al mismo, se transforman a formas inorgánicas nitrogenadas tales como amonio, nitrito y nitratos (Sánchez, 1982; Runge, 1983; citados por Escobar, 1990).

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 amonio (Fassbender y Bornemisza, 1987).

### **3.6.3 Fijación de nitrógeno**

El nitrógeno en la atmósfera, es la fuente esencial de N, pero tiene baja reactividad química por debajo de las mayorías de las condiciones naturales y solo algunas bacterias pueden utilizar el N gaseoso. Para ser aprovechado por la mayoría de los organismos, el N debe ser convertido a amonio o nitrato; esta conversión es llamada fijación de nitrógeno. El nitrógeno puede ser fijado:

- 1- A través de procesos bioquímicos por algunas bacterias (fijación biológica de N).
- 2- A través de síntesis industrial de amonio para la conversión en fertilizantes y químicos industriales.
- 3- Por calentamiento de aire a altas temperaturas como en combustión (máquinas y fuego) e iluminación.

Existen varias estimaciones para las cantidades de fijación global anual de nitrógeno. La producción industrial de amonio es conocida con razonable precisión, los agregados de otras fuentes puede ser solo estimados y las estimaciones generalmente varían.

### **3.6.4 Estudio del nitrógeno**

La reserva total y la cantidad de sustancias nutritivas en forma asimilable por los cultivos, no es igual en todos los suelos, depende de la composición y las propiedades del suelo, por eso también es diferente su sensibilidad a la aplicación de fertilizantes y su reactividad en los distintos suelos (García, 1993).

Entre los diferentes elementos nutritivos de los vegetales, es el N el que ha sido sometido al mayor y más intenso estudio y aún en la actualidad recibe mucha atención. Esto se debe probablemente a que es el nutrimento que más limita el crecimiento de los cultivos y a que su disponibilidad para las plantas está afectada por una gran cantidad de factores como:

- 1) la velocidad con que los microorganismos descomponen la materia orgánica, lo que depende del tipo de materia orgánica, pH, temperatura aireación, etc;
- 2) las pérdidas que sufre el N inorgánico producido,
- 3) la dificultad para predecir cuándo y cuánto N es disponible para el cultivo (García, 1993).

A pesar de ser la deficiencia de N la más frecuente, todavía no hay un método de análisis de suelo confiable para estimar el suministro real de este nutriente. La falta de éxito de los procedimientos que miden la fracción inorgánica, se debe en gran parte a que entre el 97-99% del N del suelo está presente en componentes orgánicos complejos, los cuales se hacen lentamente disponibles para la planta a través de la descomposición microbiana (Dahnke y Johnson, 1990; citados por García, 1993). La tasa de descomposición de estos componentes depende de la temperatura y disponibilidad de agua, además de la relación carbono-nitrógeno del material y su composición química.

En ambientes húmedos, el contenido de materia orgánica generalmente es alto y la mineralización de N orgánico suple una porción significativa de los requerimientos totales para los cultivos de estación corta; típicos en esas condiciones. En esta situación, la materia orgánica del suelo puede suministrar un índice conveniente de la disponibilidad de N. En el otro extremo de condiciones medio ambiental, la estimación del N ( $\text{NO}_3$ ), es una buena medida directa de la disponibilidad de N (Dahnke y Johnson, 1990; citados por García, 1993).

Las pruebas de disponibilidad de N pueden ser químicas o biológicas. estas últimas se consideran de mayor valor debido a que se usan organismos vivientes (plantas), no obstante tienen la desventaja que toman mucho más tiempo que las llevadas a cabo por métodos químicos (García, 1993).

El porcentaje de N total raras veces es un buen indicador de la disponibilidad de N en el suelo, pero este se encuentra estrechamente relacionado con la materia orgánica. Se mide para relacionarlo con el porcentaje de carbono, el cual es una buena estimación de la probabilidad de que ocurra mineralización o inmovilización de N en el suelo (García, 1993).

El N total de los diferentes constituyentes de los residuos orgánicos presentan distintas susceptibilidades para su mineralización por la masa microbiana. De acuerdo a su mayor o menor facilidad al ataque microbiano, se han establecido tres fracciones: a) muy lábil, vinculada al contenido celular; b) lábil, ligada a la celulosa y hemicelulosa; y c) resistente, esta corresponde a la lignina de la pared celular (García, 1993).

Según Rodríguez (1990) citado por García (1993), la curva de mineralización de los residuos orgánicos nitrogenados muestran en una primera parte, una mineralización rápida, y en una segunda parte, una mineralización más lenta.

### **3.7 Materia Orgánica en el suelo**

La materia orgánica del suelo se entiende como la fracción orgánica del suelo que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas por los habitantes del suelo.

La parte más estable de la materia orgánica de suelo, es el humus. Este está compuesto por los restos postmorten de vegetales y animales que depositados en el suelo, son constantemente sometidos a procesos de descomposición, transformación y resíntesis.

El contenido porcentual total de materia orgánica en los primeros centímetros del suelo es alto y va decreciendo a medida que aumenta la profundidad, lo cual se define como una disminución regular del contenido del carbono orgánico.

Los contenidos de materia orgánica y nitrógeno en los suelos son determinados, por el clima y la vegetación, pero también sufren los efectos de otros factores locales como el relieve, el material parental, el tipo y duración de la explotación de los suelos y algunas de sus características químicas, físicas y microbiológicas.

En zonas tropicales se encontró una relación inversa entre la materia orgánica, el N y la temperatura; es decir, al aumentar la temperatura decrece el contenido de materia orgánica y nitrógeno en los suelos.

Entre las características de los suelos se debe considerar el contenido y tipo de arcillas, y su reacción. Es de esperar que al aumentar la proporción de minerales arcillosos en los suelos se obtenga un efecto de estabilización de la materia orgánica y un incremento en su contenido.

La reacción del suelo influye en el contenido de la materia orgánica. Se ha encontrado que en suelos ácidos, con un pH menor que 5, se produce una acumulación de la materia orgánica. Esto se debe a que el pH incide en el contenido y composición de los microorganismos de los suelos, limitando la acción bacteriana y de la microflora y se favorece la reproducción de hongos, lo que da como resultado una disminución en la mineralización y humificación con la consecuente acumulación de la materia orgánica (Fassbender y Bornemiza, 1987).

Sin duda alguna, uno de los principales objetivos que se persigue en una agricultura 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, consiste en agregar materiales frescos sin descomponer como estiércol, compost y materiales vegetales aplicados en la superficie del suelo o incorporados a este. 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; citados por Escobar, 1990).

En Ibadan (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 en donde las pérdidas fueron mayores, debido a una mayor mineralización de la materia orgánica y la erosión (Lal, 1989; citado por Escobar, 1990).

### **3.7.1 Factores bióticos que influyen sobre la descomposición de la materia orgánica**

Entre los factores internos hay que considerar la descomposición y la cantidad de restos animales y vegetales depositados ; además es necesario examinar la relación C/N, la relación ácidos/bases, la relación lignina/celulosa y el contenido de minerales. La literatura indica que las hojas en general se descomponen más rápidamente que las ramas y otros materiales leñosos y que la descomposición varía dependiendo de la especie.

Fournier y Camacho (1973) citado por Vilas (1990), observaron que el tiempo de descomposición de las hojas varía mucho de una especie a otra, algunas se descomponen en un periodo de uno a dos meses, mientras que otras tardan varios meses. Mencionan también que en general las hojas de las especies de árboles pioneros tienden a descomponerse más rápidamente que aquellas que ocupan una posición más avanzada en el proceso de sucesión.

La relación C/N es variable en el sustrato a mineralizarse, según las especies y la edad de las mismas. Generalmente las plantas jóvenes y las gramíneas tienen relaciones C/N alrededor de 20; al madurar los tejidos se reduce el contenido de proteínas y minerales y aumenta el de la lignina, incrementándose la relación C/N hasta valores mayores que 30. De este modo decrece la susceptibilidad del sustrato ante la descomposición. La relación ácidos/bases es importante de manera especial en medios ecológicos naturales; muchas veces un exceso de ácidos y la falta de minerales, especialmente calcio y microelementos, pueden limitar la descomposición (Fassbender y Bornemiza, 1987).

El tipo y proporción de las sustancias que constituyen la materia orgánica, pueden afectar el proceso de descomposición, más que los elementos en sí. De acuerdo a Alexander (1977) citado por Vilas (1990) y Fassbender y Bornemiza (1987) se pueden diferenciar los siguientes grupos:

1) carbohidratos: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos; 2) proteínas, polipéptidos; 3) ácidos nucleicos; 4) grasas, ceras y resinas; 5) ligninas y otros compuestos bioquímicos.

Según Swift et al. (1979) citado por Vilas (1990), estos compuestos tienen su propia tasa y velocidad de descomposición siguiendo el orden a continuación: azúcares solubles, polisacáridos, celulosa, hemicelulosa, lignina. La lignina, además de ser un componente estructural de difícil degradación, también puede retardar la descomposición de la celulosa actuando como una barrera física que impide la acción de los descomponedores.

Según Argüello (1988) citado por Vilas (1990) no se puede concluir cuál de todas las propiedades físico-químicas del sustrato define la tasas de descomposición. Sin embargo, es claro que estas propiedades cumplen papeles muy importantes en el proceso. En función de la facilidad de ataque del sustrato, la concentración de sustancias difícilmente degradables, especialmente lignina, retardan el proceso, mientras que en función de la nutrición de los organismos descomponedores, la concentración de minerales, especialmente nitrógeno, facilitan el proceso. Por lo anterior, la relación lignina/nitrógeno inicial puede indicar la dinámica de la tasa de descomposición.

### **3.7.2 Influencia de los factores abióticos sobre la descomposición de la materia orgánica**

Además de los factores internos de la hojarasca, hay otros factores externos que afectan la velocidad de descomposición: temperatura, humedad y aereación, características edáficas, etc.

La temperatura y la humedad son sin duda, los factores más importantes que regulan la descomposición, bajo condiciones naturales, contribuyendo indirectamente la aereación y la estructura del suelo. Fassbender y Bornemiza (1987) indican que la temperatura y la humedad influyen tanto sobre la producción de restos vegetales y animales que se incorporan al suelo como en la velocidad de descomposición.

### **3.7.2.1 Temperatura**

La literatura reporta que hay una tendencia a aumentar la velocidad de descomposición de la hojarasca a medida que aumenta la temperatura. Según Sánchez y Buol (1975) citado por Vilas (1990), por cada aumento de 10 °C de temperatura, la tasa de actividad biológica se duplica y en las regiones templadas las bajas temperaturas invernales reducen considerablemente esta actividad.

Según Fassbender y Bornemiza (1987), los procesos de producción y velocidad de descomposición de los restos vegetales y animales se inicia a 10 °C y aumenta hasta alcanzar su máximo entre 30-40 °C. De allí resulta que con temperaturas relativamente más bajas se produce más restos de los que se descomponen y que con temperaturas mayores de 25-28 °C, la materia orgánica disminuye, lo que implica que la temperatura crítica (aproximadamente 25 °C) es decisiva para el balance entre la producción y la degradación de los restos vegetales. Temperaturas por debajo del nivel crítico permiten una acumulación de materia orgánica, mejorando una serie de propiedades en los suelos. Cuando las temperaturas son excesivamente altas, como ocurre en muchas zonas tropicales, se presenta una aceleración en la velocidad de degradación de los restos vegetales en el suelo, lo que causa graves problemas en su fertilidad. Temperaturas entre 20-25 °C son adecuadas para el buen desarrollo de los hongos, mientras que las bacterias alcanzan un apropiado desarrollo en medio de temperaturas entre 30-40 °C. El nivel óptimo de temperatura para el desarrollo de organismos descomponedores que se hallan en el suelo se encuentra entre 30-40 °C (Alexander, 1977; citado por Vilas, 1990). Primavesi (1980) citado por Vilas (1990) indica que en temperaturas por encima de 20 °C hay predominio de bacterias, mientras que

abajo predominan los hongos, también expresa que la luz e insolación directa limitan la microfauna.

Schulze (1967) citado por Vilas (1990) encontró que la rápida descomposición del mantillo en las regiones tropicales se debe en gran parte al mantenimiento de una temperatura relativamente alta, sin fluctuaciones muy marcadas, lo que permite una actividad más uniforme e intensa de la biota del suelo. Es bueno recordar también que en las regiones tropicales se registran las tasas más altas en la respiración del suelo.

### **3.7.2.2 Humedad y aireación**

Algunos autores consideran que la aireación es un factor complementario y está mucho más ligado a la humedad que ésta a la temperatura.

Fassbender y Bornemiza (1987) consideran que las condiciones de aireación y el régimen hídrico son factores complementarios ; en condiciones de saturación de agua disminuye el contenido de aire y O<sub>2</sub> en suelo, desarrollándose un medio anaeróbico. La mayor parte de la microflora y fauna es aeróbica, aunque existan algunos grupos facultativos anaeróbicos. Generalmente en condiciones de mala aireación solo se produce la acumulación de los restos vegetales, siendo su mineralización o descomposición muy lenta.

La humedad relativa es muy importante, y el nivel óptimo para los organismos descomponedores que se hallan en el suelo es de 60-70 por ciento, sin embargo, este nivel puede variar dependiendo de la temperatura (Alexander, 1977; citado por Vilas, 1990). Las bacterias necesitan por lo menos de 98 por ciento de humedad para desarrollar una actividad óptima, mientras que los hongos pueden desarrollar su máxima actividad en ambientes con 85 por ciento de humedad relativa (Fassbender y Bornemiza, 1987).

En Colombia Argüello (1988) citado por Vilas (1990) encontró vida media de 60 días para *Albizia carbonaria* , 80 días para *Gliricidia sepium* y *Sesbania grandiflora* , 120 días para *Erythrina sp.* y *Cajanus cajan* y 170 días para *Cassia grandis* , y el índice de descomposición para todas las especies fue directamente proporcional a la precipitación.

### **3.7.2.3 Factores edáficos**

Siendo la descomposición un proceso principalmente microbiológico, la composición y cantidad de la microflora y microfauna son los factores edáficos más importantes. Otros factores como el pH, granulometría, riqueza y disponibilidad en nutrientes, régimen hídrico y condiciones de aireación, incide sobre la flora y la fauna e influyen indirectamente sobre la descomposición.

La velocidad de la descomposición de los residuos y la formación de humus dependen de la actividad de los animales y microorganismos saprófagos del suelo (Fassbender y Bornemiza, 1987). Según Golley (1983) citado por Vilas (1990) y Fassbener y Bornemisza (1987), los organismos que participan en el proceso de descomposición pueden ser divididos taxonómicamente y ecológicamente dentro de los siguientes grupos o componentes:

Microflora: bacterias y hongos

Microfauna protozoaria: rizópodos, flagelados, ciliados.

Microfauna de animales superiores: nemátodos, lombrices, hormigas, termitas, colémbolos.

Los procesos fundamentales de la transformación de la materia por las bacterias pueden resumirse como sigue (Babbar, 1983) citado por Vilas (1990).

Los constituyentes del sustrato comienzan a transformarse bajo influencia de las enzimas microbianas (fase inicial del crecimiento de la población bacteriana).

Las bacterias sintetizan las proteínas, ácidos nucleicos y polisacáridos que requieren. (La población entra en una fase de crecimiento exponencial). Algunos de los productos terminales y de desecho son liberados al medio externo, se produce una "contaminación" del micro-ambiente bacteriano y un paulatino agotamiento del sustrato (sobreviene la muerte exponencial de la población). En este punto también es de importancia la depredación por protozoarios y otras bacterias.

Según Alexander (1977) citado por Vilas (1990), aunque los hongos puedan intervenir en todos los procesos de descomposición, son determinantes para la degradación de sustancias donde la relación C/N es muy alta así como el contenido de lignina, o donde el nitrógeno constituye un elemento limitante para las poblaciones bacterianas. Esto se debe a que utilizan en forma más eficiente el carbono y el nitrógeno, aunque también secretan compuestos nitrogenados. Por esta razón ayudan a disminuir la relación C/N volviendo el sustrato más susceptible para ser atacado por otros organismos.

Primavesi (1980) citado por Vilas (1990) cita que la descomposición de la hojarasca por microorganismos como hongos, bacterias, protozoarios y otros, se da a través de enzimas del medio como urease, catalasa, invertasa, fosfatasa y otras, más activas entre pH 5.0 y 6.0. Así es que si el pH estuviera lejos de estos valores la descomposición podría ser inactiva. La mayor parte de las bacterias y actinomicetes se desarrollan mejor con un pH neutro o ligeramente alcalino; el grupo de los hongos, por su parte, presenta un buen desarrollo dentro de límites de pH más amplios (Fassbender y Bornemisza, 1987).

El contenido en azúcares solubles es quien determina la velocidad del proceso en los primeros estadios de la descomposición, por ser de fácil biodegradabilidad y/o lavado; sin embargo, los polifenoles pueden retardar la descomposición (González y Gallardo, 1982; Palm, 1988; citados por Vilas 1990).

### **3.7.3 Importancia de la Materia Orgánica**

La importancia de agregar materia orgánica para mejorar la productividad del suelo, fue detectada hace milenios por los agricultores; considerándose una práctica muy antigua.

En general, la fracción orgánica del suelo tiene un papel fundamental importante. Regula los procesos químicos que allí ocurren, influye sobre las características físicas y es el centro de casi todas las actividades biológicas del mismo.

La materia orgánica interviene en los siguientes procesos químicos de más importancia:

- 1- El suministro de elementos nutritivos por la mineralización en particular, la liberación de nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes disponibles para las plantas.
- 2- La estabilización de la acidez del suelo; la materia orgánica interviene por su poder amortiguador.
- 3- La materia orgánica sirve como depósito de elementos químicos esenciales para el desarrollo de las plantas.
- 4- La materia orgánica es importante porque actúa directamente sobre los fenómenos de adsorción (son de particular importancia : la inactivación de plaguicidas y la aplicación de fósforo).
- 5- Interviene de manera directa en la regulación de los niveles de disponibilidad de nutrientes principales y de elementos menores, mediante la formación de sustancias orgánicas que constituyen compuestos solubles, no iónicos, con cationes de valencia (Cepeda 1991).

La materia orgánica, también afecta algunas propiedades físicas importantes del suelo, entre ellas se mencionan las siguientes:

- 1- La estructura del suelo favorece la formación de agregados individuales; reduce la agregación global del suelo y disminuye la plasticidad del mismo.
- 2- El uso más eficiente del agua sobre todo en suelos de textura gruesa, se conoce que la materia orgánica:
  - a) Mejora la infiltración del agua.
  - b) Mejora el drenaje del suelo de textura fina y, por lo tanto, ayuda a una mejor distribución del agua en el perfil del suelo.
  - c) Reduce su pérdida por evaporación.
  - d) Promueve un sistema de raíces más profundas que permiten el uso del agua en una capa del suelo, también más profunda.
  - e) Al mejorar el drenaje y la estructura, beneficia la aireación en los suelos y, por tanto, ayuda a un mejor crecimiento y funcionamiento más eficaz de las raíces (Cepeda, 1991).

#### **3.7.4 Mineralización de la materia orgánica**

Es la conversión de nitrógeno orgánico al estado inorgánico, más móvil, se conoce como mineralización del nitrógeno.

Consiste en la transformación del nitrógeno orgánico del suelo en inorgánico. La principal fuente de este elemento, usada por las plantas que no lo fijan en simbiosis, es la forma mineral del suelo y está en los suelos no fertilizados, proveniente de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados.

La mineralización del nitrógeno, consiste en una serie de procesos a través de los cuales los componentes orgánicos, ya sea de la materia orgánica o de los residuos vegetales y animales recién incorporados al suelo, se transforman a formas inorgánicas nitrogenadas tales como  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ , y  $\text{NO}_3^-$ . En la mineralización toman parte los microorganismos del suelo, los cuales son de gran importancia. La mineralización consta de tres etapas: aminización, la transformación de proteínas a aminas; amonificación, la transformación de amina a amonio; y nitrificación, la transformación de amonio en nitrato con una etapa intermedia corta de formación de nitrito (Sánchez, 1982; Runge, 1983; citados por Escobar, 1990).

El nitrógeno orgánico, no es utilizado por las plantas sin la previa metabolización por la microflora amonificante, la cual realiza la primera etapa de mineralización de la materia orgánica en el suelo mediante la degradación de las sustancias proteicas.

En esta primera etapa entra en actividad una heterogénea microflora representada por bacterias, hongos y actinomicetes, más o menos acentuado, pero de un mecanismo más bien complejo, ya que la materia orgánica y especialmente las sustancias proteicas sufren una degradación encadenada pasando por una serie de polipéptidos, amidas, aminas, úrico, urea, etc, hasta llegar a nitrógeno amoniacal, mediante la intervención de la microflora nitrificante. Este proceso es perpetuado en el suelo al proseguir la mineralización del mismo hasta nitrato (Garssini, 1967).

A medida que avanza la descomposición se va perdiendo carbono en forma de  $\text{CO}_2$ , pero se conserva el nitrógeno el cual pasa a formar parte de las proteínas microbianas. De esta forma desciende el cociente C/N. Cuando llega a 12 no es tan visible la conservación del nitrógeno, casi siempre en forma de amoníaco aunque puede transformarse rápidamente en nitratos, las bacterias tienen un cociente C/N de 12:1, los hongos presentan generalmente el mayor sustrato que se descompone en este período (Burges, 1968).

Cada año una parte del humus está mineralizado. Esa parte está determinada por el coeficiente de mineralización anual  $K_2$ , tal como:

Reservas de humus/ha  $\times K_2$  = cantidad de humus mineralizado/ha/año.

La cantidad de humus mineralizado, es entonces proporcional a las reservas iniciales.

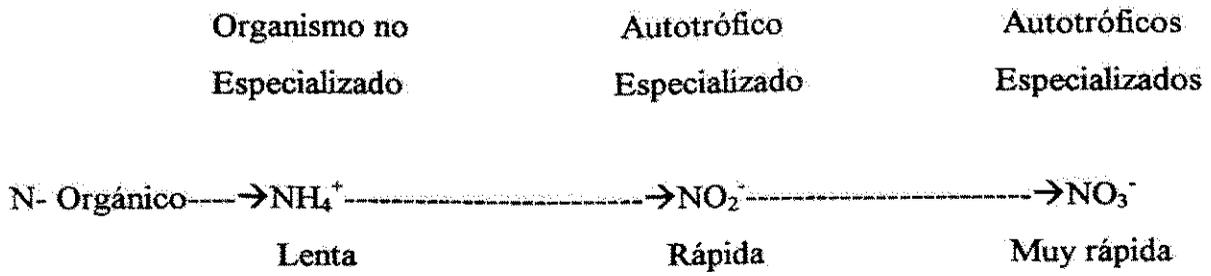
El problema es, la apreciación del coeficiente  $K_2$ , en función del tipo de suelo, de las condiciones climáticas y del sistema de cultivo practicado. Sin embargo, muy pocos estudios han sido realizados para conocer los valores  $K_2$ .

Se sabe además, que en condiciones tropicales los valores de  $K_2$ , son mucho más elevados que en condiciones templadas y varían de 1.5% a más de 10% pudiendo ser superiores a 10%.

En cuanto a los aportes de humus, estos dependen de las cantidades de materiales orgánicos restituidos al suelo y de su naturaleza. Es por ello que solamente una parte de la materia orgánica fresca se transforma en humus y es la naturaleza de esta materia orgánica la que determina la tasa de humus que estará producido. El coeficiente "iso-húmico"  $K_1$ , corresponderá entonces a la cantidad de humus formado en relación a la cantidad de materia seca llevada al sistema (Greenland, 1979).

En el ciclo del nitrógeno, durante los primeros periodos de descomposición de los restos vegetales aparecen generalmente muy poca o ninguna, sustancia nitrogenada, aunque de hecho pueda producirse la transformación más activa de proteínas de plantas superiores en proteínas microbianas. En la sustancia vegetal recientemente desprendida, la relación C/N, es de 30:1 en las leguminosas y otras plantas ricas en nitrógeno. La transformación de nitrógeno orgánico a amoniacal no requiere una clase específica de organismo (Arzola et al., 1986).

Las varias etapas de la formación de nitrógeno mineral y sus transformaciones en condiciones aeróbicas es la siguiente :



## IV. MATERIALES Y METODOS

### 4.1 Localización del área de estudio

El sistema de cultivo en callejones se encuentra en la finca "El Plantel", propiedad de la Universidad Nacional Agraria, situada en el km 42 de la carretera Masaya - Tipitapa, en el municipio de Zambrano, departamento de Masaya. Se encuentra aproximadamente entre los 12°06'24" y los 12°07'30" latitud Norte y entre los 86°04'46" y los 86°05'27" de latitud Oeste.

El ensayo ocupa un área total de 8570 m<sup>2</sup> incluyendo los bordes, siendo el área total de cada parcela de 405 m<sup>2</sup> y un área útil por parcela de 135 m<sup>2</sup>.

#### 4.1.1 Clima

El clima de esta área se caracteriza por tener temperaturas cálidas durante todo el año y una estación seca y lluviosa bien definida. Según el sistema de (Holdridge, 1978), el sitio corresponde a una transición entre bosque tropical moderadamente denso y seco, y bosque tropical sub-húmedo.

La estación lluviosa comienza en mayo y termina en noviembre con un período relativamente seco entre julio y agosto (Canícula) y dos períodos de máxima precipitación junio y octubre. La temperatura media anual es de 26.6°C y se muestra bastante uniforme durante todo el año. La época más calurosa del año es abril y mayo y la más fresca del año es enero y febrero.

Los meses con déficit de humedad son seis (noviembre-abril) y los otros seis (mayo-octubre), presentan un excedente de humedad.

### **4.1.2 Geología**

En la finca "El Plantel" se encuentran materiales geológicos como lavas de basalto, piroclasto consolidados y semiconsolidados (Tobas) y depósitos aluviales recientes.

También se encuentran materiales con cierto grado de consolidación conocidos como "Talpetate", contruidos por partículas de vidrio basáltico, escasos piroxenos y minerales opacos.

Las tobas que se encuentran subyacentes al talpetate son de composición similar a este, sin embargo, las tobas no presentan el grado de alteración del talpetate.

### **4.1.3 Suelos**

Estos suelos corresponden a un Udic-Duric Haplustolls (López,1990) . Estos presentan relieves ligeramente inclinados con pendientes de 2-4%, moderadamente profundos (60-90 cm), bien drenados y presencia de una capa bien endurecida (Talpetate) con textura fina (arcillo- limoso) y moderadamente fina (franco- arcillo- limoso) en el subsuelo (Zelaya,1990).

## **4.2 Historia del sitio Experimental**

Antes de la realización del presente ensayo, el sitio era usado para el monocultivo del maíz de mayo a septiembre, establecido en un sistema de cultivo en callejones. Posteriormente el terreno se dejaba en período de descanso (barbecho) durante seis meses (octubre- mayo). En este período predominaban las especies de gramíneas, por lo que se introducía ganado sin ningún manejo.

El diseño establecido para tal sistema fue un BCA con parcelas divididas. Se utilizaron dos distanciamientos (3.75 m y 7.5 m) en ambas especies en estudio. En 1994 que no se evaluó el sistema por el mal invierno pero se incorporó el material vegetal para no discontinuar el ciclo de incorporación de materia orgánica.

### 4.3 Material Experimental

Se utilizó maíz NB-6 y especies arbóreas: *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*.

Aplicación fertilizante:

90 kg de N/ha

45 kg de P/ha

10 kg de K/ha

Teniendo como fuentes: Completo 12-30-10

Urea 46%

Fertilizando parcelas testigos al momento de la siembra utilizando 6.34 kg de urea por parcela y 6.075 kg de completo por parcela.

### 4.4 Producción de biomasa del material en estudio

En el siguiente cuadro se presentan los resultados de la producción de biomasa en un sistema de cultivo en callejones con las especies arbóreas *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*, reflejado en peso húmedo y seco para hojas y tallos por especies.

Cuadro 2. Producción de biomasa de los tratamientos con especies arbóreas.

| Tratamiento | PF hoja<br>(kg/ha) | PF tallo<br>(kg/ha) | PS hoja<br>(kg/ha) | PS tallo<br>(kg/ha) | % de<br>humedad<br>en hoja | % de<br>humedad<br>en tallo |
|-------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------------|
| ML          | 3634.56            | 17,165.18           | 1,792.09           | 10,033.08           | 49.2                       | 58.66                       |
| MG          | 4098.76            | 9,461.48            | 2,085.92           | 5,040.74            | 50                         | 54.13                       |

PS = Peso Seco

ML = Maíz + Leucaena

PF= Peso Fresco

MG = Maíz + Gliricidia

Cuadro 3. Cantidad de materia seca y nitrógeno de cada residuo incorporado al suelo.

| Tratamiento | Biomasa seca (kg/ha) | Nitrógeno (kg/ha) |
|-------------|----------------------|-------------------|
| MG          | 2085.92              | 66.96             |
| ML          | 1792.09              | 56.99             |

MG = Maíz + Gliricidia

ML = Maíz + Leucaena

#### 4.5 Disposición de las parcelas

En vista de que en los años anteriores de estudio se estableció que uno de los distanciamientos en estudio (3.75 m) era el que obtenía menores rendimientos, en el presente trabajo solo se tomó en consideración para la toma de datos la parcela de 7.5 m de ancho entre hilera de árboles en ambas especies.

La unidad experimental consistió en parcelas de 18 m de largo y 22.5 m de ancho, para ambas especies arbóreas (*Gliricidia* y *Leucaena*).

Por las características del trabajo y por la disposición que tenían las parcelas, no se definió ningún tipo de arreglo experimental, solamente se escogieron al azar las parcelas de interés y para garantizar confiabilidad en los datos recolectados, se hicieron tres repeticiones por cada uno de los cuatro tratamientos a estudiar y que a continuación se describen.

1. MSF : Control, Monocultivo sin fertilización química
2. MCF : Monocultivo con fertilización química
3. MG : Maíz + *Gliricidia sepium*
4. ML : Maíz + *Leucaena leucocephala*

## 4.6 Conducción del Experimento

### 4.6.1 Muestreo de suelo

El trabajo en el área del ensayo, se inició con el muestreo de suelo; llevado a cabo a una profundidad de 25 cm, extrayendo tres submuestras para una muestra compuesta para cada una de las parcelas que conforman el diseño, obteniendo 36 submuestras para un total de 12 muestras, el primer muestreo se hizo dos meses antes de preparar el terreno y un mes antes de realizada la poda con el objetivo de evaluar el estado inicial del suelo, antes de incorporar el material vegetal. Los siguientes muestreos se hicieron igual con un intervalo de una semana hasta completar un total de 192 muestras de suelo para un período de 16 semanas. Las muestras fueron llevadas al laboratorio, secadas al aire y preparadas para su respectivo análisis y los resultados fueron expresados en base a suelo seco, ante la determinación de un factor de corrección de humedad. El método de muestreo usado fue el de zig-zag dejando un metro de distancia por efecto de borde.

### 4.6.2 Poda e incorporación de residuo

Luego se realizó la poda de árboles y cuantificación de biomasa, separando follaje y tallo, los que eran debidamente pesados para luego tomar una cantidad de 500 g. de biomasa y tallo leñoso y así determinar el peso seco, llevando esta muestra al horno para secarla a 70°C.

Una vez obtenidas las muestras se procedió a distribuir el mulch de toda la biomasa podada tanto de *Gliricidia* como de *Leucaena*. La toma de muestra para la determinación de la composición química se realizó a partir de los 35 dde, hasta unos 15 días antes de la cosecha con una selección de 5 plantas al azar por parcela.

#### **4.6.3 Siembra del Experimento**

El 10 de Junio de 1997, se preparó el terreno para la siembra del cultivo como una actividad previa. Utilizando dos pases de grada pesada y un pase de grada liviana (Arrastre) para nivelar el terreno y tener una profundidad homogénea de siembra. Ocho días después se hizo el rayado (construcción de surco) de forma mecanizada.

Además se registraron datos climáticos de temperatura y precipitación de manera que permitan tratar de establecer una relación entre el comportamiento de estos y la velocidad de mineralización de la materia orgánica del suelo y el material incorporado al mismo.

Después se procedió a realizar la siembra, utilizando maíz de variedad mejorada NB6 con un ciclo de 120 días, al mismo tiempo se fertilizó con finalidad del monitoreo de las parcelas control y mejoras de las condiciones nutritivas de las plantas, al aumentar las reservas de nutrientes ya existentes en el suelo. Fertilizando tres parcelas testigos al momento de la siembra utilizando 6.075 kg de completo por parcela y 6.34 kg de urea. A los 15 y 30 días después de la siembra, se realizó la primera y segunda limpieza de maleza al cultivo de maíz respectivamente. La cosecha se realizó a los 120 días después de la siembra. Al momento de sacar la cosecha se procedió a extraer en cada una de las parcelas la producción.

#### **4.7 Análisis de laboratorio**

Las muestras de suelo fueron trasladadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria para su procesamiento. Se pesó 10g de suelo húmedo y se extrajo con 100ml de  $\text{CaCl}_2$  al 0.01 Molar, las muestras se agitaran por 30 minutos en agitador de

vaivén regulado a 180 rpm para precipitar la suspensión, dejándose reposar por aproximadamente 10 minutos.

Luego se filtraron y se guardaron en refrigerador para futuros análisis de amonio y nitrato (Keeney y Nelson, 1986; citado por Vilas, 1990). Paralelamente se pesó una submuestra del suelo y se secó en horno a 105°C durante 12 horas para determinar el peso seco.

El amonio se determinó extrayendo una alicuota de 10 ml a la que se le añadió una pequeña cantidad de MgO y se destiló utilizando la técnica de microkjeldahl modificado. En el caso del nitrato se utilizó la misma solución del amonio a la que se le añadió una pequeña cantidad de aleación de Devarda (Keeney, D. R., and Nelson, D. W., 1982).

#### **4.8 Procesamiento de la información**

Para la interpretación de los datos se hizo uso de gráficos realizados con el programa QPRO 1997 y coeficiente de regresión realizadas con el mismo programa. La cantidad de datos, no siempre son suficiente como para hacer un análisis estadístico de rigor, por lo complejo de las determinaciones, no obstante, el uso de tablas con valores promedios puede emplearse para la interpretación, siempre y cuando estos valores se obtengan de varias réplicas analíticas, la mejor forma de interpretar las propiedades físicas es a través de la presentación gráfica, tomando como referencia los valores promedios. El uso de regresiones es una forma elocuente de demostrar la importancia de las propiedades tanto físicas como químicas (Cairo, 1995).

#### **4.9 Variables medidas**

##### **4.9.1 Nitrógeno disponible**

La obtención de nitrógeno disponible se realizó analizando a las muestras de suelo el nitrógeno nítrico y amoniacal, a través de la determinación de amonio liberado en autoclave en solución diluida de cloruro de calcio (Keeney, 1982) citado por (Vilas, 1990). El mismo método es válido para la determinación de iones nitrato y nitritos siempre que se agregue la

aleación Devarda. Los cálculos de las cantidades de nitrógeno como amonio o nitrato disponible se realizaron mediante la siguiente formula:

$$\text{ppmN} = \frac{(M-B) \times (14) \times (N) \times 1000}{10}$$

ppmN = Partes por millón de nitrógeno

M = ml de ácido gastado en la titulación de la muestra

B = ml de ácido gastado en la titulación del blanco

14 = Peso molecular del nitrógeno

N = Normalidad del ácido sulfúrico utilizado para titular

#### 4.9.2 Mineralización del material incorporado

La determinación del nitrógeno mineralizado (amonio y nitrato), se realizó utilizando el método por arrastre de vapor; para ello a partir de la incorporación de la biomasa se tomaron tres submuestras de suelo para una muestra compuesta por parcela y por repetición a una profundidad de 25 cm como ya se había señalado anteriormente. Las muestras de suelo se analizaron a humedad de campo y los resultado se expresaron en base a suelo seco, mediante la determinación de un factor de corrección de humedad.

El nitrógeno medido en cada muestreo y tratamiento, fue acumulado para obtener su potencial de mineralización, a una función lineal tanto la fracción lábil como la estabilizada. Los cálculos del nitrógeno proveniente de la fracción lábil (NoL) y estabilizada (NoE) y sus respectivas tasas de mineralización ( $K_1$ ) y ( $K_2$ ). Se realizó utilizando la siguiente función lineal con los datos de nitrógeno mineralizado acumulado semanalmente:

$$Y = a + b x$$

Y = Nitrógeno proveniente de la fracción lábil y estabilizada mineralizado en el tiempo (x)

x = Tiempo en semanas

a = Nitrógeno lábil (NoL) y estabilizado (NoE) potencialmente mineralizable

$b$  = La pendiente de la regresión y equivalente a las tasas de mineralización de la fracción lábil ( $K_1$ ) y estabilizada ( $K_2$ ).

Algunos autores han utilizados funciones Lineal, Hiperbólica o Exponencial, de acuerdo al comportamiento de cada fracción.

#### **4.9.3 Dinámica de absorción del nitrógeno por el cultivo principal**

La determinación de la dinámica de absorción del nitrógeno por el maíz, se realizó mediante los muestreos de follaje a partir de los 35 días después de la emergencia, hasta unos 15 días antes de la cosecha con un intervalo entre muestreo de 15 días y seleccionando 5 plantas al azar por parcela. A estas muestras se les hizo análisis de tejido foliar para conocer la cantidad de nitrógeno que se encuentra en dichas muestras. Estos análisis se hicieron utilizando el método de digestión húmeda (Kjeldahl). Después se observó en las curvas el punto de máxima descomposición de la fracción lábil con la máxima absorción del cultivo.

#### **4.9.4 Medición del rendimiento**

En la maduración fisiológica del cultivo, se hizo el muestreo para determinar la producción de grano. En el área útil de cada parcela se eligió un área de 4 m<sup>2</sup> en el centro de cada parcela, en la cual se cosechó las mazorcas que se encontraban dentro de ésta área, seleccionando mil granos para determinar peso seco. Además se tomó una muestra de 500g en cada uno de los tratamientos, las cuales se secaron en el horno a 65°C durante 72 horas obteniendo un peso seco con 10% de humedad relativa. Luego se dividió el peso seco entre el peso fresco (verde) obteniendo así la relación (PS/PV), la cual se multiplicó con el peso fresco del grano en (kg) y de esta forma se obtuvo el peso seco en (kg) por área útil de cada parcela. Posteriormente se determinó el rendimiento del grano mediante el uso de una regla de tres; donde el peso seco en (kg) se multiplicó por una hectárea y esto se divide entre el área útil de la parcela.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Comportamiento de la precipitación y temperatura

En la Figura 1 se presenta el comportamiento de la precipitación y la temperatura en la zona de "El Plantel". En ella se puede observar una precipitación muy irregular durante todo el ciclo del cultivo, siendo las semanas (1,2,4,7,9,10,12 y 15) las más lluviosas presentando precipitaciones entre 20.1-67 mm (Anexo1), así como las semanas (3,5,6,8,11,13 y 14) fueron las más secas con precipitaciones entre 0-16.7 mm durante el período de estudio.

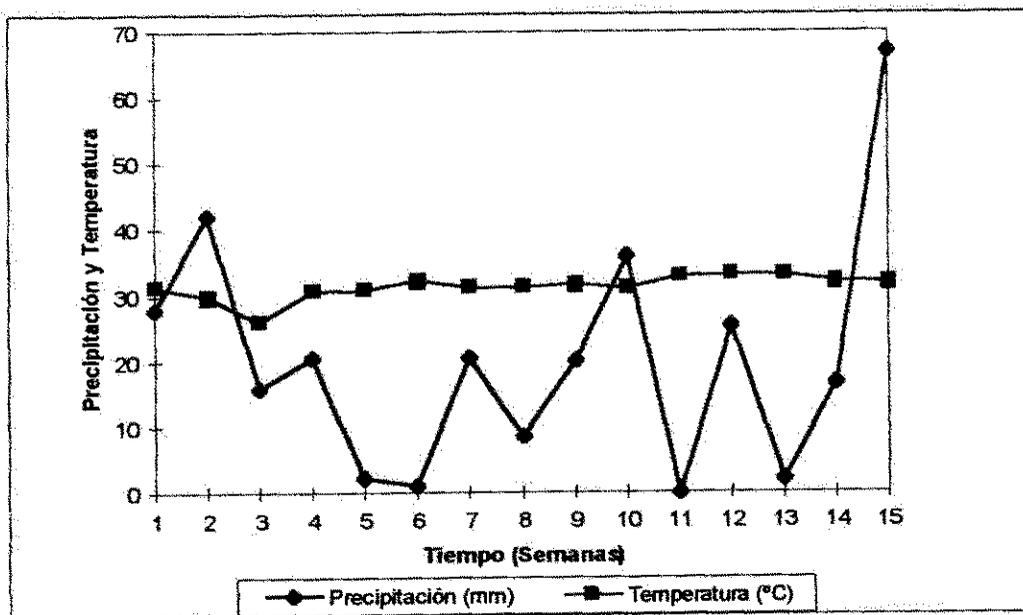


Figura 1. Distribución climática semanal de precipitación y temperatura obtenida durante el período de estudio.

La temperatura más baja se pudo observar en la primera, segunda y tercer semana (Anexo 1) del ciclo del cultivo. En las siguientes semanas la temperatura tuvo un comportamiento más constante la cual osciló entre los 30.8 - 33.2°C.

Como se muestra en la Figura 1, la poca presencia de lluvias pudo haber influido tremendamente en el tipo de resultados obtenidos en el presente estudio.

## **5.2 Mineralización del nitrógeno proveniente del material incorporado**

Las principales fuentes de nitrógeno disponible en el suelo están representadas por el nitrógeno orgánico, expresado por el potencial de mineralización de nitrógeno durante el ciclo del cultivo, el cual pudo estar afectado en mayor o menor estado por el nitrógeno aportado por la enmiendas (tratamientos) y el nitrógeno residual de cosechas pasadas de maíz, y por la biomasa de poda y hojarasca de los árboles de Leucaena y Gliricidia incorporados (Cuadro 4).

La dinámica del nitrógeno en los ecosistemas terrestres es fundamentalmente controlada a través de la dinámica de los microorganismos en el suelo, los que representan una fuente significativa de disponibilidad de nitrógeno en la biomasa microbial, la cual es controlada completamente por el tipo de velocidad en el balance de la inmovilización y mineralización del nitrógeno. La dinámica de mineralización del nitrógeno durante el estudio se presenta en la Figura 2, en la cual se pueden observar las tendencias que siguieron cada uno de los tratamientos. Aunque en general todos los tratamientos siguieron la misma tendencia, en el caso de los tratamientos que incluyeron la incorporación de material vegetal, estos ocuparon el primer y tercer lugar en producción de nitrógeno, el segundo lugar fue por el tratamiento MCF el cual aparentemente superó al MG por ser un material más lignificado que el de leucaena, lo cual pudo haber afectado su velocidad de mineralización y por consiguiente su producción de nitrógeno.

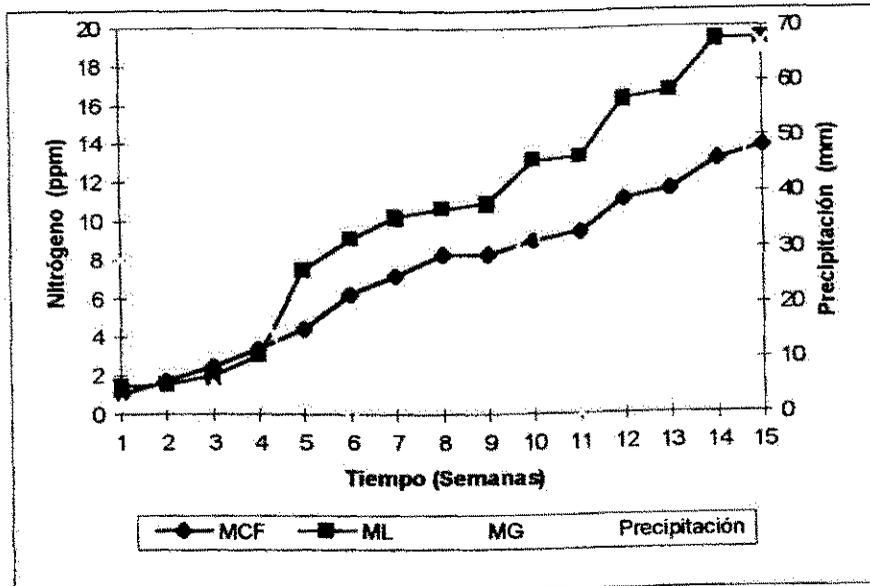


Figura 2. Nitrógeno total ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ) mineralizado en el tiempo.

El comportamiento ascendente de las curvas de producción de nitrógeno ha sido observado por algunos investigadores como Quemada y Cabrera (1995); Dou et al. (1995); Mckenney et al. (1995), Oliva et al.(1993) citado por Hang et al.(1995) quienes atribuyen tal comportamiento a la calidad del material que se incorpora.

De acuerdo a la misma Figura 2, durante las primeras cuatro semanas, los contenidos de nitrógeno en el suelo presentan un leve incremento. Esto es debido a que el proceso de mineralización se está aparentemente iniciando y que los contenidos de nitrógeno producidos inicialmente estén proviniendo de la descomposición de la materia orgánica nativa existente, sin embargo, el tratamiento MCF, presenta las mayores acumulaciones de nitrógeno en ese período lo cual pudo ser debido por un lado a la facilidad del nitrógeno químico en disolverse y transformarse una vez disuelto en la forma de amonio, y por otro a las precipitaciones que ocurrieron en la primera semana de la incorporación, favoreciéndose incluso su permanencia en el suelo pues esta forma del nitrógeno es menos susceptible a lixiviarse en comparación al nitrato.

A partir de la cuarta semana se observa para todos los tratamientos un cambio de pendiente ascendente relevante. Este cambio de pendiente es más pronunciado en el tratamiento ML y menor para los tratamientos MCF y MG. Este incremento se ve favorecido por las condiciones de humedad y temperatura registrada durante esta semana lo cual pudo favorecer una mineralización acelerada, sobre todo si tomamos en cuenta que el material ya tiene cuatro semanas de incorporado y probablemente en ese período es cuando ocurre la mineralización acelerada del nitrógeno. Según Read (1982) citado por Kang (1986) el período de descomposición para esta especie se presenta en las primeras cinco semanas.

El tratamiento ML presenta una mayor mineralización (Anexo 7), lo que significa un mayor aporte de nitrógeno. A partir de la semana cinco hasta la semana nueve, se observa un comportamiento de poca variación en la trayectoria ascendente del nitrógeno acumulado (Figura 2). Esto puede deberse a la poca precipitación y poca humedad durante estas semanas lo que pudo haber influido en el proceso de mineralización del material incorporado. Clausnitzer (1988) observó que la mineralización del nitrógeno disminuye apreciablemente durante la época de sequía.

De las semanas 10 a la 15 el comportamiento del nitrógeno continúa su trayectoria ascendente (Figura 2), ya que, durante esta semana el proceso de mineralización continúa y además se observa una mayor influencia de las precipitaciones (Clausnitzer, 1988). Sin embargo, la presencia de humedad no es el único factor que puede haber influido para que existan altos niveles de liberación de nitrógeno en este período. Según Sánchez (1981) la mineralización del carbono es más rápida en condiciones secas que la mineralización del nitrógeno.

### 5.3 Nitrógeno total potencialmente mineralizable

Para la estimación del nitrógeno mineralizable, las muestras de suelos se sometieron a un proceso de extracción y destilación por arrastre de vapor de acuerdo a la metodología propuesta por Keeney y Nelson (1986) citado por Vilas (1990). En el Anexo 3, se presentan los valores de nitrógeno mineralizable acumulado para cada tratamiento durante el período de cultivo.

El nitrógeno total (amonio y nitrato) mineralizable acumulado durante el período del muestreo que se obtuvo fue de 3.2 a 104 ppm de N, los valores de nitrógeno mineralizado acumulado más bajo correspondieron al tratamiento monocultivo sin fertilizante (3.2 ppm de N) y el más alto de los valores fue para el tratamiento maíz con Leucaena (104 ppm de N). En el Cuadro 4 se presentan los valores de nitrógeno estimados y obtenidos, en donde se puede observar que el nitrógeno estimado es mayor en un 4.3% con respecto al nitrógeno disponible obtenido. Estos valores nos reflejan la poca variación que se da entre el nitrógeno estimado y el obtenido, por lo que se puede aceptar la función lineal utilizada para el procesamiento de estos datos, además debe considerarse que la predicción de la mineralización es significativa, ya que se obtuvo un  $R^2$  de 0.99 para todos los tratamientos.

Cuadro 4. Comparación de valores del nitrógeno total (amonio y nitrato) potencialmente mineralizado estimado y obtenido.

| Tratamiento | Nitrógeno estimado (ppm) | Nitrógeno obtenido(ppm) | $R^2$ |
|-------------|--------------------------|-------------------------|-------|
| MSF         | 88.62                    | 84.6                    | 0.99  |
| MCF         | 102.44                   | 98.4                    | 0.99  |
| ML          | 108.64                   | 104                     | 0.99  |
| MG          | 97.74                    | 93.9                    | 0.99  |

MSF = Monocultivo sin fertilizante

ML = Maíz + Leucaena

MCF = Monocultivo con fertilizante químico

MG = Maíz + Gliricidia

La mineralización del nitrógeno es influenciada por las precipitaciones (Sánchez, 1981), al inicio de la mineralización es observado un ligero incremento en éstas, influenciado aparentemente con la caída de las primeras lluvias. Este comportamiento es presentado en la Figura 3, la que puede evidenciar la influencia o relación entre la precipitación y la mineralización, estos resultados son similares a los obtenidos por Clausnitzer (1988) quien observó el mismo comportamiento al estudiar la influencia de la precipitación sobre la mineralización.

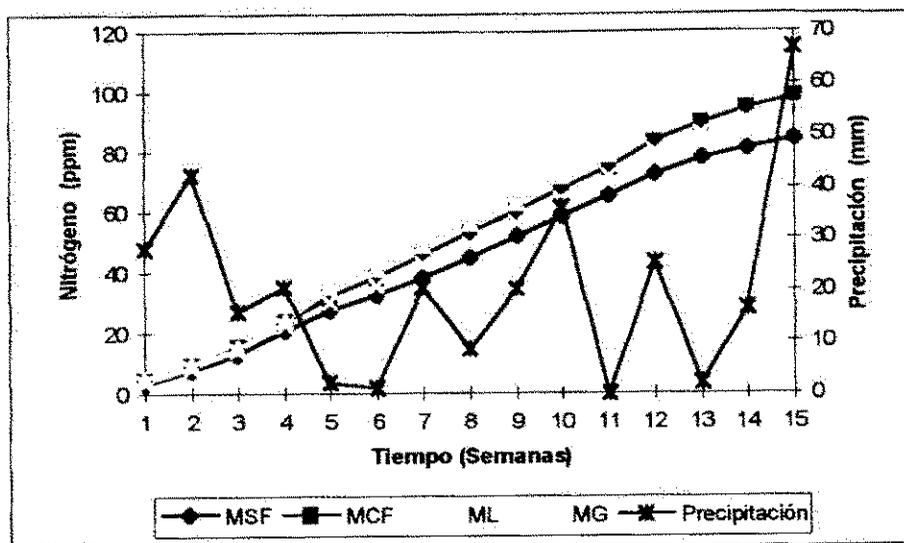


Figura 3. Comportamiento del nitrógeno total acumulado con respecto a la precipitación durante las 15 semanas de muestreo del suelo en el ensayo de cultivo en callejones en “El Plantel”.

La Figura 3 muestra un cambio de pendiente en la curva de nitrógeno acumulado en las semanas cuatro, nueve y once, pero según la función lineal utilizada, para el análisis de estos datos nos indican la cuarta semana como el momento en que probablemente finalice la mineralización del nitrógeno proveniente de la fracción lábil, y se inicia el proceso de mineralización de la fracción estabilizada. La figura también deja entrever, que en el caso del tratamiento ML la fracción lábil pudiera extenderse hasta la semana 5, pues es hasta ese periodo en que se observa un cambio drástico en la pendiente, y se ha producido prácticamente el 40 % del nitrógeno contenido en su biomasa.

Estudios de diferentes investigadores sobre la mineralización con la utilización de residuos orgánicos de diferente calidad (gramíneas y leguminosas) reflejan una liberación rápida de nitrógeno durante las primeras semanas y un comportamiento estable a continuación (Dou et al., 1995; Schomberg et al., 1994; Quemada y Cabrera, 1995).

Según García (1993), el nitrógeno mineralizado acumulado sigue dos tipos de tendencias muy marcadas : 1- aquellas en las que el nitrógeno acumulado tiende a estabilizarse a partir de la cuarta semana y 2- donde el proceso de acumulación continúa después del período, lo que se traduce en una tendencia ascendente de la curva de acumulación.

Es muy importante señalar que la estimación del potencial de mineralización del nitrógeno que proviene de fuente determinada debe estar dada por el grado de ajuste de la función que se utiliza para tal fin, sin el riesgo de sobrestimaciones inaceptables. Para el caso del tratamiento ML por ejemplo, con una tasa de 7.55 y una constante de (-4.61) las sobrestimaciones respecto al valor obtenido de campo es solo de alrededor de 4.5%. Esto significa que podríamos calcular un suministro determinado de nitrógeno de una fuente similar en un momento determinado del ciclo del cultivo y sobre todo con el período de máxima demanda.

En la tabla del Anexo 7 se presentan los valores de las constantes y las tasas para cada uno de los tratamientos en estudio.

#### **5.4 Comportamiento del Amonio**

En las dos primeras semanas de muestreo el amonio presentó un comportamiento ascendente, aunque las cantidades de amonio en el suelo son relativamente bajas (Figura 4), obteniéndose valores que van de 0.99 hasta 2.21 ppm (Anexo 4), lo que representa el 30.94% y 23.41% del amonio con respecto al nitrógeno total por semana. Esto puede deberse a que el material incorporado comienza apenas su período de descomposición y las cantidades liberadas son pocas y los aportes de la materia orgánica nativa aparentemente no influyeron mucho en las cantidades de amonio en este período.

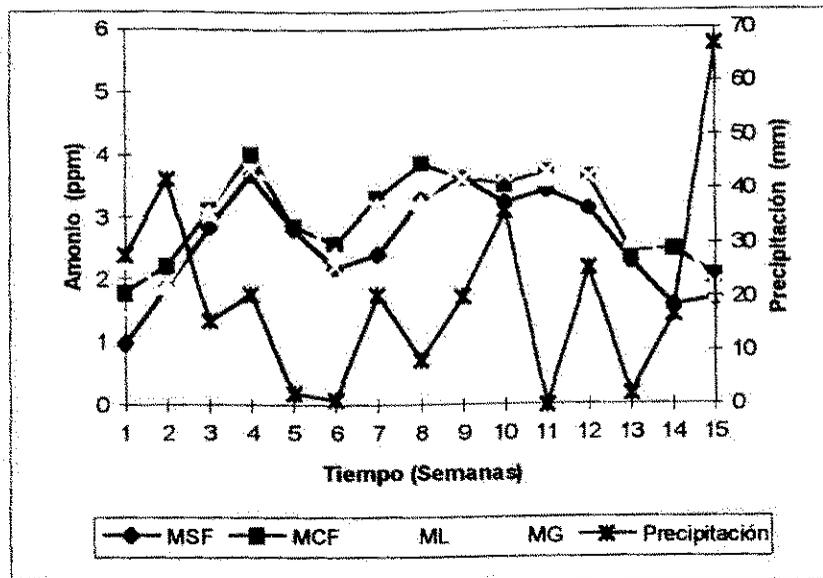


Figura 4. Comportamiento del amonio con respecto a la precipitación durante las 15 semanas de muestreo del suelo en el ensayo de cultivo en callejones en “El Plantel”.

A partir de la segunda semana comienza a darse un ascenso hasta alcanzar la cuarta semana en todos los tratamientos a excepción de ML que continúa su ascenso hasta la semana cinco con valores máximos de 5.06 ppm lo que equivale al 14.41% del amonio en relación con el nitrógeno total por semana. Este incremento se ve favorecido por el proceso de descomposición del material incorporado en el suelo, así como también al comportamiento de la temperatura y humedad. Según Teuscher y Adler (1987) este incremento puede deberse a que los iones amonio, son adsorbidos por los coloides del suelo, estando poco expuestos a perderse por lixiviación por lo que representan una reserva en el suelo. Además, se encontró en la materia orgánica una relación C/N 12 :1, indicando condiciones óptimas para la mineralización. Según Arzola et al. (1986) el valor de la relación C/N por debajo del cual ocurre la mineralización, es variable, ya que otros factores también influyen en el proceso y asocian las relaciones C/N inferiores a 22 con la mineralización.

De la cuarta a la séptima semana las cantidades de amonio disminuyeron, obteniéndose el valor más bajo con respecto al nitrógeno total por semana en la sexta semana con 2.19 ppm, lo que representa el 6.8% del amonio. Esto puede estar relacionado a la poca precipitación (Anexo 1) presente en este período, lo que disminuye el proceso de mineralización y coincide con el período de mayor absorción por el cultivo de maíz (Figura 12a) pero que además se favorece la producción de nitrato. A partir de la octava semana se presenta un comportamiento uniforme, casi similar para todos los tratamientos, excepto del tratamiento ML que obtuvo un incremento de hasta 4.23 ppm de amonio siendo el mayor de todos los valores obtenidos.

Esto puede ser explicado por que el material incorporado de *Leucaena* se descompone en un 80 % a partir de los 50 días (Read, 1982; citado por Kang, 1986), lo que puede haber provocado una acumulación de amonio durante este periodo, dando un incremento en la semana doce donde el comportamiento del resto de los tratamientos fluctuó levemente entre 3.12 y 4.53 ppm de amonio (Anexo 4). En las últimas semana se observa una rápida disminución en los contenidos de amonio. Esta disminución es acreditada a la materia orgánica y a los materiales incorporados de que ya han sido descompuestos casi en su totalidad, y por otro lado a que en ese período se registraron las precipitaciones más altas.

En las Figuras 5, 6 y 7 se ilustra el efecto de la temperatura y la precipitación sobre el comportamiento variable del amonio para cada uno de los tratamientos durante el ciclo del cultivo. Okigbo (1977) citado por Araya (1987) expresa, sin embargo, que las leguminosas (árboles) que adicionan nitrógeno al suelo en algunas ocasiones, compiten con los cultivos anuales plantados por agua; esto se puede dar con la práctica de asociación de *Gliricidia* y *Leucaena* con maíz en las condiciones de precipitación y temperaturas, anteriormente presentadas al comparar en el Cuadro 7 los rendimientos de los tratamientos de cultivo en callejones de *Gliricidia* y *Leucaena* con los monocultivos con fertilizante químico y sin fertilizante.

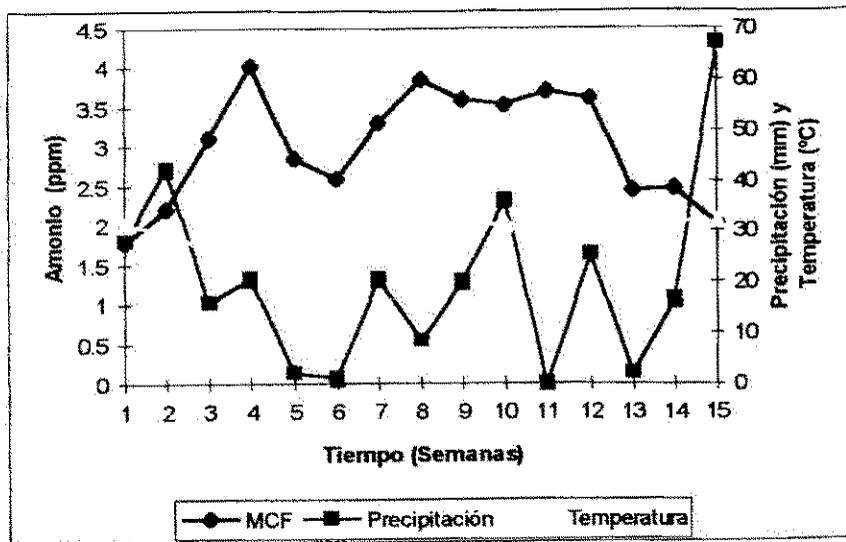


Figura 5. Comportamiento del amonio con respecto a la precipitación y temperatura en el tratamiento monocultivo con fertilizante químico (MCF).

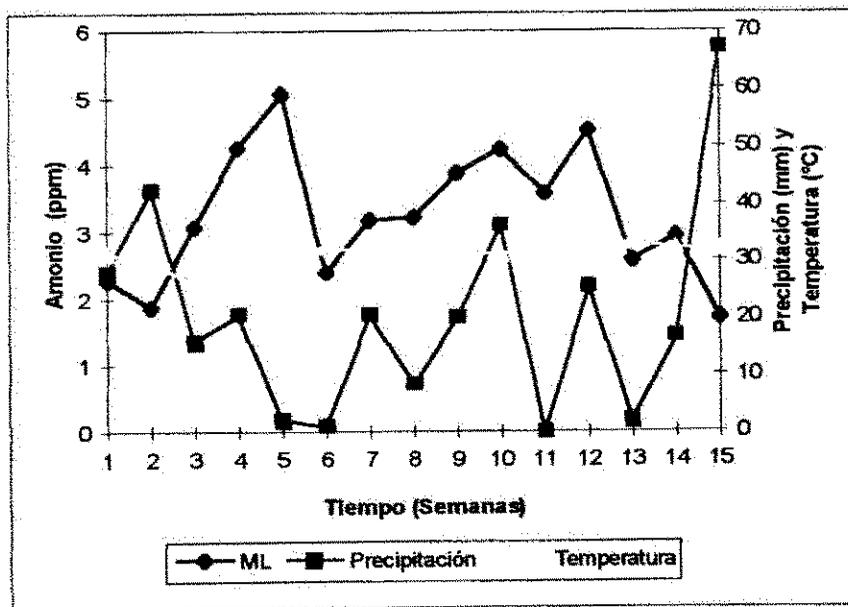


Figura 6. Comportamiento del amonio con respecto a la precipitación y temperatura en el tratamiento maíz con leucaena (ML).

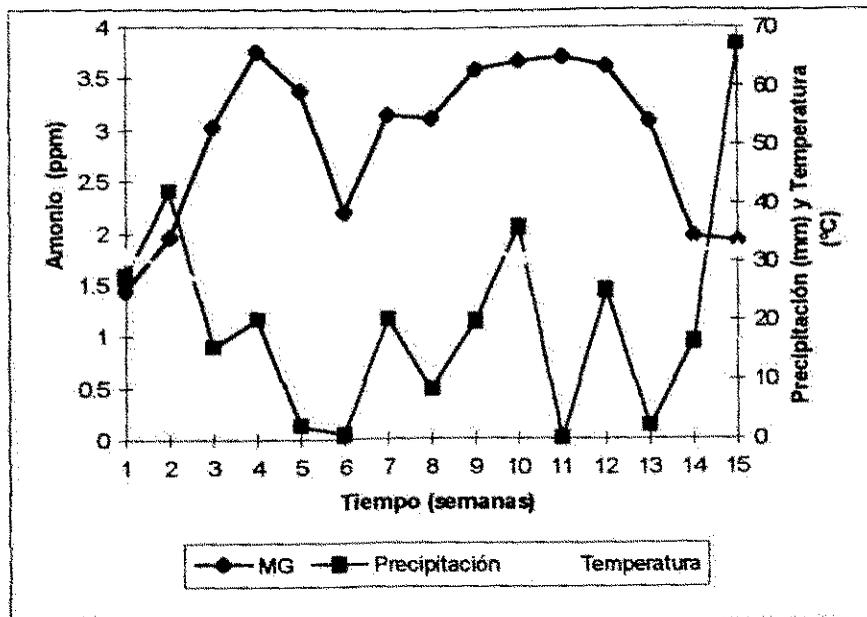


Figura 7. Comportamiento del amonio con respecto a la precipitación y temperatura en el tratamiento maíz con gliricidia (MG).

### 5.5 Comportamiento del nitrato

El comportamiento del nitrato (Figura 8) muestra que los valores registrados en el transcurso de los muestreos para las tres primeras semanas presentan un comportamiento ascendente, pero de poca significancia en términos de cantidad lo que pudo deberse a los contenidos de humedad existentes en el suelo (Anexo 10). A partir de la tercer semana se observó un incremento acelerado en los contenidos de nitrato en el suelo con valores de 2.41 ppm hasta 2.91 ppm (Anexo 4), este comportamiento coincide con los resultados presentados por Semb y Robinson (1969); citados por Sánchez (1981), donde reflejan que pocos días después de las primeras lluvias ocurre un aumento de nitrógeno inorgánico. Además, los materiales incorporados presentan su mayor velocidad de descomposición en las primeras tres a cuatro semanas como lo explica Read (1982); citado por Kang (1986) en un estudio en Nigeria donde refleja que *Leucaena* presenta su mayor descomposición a los treinta días y esto provoca un aumento de el contenido de nitrógeno. Goring(1962) citado por Dou et al. (1995) reportó que el 66-92% del amonio agregado es convertido a nitrato en la mayoría de los suelos dentro de las cuatro primeras semanas luego de la aplicación del fertilizante mineral (urea).

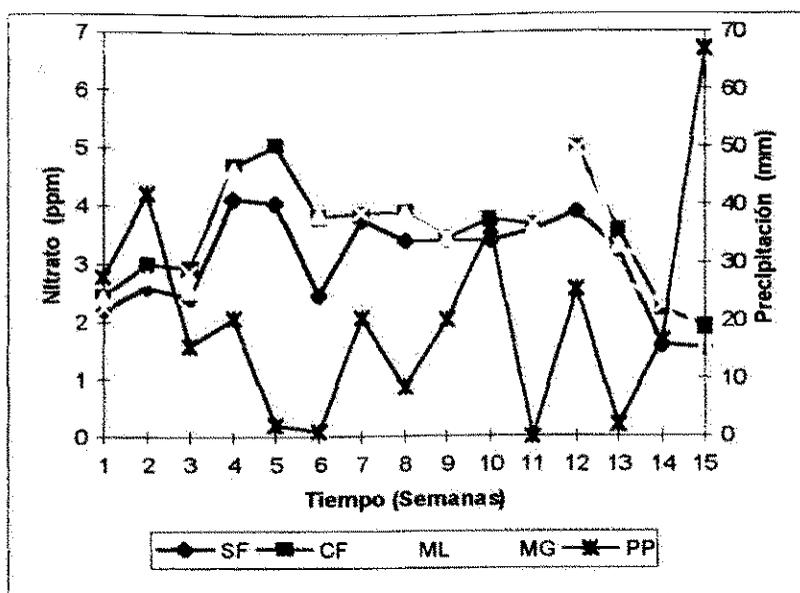


Figura 8. Comportamiento del nitrato con respecto a la precipitación durante las 15 semanas de muestreo del suelo en el ensayo de cultivo en callejones en “El Plantel”.

En la quinta semana comienzan a descender los contenidos de nitrato, esto coincide con el periodo de mayor absorción del cultivo del maíz (Figura 12a) donde este absorbe el 60 % del total del nitrógeno que utilizará la planta en todo su ciclo, lo que corresponde entre 20 a 60 días después de la siembra y se considera que el 40 % restante lo absorbió entre los 65 y 100 días después de la siembra. Esto coincide con lo reportado por Bartolini (1990). También podemos decir, que los contenidos de nitrógeno inorgánico en el suelo y la tasa de mineralización pudo haber disminuido por la presencia de humedad y el material que se incorporó que se ha descompuesto en su mayoría.

Una idea más clara del comportamiento del nitrato en relación a la temperatura y las precipitaciones por cada tratamiento, se puede observar en las figuras 9, 10 y 11. En ellas se puede mostrar el comportamiento del nitrato en términos de aumento y disminución, el que estuvo grandemente determinado por las variaciones de esas dos variables climáticas.

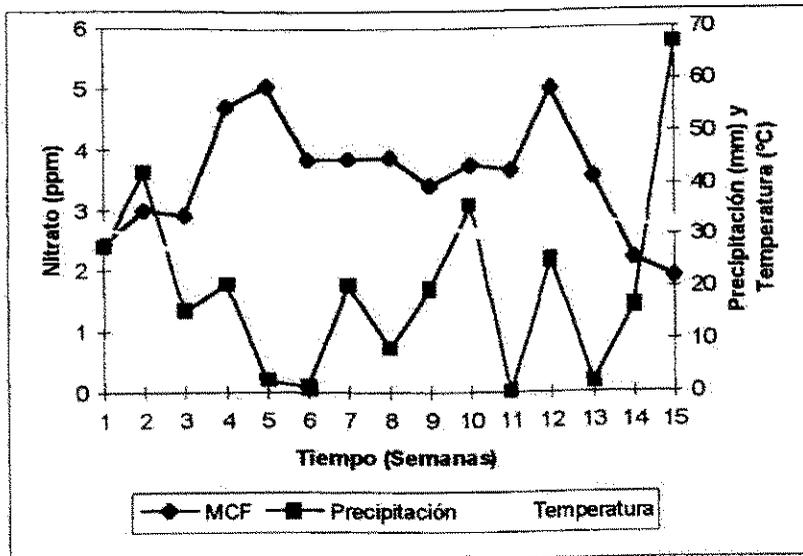


Figura 9. Comportamiento del nitrato con respecto a la precipitación y temperatura en el tratamiento monocultivo con fertilizante químico (MCF).

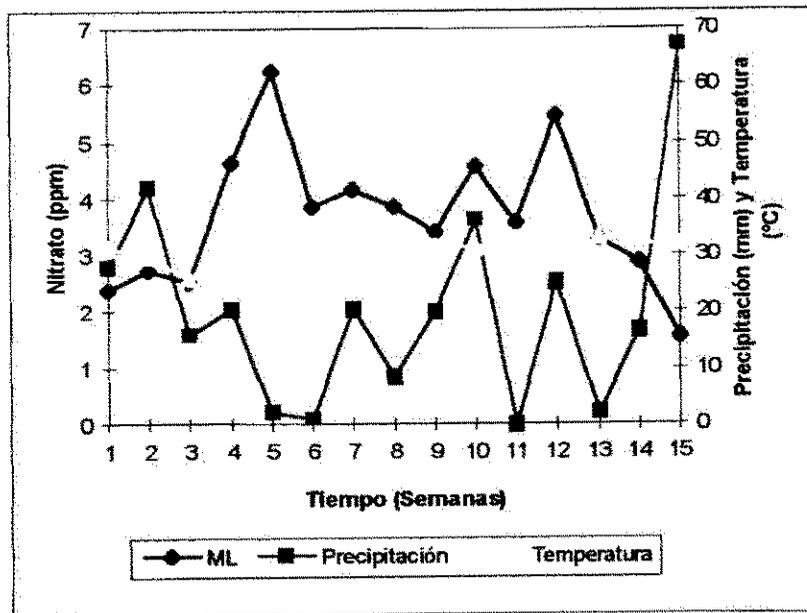


Figura 10. Comportamiento del nitrato con respecto a la precipitación y temperatura en el tratamiento maíz con leucaena (ML).

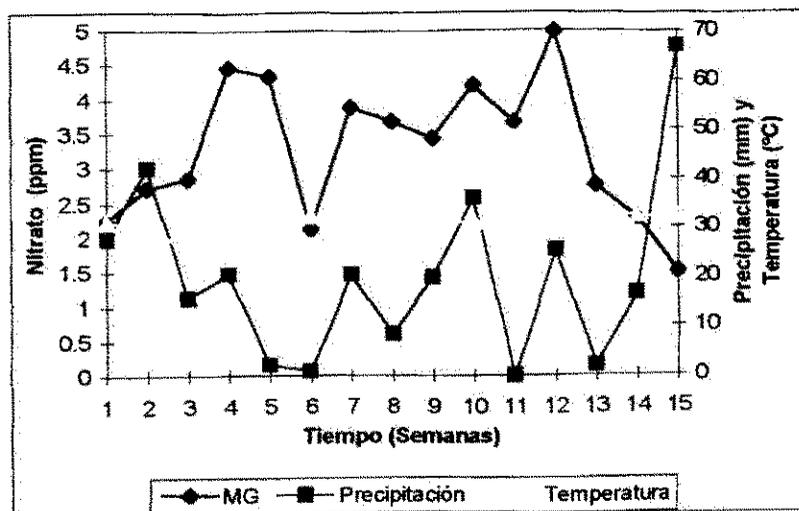


Figura 11. Comportamiento del nitrato con respecto a la precipitación y temperatura en el tratamiento maíz con gliricidia (MG).

### 5.6 Nitrógeno (amonio y nitrato) potencialmente mineralizable (NoL) proveniente de la fracción lábil y su tasa de mineralización ( $K_1$ )

En el Cuadro 5 se presentan los valores de nitrógeno mineralizable de la fracción lábil (NoL) con su respectiva tasa de mineralización.

Los valores de NoL estimados para las parcelas donde se incorporó biomasa de leguminosas arbóreas fueron de 21.56 y 22.60 ppm de nitrógeno para el tratamiento MG y ML, respectivamente. La variación de estos valores con respecto a los obtenidos en las parcelas solo varió en 4.5 %, lo que indica que las funciones estimadas son buenas predictoras del nitrógeno proveniente de esta fracción.

Si se observa la Figura 3 de acumulación de nitrógeno en el suelo, se notará que durante las cuatro primeras semanas de muestreo, se obtuvieron valores bajos de nitrógeno mineralizado y que la curva de acumulación para ese período presenta una baja pendiente. Según García (1993), estos valores de nitrógeno lábil dependen del tipo de material que se incorporó al suelo y del tamaño de los pool (reservorio) de la fracción lábil que este posee.

Según reportes de algunos investigadores (Fox et al., 1990; Kirchmann and Marstorp, 1991; Yadvinder-Singh et al., 1992; citados por Dou et al., 1995) señalan que diferencias en especies leguminosas, partes de la planta (tales como hojas, raíces y edad) podrían influir marcadamente en los patrones de liberación de nitrógeno de residuos de leguminosas mineralizados.

Cuadro 5. Valores promedios de NoL y  $K_1$  para cada tratamiento estimados por medio de la función lineal.

| Tratamiento | Valores NoL (ppm) | Tasa de mineralización ( $K_1$ ) |
|-------------|-------------------|----------------------------------|
| MSF         | 19.77             | 5.77                             |
| MCF         | 23.21             | 6.59                             |
| ML          | 22.60             | 6.29                             |
| MG          | 21.56             | 6.23                             |

MSF = Monocultivo sin fertilizante

ML = Maíz + Leucaena

MCF = Monocultivo con fertilizante químico

MG = Maíz + Gliricidia

NoL = Nitrógeno potencialmente mineralizable  
proveniente de la fracción lábil.

La tasa de mineralización para la fracción lábil ( $K_1$ ) varió entre 5.77 y 6.59 correspondiendo el valor más alto al monocultivo con fertilizante químico, seguido por ML y MG y éste por encima del monocultivo sin fertilizante. Según Yadvinder-Singh et al., (1992) citado por Dou et al., (1995), una baja relación C/N en el residuo (en este caso Leucaena y Gliricidia) favorecen la mineralización del nitrógeno encontrando un alto nivel o tasa de descomposición, considerando que la mineralización del nitrógeno excede en un grado considerable a la inmovilización.

El Cuadro 3 muestra las cantidades de materia seca y nitrógeno aportadas por Gliricidia y Leucaena, donde podemos observar la alta tasa de mineralización para la biomasa de Gliricidia y la baja tasa para la biomasa de Leucaena. Esto significa que pudo haber un cierto grado de influencia en cuanto a las cantidades de materia seca que son incorporados para cada tratamiento, en la que podemos notar mucha mayor cantidad de la biomasa de Gliricidia en comparación con Leucaena, por lo tanto, esto significa una mayor producción de nitrógeno para la biomasa incorporada de Gliricidia. Esto es explicado por Franzluebbbers et al., (1995 a) y Franzluebbbers et al., (1995 b) quien ha estudiado la influencia que ejercen la calidad y cantidad de los residuos incorporados en el suelo.

Según García (1993) el alto valor de  $K_1$  debe ser consecuencia de una alta presencia de compuestos orgánicos muy lábiles y de una rápida mineralización de estos compuestos, además de la influencia que pudo haber ejercido el fertilizante químico aplicado en el tratamiento monocultivo con fertilizante. También es importante señalar que las  $K_1$  están determinadas por la tendencia que presenta la curva de acumulación de nitrógeno durante las primeras cuatro semanas.

Es importante señalar también que las tasas de mineralización están grandemente influenciadas por la calidad del material que se incorpora, podrá notarse que la tasa más alta corresponde al MCF, lo cual es lógico si consideramos la solubilidad del fertilizante. La tasa más baja se obtuvo en el tratamiento MSF o testigo, en el que el nitrógeno provino de la materia orgánica nativa, la cual podríamos considerar en un estado más estabilizado.

### 5.7 Nitrógeno (amonio y nitrato) potencialmente mineralizable (NoE) proveniente de la fracción estabilizada y su tasa de mineralización ( $K_2$ )

En el Cuadro 6, se presentan los valores promedios de NoE y su respectiva tasa de mineralización para cada uno de los tratamientos. El NoE varió para cada tratamiento entre 67.69 y 84.52 ppm de nitrógeno. El NoE más alto correspondió al tratamiento ML, superior al monocultivo con fertilizante químico en un 8% y al tratamiento MG en un 11.13% y por encima del control en un 20%. Según García (1993), los valores promedios para cada tratamiento, al igual que el NoL, dependen de la tendencia que siga el proceso de acumulación de nitrógeno mineralizado (ascendente o estabilizado). Es importante señalar que estos valores presentan una curva de acumulación de nitrógeno mineralizado con una clara tendencia ascendente. También García (1993) señala que los altos valores de NoE encontrados en el suelo, nos refleja que el pool (reservorio) de la materia orgánica estabilizada proveniente del material incorporado es grande y activo, por lo que se puede decir, que este último juega un papel importante en el suministro de nitrógeno para el cultivo.

Cuadro 6. Valores promedios de NoE y  $K_2$  para cada tratamiento estimados por medio de la función lineal.

| Tratamiento | Valores de NoE (ppm) | Tasa de mineralización ( $K_2$ ) |
|-------------|----------------------|----------------------------------|
| MSF         | 67.69                | 6.11                             |
| MCF         | 77.87                | 6.99                             |
| ML          | 84.52                | 7.45                             |
| MG          | 75.11                | 6.79                             |

MSF = Monocultivo sin fertilizante

ML = Maíz + Leucaena

MCF = Monocultivo con fertilizante químico

MG = Maíz + Gliricidia

NoE = Nitrógeno potencialmente mineralizable  
proveniente de la fracción estabilizada.

El valor  $K_2$  más alto corresponde al tratamiento ML (7.45), seguido por el tratamiento monocultivo con fertilizante químico (6.99) y el tratamiento MG (6.79) y finalmente por el tratamiento monocultivo sin fertilizante con (6.11). Según García (1993), la presencia de valores más estables en la tasa de mineralización de la fracción estabilizada ( $K_2$ ), es lógico si se considera que esta fracción es similar (en términos de su composición química) en el suelo y que se descompone a una tasa relativamente constante por lo que las pequeñas variaciones observadas en el Cuadro 6 pueden deberse a las cantidades de esta fracción en el suelo, la cual se cree son diferentes para cada tratamiento por el manejo que se le ha dado respecto a la cantidad de residuos orgánicos de cosechas pasadas incorporadas en el control, así como también la cantidad de biomasa de *Leucaena* y *Gliricidia* incorporada en cada una de las parcelas conformadas por dichas especies arbóreas y a la aplicación de fertilizante en el caso del tratamiento monocultivo con fertilizante químico.

Es importante señalar en el caso del tratamiento ML, que aunque las tasas  $K_1$  y  $K_2$  son similares es más alta la  $K_2$ . Aunque esto no se presenta normalmente, esta diferencia puede deberse a la calidad del material leucaena, cuya fracción más resistente permite aún descomponerse a la misma velocidad que la fracción lábil, lo que se traduciría en un beneficio importante, por cuanto esto permite mantener un suministro adecuado y constante para el cultivo.

### **5.8 Dinámica de absorción de nitrógeno por el cultivo**

El análisis realizado a las hojas de maíz para los tratamientos evaluados MCF, ML, MSF y MG en un período de muestreo con intervalos cada 15 días a partir de los 35 días después de la siembra, nos permitió observar en qué momento la planta de maíz presentó mayores concentraciones de nitrógeno y cuándo, éste disminuye conforme cumple su ciclo de producción (Anexo 5 y 6).

Según la Figura 12a, entre los 35 y 50 días después de la siembra, la hoja de maíz presenta las mayores concentraciones de nitrógeno con un comportamiento estable para los tratamientos MSF, MG, ML. El tratamiento MCF es el que presenta un descenso continuo hasta el último muestro, esto pudo deberse a la alta solubilidad del fertilizante que permite una rápida absorción de nitrógeno por el cultivo y a un crecimiento rápido del mismo produciendo un efecto de dilución. Esta apreciación se ve reforzada en la figura 12b donde el valor de nitrógeno acumulado es el mayor respecto a los otros tratamientos. Un comportamiento similar se observó para el tratamiento ML.

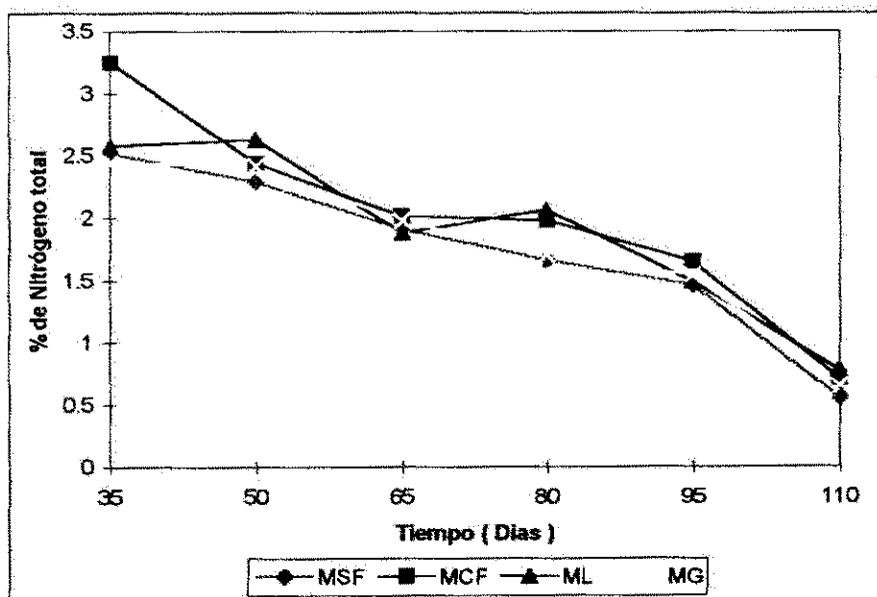


Figura 12a. Comportamiento de la absorción de nitrógeno por periodo de muestreo para cada tratamiento.

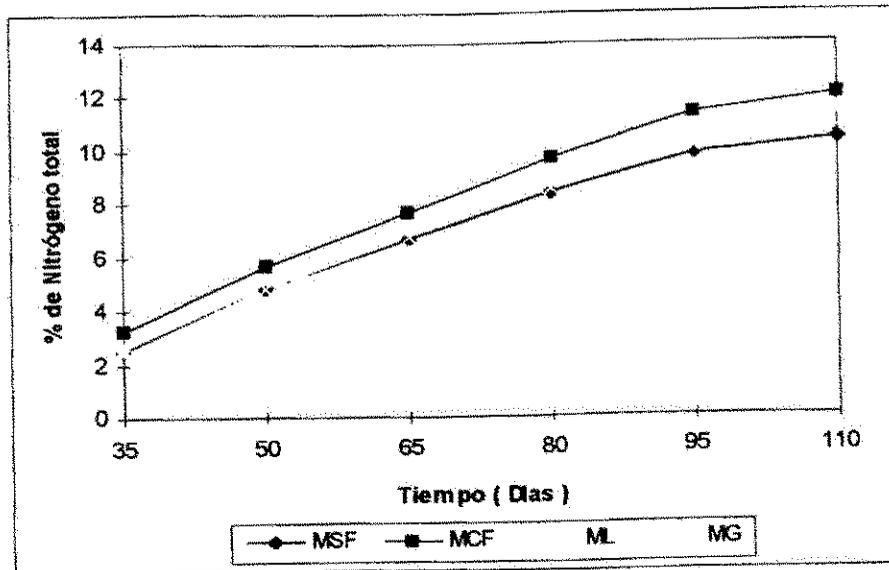


Figura 12b. Comportamiento de la absorción de nitrógeno acumulado para cada tratamiento.

Los tratamientos MSF y MG presentaron comportamientos similares en la absorción de nitrógeno y siempre estuvieron debajo de los otros tratamientos. En los tratamientos señalados, las disminuciones en la concentración durante los periodos de muestreo parecen haber estado influenciado por el bajo suministro de esas fuentes, pues si se observa la figura 12b se notará que estos presentan los menores valores de nitrógeno acumulado.

## 5.9 Efectos de los tratamientos sobre el rendimiento

El efecto de cada uno de los tratamientos en estudio se presentan en el cuadro (7).

Cuadro 7. Rendimiento del maíz en cada uno de los tratamientos.

| Tratamiento | Rendimiento (kg/ha) |
|-------------|---------------------|
| MSF         | 2115.79             |
| MCF         | 2512.59             |
| MG          | 2295.31             |
| ML          | 2042.22             |

MSF = Monocultivo sin fertilizante

ML = Maíz + Leucaena

MCF = Monocultivo con fertilizante químico

MG = Maíz + Gliricidia

Dentro de los tratamientos estudiados podemos observar que el tratamiento con mayor rendimiento corresponde al monocultivo con fertilizante químico, superando a MG en un 8 %, al monocultivo sin fertilizante en 16 % y por ultimo a ML en un 19 %. Desde el punto de vista numérico existe poca diferencia entre los rendimientos obtenidos para cada tratamiento.

El efecto de las coberturas sobre el rendimiento del cultivo, se presenta como poco importante por sí mismo al no haber respuesta significativa importante sobre el rendimiento (Cuadro 7), una excepción es el monocultivo con fertilizante químico en donde para maíz se presenta una diferencia en rendimiento a favor del uso de fertilizante químico (2512.59 kg de maíz/ha) contra el no uso, en los callejones de Gliricidia y Leucaena con rendimientos de 2295.31 kg de maíz/ha y 2042.22 kg de maíz/ha, respectivamente. Este resultado concuerda con el obtenido por Quinland (1984), Lugo (1954), IITA (1976) Albert y Rodríguez (1977) citados por Araya (1987) quienes reportaron menores rendimientos de el cultivo (maíz) al usar coberturas.

Lo que sí resulta claro, es que el efecto de las coberturas está asociado a la presencia de nitrógeno. En otras palabras, una cobertura que contenga cantidades importantes de nitrógeno (*Gliricidia* y *Leucaena*) o una a la que se le agregue nitrógeno (caña de maíz) tiene un impacto fundamental en el rendimiento, estos siempre superan al control.

Lo anterior se demuestra al ocupar, la cobertura de *Gliricidia* un segundo lugar en rendimiento en el ciclo del maíz reportado en este trabajo, superando al testigo sin nitrógeno. En cambio *Leucaena* ocupa el último lugar en producción. Es importante destacar el hecho de la posible competencia que se produce entre las especies arbóreas *Gliricidia* y *Leucaena* y el cultivo del maíz, dado que en el tratamiento, donde no existe árboles (monocultivo con fertilizante químico) superó en rendimientos a los tratamientos donde existen árboles (callejones de *Gliricidia* y *Leucaena*).

Estos rendimientos obtenidos en la producción de maíz fueron superados por los obtenidos por Sandoval (1994), quien obtuvo rendimientos de 2633 kg/ha en el asocio de Maíz + *Leucaena leucocephala*, donde los árboles estaban plantados a 6 metros entre hileras y 1 metro entre planta, mientras que el cultivo del maíz se estableció a 0.75 metros entre surco y a 0.40 metros entre plantas.

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 citado por Escobar, 1990).

Los siguientes autores obtuvieron resultados positivos al aplicar coberturas leguminosas ricas en nitrógeno a maíz y frijol (IITA, 1976), con leguminosas no especificadas, (IITA, 1983 y 1980), con *Leucaena* (IITA, 1982) con *Leucaena* y *Alchornea* (Kang et al., 1981) citados por Araya (1987).

## 5.10 Otros beneficios del sistema (económicos)

Para que un técnico pueda hacer recomendaciones, los datos agronómicos sobre los que se basan las recomendaciones deberán ser consistentes con las circunstancias agronómicas y sociales de los pequeños, medianos y grandes agricultores. De otra manera, el productor no obtendrá los resultados predichos por el técnico. Igualmente la evaluación de estos por parte del técnico deberá tener en cuenta las metas de los productores y aquellos factores que influyen sobre su capacidad de lograrlas (Perrin et al., 1976; citado por Araya, 1987).

Los efectos nocivos sobre los bosques naturales, resultantes de la agricultura migratoria, pueden ser minimizadas con la adopción de sistemas agroforestales. Estos sistemas pueden ser dirigidos hacia la economía de subsistencia o de mercado de acuerdo con la tecnología disponible. La presencia de árboles favorece los sistemas de producción en aspectos tales como el mantenimiento del ciclaje de nutrientes y el aumento en la diversidad de productos (leña, forraje, abono verde, etc.).

Apesar de su rápido crecimiento, a menudo los árboles fijadores de nitrógeno tienen madera de alta densidad y bajo contenido de humedad, lo cual los hace aptos para ser utilizados como combustible; por ejemplo, Prosopis, Acacia, Calliandra, Casuarina, Gliricidia, Leucaena, Mimosa, Robinia, Samanea, Albizia (Montagnini et al., 1992). En este estudio solamente se utilizaron las especies arbóreas *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*.

En la poda de *Gliricidia* y *Leucaena* se obtuvo una biomasa total equivalente a 7,126.66 kg/ha y 11,825.17 kg/ha, respectivamente, de los cuales 5,040.74 kg/ha corresponden a peso seco de tallos de *Gliricidia* y 10,033.08 kg/ha a peso seco de tallos de *Leucaena*, que es el material utilizado como fuente de combustible.

El rendimiento promedio de tallos en el sistema de cultivo en callejones es de 7,596.29 kg/ha, lo que constituye el material utilizado como combustible en forma de leña lo que equivale aproximadamente a C\$ 7,596.29 córdobas. En este trabajo el sistema de cultivo en callejones produce con el precio de la leña un equivalente a 2,825.89 kg/ha de maíz, es

decir, la venta de la leña genera un 11.09 % de excedente con respecto al beneficio económico obtenido con la producción del grano de maíz en el monocultivo con fertilizante químico que en este estudio fue el que presentó mayor producción de maíz.

Podemos decir, que el aporte de nitrógeno proveniente de las especies arbóreas *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium* según su aporte de biomasa y contenido de nitrógeno hoja en el estudio, nos da una idea de la importancia y la utilidad de las especies en estudio sobre su aporte de nitrógeno al suelo y al cultivo como suministro de nitrógeno. La especie *Leucaena* y *Gliricidia* abastecerían al suelo de un alto porcentaje de nitrógeno requerido por el cultivo. El aporte que realizan estas especies en estudio son de 2.1qq para *Gliricidia* y 3.10qq para *Leucaena* de fertilizante mineral (urea) estos con las cantidades medidas y encontradas en el suelo en los tratamientos donde se obtuvieron 0.88qq en *Gliricidia* y 1.88qq *Leucaena* esto brinda la información del aporte de la especie para el agricultor. Estas cantidades son de gran importancia ya que si un cultivo de maíz, según Yamoah et al. (1986) donde en un estudio la especie *Gliricidia* liberó 95 kg/ha de nitrógeno fuera de los 132 kg de nitrógeno por hectárea necesitado por el cultivo de maíz, esta equivale a un ahorro de el 49% y 43% brindado por las especies al momento de aplicar fertilizante al cultivo, esto viene a ser una reducción significativa de sus gastos.

Con todo lo anteriormente dicho se puede decir, que el hecho de presentar en este trabajo un breve análisis económico, tiene como objetivo el tratar de visualizar si la tecnología que se está probando tiene alguna esperanza de ser utilizada en condiciones comerciales en las fincas de los agricultores.

Por ser datos de investigación exploratoria, sin experiencias previas, con costos no del todo ajustado al manejo que haría el agricultor de la tecnología probada y la poca cantidad de repeticiones en espacio y tiempo, la presentación de este análisis económico debe tomarse e interpretarse con cuidado y reserva. Además los datos económicos experimentales no siempre coinciden (por lo general son más altos) que con manejos comerciales.

## VI. CONCLUSIONES

1. El potencial de mineralización del nitrógeno del suelo, se aumentó por las enmiendas orgánicas y este varió durante el ciclo vegetativo, el cual estuvo influenciado por la precipitación y temperatura y posiblemente por la absorción del cultivo de maíz.
2. Las tasas de mineralización  $K_1$  y  $K_2$  estimadas para cada especie arbórea, estiman bien el nitrógeno liberado en el tiempo.
3. Las especies arbóreas liberaron el 23% del nitrógeno total contenido en un período de 4 semanas y la máxima absorción por el cultivo ocurrió a las 4 semanas (35 días).
4. Se obtuvo mayor rendimiento del grano de maíz en el control monocultivo con fertilizante químico que en los tratamientos con especies arbóreas (pudo deberse a que los árboles ejercieron competencia sobre el cultivo de maíz).
5. Las condiciones de precipitación y temperatura ejercen una influencia sobre la mineralización, esto nos indica que los datos de las tasas de mineralización son una aproximación de los reales.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Estudiar y evaluar las posibles pérdidas (por lixiviación, desnitrificación, volatilización, etc) para conocer más a fondo el contenido y comportamiento del nitrógeno de los materiales incorporados.
2. Estudiar el comportamiento de la mineralización, realizando períodos de muestreos después de las precipitaciones.
3. Establecer posteriores ensayos de evaluación de cultivo en callejones incorporando el material a las 4 semanas de establecido el cultivo de maíz.
4. En ensayos posteriores, sería recomendable registrar todas las actividades y los costos de los insumos que implica el estudio para realizar un análisis económico.
5. Promover el sistema de cultivo en callejones a nivel de fincas de los productores para que estos evalúen y avalen los beneficios que trae, el involucrar árboles para diversificar la producción (follaje, leña, etc).

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Alavez, L. S. 1987. Efecto del poro *Erythrina poeppigiana* ( Walpers ) O. F. Cook. plantado a cuatro espaciamientos, sobre la producción de maíz *Zea mays* L. , en un sistema de cultivo en franjas ( alley cropping ). Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa, Rica. CATIE - Área de Postgrados. 87 p.
- Araya, J. F. 1987. Efecto del madero negro ( *Gliricidia sepium* (Jacq ) Steud ) como abono verde en un sistema de maíz ( *Zea mays* L. ) - Frijol ( *Phaseolus vulgaris* L.) en relevo en Acosta- Puriscal, San José. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica. CATIE - Área de Postgrados. 108 p.
- Arzola, N. , Fundora, O. , Machado, J. 1986. Suelo, planta y abonado. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 461 p.
- Bartolini, R. 1990. El Maíz. Mundi Prensa, Madrid, España. 276 p.
- Bockman, Chr. O. et al., 1990. Nitrogen. In Agriculture and Fertilizers. Agricultural Group, Norsk Hydro a.s, Olso, Norway. p 108-111.
- Burges, A. 1968. Introducción a la microbiología del suelo. Universidad de Liverpool. 199 p.
- CATIE, 1991. Leucaena ( *Leucaena leucocephala* ), especie de árbol de uso múltiple en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa, Rica. ( Serie Técnica, Informe Técnico nº 166 ). 60 p.

- CATIE, 1991. Madero negro ( *Gliricidia sepium* ( Jacq ) Kunth ex Walpers ) árbol de uso múltiple en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa, Rica. ( Serie Técnica, Informe Técnico- n° 180 ) 72 p.
- Cairo, P. 1995. Interpretación Integral de los Resultados. En : La fertilidad física del suelo y la Agricultura orgánica en el trópico. Curso postgrado. Universidad Nacional Agraria, UNA. Managua, Nicaragua. 235 p.
- Cepeda, J. M. 1991. Química de suelos. Trillas, México, DF. 168 p.
- Clausnitzer, I. 1988. Mineralización del nitrógeno en suelos de algunas formaciones vegetales del noroeste de Venezuela. Turrialba ( Costa, Rica ) 38 : 223-229
- Dou, Z. , Fox, R. H. y Toth, J. D. 1995. Seasonal soil nitrate dynamics in corn as affected by tillage and nitrogen source. SOIL. SCI. SOC. AM. J. ( EEUU ) 59 : 858-864.
- Escobar, M. M. 1990. Dinámica del nitrógeno en un cultivo en callejones de poro *Erythrina poeppigiana* ( Walpers ) O. F. Cook y Madero negro *Gliricidia sepium* ( Jacq ) Steud con frijol común *Phaseolus vulgaris* L. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa, Rica. CATIE-Area de postgrados. 98 p.
- Fassbender, H. y Bornemisza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Segunda Edición. IICA. San José, Cosa Rica. 420 p.
- Franzluebbers, A. J., Hons, F. M. y Zuberer, D. A. 1995a. Soil organic carbon, microbial biomass and mineralizable carbon and nitrogen in sorghum. SOIL. SCI. SOC. AM. J. ( EEUU ) 59 : 460-466.

- Franzluebbers, A. J., Hons, F. M. y Zuberer, D. A. 1995b. Tillage and crop effects on seasonal soil carbon and nitrogen dynamics. SOIL. SCI. SOC. AM. J. ( EEUU ) 59 : 1618-1624.
- García, L. 1993. Evaluación de tres métodos para medir disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos. Tesis Mag. Scs. Montecillo, México. Colegio de Postgrados-Sección de Fertilidad de suelos. 150 p.
- Garssini, L. A. 1967. Microbiología Agraria. Masacay. Universidad Central de Venezuela. 366 p.
- Greenland, D. J. 1979. Soil physical properties and crop production in the tropics. John Wiley and Sons. New York ( EEUU ) 551 p.
- Hang, S., Mazzarino, M. J., Nuñez, G. y Oliva, L. 1995. Influencia del desmonte selectivo sobre la disponibilidad del nitrógeno en años húmedos y secos en sistemas silvopastoriles en Chaco Arido Argentina. AGROFORESTERIA EN LAS AMÉRICAS ( Argentina ) 2 (6) : 9-14.
- Holdridge, L. R. 1987. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica. IICA. 216 P.
- Jiménez, J. M. 1990. Análisis del crecimiento y fenología del maíz ( *Zea mays* C. V. Tuxpeño ) en un cultivo en callejones con poro ( *Erythrina poeppigiana* ) ( Walpers ) O. F. Cook plantado en cuatro arreglos espaciales. Tesis Mag. Scs. Turrialba, Costa Rica. CATIE-Area de postgrados. 124 p.
- Kang, B. 1986. Cultivo en hileras: una opción estable en la agricultura nómada. Ibadan, Nigeria. 22p.

- Keeney, D. R., and Nelson, D. W. 1982. Nitrogen- Inorganic Forms. In A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* 2<sup>nd</sup> ed. Agron. 9, 643-698.
- López, L. J. 1990. Establecimiento de un ensayo agroforestal con dos especies leguminosas *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria (U.N.A). Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Managua, Nicaragua.
- McKenney, D. J., Wang, S. W. , Drury, C. F. y Finday, w. I. 1995. Denitrification, immobilization, and mineralization in nitrate limited and nonlimited residue-amended. *SOIL. SCI. SOC. AM. J. (EEUU)* 59 : 118-124.
- Montagnini, F. et al. 1992. *Sistemas agroforestales : principios y aplicaciones en los trópicos.* Segunda Edición. San José, Costa Rica.
- Quemada, M. y Cabrera, M. L. 1995. Carbon and nitrogen mineralized from leaves and stems of four cover crops. *SOIL. SCI. SOC. AM. J. (EEUU)* 59 : 471-477.
- Rodríguez, R. L. 1993. Evaluación de cultivo en callejones de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit y *Gliricidia sepium* Jacq (Steud), asociadas con el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Ing. Agr. Managua, Nicaragua. 51 p.
- Sánchez, A. P. 1981. Nitrógeno. Suelos del trópico. Características y manejo. IICA. San José, Costa Rica.
- Sandoval, G. A. 1994. Evaluación de cultivo en callejones Cofradía- Masaya. IV Congreso sobre generación y transferencia de tecnología agropecuaria. Universidad Nacional Agraria (U.N.A)- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA). Managua, Nicaragua.

- Schomberg, H. H. , Steiner, J. L. y Unger, P.W. 1994. Descomposition and nitrogen dynamics of crop residues : Residue quality and Water effects. SOIL. SCI. SOC. AM. J. (EEUU) 58 : 372-381.
- Teuscher H. y Adler R. 1987. El nitrógeno del suelo. En: El suelo y su fertilidad. Editorial Continental. México. D.F. 510 p.
- Vilas, O. 1990. Descomposición de hojarasca y mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo bajo cuatro sistemas agroforestales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 152p.
- Yamoah, C. F., Agboola, A. A. y Mulongoy, K. 1986a. Descomposition, nitrogen release and weed control by prunings of selected alley cropping shrubs. AGROFORESTRY SYSTEMS. (Holanda) 4: 239 - 246.
- Zelaya, C. R. 1990. Los suelos y sus aptitudes agrícolas de la finca "El Plantel". Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria (U.N.A). Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Managua, Nicaragua.

## IX. ANEXOS

Anexo 1. Datos de precipitación (mm) y temperatura (°C) del ensayo de cultivo en callejones en la época de primera en “El Plantel”

| Semanas | Precipitación (mm) | Temperatura (°C) |
|---------|--------------------|------------------|
| 1       | 27.9               | 31.3             |
| 2       | 42.2               | 29.9             |
| 3       | 15.8               | 26.1             |
| 4       | 20.6               | 30.8             |
| 5       | 2.2                | 30.9             |
| 6       | 1                  | 32.4             |
| 7       | 20.6               | 31.3             |
| 8       | 8.5                | 31.4             |
| 9       | 20.1               | 31.7             |
| 10      | 36.1               | 31.1             |
| 11      | 0                  | 32.9             |
| 12      | 25.4               | 33.1             |
| 13      | 2.1                | 33.2             |
| 14      | 16.7               | 32.2             |
| 15      | 67                 | 32               |

Anexo 2. Contenido de nitrógeno (ppm) proveniente de la mineralización de las enmiendas incorporadas en el suelo.

| Semanas | MCF  | ML   | MG   | Precipitación |
|---------|------|------|------|---------------|
| 1       | 1.03 | 1.48 | 0.49 | 27.9          |
| 2       | 1.76 | 1.63 | 0.71 | 42.2          |
| 3       | 2.53 | 1.99 | 1.36 | 15.8          |
| 4       | 3.43 | 3.07 | 1.78 | 20.6          |
| 5       | 4.47 | 7.49 | 2.63 | 2.2           |
| 6       | 6.24 | 9.11 | 3.33 | 1             |
| 7       | 7.25 | 10.3 | 4.23 | 20.6          |
| 8       | 8.33 | 10.7 | 4.38 | 8.5           |
| 9       | 8.35 | 11   | 4.42 | 20.1          |
| 10      | 9.03 | 13.2 | 5.69 | 36.1          |
| 11      | 9.43 | 13.3 | 6.09 | 0             |
| 12      | 11.1 | 16.3 | 7.69 | 25.4          |
| 13      | 11.6 | 16.7 | 8.03 | 2.1           |
| 14      | 13.1 | 19.4 | 9.14 | 16.7          |
| 15      | 13.8 | 19.4 | 9.32 | 67            |

MCF = Monocultivo con fertilizante químico

ML = Maíz + Leucaena

MG = Maíz + Gliricidia

Anexo 3. Nitrógeno total mineralizado acumulado (ppm) durante el período de muestreo del suelo.

| Semanas | MSF  | MCF  | ML   | MG   | Precipitación |
|---------|------|------|------|------|---------------|
| 1       | 3.2  | 4.23 | 4.68 | 3.69 | 27.9          |
| 2       | 7.68 | 9.44 | 9.31 | 8.39 | 42.2          |
| 3       | 12.9 | 15.5 | 14.9 | 14.3 | 15.8          |
| 4       | 20.7 | 24.2 | 23.8 | 22.5 | 20.6          |
| 5       | 27.6 | 32.1 | 35.1 | 30.3 | 2.2           |
| 6       | 32.3 | 38.5 | 41.4 | 35.6 | 1             |
| 7       | 38.4 | 45.7 | 48.7 | 42.7 | 20.6          |
| 8       | 45.1 | 53.4 | 55.8 | 49.5 | 8.5           |
| 9       | 52.1 | 60.5 | 63.1 | 56.5 | 20.1          |
| 10      | 58.7 | 67.8 | 71.9 | 64.4 | 36.1          |
| 11      | 65.7 | 75.1 | 79   | 71.8 | 0             |
| 12      | 72.7 | 83.8 | 89   | 80.4 | 25.4          |
| 13      | 78.2 | 89.8 | 94.9 | 86.2 | 2.1           |
| 14      | 81.3 | 94.5 | 101  | 90.5 | 16.7          |
| 15      | 84.6 | 98.4 | 104  | 93.9 | 67            |

MCF = Monocultivo con fertilizante químico

MSF = Monocultivo sin fertilizante

ML = Maíz + Leucaena

MG = Maíz + Glicidia

Anexo 4. Contenido de nitrógeno como amonio y nitrato (ppm) durante el período de muestreo del suelo.

| Semanas | SF                           |                              | CF                           |                              | ML                           |                              | MG                           |                              |
|---------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|         | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| 1       | 0.99                         | 2.21                         | 1.79                         | 2.44                         | 2.28                         | 2.4                          | 1.45                         | 2.24                         |
| 2       | 1.88                         | 2.6                          | 2.21                         | 2.99                         | 1.88                         | 2.75                         | 1.97                         | 2.73                         |
| 3       | 2.84                         | 2.41                         | 3.11                         | 2.91                         | 3.08                         | 2.52                         | 3.04                         | 2.86                         |
| 4       | 3.68                         | 4.13                         | 4.02                         | 4.7                          | 4.26                         | 4.63                         | 3.76                         | 4.47                         |
| 5       | 2.82                         | 4.06                         | 2.86                         | 5.06                         | 5.06                         | 6.24                         | 3.39                         | 4.34                         |
| 6       | 2.19                         | 2.45                         | 2.59                         | 3.83                         | 2.41                         | 3.85                         | 2.21                         | 3.13                         |
| 7       | 2.41                         | 3.76                         | 3.31                         | 3.87                         | 3.19                         | 4.16                         | 3.17                         | 3.89                         |
| 8       | 3.28                         | 3.39                         | 3.86                         | 3.89                         | 3.22                         | 3.86                         | 3.13                         | 3.69                         |
| 9       | 3.63                         | 3.38                         | 3.6                          | 3.42                         | 3.89                         | 3.4                          | 3.6                          | 3.45                         |
| 10      | 3.22                         | 3.39                         | 3.53                         | 3.76                         | 4.23                         | 4.56                         | 3.67                         | 4.21                         |
| 11      | 3.42                         | 3.56                         | 3.71                         | 3.67                         | 3.58                         | 3.56                         | 3.71                         | 3.67                         |
| 12      | 3.12                         | 3.89                         | 3.62                         | 5.01                         | 4.53                         | 5.47                         | 3.62                         | 4.99                         |
| 13      | 2.28                         | 3.22                         | 2.44                         | 3.56                         | 2.58                         | 3.29                         | 3.09                         | 2.75                         |
| 14      | 1.57                         | 1.57                         | 2.48                         | 2.21                         | 2.95                         | 2.88                         | 1.97                         | 2.28                         |
| 15      | 1.68                         | 1.54                         | 2.04                         | 1.9                          | 1.72                         | 1.57                         | 1.91                         | 1.5                          |

SF = Monocultivo sin fertilizante.

CF = Monocultivo con fertilizante químico.

ML = Maíz + Leucaena.

MG = Maíz + Gliricidia.

Anexo 5. Porcentajes de nitrógeno por período de muestreo en hojas de maíz durante el ciclo del cultivo.

| Tiempo ( Dias ) | SF   | CF   | ML   | MG   |
|-----------------|------|------|------|------|
| 35              | 2.52 | 3.25 | 2.58 | 2.44 |
| 50              | 2.29 | 2.44 | 2.63 | 2.42 |
| 65              | 1.91 | 2.02 | 1.88 | 1.98 |
| 80              | 1.66 | 1.98 | 2.06 | 1.7  |
| 95              | 1.46 | 1.65 | 1.49 | 1.54 |
| 110             | 0.55 | 0.71 | 0.78 | 0.65 |

SF = Monocultivo sin fertilizante.

CF = Monocultivo con fertilizante químico.

ML = Maíz + Leucaena.

MG = Maíz + Gliricidia.

Anexo 6. Porcentaje de nitrógeno acumulado en hoja de maíz durante el ciclo del cultivo.

| Tiempo ( Dias ) | SF    | CF    | ML    | MG    |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| 35              | 2.52  | 3.25  | 2.58  | 2.44  |
| 50              | 4.81  | 5.69  | 5.21  | 4.86  |
| 65              | 6.72  | 7.71  | 7.09  | 6.84  |
| 80              | 8.38  | 9.69  | 9.15  | 8.54  |
| 95              | 9.84  | 11.34 | 10.64 | 10.08 |
| 110             | 10.39 | 12.05 | 11.42 | 10.73 |

SF = Monocultivo sin fertilizante.

CF = Monocultivo con fertilizante químico.

ML = Maíz + Leucaena.

MG = Maíz + Gliricidia.

Anexo 7. Valores de nitrógeno total potencialmente mineralizable (NoT) y de la fracción lábil (NoL) y Estabilizada (NoE) con sus tasas de mineralización ( $K_0$ ) ( $K_1$ ) y ( $K_2$ ) estimados por medio de la función lineal.

|       | SF                 | CF                 | ML                 | MG                 |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| NoL   | 19.77              | 23.21              | 22.60              | 21.56              |
| $K_1$ | 5.77               | 6.59               | 6.29               | 6.23               |
| $R^2$ | 0.98               | 0.98               | 0.98               | 0.98               |
| Nmin  | $-3.31 + K_1 (t)$  | $-3.15 + K_1 (t)$  | $-2.56 + K_1 (t)$  | $-3.36 + K_1 (t)$  |
| NoE   | 67.69              | 77.87              | 84.52              | 75.11              |
| $K_2$ | 6.11               | 6.99               | 7.45               | 6.79               |
| $R^2$ | 0.99               | 0.99               | 0.99               | 0.99               |
| Nmin  | $-23.96 + K_2 (t)$ | $-26.98 + K_2 (t)$ | $-27.23 + K_2 (t)$ | $-26.74 + K_2 (t)$ |
| NoT   | 88.62              | 102.44             | 108.64             | 97.74              |
| $K_0$ | 6.17               | 7.08               | 7.55               | 6.82               |
| $R^2$ | 0.99               | 0.99               | 0.99               | 0.99               |
| Nmin  | $-3.93 + K (t)$    | $-3.76 + K (t)$    | $-4.61 + K (t)$    | $-4.56 + K (t)$    |

SF = Monocultivo sin fertilizante.

CF = Monocultivo con fertilizante químico.

ML = Maíz + Leucaena.

MG = Maíz + Gliricidia.

Nmin = Nitrógeno mineralizable.

Anexo 8. Peso húmedo de las muestras de suelo obtenido durante el período de muestreo en el ensayo de cultivo en callejones en "El Plantel".

| Semanas | SF     | CF     | ML     | MG     |
|---------|--------|--------|--------|--------|
| 1       | 10.055 | 10.054 | 10.054 | 10.055 |
| 2       | 10.052 | 10.055 | 10.055 | 10.055 |
| 3       | 10.056 | 10.057 | 10.054 | 10.055 |
| 4       | 10.055 | 10.056 | 10.056 | 10.055 |
| 5       | 10.055 | 10.054 | 10.055 | 10.053 |
| 6       | 10.052 | 10.053 | 10.053 | 10.052 |
| 7       | 10.053 | 10.055 | 10.054 | 10.053 |
| 8       | 10.056 | 10.053 | 10.055 | 10.053 |
| 9       | 10.053 | 10.056 | 10.057 | 10.057 |
| 10      | 10.058 | 10.053 | 10.057 | 10.052 |
| 11      | 10.058 | 10.055 | 10.058 | 10.058 |
| 12      | 10.058 | 10.056 | 10.059 | 10.059 |
| 13      | 10.055 | 10.057 | 10.058 | 10.059 |
| 14      | 10.059 | 10.059 | 10.059 | 10.059 |
| 15      | 10.059 | 10.058 | 10.059 | 10.058 |

SF= Monocultivo sin fertilizante.

CF= Monocultivo con fertilizantequímico.

ML= Maíz + Leucaena.

MG= Maíz + Gliricidia.

Anexo 9. Peso seco de las muestras de suelo obtenido durante el periodo de muestreo en el ensayo de cultivo en callejones en "El Plantel".

| Semanas | SF    | CF    | ML    | MG    |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| 1       | 8.49  | 8.35  | 8.358 | 8.584 |
| 2       | 7.695 | 7.531 | 6.985 | 7.475 |
| 3       | 7.733 | 7.599 | 7.394 | 7.669 |
| 4       | 7.466 | 7.508 | 7.36  | 7.401 |
| 5       | 7.672 | 7.601 | 7.363 | 7.602 |
| 6       | 8.046 | 8.1   | 7.896 | 7.929 |
| 7       | 8.213 | 8.51  | 8.05  | 8.194 |
| 8       | 7.856 | 7.648 | 8.059 | 7.783 |
| 9       | 8.31  | 8.313 | 8.307 | 8.255 |
| 10      | 8.118 | 7.976 | 7.978 | 7.963 |
| 11      | 7.922 | 8.075 | 7.891 | 7.846 |
| 12      | 8.255 | 8.19  | 8.186 | 8.273 |
| 13      | 8.293 | 8.365 | 8.284 | 8.297 |
| 14      | 8.186 | 8.199 | 8.242 | 8.095 |
| 15      | 8.219 | 8.261 | 8.278 | 8.179 |

SF= Monocultivo sin fertilizante.

CF= Monocultivo con fertilizante químico.

ML= Maíz + Leucaena.

MG= Maíz + Gliricidia.

Anexo 10. Porcentaje de humedad de las muestras de suelo obtenido durante el período de muestreo. en el ensayo de cultivo en callejones en "El Plantel".

| Semanas | SF    | CF    | ML    | MG    |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| 1       | 18.43 | 20.41 | 20.29 | 17.14 |
| 2       | 30.63 | 33.51 | 43.95 | 34.51 |
| 3       | 30.04 | 32.35 | 35.97 | 31.11 |
| 4       | 34.68 | 33.94 | 36.63 | 35.86 |
| 5       | 31.06 | 32.27 | 36.56 | 32.24 |
| 6       | 24.93 | 24.11 | 27.32 | 26.77 |
| 7       | 22.4  | 18.15 | 24.89 | 22.69 |
| 8       | 28    | 31.45 | 24.77 | 29.17 |
| 9       | 20.97 | 20.97 | 21.07 | 21.83 |
| 10      | 23.89 | 26.04 | 26.06 | 26.23 |
| 11      | 26.96 | 24.52 | 27.46 | 28.19 |
| 12      | 21.84 | 22.78 | 22.88 | 21.59 |
| 13      | 21.25 | 20.23 | 21.41 | 21.19 |
| 14      | 22.88 | 22.68 | 22.04 | 24.26 |
| 15      | 22.39 | 21.75 | 21.51 | 22.97 |

SF= Monocultivo sin fertilizante.

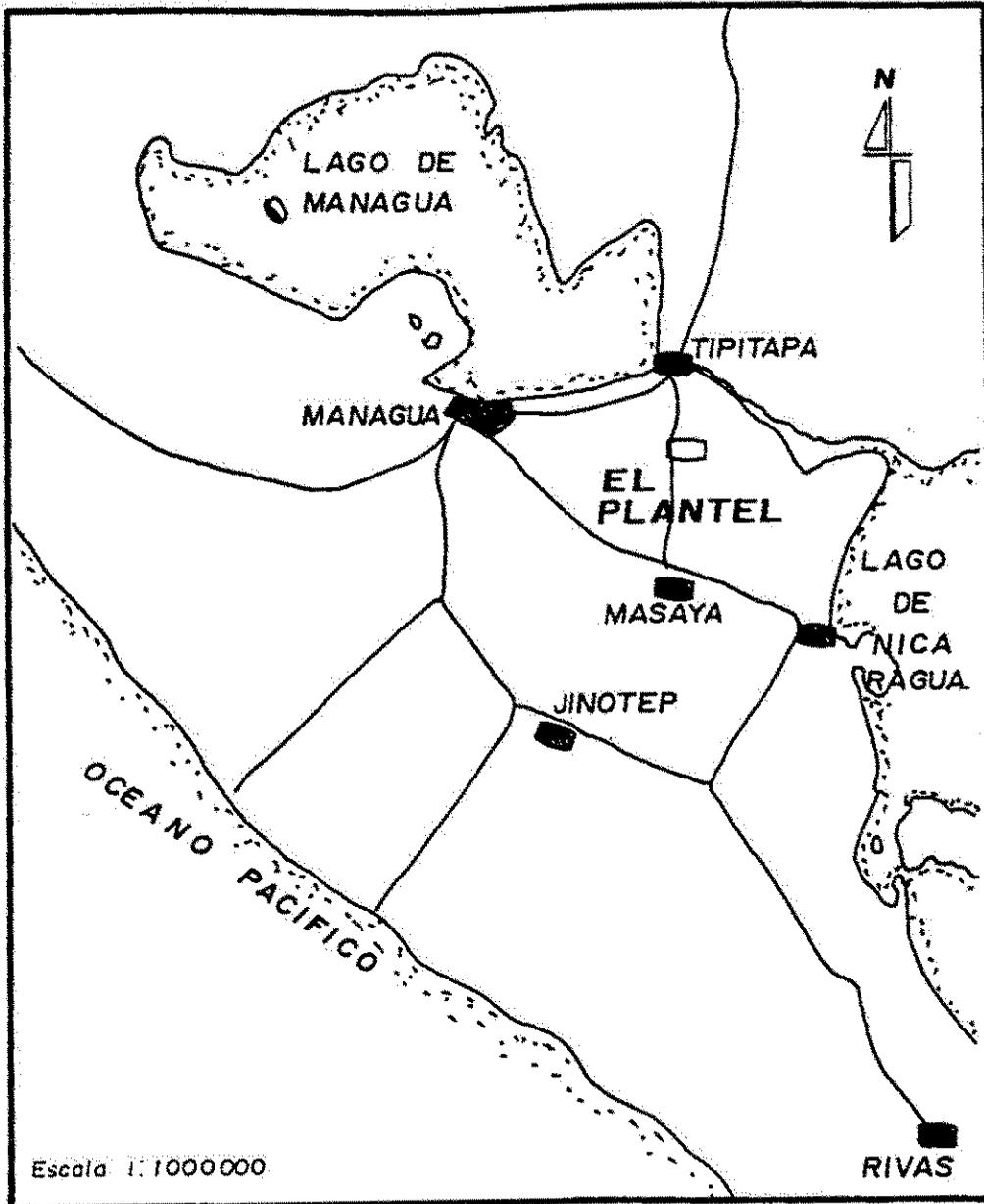
CF= Monocultivo con fertilizante químico.

ML= Maíz + Leucaena.

MG= Maíz + Gliricidia.

ANEXO

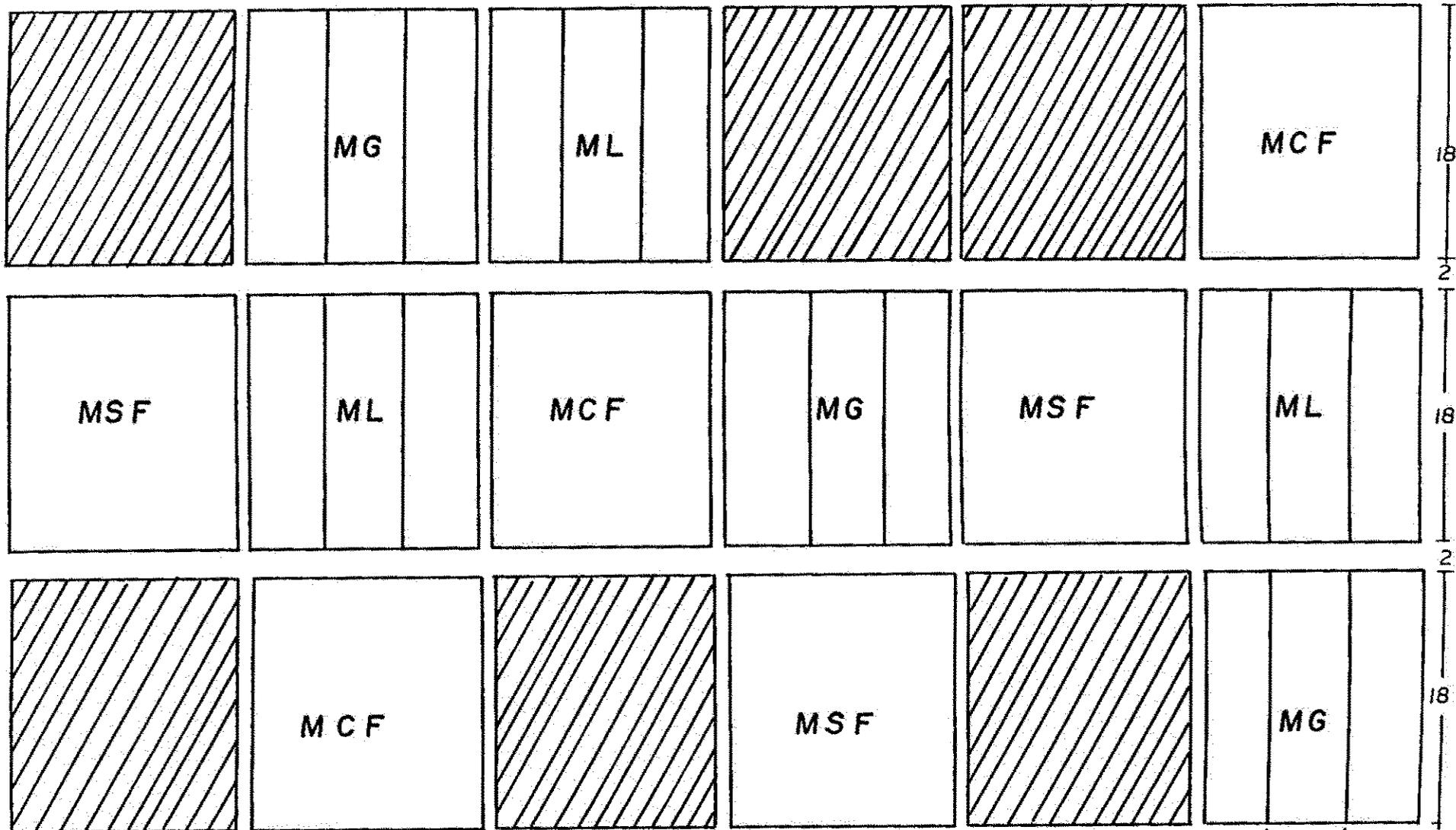
II. LOCALIZACION DE LA FINCA EXPERIMENTAL  
EL PLANTEL



BLOQUE I

BLOQUE II

BLOQUE III



LEYENDA

MSF = Monocultivo sin fertilizante

ML = Maíz más Leucaena

 = Callejones de 3.75 m

MCF = Monocultivo con fertilizante químico.

MG = Maíz más Glicridia.