

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

U. N. A

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

F. A. R. E. N. A

ESCUELA DE SUELOS Y AGUA

E. S. A

TRABAJO DE DIPLOMA

**MINERALIZACION DEL NITROGENO PROCEDENTE DE LA BIOMASA
DE Gliricidia Sepium (Jacq) walps. y Leucaena leucopcephala
(Lam.) de wit. EN UN SISTEMA DE CULTIVO EN CALLEJONES ASOCIADOS
CON Zea may (L).**

**AUTORES: Br. JHONNY ARMANDO MARADIAGA TRUJILLO
Br. RIGOBERTO ROJAS LAGUNA**

ASESOR: ING. M. Sc. LEONARDO GARCIA CENTENO

MANAGUA, JULIO 1999

DEDICATORIA

A mis padres: Armando Maradiaga Martinez.
Sorania Trujillo Pichardo.

A mis hermanos: Wuilmer J. Maradiaga Trujillo.
Eneyda B. Maradiaga Trujillo.
Sorania J. Maradiaga Trujillo.

Quienes con su apoyo y comprensión contribuyeron en la culminación de mis estudios profesionales.

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

Jhonny A. Maradiaga Trujillo.

DEDICATORIA

Al creador de los cielos y de la tierra DIOS

A mis padres : Domingo Rojas Rio.
Cristina Laguna Vega.

A mis hermanos: Leonel Rojas Laguna.
Julio C. Rojas Laguna.
José A. Rojas Laguna.
Fadir A. Rojas Laguna.
Isabel C. Rojas Laguna.

A mi tía : Josefa Rojas Rios.

Quienes con su gran apoyo, comprensión y mucho esfuerzo hicieron posible la culminación de mis estudios profesionales.

A todos aquellos que de alguna manera han luchado por la educación gratuita en esta linda Nicaragua. Comandante Daniel Ortega. Byron

Rigoberto Rojas Laguna.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer sinceramente la ayuda incondicional que recibimos en el transcurso de la realización de este trabajo de tesis a nuestro asesor: Ing. M.Sc. Leonardo García Centeno.

También agradecemos al Lic. M.Sc. Gustavo Valverde y al Ing. Luis Hernández por su valiosa colaboración en nuestra etapa de laboratorio, y a la Ing. Glenda Bonilla por su apoyo en la etapa de campo.

Al Programa de Ciencia de la Planta (P.S.P) y a la Universidad Nacional Agraria (U.N.A) por brindarnos la oportunidad de culminar nuestros estudios superiores con el presente trabajo de investigación.

A servicios estudiantiles por su acertado apoyo en el transcurso de nuestra preparación profesional, y a todos los profesores que a la vez nos aportaron su granito de arena.

A: Petrona Oilda Hernández.

Dr. Daniel Morales.

Elda María Trujillo.

Fernando Tapia.

A todos aquellos que de alguna forma contribuyeron a culminar esta fase de preparación en nuestra vida, le agradecemos de corazón.

Jhonny A. Maradiaga Trujillo y Rigoberto Rojas Laguna.

INDICE GENERAL

	Página	
DEDICATORIA	i	
AGRADECIMIENTOS	iii	
INDICE GENERAL	iv	
INDICE DE TABLAS	vii	
INDICE DE FIGURAS	viii	
INDICE DE	x	
RESUMEN	xi	
I INTRODUCCION	1	
II OBJETIVOS	3	
2.1 General	3	
2.2 Específicos	3	
III REVISION DE LITERATURA	4	
3.1 Sistemas de Cultivos en Callejones	4	
3.1.1 Producción de Biomasa y Nutrientes	5	
3.2 Nitrógeno	7	
3.2.1 El nitrógeno en el universo	7	iv

3.2.2 El Ciclo del Nitrógeno	8
3.2.3 Nitrógeno en el suelo	8
3.2.3.1 Nitrógeno orgánico	9
3.2.3.2 Nitrógeno mineral	9
3.2.4. Flujos de nitrógeno	10
3.2.4.1 Ganancia de nitrógeno	11
3.2.4.1.1 Nitrógeno en la lluvia y en el polvo	11
3.2.4.1.2 Fijación asimbiótica de nitrógeno	11
3.2.4.1.3 Fijación Simbiótico	11
3.2.4.1.4 Suministro de N inorgánico	12
3.2.4.2 Pérdidas de nitrógeno	13
3.2.4.2.1 Lixiviación	13
3.2.4.2.2 Desnitrificación	13
3.2.4.2.3. Volatilización del amoniaco	13
3.2.4.2.4 Erosión	14
3.2.4.2.5 Fijación de amonio por las arcillas	14
3.2.4.2.6 Extracción de las cosechas	14
3.2.5 Mineralización	14
3.2.6 Estimación del Nitrógeno	17
3.3 El cultivo del maíz	21
IV MATERIALES Y METODOS	24
4.1 Localización del área de estudio	24
4.2 Clima	24
4.3 Geología	26
4.4 Suelo	26
4.5 Historia de uso del sitio experimental	27
4.6 Unidad Experimental	28
4.6.1 Descripción	28
4.6.2 Manejo	28

4.6.3 Tratamientos	30
4.7 Muestreo de campo	31
4.8 Análisis de Laboratorio	31
4.9 Cálculo de N proveniente de la fracción lábil (NoL) y su tasa de mineralización (K_1)	32
4.10 Cálculo del N proveniente de la fracción estabilizada (NoE) y su tasa de mineralización (K_2)	33
4.11 Análisis de plantas	34
V RESULTADOS Y DISCUSION	36
5.1 Mineralización del Nitrógeno potencialmente mineralizable (No)	36
5.1.1 Producción y comportamiento del Amonio y Nitrato	44
5.1.2 Nitrógeno potencialmente mineralizable (NoL) proveniente de la fracción lábil	51
5.1.3 Nitrógeno potencialmente mineralizable (NoE) proveniente de la fracción estabilizada	52
5.1.4 Tasas de mineralización de las fracciones lábil (K_1) y resistente (K_2)	53
5.2 Absorción de N por la planta	55
VI CONCLUSIONES	58
VII RECOMENDACIONES	59
VIII BIBLIOGRAFIA	60
ANEXO	67

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Nitrógeno potencialmente mineralizable y mineralizado con sus respectivas tasas de mineralización y R^2 .	54
Tabla 2. Porcentajes de C, N y su respectiva relación (calidad del residuo)	55
Tabla 3 Cantidad de materia fresca y seca de cada residuo, incorporado al suelo.	55

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización de la finca “El Plantel”.	25
Figura 2. Croquis de campo del cultivos en callejones de <i>G. sepium</i> y <i>L. leucocephala</i> .	29
Figura 3. Nitrógeno total mineralizado acumulado en el período de estudio.	36
Figura 4. Nitrógeno neto mineralizado acumulado a través de todo el período de estudio.	37
Figura 5. Variación en el porcentaje de saturación de humedad del suelo al momento del muestreo.	38
Figura 6. Comportamiento semanal del nitrógeno neto mineralizado con respecto a: A) Precipitaciones B) Temperatura y C) Evaporación.	39

Figura 7. Comportamiento semanal del nitrógeno neto mineralizado de cada tratamiento con respecto a la condición de humedad o grado de aireación.	41
Figura 8. Reflejo de las fluctuaciones de los datos meteorológicos de la estación de Masaya.	43
Figura 9. Comportamiento semanal del amonio y nitrato netos ante la condición de saturación de humedad de cada tratamiento.	46
Figura 10. Comportamiento del nitrógeno en la hoja de la planta días después de la siembra: A) acumulado en el tiempo y B)por período de muestreo.	56

INDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Historial de manejo del diseño experimental en “El Plantel”, desde su establecimiento hasta el año anterior a nuestro trabajo.	68
Anexo 2. Producción de biomasa (seca) de <i>Leucaena</i> y <i>Gliricidia</i> , de los arbustos plantados a 7.5 m entre hilera.	69
Anexo 3. Producción de biomasa de N-NH_4^+ y $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$ para todos los tratamientos sumados y acumulados a través de todo el período de estudio.	70
Anexo 4. Producción de N-NH_4^+ y $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$ netos por semana y acumulados (ppm) semanalmente a través de todo el período de estudio.	71
Anexo 5. Datos climáticos de la Estación Meteorológica de Masaya, acumulados semanalmente.	72
Anexo 6. Precipitación acumulada a lo largo del estudio y precipitaciones ocurridas días antes del muestreo.	72
Anexo 7. Registro del N-NH_4^+ y $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$ del estrato inferior del perfil del suelo, muestreado al inicio y final del período	

de estudio.	73
Anexo 8. Porcentaje de saturación de humedad del suelo a través de todo el período de muestreo.	73

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, con el objetivo de estudiar la mineralización del nitrógeno proveniente del mulch de las especies arbóreas en la época de primera, en un sistema de cultivo en callejones asociado con maíz (*Zea mays L.*). Los tratamientos consistieron en: 1- Monocultivo sin aplicación de ningún fertilizante y definido como control (MSF), 2- Monocultivo con aplicación de fertilizante químico (MCF), 3- *Zea mays* asociado con *Leucaena leucocephala*; la biomasa arbustiva (hojas) fue incorporada al suelo (ML) y 4- *Zea mays* asociado con *Gliricidia sepium*, el manejo fue el mismo que las parcelas con *Leucaena* (MG).

El nitrógeno disponible estuvo representado por el nitrógeno orgánico; el cual fue influenciado por el nitrógeno aportado por las enmiendas, y el nitrógeno remanente, productos del historial de manejo. La mineralización neta acumulada del N para cada tratamiento en todo el período de estudio fue: 156.55, 272.02 y 141.91 (ppm) para el MCF, el ML y el MG respectivamente. Inicialmente todos los tratamientos excepto el MCF siguieron una tendencia ascendente producto de una rápida liberación del nitrógeno fácilmente mineralizable (NoL) de las enmiendas aplicadas y luego atraviesan una fase más estable como consecuencia de la estabilidad de los residuos del material incorporado (NoE). Los valores de NoL fueron: 20.96, 172.56 y 82.43 (ppm), y los valores de NoE 149.23, 105.31 y 59.99 (ppm) para el MCF, el ML y el MG respectivamente. Las tasas de mineralización para la fracción lábil (K_1) fueron: -6.37, -178.72 y -87.18, y para la fracción estable (K_2) -0.167, -0.231 y -0.219 para los tratamientos MCF, ML y MG respectivamente. Tanto los valores de NoL y NoE como las tasas de K_1 y K_2 fueron influenciadas por un lado por la cantidad y calidad del material incorporado, y por la temperatura que se mantuvo constante casi a través de todo el período de estudio, lo que pudo haber disminuido la evaporación y mantener niveles de humedad satisfactorios que favorecieron la mineralización.

I. INTRODUCCIÓN

La necesidad cada vez más apremiante de proveer alimentos a una población que crece constantemente y por otro lado, el aumento progresivo de la degradación de los suelos, obliga a pensar en el aprovechamiento intensivo del recurso suelo, sobre todo para aquellos productores donde las áreas disponibles para la agricultura son limitadas.

El hombre en su búsqueda constante de soluciones para frenar la destrucción de los recursos naturales del mundo ha generado diferentes alternativas que integran el componente arbóreo con otros de índole agrícola o pecuario. Estas alternativas, que se denominan sistemas agroforestales incluyen un conjunto de técnicas de uso de la tierra que implican la combinación de árboles con cultivos.

En Nicaragua se han hecho estudios en sistemas agroforestales donde se ha evaluado para el componente arbóreo aspectos relacionados con producción de biomasa bajo diferentes sistemas de manejo de podas, densidades de plantación y arreglos espaciales entre callejones, así como también la producción del cultivo asociado. Sin embargo, no se ha hecho ningún estudio acerca de la tasa de mineralización del nitrógeno proveniente de mulch o material incorporado.

En el presente trabajo se estudió las formas (nitricas y amoniacales) del Nitrógeno proveniente del mulch incorporado de *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*; en un sistema de cultivo en callejones en la finca "El Plantel", con siete años de haberse establecido. Evaluándose anteriormente parámetros como: producción de biomasa, rendimiento entre otros.

En nuestra condición particular se determinaron las formas de N provenientes tanto de la fracción lábil como estabilizada, así como las tasas de mineralización del Nitrógeno, de manera que de ambas fracciones se pueda establecer tasas promedio de

mineralización validas para estas condiciones agroecológicas, mientras no cambien aspectos más influyentes.

Por tener el cultivo del maíz una gran demanda, por la población; repercute en un hecho verídico de dependencia nutricional de este grano; condición que nos hizo optar por este cultivo.

Tomando en cuenta todo lo anteriormente dicho y conociendo que el nitrógeno es el nutrimento que más limita el crecimiento y rendimiento de muchos cultivos, será razón suficiente para justificar el monitoreo de la dinámica del Nitrógeno.

I. OBJETIVOS

Objetivo General:

Monitorear la dinámica de las formas del Nitrógeno disponible, proveniente de la mineralización de la biomasa (hojas) incorporadas en el suelo de *Gliricidia sepium* (Jacq) Walps. y *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit en un sistema de cultivos en callejones en asocio con *Zea may* (L).

Objetivos Específicos:

- Monitorear las formas amoniacales, nítricas y totales del nitrógeno proveniente de la mineralización.
- Observar la relación entre la mineralización del material y el porcentaje de saturación de la humedad del suelo.
- Proponer una tasa de mineralización del material orgánico fácilmente mineralizable (K1).
- Proponer una tasa de mineralización del material orgánico difícilmente mineralizable (K2).

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Sistemas de Cultivos en Callejones

Desde hace mucho, se han observado los atributos de las leguminosas, según Pérez (1966), los romanos ya en la época del renacimiento conocían la utilidad como abono, no solamente del estiércol, sino también de las cenizas, de la cal (CO_3Ca), y del yeso (SO_4Ca) y también de la palomina. Por ese mismo tiempo, en las erupciones del Vesubio (donde las cenizas contienen 10 veces más fósforo y potasio que los suelos) sembraban altramuz y después de florecer lo enterraban o sea, que estas cenizas contenían fósforo y potasio faltándoles sólo el nitrógeno, el cual era asimilado del aire por las nudosidades de las raíces del altramuz, permitiéndoles recibir buenas cosechas.

El aumento de la población y el desarrollo de una agricultura más sedentaria ha conducido a acortar los periodos de barbecho, provocando una rápida disminución de la fertilidad del suelo y el rendimiento del cultivo. Con el fin de restablecer la fertilidad del suelo estas áreas requieren sistemas de cultivos basados en el uso de especies leguminosas (Altieri., 1997).

Los sistemas de producción agroforestales se definen como una serie de sistemas y tecnologías del uso de la tierra en las que se combinan árboles con cultivos agrícolas y/o pastos, en función del tiempo y espacio para incrementar y optimizar la producción en forma sostenida (Fassbender, 1993).

Los cultivos en callejones constituyen una práctica de gran potencial dentro de este grupo; ese tipo de sistema agroforestal simultáneo fue desarrollado en Nigeria y consiste en la asociación de árboles o arbustos (generalmente fijadores de nitrógeno) intercalados en

franjas con cultivos anuales. Los árboles o arbustos se podan periódicamente para evitar que se produzca sombra sobre los cultivos y para utilizar los

residuos de la poda como abono verde para mejorar la fertilidad del suelo y como forraje de alta calidad. Un beneficio adicional es el control de malezas (Montagnini et al., 1992).

3.1.1 Producción de Biomasa y nutrientes:

En Nigeria desarrollaron un sistema de cultivo en callejones, en el que los cultivos crecen en callejones (de cuatro metros de ancho) constituidos por árboles o arbustos. Las pruebas en que se intercaló *Leucaena leucocephala* con maíz mostraron aumentos sustanciales en la producción del cultivo (Wilson y Kang, 1981), citado por Altieri (1997).

Un seto bien establecido de *Leucaena* puede producir de 15 a 20 toneladas de material fresco de poda (5 a 6.5 toneladas de materia seca) por hectárea cinco veces al año. Tres podas produjeron más de 160 kg. de nitrógeno, 15 kg. de fósforo, 150 kg. de potasio, 40 kg. de calcio y 154 kg. de magnesio por hectárea por año (Altieri, 1997).

En Ibadan, Nigeria, en una poda de *G. sepium* (5000 arb. ha⁻¹) después de 2 años se encontraron valores de 126 kg. ha⁻¹ de N, 8 kg. ha⁻¹ de P y 86 kg. ha⁻¹ de K; en podas semestrales realizadas posteriormente la cantidad de nutrimentos fue significativamente mayor o menor (Yamoah et al., 1986b).

Sobre suelos Alfisol y con 1250 mm de precipitación media anual, el primer corte de setos de *Gliricidia*, después de dos años, plantados a 0.5 x 4.0 m, aportó el 71% del nitrógeno total requerido por el cultivo de maíz, comparado con el 26% aportado por *Flemingia congesta* y 77% por *Cassia siamea*. El 29% de nitrógeno faltante es posible suplirlo con la segunda poda del seto, 66 días después de plantado el maíz, aunque puede requerirse de suplementación adicional de Nitrógeno (Yamoah et al., 1986a).

El espaciamiento recomendado en África Occidental es de 4 m. entre hileras y de 10-50cm entre plantas dentro de las hileras, se recomienda siembra directa. *Gliricidia* se poda antes de sembrar el cultivo, con 1-2 podas adicionales durante el ciclo del cultivo. Este sistema puede producir entre 1000 y 3000 kg. por poda (peso seco) durante el ciclo del cultivo (Winrock I, 1995).

En un ensayo de cultivos en callejones en Turrialba Costa Rica con una densidad de 3333 árboles ha^{-1} , se obtuvo durante las podas semestrales un promedio de 6 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{poda}^{-1}$. Considerando las dos podas por año el rendimiento se duplicaría en promedio a 12 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ (Kass et al., 1989), citado por Escobar (1990).

La leguminosa *E. poeppigiana* tiene una alta capacidad de producción de follaje. Bajo condiciones de Turrialba Costa Rica, produjo hasta 18.5 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ de materia seca con una densidad de 280 árboles ha^{-1} en asocio con árboles de café (Ruso y Budopwki, 1986), citado por Escobar, (1990).

Escobar (1990) en un cultivo en callejones de *Gliricidia* con 7 años de haberse establecido. Sembrándose los árboles a través de estacas de 60 cm. de longitud a una distancia de 6 m. entre franjas y 0.5m. entre árboles, dando origen a 3333 árboles por hectárea; la poda produjo el equivalente de 17000kg. ha^{-1} de ramas y hojas frescas.

En la finca "El Plantel", Masaya, en un cultivo en callejones con tres años de haberse establecido se estudio la producción de biomasa foliar de *Leucaena* y *Gliricidia* asociada con maíz. Con distancias de 7.5 y 3.5 entre franjas y 0.5m. entre árboles para ambas leguminosas; con tres dosis de nitrógeno 0, 27 , 54 kg/ha.

Los análisis de varianzas indicaron diferencias altamente significativas entre sistemas y ninguna diferencia debido al fertilizante. Dentro del sistema se encontraron

diferencias altamente significativas entre *Leucaena* (1825 kg/ha) y *Gliricidia* (949.4 kg/ha). En igual forma se detectaron diferencias altamente significativas por efecto de las distancias de siembra tanto en *Gliricidia*, como en *Leucaena*, en ambos casos las mayores producciones se obtuvieron para el distanciamiento a 3.75 m (Escuela de Ciencias Forestales, 1993).

3.2 Nitrógeno

3.2.1 El nitrógeno en el Universo

Durante los primeros 1000 millones de años de historia de la tierra, del interior de la misma fue liberado a la atmósfera una gran cantidad de nitrógeno reducido. Luego evolucionaron plantas verdes que produjeron oxígeno y los microorganismos oxidaron el nitrógeno a N_2 gaseoso, formándose una atmósfera similar a la que existe ahora. En la actualidad la atmósfera contiene más del 99% del nitrógeno que al presente interviene en el ciclo del nitrógeno en la tierra. Desde la formación de la atmósfera moderna, ha habido la tendencia a que exista un ciclo del nitrógeno, consistente en un equilibrio entre el nitrógeno de la atmósfera y el que se encuentra en los suelos y los océanos (Foth, 1987).

En la atmósfera terrestre, o disuelta en los océanos, existe naturalmente una gran cantidad de nitrógeno elemental en forma gaseosa, como también en los suelos o en ciertas rocas terrestre o marinas, pero las plantas y animales no pueden, por sí mismas utilizar este nitrógeno que por consiguiente está siempre presente, aunque no utilizado en los espacios aéreos de los tejidos de las plantas; análogamente los animales inhalan el aire y rechazan el nitrógeno.

El nitrógeno, tal como se encuentra en los ácidos nucleicos con las proteínas en la clorofila, es el elemento más importante para toda las formas de vida; por consiguiente,

ninguna bacteria, hongo planta verde o animal de cualquier tipo puede crecer o funcionar sino capta nitrógeno de manera aceptable.

Casi todos los organismos utilizan el nitrógeno únicamente en sus formas combinadas: las plantas verdes crecen bien si se suministra a sus raíces nitratos o sales amoniacas, que en condiciones naturales pueden obtener usualmente de la tierra o bien del agua si son plantas acuáticas (FAO, 1985).

3.2.2 El Ciclo del nitrógeno

El ciclo del nitrógeno en el suelo representa solamente una parte del ciclo total del nitrógeno en la naturaleza. La disponibilidad de este elemento es de gran importancia para las plantas, las que absorben nitratos y amonio que utilizan en la síntesis de proteína y otros compuestos orgánicos vegetales. Tanto el hombre como los animales aprovechan en su nutrición los productos nitrogenados vegetales. Cuando los restos de animales y vegetales vuelven al suelo son objeto de numerosos procesos de transformación en su mayoría de carácter biológico. A través de los procesos microbianos de fijación de N. se produce un enriquecimiento en el suelo. Todos estos procesos dinámicos conllevan una serie de transformaciones de los compuestos nitrogenados en los suelos. Así resultó que el contenido y las formas del nitrógeno en el suelo no presentan una naturaleza estática, sino más bien dinámica. Sin embargo, las reservas de nitrógeno existentes en la biosfera son pequeñas en relación con las presente en la litosfera e hidrosfera (Fassbender, 1987).

3.2.3 Nitrógeno en el suelo

En los suelos de área con clima tropical, el contenido de nitrógeno varía ampliamente entre 0.02% y 0.4%, con valores muy altos en los suelos desérticos y semidesérticos; en caso extremos, como en los suelos muy ricos en materia orgánica, puede llegar hasta el dos por ciento (Fassbender, 1987).

Según Morales (1987) el nitrógeno se encuentra en el suelo en dos formas:

- 1) nitrógeno orgánico
- 2) nitrógeno mineral

3.2.3.1 Nitrógeno orgánico:

Este nitrógeno está contenido en:

- a) la descomposición de los residuos vegetales y animales, que es aproximadamente el 95% del nitrógeno orgánico.
- b) el humus que es aproximadamente el 5% del nitrógeno orgánico.

3.2.3.2 Nitrógeno mineral:

En las uniones minerales del nitrógeno en el suelo habitualmente están presentes las sales amoniacales y los nitratos. El contenido general de nitrógeno mineral en el suelo varía en límites muy amplios, de 0.1 - 5% del contenido total de nitrógeno.

Fassbender (1987) agrupó las formas de nitrógeno orgánico e inorgánico presentes en los suelos esquemáticamente así:

	Proteínico
N-orgánico	Nucleico
	Azúcares aminados
	Otros
N-Total	
	NH_4^+ nativo fijo
N-inorgánico	NH_4^+ intercambiable
	NO_3^- y otro N-mineralizado

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. El gaseoso en la atmósfera del suelo (Barber, 1984), citado por García, (1993).

Las formas inorgánicas del nitrógeno del suelo incluyen NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , N_2O , NO , y nitrógeno elemental que es claro, está inerte excepto para su utilización por Rhizobia. Se cree también que existe hidroxilamina (NH_2OH) pero aún su dinámica en el suelo no ha sido bien estudiada.

Desde el punto de vista de la fertilidad del suelo las formas NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- son de mayor importancia; el óxido nitroso y el óxido nítrico también son importante en un camino negativo, porque representan formas de nitrógeno que se pierden por desnitrificación y no son utilizadas por el cultivo (Tisdale y Nelson, 1988).

3.2.4 Flujos de nitrógeno

Las adiciones de nitrógeno al suelo se originan de la lluvia, polvo, fijación asimbiótica, fijación simbiótica y desechos animales y humanos. Las pérdidas de nitrógeno del suelo se deben a volatilización, lixiviación, desnitrificación, erosión y absorción por las plantas (Sánchez, 1981)

3.2.4.1 Ganancia de nitrógeno

3.2.4.1.1 Nitrógeno en la lluvia y en el polvo

Estas fuentes contribuyen anualmente con un promedio de 4-8 kg/ha de N, sin embargo, los niveles más altos se han registrado en las áreas tropicales, debido tal vez a la intensa actividad eléctrica durante los aguaceros (Sánchez, 1981). Muchos investigadores plantean, por las valoraciones realizadas, que el ingreso de nitrógeno por esta forma varía 2-12 kg./ha al año. Este ingreso es una fuente insignificante de nitrógeno en el suelo. El nitrógeno incorporado de esta forma tuvo gran importancia en las etapas iniciales de la formación del suelo, ya que las rocas, magmáticas no contienen nitrógeno y en las rocas sedimentaria ya se encuentran muy pequeñas cantidades de este elemento, ingresado exclusivamente por las precipitaciones atmosféricas, esta pequeña reserva es lo que estimula el comienzo de la formación del suelo (Morales, 1987).

3.2.4.1.2 Fijación asimbiótica de nitrógeno

Se sabe que la fijación asimbiótica del nitrógeno ocurre en la filosfera (follaje), en la hojarasca, en el suelo y en la rizósfera. El nitrógeno atmosférico es fijado por grandes poblaciones de *Azotobacter* y *Beijerinckia* ssp. en las láminas foliares de muchas especies tropicales. La contribución anual de este proceso va de 0 a 8 Kg N/ha. En bosques pluviales puede suplir hasta 40 kg/ha de N. (Sánchez, 1981). En las tierras de labor esto es de importancia relativa, dado que la cantidad de nitrógeno que aporta es muy pequeña, aproximadamente 11 kg/ha anuales si el pH está entre 6 y 8, cuando más unos 23 kg/ha anuales (Teuscher y Adler, 1987).

3.2.4.1.3 Fijación simbiótica:

Al igual que en la región templada, la fijación simbiótica de nitrógeno es el mecanismo principal de las adiciones de nitrógeno en los trópicos. La magnitud de este fenómeno depende de la cantidad de especies de leguminosas. La fijación simbiótica de nitrógeno es de poca importancia en campos cultivados a menos que haya una leguminosa presente (Sánchez, 1981). La mayoría de las especies de leguminosas que se han examinado son conocida como capaces de generar nódulos en sus raíces; unos cuantos parece que no los forman. Algunas no leguminosas poseen nódulos semejantes a los de la leguminosas y fijan nitrógeno simbioticamente; poco se conoce a cerca de los microorganismos en los nódulos de estas últimas, pero si que no son miembros del género *Rhizobium* como en las primeras (Arzola et al., 1986).

Poblaciones de una sola leguminosa contribuyen de 16 a más de 500 kg/ha de N por año (Henzell y Norris, 1962), citado por Sánchez (1981). Sin embargo, en muchos casos la fijación de nitrógeno por leguminosas es sustancialmente más bajo de lo esperado (Sánchez, 1981).

Según Dommerges (1987) citado por Escobar (1990), estimados realizados para *E. poeppigiana* y *G. sepium* indican valores de 60 y 13 kg.ha⁻¹. año⁻¹ respectivamente. En algunos estudios se ha encontrado que *G. Sepium* tiene una alta capacidad de nodulación y de acumulación de Nitrógeno en las raíces en comparación con otras leguminosas como *Leucaena leucocephala*. Este aspecto puede ser importante en el suministro de N al cultivo asociado, cuando los nódulos del árbol senescen (Escobar, 1990).

3.2.4.1.4 Suministro de N inorgánico

Fox et al. (1974) , informó que algunos Oxisoles y Ultisoles de Puerto Rico contenían más de 269 kg/ha de nitrógeno en sus perfiles después de muchos años de fertilización continua, esto como resultado de que todo el nitrógeno en exceso no se haya perdido completamente

por lixiviación o desnitrificación, y a la baja recuperación de nitrógeno por el cultivo, este efecto residual pudo haber sido mayor de haberse incorporado el rastrojo antes que ser removido de la parcela

3.2.4.2 Pérdidas de nitrógeno

3.2.4.2.1 Lixiviación

La mayor parte del nitrógeno mineral perdido por lavado es en la forma de nitrato, porque los iones amonio se retienen por los coloides del suelo. Estas pérdidas ocurren más en suelos de textura gruesa, que en los de textura fina. También son mayores en los suelos desnudos que en los cubiertos por vegetación, a causa de la ausencia de plantas que absorban nitrato y agua. Las pérdidas por lavado son de importancia en las épocas de mucha lluvia y en suelos muy ligeros (Arzola et al., 1986).

3.2.4.2.2 Desnitrificación

Bajo ciertas condiciones de anaerobiosis algunas bacterias utilizan el oxígeno de los nitratos para sus propias oxidaciones, dando lugar a una reducción de esos nitratos, proceso que recibe el nombre de desnitrificación. El resultado final de la reducción es la formación de nitrógeno molecular, que escapa a la atmósfera y de otros productos gaseosos intermedios (N_2O , NO) que también se pierden en la atmósfera (Fuentes, 1989).

3.2.4.2.3 Volatilización del amoníaco

Una parte más o menos importante de nitrógeno amoniacal se pierde por volatilización del amoníaco bajo ciertas condiciones: temperatura muy elevadas y suelos alcalinos mal aireados (Fuentes, 1989).

3.2.4.2.4 Erosión

Como consecuencia de la concentración del nitrógeno, total y mineralizable en la parte superior del perfil del suelo, el nitrógeno que resulta absorbido por las plantas se origina principalmente en esa zona, de ahí que las pérdidas por erosión de suelo superficial tengan consecuencias significativas respecto a la asimilabilidad de este elemento para el vegetal (Arzola et al., 1986).

3.2.4.2.5 Fijación del amonio por las arcillas

El ión amonio puede ser fijado en el entramado de algunas arcillas tipo 2:1 quedando inaccesible para las plantas durante largos periodos de tiempo (Fuentes, 1989).

3.2.4.2.6 Extracción de las cosechas

La cantidad de nitrógeno extraído por los cultivos depende de la planta cultivada y del rendimiento de las cosechas, pudiendo oscilar en el año entre 50 - 250 kg/ha. En el cultivo de leguminosas el balance de nitrógeno extraído y aportado puede ser favorable a las aportaciones (Fuentes, 1989).

3.2.5 Mineralización

Según Fassbender (1986) 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 NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- . En el proceso de mineralización toman parte los microorganismos del suelo y son de gran importancia por su papel en la descomposición del nitrógeno orgánico del suelo en compuestos inorgánicos, llamadas "mineralización" consiste de tres etapas: 1- aminización, que es la transformación de

proteínas en aminas, 2- amonificación, la transformación de aminas en amonio (NH_4^+) y 3- nitrificación, la transformación de amonio en nitrato (NO_3^-) con una etapa intermedia corta de formación de nitrito NO_2^- (Sánchez, 1981).

La degradación de la materia orgánica por los procesos hidrolíticos, debido a la humedad, a los ácidos y bases del suelo y a la enzimas de su flora y fauna, puede liberar amoniaco; pero la acción degradativa más importante se debe a las bacterias anaerobias, que reducen el N orgánico a NH_3 , el cual se une a los iones H^+ para dar iones NH_4^+ (Primo, 1981).

El amoniaco liberado en la amonificación se oxida rápidamente a nitrato cuando las condiciones del medio son favorables a las bacterias nitrificantes, responsables de estas transformaciones. El proceso se realiza en dos etapas:

- Nitrificación: el amoniaco es oxidado a nitrito por las nitroso bacterias (Nitrosomonas). En la reacción se libera H^+ , lo que explica una cierta acidificación del suelo en la capa superficial cuando se utilizan reiteradamente abonos amoniacales.
- Nitratación.: Los nitritos son oxidados a nitratos por las nitrobacterias (Nitrobacter). Las bacterias nitrificantes son aeróbias, muy sensibles a los agentes externos y proliferan en todos los suelos, excepto en los excesivamente ácidos (Fuentes, 1989).

Tanto el amoniaco como el nitrato son formas de nitrógeno disponibles para las raíces y los microorganismos y su empleo resulta en la conversión de formas minerales de nitrógeno en formas orgánicas. Ese proceso es llamado inmovilización. El nitrógeno inmovilizado está "seguro" en el suelo y sujeto a circulación repetida a través de subciclo de nitrógeno en el suelo que comprende mineralización, nitrificación e inmovilización (Foth, 1987).

Según Sánchez (1981), las tasas de mineralización del nitrógeno dependen de la temperatura, la relación C/N, el pH del suelo, la mineralogía de las arcillas y de la humedad.

En los trópicos la temperatura pocas veces es limitante en las tierras bajas. En los suelos con niveles altos de bases las cantidades totales mineralizadas con frecuencia depende del contenido total de nitrógeno, excepto en los Andepts, en donde la mineralización del nitrógeno es inversamente proporcional al contenido de alófana. Quizás el factor dominante que más afecta las tasas de mineralización del nitrógeno en los trópicos es el contenido de humedad en el suelo.

El contenido de humedad convertido al porcentaje de saturación de humedad del suelo provee una medida biológica más importante del estado del agua que el contenido de agua gravimétrico o volumétrico; porque es un índice de ambos, humedad y grado de aereación (Linn y Doran, 1984).

Según Fuentes (1989) cuando la proporción de carbono con relación al nitrógeno es grande, una gran parte del nitrógeno transformado es utilizado por los microorganismos para sintetizar su propia proteína, con la cual hay poca producción de amoníaco. Para que se libere amoníaco es preciso que la relación C/N de la materia orgánica sea inferior a 20. Cuando dicha relación es mayor a 30 no se libera amoníaco o se libera muy poca cantidad.

Bajo un clima dado, la aptitud del suelo para el suministro de nitrógeno mineral a los cultivos depende evidentemente de la importancia de las reservas orgánicas, pero también de la profundidad y de la aireación del suelo, que condicionan la actividad microbiana y el volumen de la tierra explorada por las raíces (Gros, 1981).

Las cantidades liberadas de las reservas orgánicas (y en un cierto grado, de aquellas que permanecen como tales en el terreno tras la adición de amino o fertilizante a base de nitrato), depende del equilibrio que existe entre los factores que afectan a la mineralización del nitrógeno a la inmovilización y a las pérdidas del terreno (Tisdale y Nelson, 1988).

3.2.6 Estimación del nitrógeno:

Diversos métodos se han utilizado para evaluar la fertilidad del suelo, para predecir las necesidades de la planta y recomendar la clase y cantidad de fertilizantes a aplicar al suelo. Según Tamhane et al. (1979) citado por García (1993) el método ideal es el que mida el contenido de nutrimentos disponibles para la planta en un suelo en un momento dado y permita calcular a la vez, la capacidad del suelo de mantener un suministro continuo de nutrientes para el cultivo hasta la madurez.

Según Bray (1948) citado por Sánchez (1981) un método satisfactorio de laboratorio para análisis rutinario de suelos debe satisfacer tres criterios:

- a) Debe extraer todas las formas disponibles o una parte proporcional del nutrimento en Suelos con propiedades ampliamente diferentes.
- b) El procedimiento debe ser rápido y preciso
- c) Las cantidades extraídas deben estar correlacionadas con el crecimiento y respuesta de cada cultivo bajo diversas condiciones.

Bartholomew (1972) citado por Sánchez (1981) clasificó las pruebas de suelo para nitrógeno en tres categorías:

- 1) Determinación del nitrógeno orgánico o una fracción de nitrógeno extraído químicamente, incluyendo materia orgánica como indicadora de nitrógeno orgánico.
- 2) Método de incubación para evaluar las tasas de mineralización
- 3) Medición directa del nitrógeno inorgánico.

Normalmente el nitrógeno total y el carbono orgánico del suelo están mal correlacionadas con la respuesta al nitrógeno en el campo, sin embargo a falta de un método mejor, muchos laboratorios usan estas mediciones para suministrar información a los agricultores.

Los métodos de la segunda categoría consisten en la incubación de un número grande de muestras bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas y midiendo la tasa de mineralización, calcula el contenido de nitrógeno inorgánico antes y después de la incubación. Las tasas de mineralización reflejan con mayor aproximación la disponibilidad de nitrógeno de la materia orgánica del suelo que ningún otro análisis. Estos métodos aunque consumen demasiado tiempo para análisis de rutina, son sin embargo excelentes herramientas de investigación.

Los métodos que evalúan el nitrógeno inorgánico directamente han resultado satisfactorios en áreas con baja precipitación pluvial cuando el muestreo se hace en fechas definidas. De acuerdo con Bartholomew (1972), citado por Sánchez (1981), estos métodos son útiles en suelos altos en materia orgánica y en campos irrigados en los que se acumula el nitrógeno inorgánico. Lathwell et al. (1972) citado por Sánchez (1981) intentaron su aplicación bajo condiciones tropicales, húmedas; tuvieron éxito en correlacionar el nitrógeno orgánico extraído por 0.01M CaCl₂ con la absorción del cultivo a nivel de invernadero.

Según Flowers y Bremner (1991) citados por García (1993) afirman que el 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.

La materia orgánica del suelo se incluye en los análisis rutinarios como índice del N potencialmente mineralizable, pero su valor es relativo ya que la mineralización depende de la naturaleza y calidad de los residuos (Etchevers, 1971), citado por García (1993).

Quemada y Cabrera (1995) usaron un procedimiento de regresión lineal múltiple en un intento por identificar las características de los residuos que mejor predicen la mineralización del N. Las variables consideradas fueron contenido de N (valor actual, raíz cuadrada del contenido de N, y el correspondiente contenido de N), relación C/N, contenido de lignina,

relación lignina/N, contenidos de celulosa y hemicelulosa, porcentaje de C soluble, y detergente ácido de fibra.

Los mejores predictores para el N mineralizado, N remanente al final del experimento, y N_o (nitrógeno potencialmente mineralizable) de los residuos de cultivos fueron la relación C/N y la correspondiente concentración de N de los residuos.

Según Gros (1981), el empleo de nitrógeno marcado llamado nitrógeno 15, ha permitido conocer mejor los movimientos del nitrógeno en la fase de mineralización y reorganización.

Bremner (1965); Waring y Bremner (1964), citados por Escobar (1990), estimando N mediante incubación aeróbica y anaeróbica respectivamente, encontraron buena correlación entre el N mineralizado con el rendimiento y el nitrógeno asimilado por las plantas de Maíz en condiciones de campo (Cornforth, 1968), citado por Escobar (1990).

Según Waring y Bremner (1964) citados por Keeney (1982), se mineraliza más N en un periodo dado bajo la condición anaeróbica que la aeróbica.

Según Escobar (1990) los dos métodos aportan solamente un índice de la cantidad de N potencialmente mineralizable y disponible para las plantas a partir de las reservas orgánicas del suelo, lo cual no necesariamente refleja el N realmente disponible in situ.

Holmes y Zak (1994) realizaron estudios sobre la dinámica de la biomasa microbial usando un método de incubación in situ, sugiriendo que este podría no reflejar la dinámica actual de la población microbial. Efectos tales como destrucción de raíces desarrolladas, consumo de C orgánica a través de la muerte de raíces finas y la interrupción de alternativas condiciones de humedad y sequedad, podrían influenciar diversamente la biomasa microbial a través de la estación de crecimiento.

Existen diversos métodos de incubación in situ (Hook y Burke, 1995), incluso, métodos con modificaciones que facilitan el cambio de aire y agua entre el suelo dentro de la columna y el suelo fuera de la columna (Dou et al., 1997). Sin embargo, dado que la biomasa microbial juega su mejor papel en la regulación de la disponibilidad del N, las sugerencias descritas arriba podrían ser válidas para la mineralización del Nitrógeno (Holmes y Zak, 1994).

Según Stanford et al. (1977) citado por Keeney (1982) indicó que en cultivos manejados cuidadosamente tales como la remolacha y en climas donde el exceso de precipitación normalmente no ocurre, las necesidades del cultivo pueden ser predichas cercanamente utilizando el N residual y considerando el efecto de las variables ambientales (suelo, temperatura y el contenido de agua) en la tasa de el N mineralizado. Más difícil probablemente será la experiencia usando esta aproximación en áreas en donde el clima, los suelos y el manejo de los cultivos son más variables.

Una forma de obtener un mejor índice de la disponibilidad de N en el suelo es midiendo conjuntamente el nitrógeno residual del suelo y el nitrógeno mineralizable.

Estas dos variables asociadas a la cantidad de N aplicada sirvieron para explicar en forma muy satisfactoria el efecto del N disponible con el rendimiento potencial de raíces de remolacha (Carter et al., 1974).

No obstante, las recomendaciones para las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados son necesariamente imprecisas. Principalmente, estas recomendaciones requieren decisiones justas basadas en experiencias pasadas con ensayos de campo replicados combinados con un balance de masa aproximada [(necesidad del N del cultivo más pérdidas) menos (N inorgánico residual en el perfil, si las áreas son de precipitación baja), el N del residuo y el del material orgánico del suelo], con el nivel de manejo y eficiencia del N encontrado indirectamente (Stanford, 1973), citado por Keeney (1982).

Según Dou et al.(1997), la diferencia en concentración de NH_4^- y NO_3^- medidos al final e inicio de la incubación representa la mineralización neta del N para el periodo de estudio. Esta es simplemente una acumulación del N mineralizado para este intervalo de tiempo. Este procedimiento no considera la dinámica de la transformación de N durante la mineralización, es decir , las pérdidas del N mineralizado, incluyendo la volatilización y la desnitrificación.

Según Vigil y Kissel (1995) un estimado del tiempo de inmovilización por la mezcla de residuos y suelo puede ser determinado sustrayendo la cantidad de N mineralizado en el suelo no enmendado de la cantidad mineralizada en suelo enmendado con residuos. Esta sustracción también provee un estimado de la mineralización neta del N de solo los residuos agregados al cultivo.

3.3 El cultivo del maíz

El cultivo de maíz tiene importancia especial, dado que este cereal constituye la base de la alimentación de los latinoamericanos. Su origen no se ha podido establecer con precisión. Sin embargo, se puede afirmar que el maíz ya se cultivaba en América latina en la época precortesiana.

El maíz ocupa el tercer lugar en la producción mundial, después del trigo y el arroz. Se cultiva en una superficie total de 106 millones de hectáreas. Su rendimiento es de 215 millones de toneladas, lo que representa un promedio de dos toneladas por hectáreas.

Se adapta ampliamente a diversas condiciones ecológicas y geográficas, por eso se le cultiva en casi todo el mundo (Parsons,1991).

La importancia del nitrógeno en las plantas queda suficientemente probada, puesto que sabemos, participa en la composición de las más importantes sustancias orgánicas; estas sustancias sirven de base para la mayoría de los procesos que rigen el desarrollo, crecimiento y multiplicación de la planta, resulta evidente la importancia del nitrógeno en las funciones más características de la vida vegetal.

Un suministro adecuado de nitrógeno a la planta produce: rápido crecimiento, color verde intenso de las hojas, mejor calidad de las hojas y aumento del contenido de proteínas, aumento de la producción de hojas, frutos y semillas etc. (Morales, 1987).

La respuesta del maíz al nitrógeno es usualmente positiva, excepto en suelos recientemente incorporados a la agricultura, cuando la cantidad de nitrógeno inorgánico es alta o cuando problemas de acidez u otros nutrientes existen. La forma de la curva de respuesta de maíz a las aplicaciones de N o cualquier otro nutriente varía, además de los factores de suelo, la variedad, población de plantas y régimen de agua.

La deficiencia de N en los cultivos puede ser fácilmente percibida, pues esta produce un color verde pálido, que se intensifica en las hojas viejas y el crecimiento de la planta es reducido (Quintana, 1982).

Según Sánchez (1981) a pesar de la gran cantidad de investigaciones sobre la fertilización nitrogenada, la información acerca de los patrones de asimilación de nitrógeno por los principales cultivos tropicales es bastante limitado.

En casi todos los suelos y circunstancias, el fertilizante nitrogenado aumenta el rendimiento del maíz; los suelos pueden variar en la cantidad de nitrógeno que aporta al cultivo, a causa por ejemplo; del uso de abonos orgánicos y a los cultivos precedentes, pero la fluctuación de la variación es pequeña en relación con la gran cantidad de nitrógeno que necesita el cultivo de maíz (FAO, 1986).

Las recomendaciones locales sobre las cantidades deberán como siempre basarse en la experimentación local y en las condiciones vegetativas prevalecientes (FAO, 1986). Resultados de más de 100 ensayos de fertilización en maíz realizadas en Nicaragua mostraron una respuesta positiva a las aplicaciones de N en un 62% (Quintana, 1982).

Aparentemente el análisis de las plantas pudiera eliminar muchas inconvenientes que presenta el análisis del suelo, eligiéndose para ello la hoja por ser el órgano donde se realiza la fotosíntesis y se regula el trasiego de nutrientes. Sin embargo, el análisis foliar presenta también sus inconvenientes ya que el contenido de un determinado elemento en las hojas varía mucho a lo largo del ciclo vegetativo, de tal forma que un determinado valor puede significar normalidad o deficiencia, según el periodo que se considere. El método se complica si se tienen en cuenta, además las pequeñas diferencias existentes entre el estado normal y el patológico.

IV. Materiales y Métodos

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 (U.N.A). La finca está situada en el kilómetro 42 de la carretera Masaya-Tipitapa, en el Municipio de Zambrano, departamento de Masaya. Según Zelaya (1990), se encuentra aproximadamente entre los $12^{\circ} 06' 24''$ y los $12^{\circ} 07' 30''$, latitud norte y central los $86^{\circ} 04' 46''$ y los $86^{\circ} 05' 27''$ de longitud oeste. La superficie total de la finca es 186 hectáreas (Figura 1).

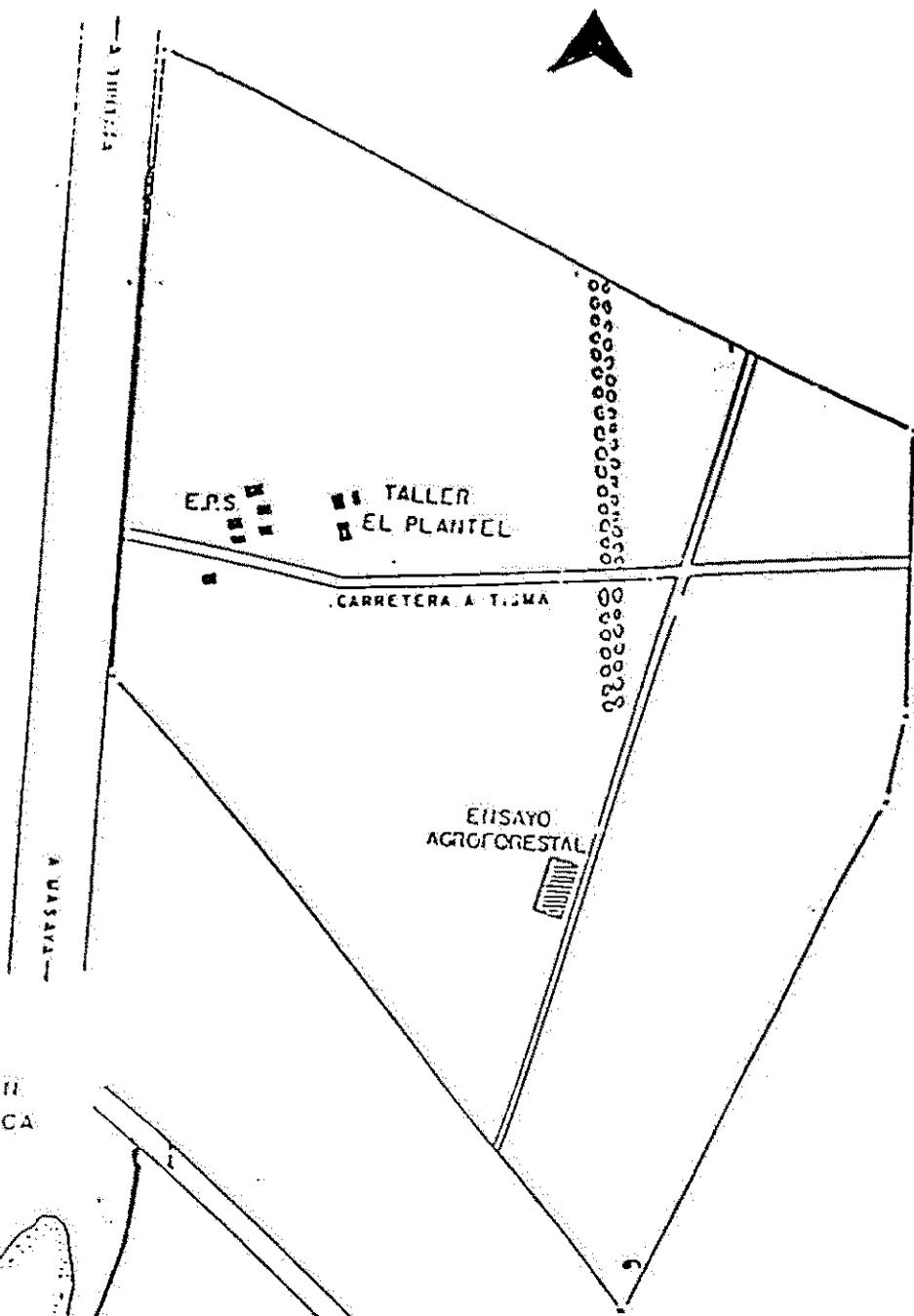
El ensayo ocupa un área total de 8570m^2 incluyendo los bordes, siendo el área total de cada parcela 405m^2 y un área útil por parcela de 135m^2 .

4.2 Clima

El sitio experimental tiene una elevación entre 98-110 msnm y corresponde a una transición entre bosque tropical moderadamente denso y seco y bosque tropical sub-húmedo (Holdridge, 1978), citado por López, (1990).

La temperatura media anual es de 26.61°C . y se muestra bastante uniforme durante todo el año. La época más calorosa del año es abril y mayo y las más frescas del año es en enero y febrero. Los meses con déficit de humedad son seis (noviembre - abril) y los otros seis (mayo - octubre) presentan un excedente de humedad (Zelaya, 1990). Según López (1990), las lluvias se distribuyen de mayo a noviembre, alcanzando una media anual de 1100mm. La humedad relativa media anual es de 70 %.

Fig. 1. Localización de la finca el Plantelel.



UBICACION GEOGRAFICA



CENTRO EXPERIMENTAL "EL PLANTEL"

ENSAYO AGROFORESTAL "CULTIVO EN CALLEJONES"

Fuente: López J. 1990

4.3 Geología

En la finca "El Plantel " se encuentran materiales geológicos como lavas de basalto, piroclastos consolidados y semiconsolidados (tobas), y depósitos aluviales recientes. Los piroclastos del cuaternario y los depósitos aluviales se encuentran sobrepuestos al basalto, así como cenizas finas y medias de erupciones volcánicas recientes que aparecen dentro de los perfiles de suelos con cierto grado de consolidación conocidos como "talpetate".

El talpetate está constituido fundamentalmente por partículas de vidrio basáltico, trozos de plagioclasas, fragmentos líticos basálticos, escasos piroxenos y minerales opacos.

Las tobas que se encuentran subyacentes al talpetate son de composición similar a éste, salvo que los tobas no presentan el grado de alteración del talpetate (Zelaya, 1990).

4.4 Suelo

Están ubicados en los declives muy ligeramente ondulados a ligeramente ondulados con pendientes entre 2 y 4% con presencia de capas endurecidas (talpetate) en el perfil que limitan moderadamente la penetración radicular de algunos cultivos anuales, con evidencia de erosión en surco moderada.

Son suelos moderadamente profundos (60 a 90 cm. de profundidad) con textura fina (arcillo limosa) en la superficie y moderadamente fina (franco arcillo limoso) en el subsuelo, la estructura es granular fuerte en la superficie y en bloques subangulares moderada en el subsuelo; la capa de talpetate tiene un espesor de 10 cm. es continua, pero fragmentada, presenta un buen drenaje.

Presenta un horizonte A mólico perturbado sobre la capa de talpetate. La saturación de bases es mayor del 50% y han sido clasificados como Udic-duric Haplustolls en el sistema taxonomía de suelos (USDA, 1975) y como Kastanozems haplico (kh) según la leyenda del mapa mundial de suelos (FAO-UNESCO, 1974), citados por Zelaya (1990).

4.5 Historia de uso del sitio experimental

Antes del establecimiento del presente ensayo, el sitio era utilizado para el cultivo del maíz en el periodo de junio-septiembre bajo un sistema de cultivos en callejones. Posteriormente el terreno se dejaba en periodo de descanso (barbecho) durante 6 meses (octubre-mayo); en este periodo predominaban las especies gramíneas.

El esparcimiento entre surco fue de 0.75 m y entre plantas de 0.20 m. Se establecieron las especies leguminosas arbóreas: *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* var. K-8.

El Anexo 1 presenta información acerca del manejo del sistema de cultivo en callejones de 1989-1995. Preparación del suelo, limpieza, aplicación de insecticidas y fertilización son entre otras su contenido.

El Anexo 2 contiene la producción de biomasa seca para el *Leucaena* y *Gliricidia* a 7.5 m de distanciamiento. Los niveles de fertilización aplicados a todo el experimento no son mostrados aquí, pero pueden obtenerse en cada uno de los trabajos realizados en el sitio experimental.

En 1994 y 1995 no se hizo ningún estudio, pero sí se realizó la poda de las especies arbóreas; el follaje proveniente de la poda se incorporó y después se realizó la siembra mientras los monocultivos no recibieron ninguna aplicación ni de mulch ni de fertilizante químico.

4.6 Unidad Experimental

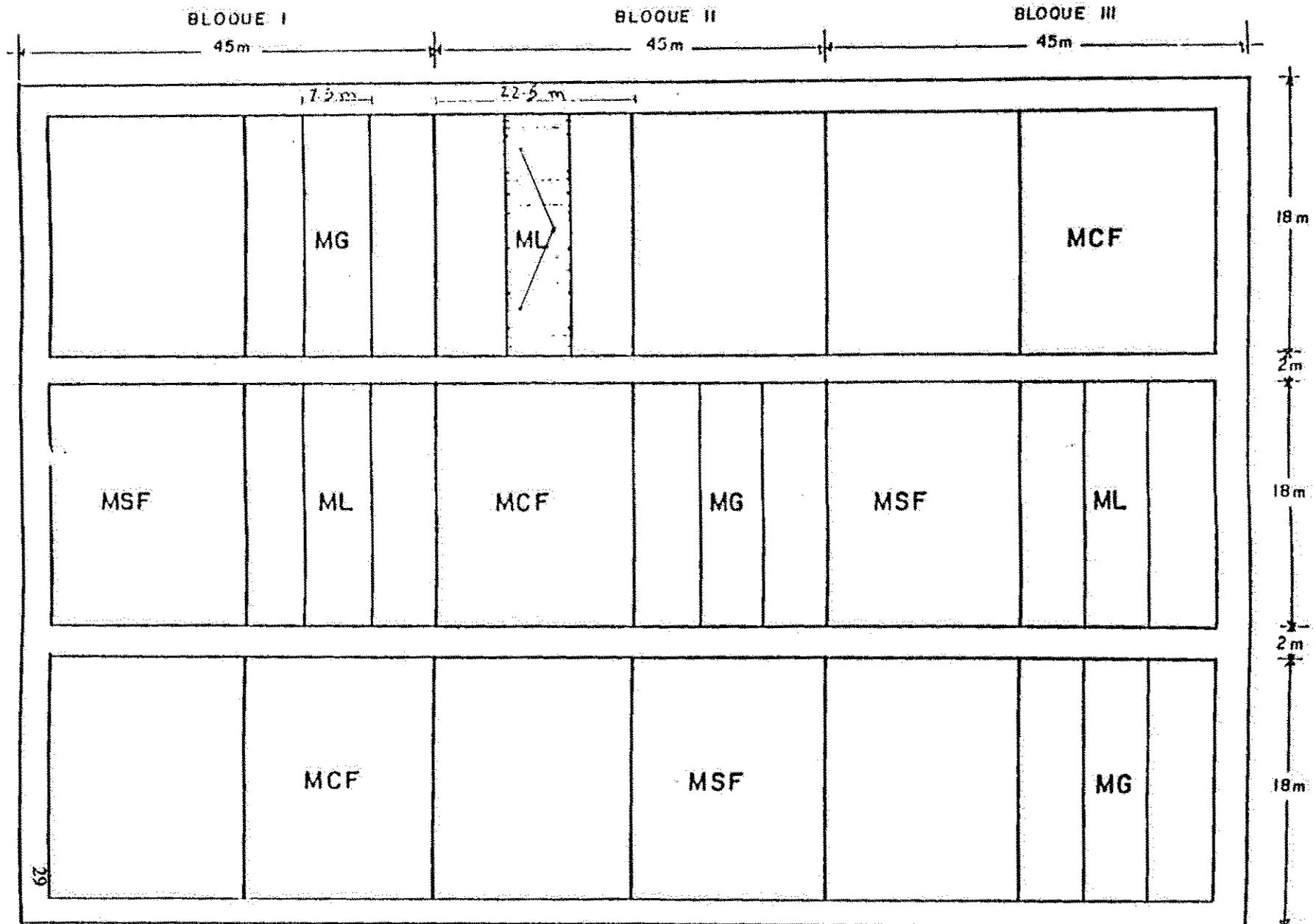
4.6.1 Descripción

En el presente trabajo se estudio la mineralización de la Biomasa proveniente de *Leucaena* y *Glericidia* en asocio con maíz entre callejones. Como unidades de ensayo se seleccionaron las parcelas distanciadas a 7.5 m entre callejones y 0.5 m entre plantas, para ambas especies ya que este distanciamiento producía los mejores rendimientos en los estudios anteriores, se seleccionaron además, dos parcelas manejadas como monocultivo, estas tenían un área de 405 m², se hicieron tres repeticiones para cada tratamiento con el propósito de obtener valores promedios adecuados (Figura 2). Se seleccionó como parcela útil la parte de en medio de cada parcela de esta manera se eliminaron los bordes. Cada parcela útil comprende 135 m². Es necesario aclarar que en nuestro estudio no se estableció ningún diseño, simplemente se seleccionaron áreas similares de manera que permitiera ver la producción de nitrógeno y que generara tres valores para la obtención de un valor promedio confiable..

4.6.2 Manejo

Del 25 - 27 de junio se llevó a cabo la preparación del suelo, con un pase de arado y uno de grada. En esta misma fecha también se realizó la poda e incorporación de las leguminosas *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium* , con un pase de grada liviana.

Figura 2. Croquis de campo del cultivo en callejones de *G. sepium* y *L. leucocephala*.



MCF * Maíz con fertilizante

ML * Maíz + Leucoena

MG * Maíz + Gliricidia

MSF * Maíz sin fertilizante



Después de la incorporación se realizó la siembra del maíz Var. NB-6 en forma manual a razón de dos semillas por golpe, con una distancia entre surco de 0.75 m y entre plantas de 0.20 m. obteniéndose nueve surcos por parcela útil. Posteriormente se raleó, dejando una planta por golpe y una densidad de 60,000 plantas ha⁻¹.

La limpieza o deshierba se realizó de forma manual (machete) a los 17 días después de la siembra (dds), luego se realizó el aporqué a los 26 dds y a la vez se incorporó el fertilizante destinado a la parcela con este tratamiento. La segunda deshierba se llevó a cabo a los 45 dds. La cosecha del grano se levantó a los 111 dds.

4.6.3 Tratamientos

- 1-MSF: Monocultivo sin aplicación de ningún fertilizante. Este tratamiento se definió como control, o simplemente N nativo del suelo.
- 2-MCF: Monocultivo con aplicación de fertilizante químico. Esta vez se fertilizó a los 26 dds aplicando:
- 90 kg. de N/ha
 - 45 kg de P₂O₅/ha
 - 10 kg de K₂O/ha

teniendo como fuentes: completo 12-30-10 y urea al 46%. Se fertilizaron tres repeticiones utilizando por parcela 6.075 kg. de Completo y 6.34 kg. de urea, lo que equivale a 150 y 156.54 kg/ha de completo y urea respectivamente.

- 3-ML: *Zea mays* asociado con *Leucaena leucocephala*. La biomasa (hojas) aplicada a la superficie y luego incorporada con grada.
- 4-MG: *Zea mays* asociado con *Gliricidia sepium*. El manejo fue el mismo que las parcelas con *Leucaena*.

4.7 Muestreo de campo

Los muestreos fueron realizados a las 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 14, y 16 semanas después de la siembra. Las muestras eran colectadas con un barreno de orejas y luego de homogenizarlas en un recipiente, eran empacadas en bolsas plásticas las que eran inmediatamente selladas y luego transportadas al laboratorio en donde se realizaron las extracciones de las formas de N a analizar.

4.8 Análisis de laboratorio

A las muestras de suelo (10g) se les removió el N soluble lavado con 100 ml de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.01M las que se colectaron para el análisis de N inorgánico. En una alícuota del extracto se determinó la concentración de NH_4^+ por arrastre de vapor en medio alcalinizado con óxido de magnesio (calcinado a 600-700 °C) y las de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ en la misma alícuota, reduciéndolos con aleación de Devarda.

El producto destilado se recibió en una solución de ácido bórico al 2 %, a la cual se le había agregado un indicador ácido-base y se valoraron por volumetría con H_2SO_4 0.005N.

El contenido de humedad fue determinado gravimétricamente de cada muestra (10g) colocada en un horno por 24 horas a 105 °C. y enfriada a temperatura ambiente por 30 minutos. Todas las concentraciones de N son expresadas en base a peso seco, además se mantuvo siempre a la par de cada proceso de destilado un blanco (sólo agua destilada, proveniente del mismo aparato condensador).

El contenido de humedad gravimétrico se convirtió a porcentaje de humedad de saturación del suelo = $(100) (\text{contenido gravimétrico de agua}) (\text{densidad aparente}) / \text{porosidad total del suelo}$ (Linn y Doran, 1984), y los datos físicos fueron extraídos de Rodríguez (1998).

Los cálculos de las cantidades de N como NH_4^+ ó $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ se realizaron mediante la siguiente fórmula:

$$\text{ppm N} = (\text{M}-\text{B}) \times (14) \times (\text{N}) \times (1/\text{P}) \times \text{Vi}/\text{A} \times (1000)$$

donde:

N = partes por millón de N

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

B = ml de ácido gastados en la titulación del blanco

14 = peso molecular del N

N = normalidad del H_2SO_4 utilizado para titular

Vi = volumen del extracto (ml)

A = alicuota destilada (ml)

P = peso seco de la muestra (g)

La mineralización neta de N para cada residuo o fertilizante químico fue calculada por:

(1) a la suma del NH_4^+ y $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ para cada semana y posterior acumulación, se le llamó total, (2) al contenido de N inorgánico del control (acumulados semanalmente o total) se le sustrajo del N inorgánico encontrado en los tratamientos, a lo que se le llamó mineralización neta del N para cada tratamiento.

El N potencialmente mineralizable de cada residuo o fertilizante nitrogenado (mineralización neta) se dividió en aquel fácilmente mineralizable asociado a la fracción lábil (NoL) y el asociado a la fracción resistente (NoE); para lo cual se llevó acabo un estudio estadístico basado en regresiones y ajustes de los datos obtenidos a distintas funciones.

La diferenciación entre la fracción lábil y estabilizada, se estableció con los siguientes criterios: a) Cambio de pendiente en la curva acumulada, b) los valores de R^2 que mostraran mejor ajuste entre el valor obtenido con la función y el obtenido en el laboratorio.

4.9 Cálculo de N proveniente de la fracción lábil (NoL) y su tasa de mineralización (K_1)

Se realizó ajustando la siguiente expresión hiperbólica a los datos de N mineralizado acumulado semanalmente (neta) correspondiente a las primeras seis semanas:

$$Y = \frac{A X - b}{X}$$

donde:

Y = al N proveniente de la fracción lábil mineralizado en el tiempo (X)

X = tiempo en semanas

A = N lábil potencialmente mineralizable (NoL).

b = La pendiente de la regresión y equivalente a la tasa de mineralización de la fracción lábil (K_1).

La tasa de mineralización (K_1) está representada por la pendiente de la función.

4.10 Cálculo del N proveniente de la fracción estabilizada (NoE) y su tasa de mineralización (K_2)

Como consecuencia del criterio para calcular el NoL, entonces la mineralización de la fracción resistente corresponderá al N mineralizado entre las semanas 6 y 16 del período de estudio.

De acuerdo a lo anterior y en vista de que la función exponencial siempre parte del origen, las semanas 6, 7, 8, 9, 11, 14 y 16 se hicieron iguales a las semanas 0, 1, 2, 3, 5, 8 y

10 para el proceso de mineralización de la fracción resistente. El N extraído en cada uno de estos tiempos se acumuló considerando como valor cero la sexta semana. Esto es posible si se considera que no hay aportes significativos de N provenientes de la fracción resistente en la semana seis del período completo de estudio o semana cero de mineralización de la fracción estabilizada. La tasa de mineralización K_2 esta representada por la pendiente de la función exponencial.

$$NoE = No * [1 - \exp(-b \times t)]$$

donde:

- NoE = N potencialmente mineralizable proveniente de la fracción estabilizada.
- No = N Potencialmente mineralizable durante periodos específicos de tiempo
- b = Pendiente de la regresión y que corresponde a la tasa de mineralización (K_2)
- t = tiempo en semanas.

Para respaldar la validez de la división de la función a partir de la sexta semana, se corrió dicha función en todo el período de estudio al igual que la función hiperbólica, también con el objetivo de observar la evolución de las tasas de mineralización de la fracción resistente y sus R^2 .

La selección de las funciones utilizadas para cada fracción, se realizo después de haber sometido los datos de ambas fracciones a varias funciones, siendo la hiperbólica y la exponencial; la que mejor ajuste tuvo a cada una de las fracciones.

4.11 Análisis de plantas

Con el propósito de ayudar a comprender mejor la dinámica del N en condición de campo y su relación con el suministro al cultivo, se hicieron análisis de N en plantas de maíz, utilizando el método de Kjeldahl (Bremer, 1965).

El mismo método señalado arriba se uso para determinar el N total de los residuos incorporados, y para el análisis de carbono se uso el método de Schollemberger.

V. Resultados y Discusión

5.1 Mineralización del Nitrógeno potencialmente mineralizable (No)

La producción del N potencialmente mineralizado (totales) acumulado semanalmente para todos los tratamientos, tuvieron un comportamiento de producción ascendente hasta el final del muestreo. Por su parte el tratamiento control (sin enmienda) estuvo siempre por debajo en la producción de N respecto de los otros tratamientos (fig. 4), este tipo de comportamiento también ha sido observado por muchos investigadores (Dou et al., 1995; Mckenney et al., 1995; Quemada y Cabrera, 1995), y que de acuerdo con Oliva et al. (1993) citado por Hang et al. (1995), este es atribuido al aumento del sustrato energético-nitrogenado.

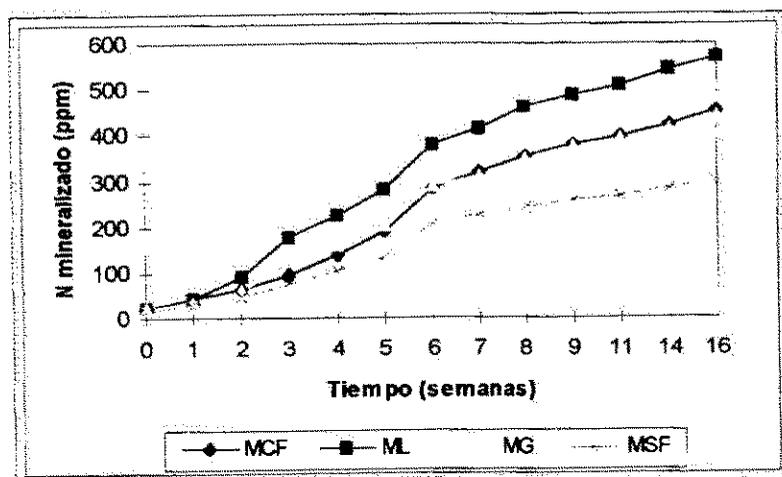


Figura 4. Nitrógeno total mineralizado acumulado en el periodo de estudio.

A pesar de lo descrito arriba, la producción neta de N proveniente de el tratamiento control puede considerarse alta (19-28 ppm como incrementos promedios por semana), esta producción podría tener su razón de ser, dada la historia de manejo de dicha parcela; a las que se les aplicó mulch de *leucaena* y *Gliricidia* en los años 91-93 consecutivamente, antes

de este trabajo. Según García (1993), la influencia de la historia de manejo de las parcelas esta relacionada a la producción de N en las mismas.

Durante el inicio de la mineralización (primera semana) la producción neta de N (Fig. 5) fue 15.04 , 12.65 y 6.82 ppm sobre el control, para el MCF, ML y MG respectivamente. La producción de mineralización neta durante este periodo para el MCF, supera al tratamiento MG y supera levemente al tratamiento ML, lo cual puede ser debido al nitrógeno residual. Fox et al. (1974), observo altas concentraciones de $N-NO_3^-$ en un suelo que anteriormente fue tratado con elevadas tazas de N fertilizante. Este mismo N residual es el que seguramente se estuvo registrando antes de la aplicación del fertilizante nitrogenado (Urea) en nuestro trabajo.

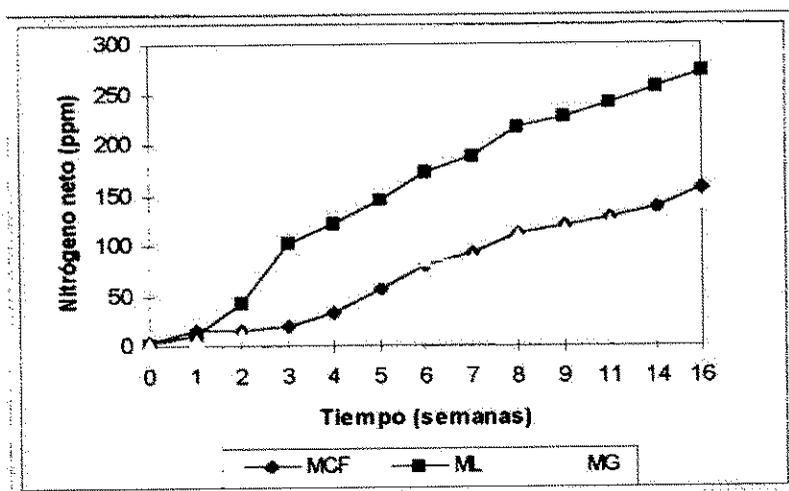


Figura 5. Nitrógeno neto mineralizado acumulado a través de todo el periodo del estudio.

De un estudio llevado a cabo por Jaramillo y Blasco (1976), se deduce que debe transcurrir un tiempo para que las colonias microbiológicas se adapten al nuevo material (*Leucaena* y *Gliricidia*). De tal modo que el N residual (que siempre estuvo en el suelo) tendrá mayor vinculación con los microorganismos y por consiguiente una mayor

producción de N al momento de la activación de la mineralización. Además de lo descrito anteriormente, este patrón de comportamiento parece estar influenciado por el porcentaje de saturación de humedad en el tratamiento (fig. 6). Una prueba de todo lo anterior se encuentra en el Anexo 7; el MCF registra la mayor cantidad de nitrato (muestreo cero) por debajo de los 30 cm del suelo, como producto del lixiviado de dicho tratamiento e indicativo de su mayor producción de nitrógeno en el estrato superior.

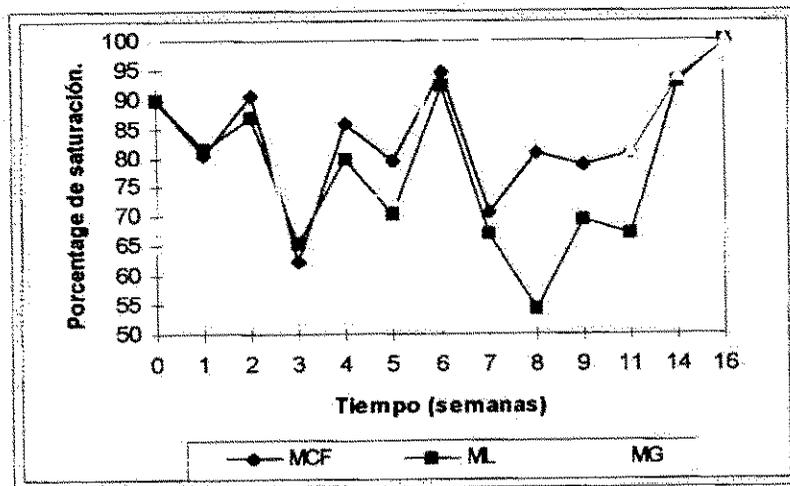


Figura 6. Variación en el porcentaje de saturación de humedad del suelo al momento del muestreo.

La gráfica de mineralización neta (Fig. 7) , que muestra la producción de nitrógeno por semanas, experimenta un retraso en la segunda semana probablemente debido a las condiciones ambientales adversas (el Anexo 5 y 6 muestra una condición seca) a la mineralización. En la época de sequía se acumulan nitratos y nitrógeno orgánico que son transformados por los microorganismos con los próximos eventos lluviosos (Clausnitzer, 1988), por otra parte, la condición seca podría favorecer a la mineralización neta sobre la inmovilización ya que la eficiencia del crecimiento microbial decrece y una baja porción de N consumido por los microbios es segregado en biomasa (Harris, 1981), citado por Hook y Burke (1995).

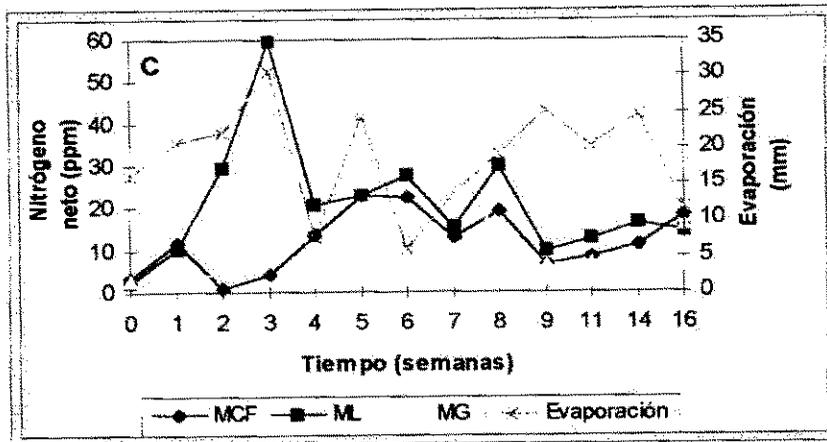
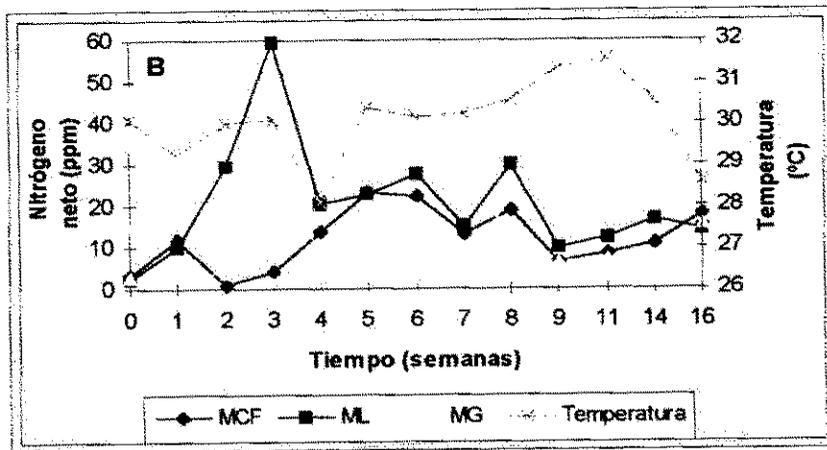
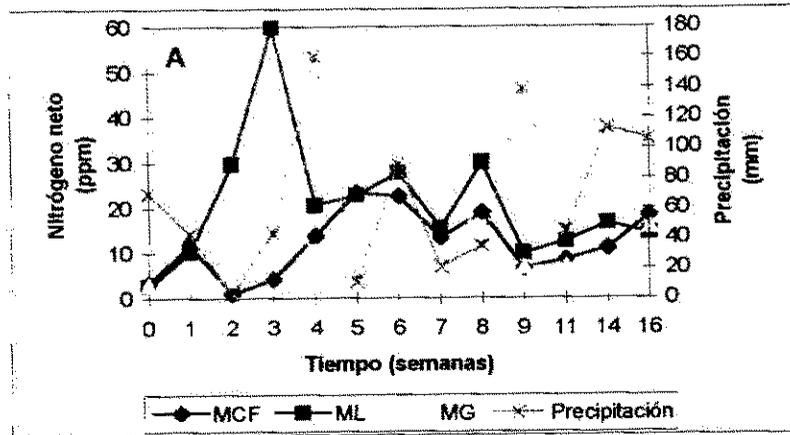


Figura 7. Comportamiento semanal del nitrógeno neto mineralizado con respecto a: A) Precipitaciones, B) Temperatura y C) Evaporación.

Van Miegroet (1995) también observó que en condiciones relativamente secas se registraban niveles bajos de N inorgánico, mientras en años anteriores la alta relación de humedad fue asociada con altos niveles de nitrógeno inorgánicos.

El tratamiento que parece haber sido menos influenciado por esta condición seca es el ML, debido seguramente a una mejor condición medio ambiental para la mineralización y quizás a la composición de sus tejidos, este comportamiento también fue observado por Schomberg et al. (1994). Cabrera et al. (1994) por su parte compara la condición medio ambiental a un sistema buffer. Lo anterior es muy probable aunque no llevamos a cabo registros de temperatura del suelo para cada periodo de muestreo.

A la tercer semana el patrón de comportamiento varía mucho, la mineralización neta aumenta bruscamente evidenciada por la fuerte pendiente (fig. 4) Esto tiene mucho que ver con lo que se ha dicho a cerca de la presencia de humedad y su influencia luego de una condición seca, ya que con 43.1 mm. de precipitación acumulada en esa semana (Fig. 6A) y los eventos de precipitación los días 6 y 5 antes del muestreo, parecen haber mantenido un contenido óptimo de humedad para la mineralización.

Linn y Doran (1984) reportaron una actividad microbial aeróbica relativamente alta a un 60% de saturación de humedad del suelo. La tercer semana registra datos muy similares al señalado en todos los tratamiento (fig. 5) y su mineralización relativamente alta, excepto; para el MCF, que registra baja producción de nitrógeno. Dicho patrón puede estar mayormente regido por un nivel de saturación óptimo diferente al resto de los tratamientos (fig. 7A, B y C). Sin embargo, la humedad no parece ser el único factor sumamente influyente para liberar tan altos niveles de N inorgánico, según Sánchez (1982) la mineralización del carbono es mucho más rápida en condición seca que la mineralización del Nitrógeno. Esto sin lugar a dudas disminuiría la relación C/N, por lo tanto la porción.

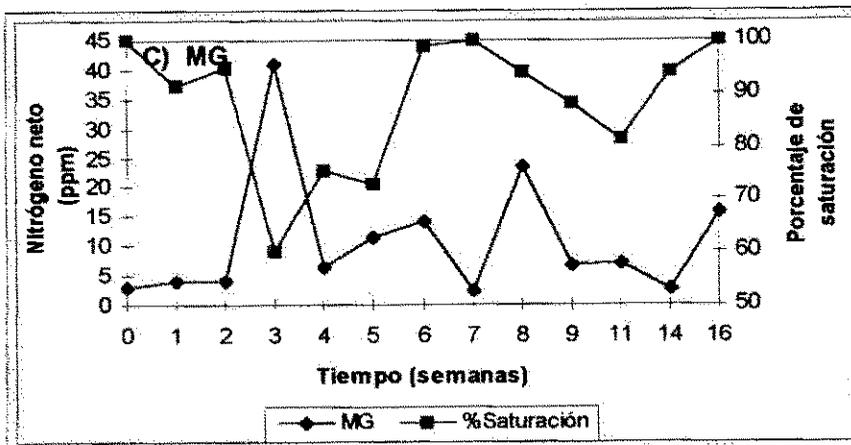
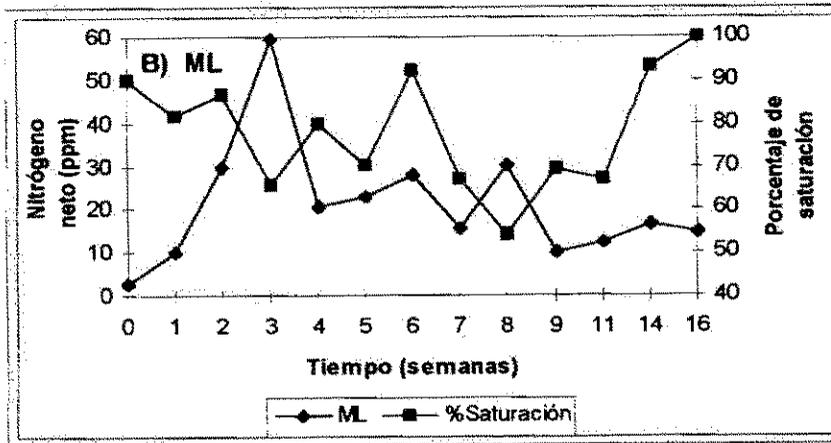
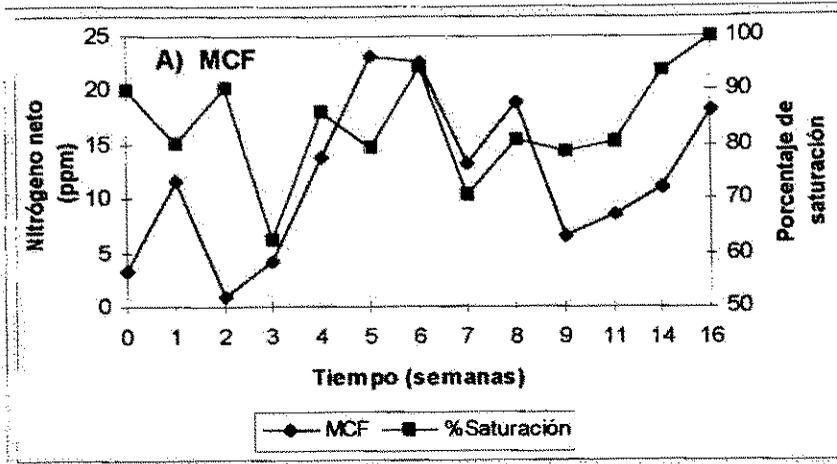


Figura 8. Comportamiento semanal del nitrógeno neto mineralizado de cada tratamiento con respecto a la condición de humedad o grado de aeración.

mineralizada sería mucho mayor en el siguiente periodo en condición óptima de humedad. Esto fue razonado luego de estudiar un trabajo de Blackmer y Green (1995) en el que abordaban la evolución de la relación C/N, y sus consecuencias (Green y Blackmer, 1995).

A la siguiente semana se presenta otro fenómeno muy particular de los trabajos de campo. La cuarta semana registra el mayor índice pluviométrico durante todo el periodo del estudio, acumulando 160.3 mm de lluvia de los cuales 111.5mm., cayeron un día antes del muestreo.

En la Figura 6A se puede observar el momento, en que las pendientes de la forma del patrón de producción declinan indicando así pérdidas por lixiviación, también evidenciada por el aumento del nivel de N inorgánico a bajo de los 30 cm. del perfil del suelo, al final del periodo de estudio (Anexo 7). Dou et al. (1995), llegó a la misma conclusión al comparar la distribución de NO_3 a diferentes profundidades de los estratos, y bajo la utilización de especies leguminosas como fuentes nitrogenadas. Hook y Burke (1995), también llegaron a la misma conclusión basándose en los eventos fuertes de precipitación y concluyendo que el lixiviado del N fue posible porque el suelo tenía baja capacidad de campo y rápido drenaje. En nuestro caso la fuerte precipitación pocos días antes del muestreo no permitió que la capacidad de renovación del suelo actuara, según Teuscher y Adler (1987) en los suelos del trópico, una semana es necesaria para su recuperación.

Lo dicho por Teuscher y Adler (1987) juega su papel a la quinta semana, en la que la precipitación escasea pero parece ser compensada con la fuerte precipitación de la semana anterior. Esto indica que la capacidad del suelo para almacenar humedad va aumentando y que a la quinta semana la mineralización neta de cada uno de los tratamientos va siendo menos afectada por las condiciones climáticas ya que a la sexta semana con 89.1 mm de precipitación acumulada, la curva de mineralización se ve

menos afectada. Indudablemente la combinación de las bajas precipitaciones con las bajas evaporaciones son determinante en el comportamiento de la séptima semana (fig. 8).

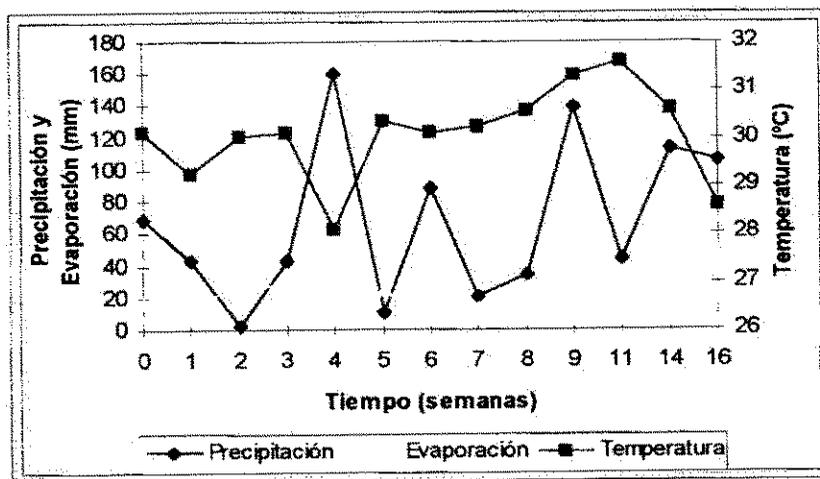


Figura 8. Reflejo de las fluctuaciones de los datos meteorológicos de la estación de Masaya.

De manera global, todos los tratamientos siguieron una trayectoria ascendente caracterizado por una liberación rápida de N (fuertes pendientes) y un período de mineralización más estable y constante. Esta última se caracterizó por presentar menos fluctuaciones en su trayectoria, mostrando mayor resistencia a las condiciones climáticas adversas.

Sin embargo, se observa una caída a la semana catorce para el tratamiento MG, lo que pudo deberse a la constante presencia de lluvias y una considerable precipitación el mismo día del muestreo, no así para el ML y MCF lo cual suponemos se deba a la mayor producción de nitrógeno.

Al final del estudio, la mineralización aumenta en todos los tratamientos, esto no es muy sorprendente si deducimos su comportamiento de dicha gráfica en donde atravesando su período estable mantiene siempre una dirección semiascendente que seguramente al pasar el período de máxima absorción por la planta la concentración de N empieza acumularse con una continua mineralización de los residuos de leguminosas. Dou et al. (1995) llegan a establecer una similar conclusión cuando usaba fuentes nitrogenadas orgánicas y aún aplicando tasas óptimas de fertilizante inorgánicos.

El tratamiento MCF, sin lugar a dudas en éste se aumentó la producción de N a la quinta semana como consecuencia de la aplicación de urea a esta fecha. De acuerdo con Green y Blackmer (1995) la mejor explicación para esta trayectoria es que la tasa alta de fertilización aplicada a la parcela del campo decreció la relación C/N en el tratamiento. Green et al. (1995) citado por Green y Blackmer (1995), demostró que con un incremento en la disponibilidad de N podría esperarse un incremento en la tasa de descomposición bajo condiciones de campo.

5.1.1 Producción y comportamiento del amonio y nitrato

De forma generalizada, la producción de NH_4^+ fue muy baja en casi todo el período del estudio y pocas veces superó en algún tratamiento la producción de NO_3^- . Según (Schimel y Parton, 1986; Ruess y McNaughton, 1987; Burke, 1989, Hook et al., 1991), citados por Hook y Burke (1995) esto es muy común en ecosistemas semiáridos.

De acuerdo con Dou et al. (1997) esta dinámica es probablemente debido también a la rápida nitrificación de el N-NH_4^+ . Para todos los tratamientos el NH_4^+ experimenta su porción más alta a la sexta semana. Lo anterior parece tener que ver con unos de los más altos porcentajes de saturación de humedad registrado en el período de estudio lo que concuerda con lo planteado por Teuscher y Adler (1987) de que el N-NH_4^+ se acumula en condiciones de alta humedad.

Para comprender mejor la dinámica de estas transformaciones se construyó la Figura 9A,B y C. Inicialmente todos los tratamientos muestran niveles bajos tanto de amonio como de nitrato y no es hasta la primera semana que se observa la activación con una pequeña mejora en el contenido de humedad, aireación y la incorporación del material orgánico. No obstante, el amonio se convierte en nitrato en el MCF y el MG, no así, para el tratamiento ML. Dado que el porcentaje de saturación es similar para los tratamientos MCF y ML, la diferencia en el comportamiento del amonio y nitrato podría sustentarse en un estudio de bacterias nitrificantes y amonificantes.

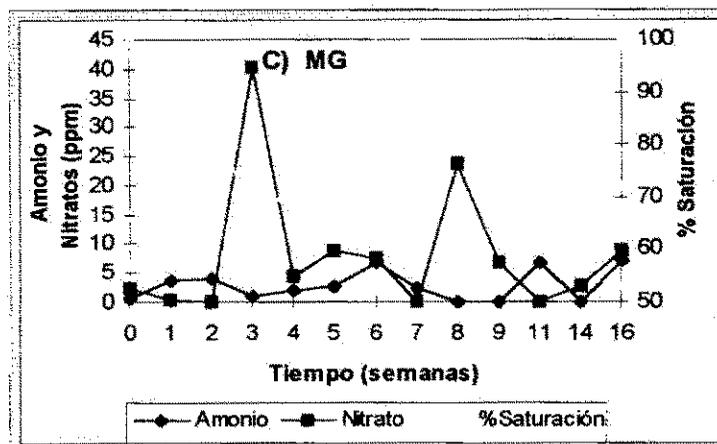
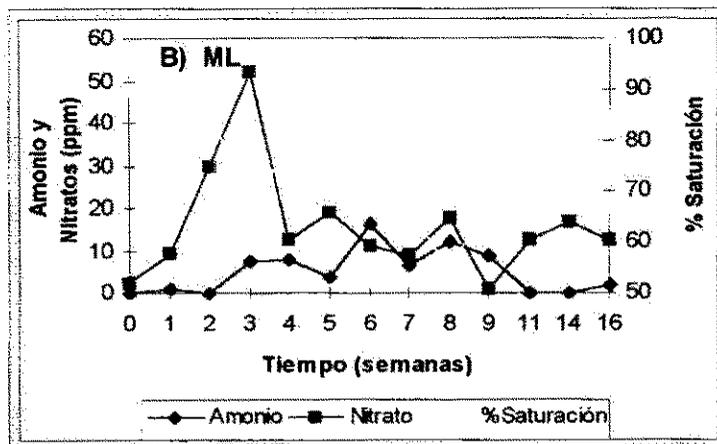
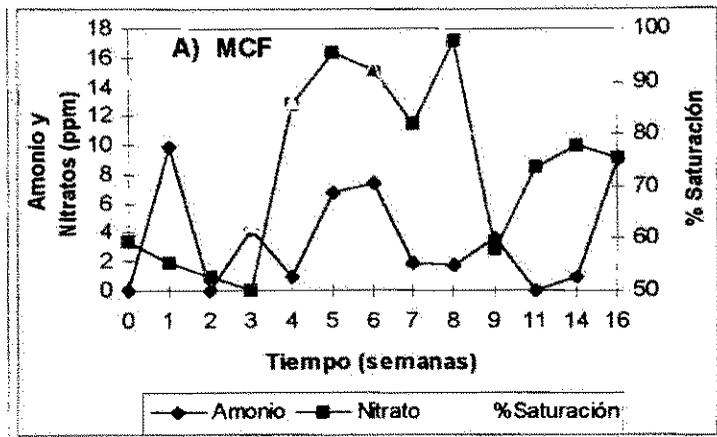


Figura 10. Comportamiento semanal del amonio y nitrato netos ante la condición de saturación de humedad de cada tratamiento.

La segunda semana fue un caso especial que fue abordado al inicio de la discusión, en el que queda plasmado el poco poder mineralizante para cada tratamiento ante condiciones adversas antes que logran la saturación de humedad. A la tercer semana la condición ambiental mejora para las leguminosas pero no para el MCF que parece ser regido por un nivel de saturación superior como ya se mencionó. Sin embargo el MG casi no registra amonio al contrario de ML ; aparentemente las colonias microbiológicas no pueden nitrificar todo el nitrógeno amonificado lo que se expresa en una acumulación de amonio. Más tarde se hace presente el típico patrón después de un proceso de lixiviación (cuarta semana), excepto, para el MCF que al parecer mejora su capacidad de nitrificación al consumir el amonio a un nivel muy bajo y en presencia de un porcentaje de saturación de humedad aparentemente el óptimo para la naturaleza de dicho tratamiento.

Al mejorar la aereación a la quinta semana, producto de la disminución de la humedad en el suelo, el nitrato se observa con mejor nivel que el amonio, incluso la caída del amonio acumulado en el ML nos sugiere la transformación del amonio a nitrato bajo las condiciones ambientales bajo este tratamiento que más tarde (sexta semana) en presencia de un alto contenido de saturación de humedad nos sugiere lo contrario (transformación del nitrato a amonio) a igual que en el MG; contradictoriamente el MCF permanece con el mismo patrón inalterado por su alta saturación de humedad y poca aireación.

A pesar de la disminución de la humedad en el resto de los tratamientos, el tratamiento MG se conserva saturado hasta la siguiente semana y ambos (nitrato y amonio) se pierden por lavado y en el caso del nitrato que también se pierde por desnitrificación; ya que no se encuentra ninguna acumulación de estos iones como en el caso del ML ayudado por su buena aereación y humedad, que al bajar su nivel de saturación, naturalmente, el amonio disminuye. Sin embargo el tratamiento MCF disminuye levemente su nivel de nitrato y el amonio casi no es registrado, esto debido a la caída a 70% de su porcentaje de saturación, pero luego (octava semana) su nivel de saturación aumenta por encima del 80% y se observa mejoría en el nitrato, no así, en el amonio, que inexplicablemente no acumula; quizás las

colonias anaeróbica son mas sensible en este tratamiento y no son capaces de recuperarse a tiempo para favorecer la acumulación del amonio; en cambio en el MG la nitrificación parece tan rápida que no permite la acumulación de amonio, inesperada este tratamiento muestra poder de nitrificación al igual que en la sexta semana bajo condiciones a la saturación total. En la octava semana la saturación de humedad del ML se acerca al óptimo y su producción tanto de amonio como de nitrato mejoran, no obstante , a la novena semana la pérdida de nitrato es visible como producto del proceso de lixiviación y ocurre lo mismo para el MCF y MG, excepto que MG no registra amonio, como indicativo del poder nitrificante que venia registrando desde la octava semana ante la mejoría de su nivel saturación de humedad.

Al final del periodo de estudio (últimos tres muestreos) los tratamientos ML y MCF demuestran su poder nitrificante aún bajo condiciones saturadas manteniendo bajo los niveles de amonio, excepto en la última semana en el que MCF reacciona a la saturación e igual el amonio con el nitrato. El tratamiento MG por su lado acumula amonio como indicativo de ser el tratamiento más afectado por las pérdidas de lixiviación (onceava semana); desnitrificación y lixiviación (catorceava semana), ya que ambos (amonio y nitrato) no son registrado hasta la última semana en que a pesar de encontrarse saturado, el nitrato iguala al amonio. El mérito de la presencia de amonio y nitrato bajo las condiciones antes mencionadas se le adjudica al bajo requerimiento de nitrógeno por la planta, al llegar ésta a su estado de madurez fisiológica.

Mckenney et al. (1995) llevó a cabo un estudio sobre la mineralización de residuos de leguminosas, pastos y maíz intercalando incubaciones aeróbicas y anaeróbicas y observó que la producción de $N-NH_4^+$ en las leguminosas se daba fácilmente bajo ambas condiciones dependiendo del estado de aireación del suelo. También encontró que durante la fase anaerobia el consumo de NO_3^- , producción de NH_4^- , NO_2^- y producción de $NO + N_2O$ incrementaban y concluyo indicando que las pérdidas eran mayores a mayor

disponibilidad de NO_3^- producido durante la fase aeróbica. Estas conclusiones no diferencian tanto de las obtenidas en nuestro estudio.

Por otro lado, Clay et al. (1990) y Cabrera et al. (1994) al estudiar las pérdidas por volatilización para fuentes inorgánicas y fuentes orgánicas respectivamente, ambos coincidieron al obtener:

- 1) Mayores pérdidas a mayor mineralización
- 2) Las pérdidas aumentaban a medida que iba disminuyendo el contenido de agua
- 3) Las pérdidas aumentaban con las altas temperaturas del suelo,
- 4) a mayor incremento del pH mayores pérdidas.

Rodríguez (1998) encontró pequeñas fluctuaciones en el pH de todos los tratamientos a través de todo el período de estudio, lo que marca una pequeña probabilidad de ocurrencia de pérdidas por volatilización del amonio.

En cuanto a pérdidas, es necesario señalar que el tratamiento MCF constituye un caso muy particular, ya que si bien es cierto se observa la acumulación de N-NH_4^+ en cierto período, este no escapa a la probabilidad de lixiviado del N-NO_3^- aún bajo condiciones de escasas precipitaciones (Distefano y Gholz, 1986), citados por Hook y Burke (1995). Goring (1962) citados por Dou et al. (1997), reportó que del 66 al 92% del N-NH_4^+ agregado era convertido a N-NO_3^- en la mayoría de los suelos dentro de cuatro semanas luego de la aplicación del fertilizante (urea), período similar en que nuestro tratamiento MCF alcanza su estabilidad luego de haberse aplicado la urea, razón por la cual el mismo presenta las pendientes más pronunciadas a esta fecha (Fig. 4). La alta producción de N-NO_3^- en un corto período de tiempo aumenta los riesgos de pérdidas por lixiviación y su acumulación en los horizontes más profundos, esto puede observarse al comparar los contenidos iniciales y finales de amonio y nitrato a más de 30 cm al inicio y final del ensayo.

El historial de manejo de dichas parcelas es la mejor prueba que justifica la alta producción para cada tratamiento. La influencia del historial de manejo ya fue señalada antes por García (1993).

Sin embargo, nosotros creemos que es necesario señalar que los dos años anteriores a nuestro trabajo, los ensayos fueron discontinuados por efecto de sequía (Escuela de Ciencias Forestales, 1994 y 1995). Si tomamos en cuenta que bajo niveles de N son relacionados a las épocas secas (Van Miegroet, 1995), es muy posible que el N remanente sea mucho mayor en esas condiciones secas, de tal modo que esperaríamos mayor mineralización al año siguiente. A lo anterior se suma la probabilidad de ocurrencia de mineralización durante el tiempo de almacenaje (Van Miegroet, 1995).

Todos los tratamientos siguieron una trayectoria ascendente caracterizada por una liberación rápida de N (NoL) de los residuos y un período de mineralización estable (NoE) de cada residuo. Este comportamiento ha sido comúnmente observado por varios investigadores (Shomberg et al., 1994; Quemada y Cabrera, 1995; Dou et al., 1995) bajo la utilización de residuos de diferente calidad (leguminosas y gramíneas).

Aunque en la Figura 4 se muestra un cambio brusco de pendiente a la novena semana, los modelos cinéticos empleados en este estudio identifican al término de la sexta semana como el período en que se da la mineralización de N proveniente de la fracción lábil y en adelante el inicio de la mineralización de la fracción estabilizada. El MCF es un caso diferente; los modelos se ajustan perfectamente a la tercer semana para el NoL y en adelante para el NoE.

De tal forma que si dicha gráficas tendrían que ser descritas, su patrón tendría un comportamiento ascendente luego de finalizado el primer período. García (1993) también observó este tipo de tendencias, sin embargo, en nuestro estudio las curvas de

mineralización netas acumuladas presentan una tendencia a la estabilización a partir de la novena semana como ya se señaló anteriormente.

5.1.2 Nitrógeno potencialmente mineralizable (NoL) proveniente de la fracción lábil

En la Tabla 1 se presentan los valores de No mineralizable de la fracción lábil con sus respectivas tasas de mineralización.

Los valores de NoL obtenidos, fueron 172.56 y 82.43 ppm de N para el tratamiento ML y MG respectivamente, según García (1993) y Franzluebbbers (1995 b) la variación de tales valores se debe a la diferente calidad y cantidad de los residuos (Tabla 2 y 3), los cuales están influenciados por el tipo de manejo a que son sometidos los suelos. Sin embargo, el valor de NoL para MCF es 20.96 (ppm) de nitrógeno, reflejando así la residualidad de dicho tratamiento.

Se ha señalado que diferentes especies leguminosas podría influenciar marcadamente la cinética y patrón de liberación de N proveniente de la mineralización de residuos de leguminosas como lo han reportado muchos investigadores (Kirchmann y Marstorp, 1991; Fox et al., 1990; Yadvinder-Singh et al., 1992), citados por Dou et al. (1995).

Es importante destacar que en la comparación de los datos (NoL y Nm) la función hiperbólica estima una constante muy similar al nitrógeno mineralizado (Nm) como indicativo de la validez de dicha función para el tiempo escogido en cada tratamiento.

5.1.3 Nitrógeno potencialmente mineralizable (NoE) proveniente de la fracción estabilizada

La Tabla 1 contiene los valores de NoE y sus respectivas tasas de mineralización para cada tratamiento de residuos (hojas) estimados por medio de la función exponencial.

En dicha Tabla se observa 105.31 y 59.99 ppm para los residuos de Leucaena y Gliricidia, respectivamente. Según García (1993) tan altos valores de NoE señalan que el pool de MO estabilizado es grande y bastante activo, por lo que éste último juega un papel importante en el suministro de N para los cultivos. En nuestro caso esta MO proviene del mismo material incorporado. El MCF muestra un valor superior al de los tratamiento con leguminosas (149.23 ppm) como producto de: el poder hidrolizante posterior a la aplicación e incorporación del fertilizante urea, y el tiempo escogido por la función exponencial que supera al resto de los tratamientos.

Es importante destacar que los valores de NoE superan a los valores de nitrógeno mineralizado. García (1993) confirmó que esto tenía lógica si consideráramos que el proceso de mineralización y acumulación de N sigue después de todo el tiempo de estudio. Conclusión, a la que llegamos anteriormente. Bajo el mismo aspecto, también consideró que la función exponencial tiene ventajas porque tiende a simular el proceso de mineralización después de ese período de estudio y por lo tanto obtener valores de NoE más próximo a los reales.

Si a los NoE le sumásemos los valores de NoL encontraríamos que estas superan en casi 8.71, 2.15 y 0.36% a los de nitrógeno mineralizado para el MCF, ML y MG respectivamente; lo que indica la validez de las funciones que se aplicaron para cada tratamiento.

5.1.4 Tasas de mineralización de las fracciones lábil (K_1) y resistente (K_2)

Dado que en el presente trabajo, se estimaron los valores de NoL a partir de la función hiperbólica y los de NoE por la función exponencial, las tasas de mineralización estimadas por estas funciones son numéricamente diferentes, por lo que se discutirán de manera separada.

Las tasas de mineralización (K_1 y K_2) para la fracción lábil y resistente respectivamente, son dadas en la Tabla 1.

Las tasas de mineralización (K_1) registrada para cada tratamiento son proporcionales a la mineralización neta y los valores de NoL; consecuentemente el MCF registra la más baja de las tasas del nitrógeno potencialmente mineralizable (-6.37) proveniente de la fracción lábil como producto de sólo incluir los valores del nitrógeno residual mineralizado al término de la tercer semana. Las tasas de mineralización para la fracción lábil (K_1) fue -178.72 para el *Leucaena* y -87.18 para el *Gliricidia*, Como ya se señalaba, las K_1 están determinadas por la tendencia que representa la curva de acumulación durante las seis primeras semanas. De acuerdo con Yadvinder-Singh et al. (1992) citado por Dou et al. (1995) una baja relación C/N y alto contenido de N en el residuo favorece la mineralización del N encontrando una alta tasa de descomposición y asegurando que la mineralización del N exceda a la inmovilización a un grado considerable.

La Tabla 2 muestra los porcentajes de C, N y relación C/N de los residuos orgánicos incorporados al suelo. De la cual se deduce en buena parte la razón de la alta tasa para el residuo de *Leucaena* y más baja para el de *Gliricidia*. Sin embargo no podemos obviar que puede haber cierto grado de influencia en cuanto a las cantidades de materia seca incorporada para cada tratamiento (Tabla 3) en la que se registra mucho mayor cantidad y calidad de los residuos de *Leucaena*. Esto último explicaría la mayor producción de N para el *Leucaena* (residuo).

La influencia de la cantidad y calidad de los residuos ha sido estudiada por Franzluebbers et al., (1995 a) y Franzluebbers et al., (1995 b).

Las tasas de mineralización de la fracción estabilizada K_2 calculadas con el modelo exponencial presentan valores más estables, lo cual correspondieron -0.231, -0.219 y -0.167, para *Leucaena*, *Gliricidia* y el tratamiento con fertilizante químico, respectivamente.

Los valores (K_2) más bajos obtenidos por García (1993) fueron asociados a curvas de acumulación de N ascendentes.

En nuestro estudio, los valores de K_2 son más altos que los considerados por García (1993) como bajos, esto significa que el promedio en que la curva de acumulación de N se estabiliza, ejerce una gran influencia sobre las semanas en que aún pasando el periodo de descomposición de la fracción lábil, no se estabiliza completamente, es decir que siguen un patrón ascendente, como ya se describió anteriormente.

Algo que se aprecia a simple vista Tabla 1 son los valores aceptables de la función hiperbólica, sin embargo, los R^2 de 0.83, 0.76 y 0.66 para los tratamientos ML, MG y MCF dejan un margen para lograr un $R^2 = 1$. Esto significa que la descripción del comportamiento gráfico al igual que la predicción de la mineralización neta puede ser mejorada, quizás a través de otro modelo o función de predicción.

Tabla 1 Nitrógeno potencialmente mineralizable y mineralizado con sus respectivas tasas de mineralización y R^2 .

Tratamiento	K_1	K_2	R^2	N_0	N_{max}	K_2	R^2	N_{net}
ML	172.56	-178.72	0.83	173.03	105.31	-0.231	0.92	98.98
MG	82.43	-87.18	0.76	83.75	59.99	-0.219	0.93	58.15
MCF	20.96	-6.37	0.66	20.17	149.23	-0.167	0.94	136.38

Tabla 2. Porcentajes de C,N y su respectiva relación (calidad del residuo)

Tratamiento	%C	%N	C/N
ML	37.75	6.34	6/1
MG	36.32	3.56	10/1

Tabla 3 Cantidad de materia fresca y seca de cada residuo, incorporada al suelo.

Tratamiento	Biomasa fresca kg/ ha	Biomasa seca kg/ha
ML	4785.20	1698.20
MG	2864.20	891.81

5.2 Absorción de nitrógeno por la planta

La Figura 10A muestra la absorción por la planta acumulada semanalmente. La absorción por la planta de maíz tiene un comportamiento similar, tanto para el tratamiento MG, como para los tratamientos ML y MCF, ocurriendo mayor absorción en los dos últimos. Este comportamiento es observado claramente de los 40 a los 55 dds. El comportamiento del primero se justifica por la menor producción de N en dicho tratamiento. Sin embargo, para todos los tratamientos (Figura 10A) es lógico deducir que la absorción de la planta a esta fecha (55 dds) es sensible al nivel de N presentes en la parcela, producto seguramente del alto requerimiento en N por la planta a esta fecha, según Bromfield (1969) citado por Yamoah (1986a) de los 40 a los 55 días se necesitan aproximadamente 30 de los 132 kg/ha de N necesarios por el cultivo.

Fauci y Dick (1994) y Franzluebbbers et al, (1995a) señalaron conclusiones similares al estudiar la absorción del maíz bajo la utilización de diferentes enmiendas orgánicas.

No obstante el comportamiento gráfico a los 55 días (fig. 10B), pone al descubierto una caída en la absorción de nutrientes. Esto es posible si se considera que las plantas están atravesando una etapa de dilución, consecuencia de un rápido crecimiento.

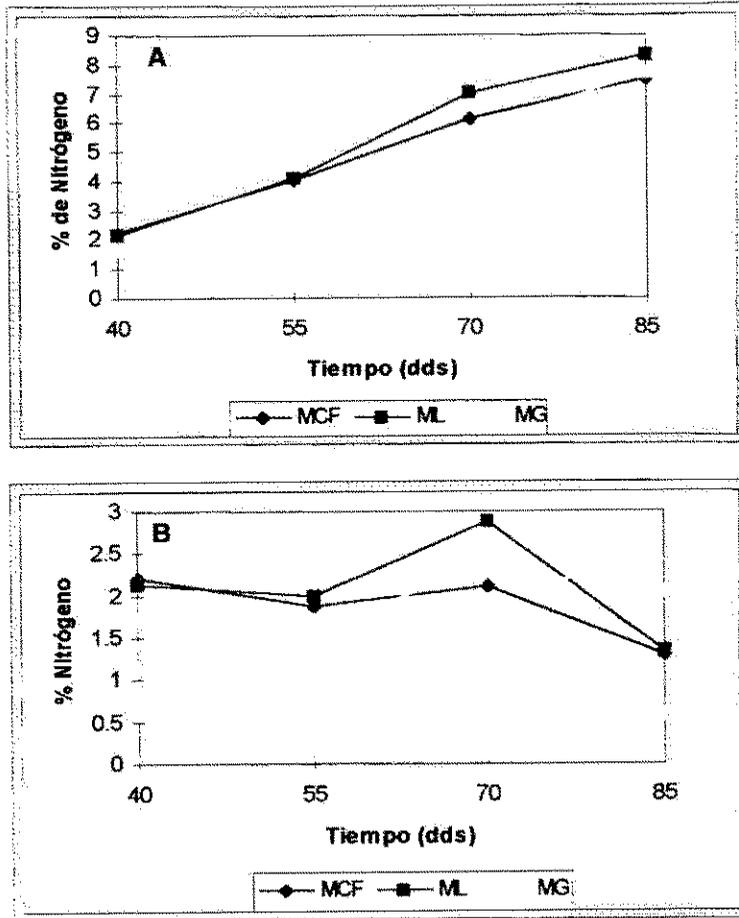


Figura 10. Comportamiento del nitrógeno en la hoja de la planta días después de la siembra: A) acumulado en el tiempo y B) por período de muestreo.

Luego la absorción por la planta vuelve a aumentarse con la presencia de N para cada tratamiento, coincidiendo con la etapa de inicio de formación del fruto, pero a los 85 días el ML y MCF decaen, el MG permanecen casi constante (fig. 11B), esto es razonable si tomamos en cuenta que la traslocación de nutrientes es evidente para el ML y MCF, donde en este período ya se había formado la mazorca (observación personal), y el MG que aparentemente inicia la traslocación de Nitrógeno. Es posible que esta trayectoria sea producto de que dicho tratamiento haya atravesado un nivel crítico, retrasando de esta

manera las fases fenológicas del cultivo (Arzola et al, 1986) y por consiguiente alargar el periodo vegetativo, donde la fructificación se dio un poco más retrasada.

VI Conclusiones

1. Por su comportamiento en el tiempo, las formas del nitrógeno tanto nítricas como amoniacales estuvieron aparentemente influenciadas directamente por: el tipo de material incorporado, las precipitaciones, temperaturas y contenido de humedad en el suelo.
2. Las formas nítricas del nitrógeno fueron en la mayor parte del tiempo superior a las de amonio, reguladas aparentemente por las condiciones del suelo.
3. La Mineralización del N total acumulado a través del todo el periodo de estudio produjo: 272.02, 156.55 y 141.91(ppm) de nitrógeno para el ML, MCF y MG respectivamente.
4. Las tasas de mineralización (K_1) de la fracción lábil resultaron ser: -6.37, -178.72 y -87.18 para el MCF, ML y MG respectivamente.
5. Las tasas de mineralización K_2 resultaron ser: -0.167, -0.23 y -0.22 para el MCF, ML Y MG respectivamente.
6. A pesar de la influencia climática sobre el nitrógeno mineralizado las tasas fueron obtenidas con un R^2 satisfactorio.

VII Recomendaciones

1. Bajo las condiciones climáticas de la zona de estudio, el cultivo del maíz puede ser fertilizado usando biomasa de *Leucaena* 1 a 2 semanas después de la siembra a razón de x Tn / ha, de acuerdo al contenido de N y a la necesidad del cultivo.
2. Para lograr un abastecimiento más constante de N al cultivo en el tiempo, se puede utilizar la biomasa de *Gliricidia* debido a su baja velocidad de suministro.
3. Si se desea un suministro rápido de N al cultivo en la primera fase de desarrollo, se puede utilizar la *leucaena*.
4. Realizar en el mismo sitio, ensayos en los que se sometan a prueba las tasas de mineralización obtenidas, para calcular suministro del suelo y calcular a partir de ello dosis de fertilización complementaria.
4. Posteriores estudios de mineralización del nitrógeno deberían implicar la búsqueda de nuevas funciones que ayuden a la estimación de suministro de nitrógeno.
5. Realizar estudios de mineralización en diferentes cultivos en callejones con diferentes años de establecido, así como en diferentes condiciones edafoclimáticas y de esta forma poder extrapolar las tasas de mineralización a otras zonas con condiciones agroecológicas similares.

Bibliografía

- ALTIERI, M. 1997. El estado de desarrollo de la agroecología en Asia, África y América Latina: Cultivo en callejones en África. En III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Universidad Central de las Villas, Villa Clara, Cuba. P.66.
- ARZOLA, P. N., FUNDORA, H.O y MACHADO, A.J. 1986. Suelo, planta y abonado. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. P. 461.
- BLACKMER, A. M. y Green, C. J. 1995. Nitrogen turnover by sequential immobilization and mineralization during residue decomposition in soils. SOIL SCI. SOC. AM. J. (EEUU) 59: 1052 - 1058.
- CABRERA, M. L., TYSON, S. C., KELLEY, T. R., PANCORBO, O. C., MERKA, W. C. y THOMPSON, S. A. 1994. Nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fractionated poultry litter. SOIL SCI. SOC. AM. J. (EEUU). 58: 367 - 372.
- CARTER, J.N., JENSEN, M.E., BOSMAN, M.S., 1974. Determining Nitrogen Fertilizer Needs for sugarbeets from Residual Soil Nitrate and Mineralizable Nitrogen. Soil sci. SOC. AM. J.
- CLAUSNITZER, I. 1988. Mineralización del nitrógeno en suelos de algunas formaciones vegetales del noroeste de Venezuela. TURRIALBA(Costa Rica) 38: 223 - 229.
- CLAY, D. E., MALZER, G. L. y ANDERSON, J. L. 1990. Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil Water content, and nitrification and hidrolisis inhibitors. SOIL SCI. SOC. AM.J. (EEUU) 54: 263 - 266.

- 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.
- DOU, H., ALVA, A. K. y KHAKURAL, B. R. 1997. Nitrogen mineralization from citrus tree residues under different production conditions. SOIL SCI. SOC. AM. J.(EEUU) 61: 1226 - 1232.
- ESCOBAR, M. M. 1990. Dinámica del nitrógeno en un cultivo en callejones de Poro *Erithrina poeppigiana* (Walpers) O. F. COOK y Madero negro *Gliricidia sepium* (Jack) Steud con frijol común *Phaseolus vulgaris* L. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica. CATTIE - Area de posgrados. 98 p.
- ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES, 1993. Cultivo en callejones. Universidad Nacional Agraria. Reporte anual,(datos no publicados). Managua , Nicaragua.
- ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES, 1994-1995.Cultivo en callejones. Universidad Nacional Agraria. Reporte anual, (datos no publicados). Managua, Nicaragua.
- F.A.O. 1985. El nitrógeno en el universo: En. La fijación del nitrógeno en la explotación de los suelos. Boletín de suelos. Roma,Italia. no 49. p 1,2.
- F.A.O. 1986. Guía de fertilizantes y nutrición vegetal. Dirección de fomento de tierras y agua. F.A.O. Roma,Italia. no 9. p.125.
- FAUCI, M. F. y DICK, R. P. 1994. Plant response to organic amendments ad decreasing inorganic nitrogen rates in soil from a long - term experiment. SOIL SCI. SOC. AM. J. (EEUU) 58: 134 - 138.

- FASSBENDER, H. W. 1993. Sistemas de producción agroforestales: Los agroecosistemas, con especial referencia a los sistemas de producción agroforestales. En Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Centro Agronómico tropical de Investigación y enseñanza. Turrialba, Costa Rica. P. 43.
- FASSBENDER, H. 1987. Nitrógeno. En. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. IICA. San Jose, Costa Rica. p. 200,205,210,211.
- 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. AM. J. (EEUU) 59: 1618 - 1624.
- FOX, R. H., TALLEYRAND, H. y BOULDIN, D. R. 1974. Nitrogen fertilization of corn and sorghum grown in oxisols and ultisols in Puerto Rico. AGRONOMY JOURNAL. (EEUU) 66: 534 - 540.
- FOTH, D.H. 1987. Fundamentos de la ciencia del suelo. 3 ed. Continental. Tlalpan, México. p. 306-358.
- FUENTES, J. 1989. El suelo y los fertilizantes. 3 ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 283 p.
- GARCIA, C. L. 1993. Evaluación de tres métodos para medir disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos. Tesis Mag. Scs. Montecillo, México. Colegio de post graduados- Sección de Fertilidad de suelo.

- GREEN, C. J. y BLACKMER, A. M. 1995. Residue decomposition effects on nitrogen availability to corn following corn or Soybean. *SOIL SCI. SOC. AM. J. (EEUU)* 59: 1065 - 1070.
- GROS, A. 1981. Diferentes formas de Nitrógeno en el suelo: El Nitrógeno en la naturaleza; su papel en la vegetación. En Abono. Guía práctica de la fertilización. V. A. Domínguez(Traductor.). 7 ed. Mundi - Prensa. Madrid, España. p. 177, 179.
- 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 Argentino . *AGROFORESTERIA EN LAS AMERICAS(Argentina)* 2 (6): 9 - 14.
- HOOK, P. B. y BURKE, I. C. 1995. Evaluation of methods for estimating net nitrogen mineralization in a semiarid grasland. *SOILS SCI. SOC. AM. J. (EEUU)* 59: 831 - 837.
- HOLMES, W. E. y ZAK, D. R. 1994. Soil microbial biomass dynamics and net nitrogen mineralization in northern hardwood ecosystems. *SOIL SCI. AM. J. (EEUU)* 58: 238 - 243.
- JARAMILLO, C. R. y BLASCO, L. M. 1976. Acción del nematicida furadan sobre las producciones de CO₂, N-H₄⁺ y N-NO₃ en el suelo. *TURRIALBA(Costa Rica)* 26(1).
- KEENEY, D. R. 1982. Nitrogen – Availability Indices. In: A.L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* 2 de. Agron. 35,711-716

- LINN, D. M. y DORAN, J. W. 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and untilled soil. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 48: 1267-1272.
- LISSETTE, R. 1993. Evaluación de cultivo en callejones de *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*, asociadas con el cultivo del maíz (*Zea may*). Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria(U.N.A.). Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Managua, Nicaragua.
- LOPEZ, 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.
- MORALES, J. P. 1987. Estudio del nitrógeno. En. Suelos y agroquímica. 2 ed. Pueblo y Educación. La Habana,Cuba. p.27-42.
- MONTAGNINI, F. Y 18 colaboradores, 1992. Manejo y evaluación de sistemas agroforestales: Mantenimiento de la fertilidad del suelo. En. Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. 2 ed. San José, Costa Rica. p.175,176.
- MCKENNEY, D. J., WANG, S. W., DRURY, C. F. y FINDLAY, W. I. 1995. Denitrification, immobilization, and mineralization in nitrate limited and nonlimited residue-amended soil. *SOIL SCI. SOC. AM. J.* (EE.UU.) 59:118-124
- PARSONS, D. B. 1991. Maíz, Manuales para Educación Agropecuaria. Producción vegetal, 2ª de. TRILLAS; SEP, México. V10 p.56.

- PEREZ, J. P. 1966. Historia de la agroquímica: Soluciones nutritivas. En. Agroquímica. Universitaria. La Habana, Cuba. p. 13.
- PRIMO, E. Y. y CARASCO, J. M. 1981. Química agrícola I. Suelos y fertilizantes. Alhambra. Madrid, España. p. 23,132.
- 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.
- QUINTANA, O. 1982. Suelos y fertilización :Necesidades nutritivas de la planta de maíz. En. Manual de producción de maíz. Ministerio de Desarrollo Agropecuario y Reforma Agraria. Managua, Nicaragua. p.61.
- RODRIGUEZ, E. O. 1998. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades Físicas y Químicas del suelo con *Gliricidia s*(Jack) Walps. y *Leucaena l*(Lam.) de Wit. en un cultivo en callejones.
- SANCHEZ, A. P. 1981. Nitrógeno. En. Suelos del trópico. Características y manejo. IICA. San José, Costa Rica. p.187-307.
- 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. AM. J. (EEUU) 58: 372 - 381.
- TEUSCHER, H. y ADLER, R. 1987. El nitrógeno del suelo. En: El suelo y su fertilidad. R.Vera y Zapata(Traductor). Continental. México. P. 244.

- TISDALE, L. S. y NELSON, L. W. 1988. Formas del Nitrógeno del suelo: El suelo y los fertilizante Nitrogenados. En. Fertilidad de los suelos y fertilizantes . J. Balasch y C. Piña(Traduc). Uteha. México. p. 145,146.
- VAN MIEGROET, H. 1995. Inorganic nitrogen determined by laboratory and field extractions of two forest soils. SOILS SCI. SOC. AM. J. (EEUU) 59: 549 - 553.
- VIGIL, M. F. y KISSEL, D. E. 1995. Rate of nitrogen mineralized from incorporated crop residues as influenced by temperature. SOIL SCI. SOC. AM. J. (EEUU) 59: 1636 - 1644.
- WINROCK INTERNACIONAL, 1995. Cultivo en Callejones: En producción y uso de *Gliricidia*. Manual de campo. Ed. Nancy Glover. Departamento de Agricultura de estados unidos (USDA /FS/FSP).
- YAMOAHA, C. F., AGBOOLA, A. A. y WILSON, C. F. 1986a. Decomposition, nitrogen release and weed control by prunings of selected alley cropping shrubs. AGROFORESTRY SYSTEMS. (Holanda) 4: 239 - 246.
- YAMOAHA, C. F., AGBOOLA, A. A. y WILSON, C.F. 1986b. Nutrient contribution and maize performance in alley cropping systems. AGROFORESTRY SYSTEMS. (Holanda) 4:247 - 254.
- 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.

ANEXO

Anexo 1. Historial de manejo del diseño experimental en "El Plantel", desde su establecimiento hasta el año anterior a nuestro trabajo.

Año	Preparación del suelo	Siembra	Limpieza	Aplicación de insecticida	Niveles de fertilización, mulch de ML Y MG	Fuentes
1989	Grado, mullido y remoción	Mecanizada	Manual, solo a hilera de árboles.	Tamaron 2 lts por Mz.	Los niveles se aplicaron solo a las hileras de árboles y el mulch al actual control.	López (1990)
1991	Grado, mullido y remoción	Manual	Semi-mecanizada	Furadan 45 kg/Mz Tamarón 2 Lts/Mz	Los niveles se aplicaron a los 0-20-45 dds a todo el diseño y mulch al actual control.	Lisette (1993)
1992	Grado, mullido y remoción	Manual	Manual	Furadan 45 kg/Mz Lorban 1 Lts / 20 Lbs de aserrin o arena.	Niveles a todo el diseño a los 0-20 dds.	Massiel (1995) Datos no publicados.
1993	-	-	-	-	-	*Escuela de Ciencias Forestales (1993), informe anual (datos no publicados)
1994 1995	-	-	-	-	-	▲Escuela de Ciencias Forestales (1994-1995), informe anual (datos no publicados)

*Escuela de Ciencias Forestales, (1993) sólo se reporto informe forestal, sin embargo se sabe que se podó, importo mulch y fertilizó con quimicos.

▲Escuela de Ciencias Forestales,(1994-1995) no se hizo ningún estudio por problemas de sequía.

Anexo 2. Producción de biomasa(seca) de *Leucaena* y *Gliricidia*, de los arbustos plantados a 7.5 m entre hilera.

Año	<i>Leucaena</i> kg/ha	<i>Gliricidia</i> kg/ha	Fuente
1991	1080	122	Lisette (1993).
1992	1278.4	837.8	Massiel (1995) datos no publicados
1993	1422.7	793.8	Escuela de Ciencias Forestales (1993).informe anual, datos no publicados

Anexo 3. Producción de biomasa de $N-NH_4^+$ y $N-NO_3^- + N-NO_2^-$ para todos los tratamientos sumados y acumulados a través de todo el periodo de estudio.

Tiempo	MCF NH_4^+	NO_3^-	Total	Acum	ML NH_4^+	NO_2^-	Total	Acum	MSF NH_4^+	NO_2^-	Total	Acum	MG NH_4^+	NO_2^-	Total	Acum
0	1.9	20.48	22.38	22.38	1.96	19.6	21.56	21.56	1.9	17.13	19.03	19.03	2.5	19.4	21.90	21.9
1	9.86	11.65	21.51	43.89	0.9	19.03	19.93	41.49	0	9.82	9.82	28.85	3.67	10.09	13.76	35.66
2	0	20.93	20.93	64.82	0	49.55	49.55	91.04	0	19.96	19.96	48.81	3.99	19.96	23.95	59.61
3	4.16	25.74	29.90	94.72	7.43	78.04	85.47	176.51	0	25.74	25.74	74.55	0.89	65.94	66.83	126.44
4	0.98	41.33	42.31	137.03	7.84	41.15	48.99	225.5	0	28.50	28.50	103.05	1.88	32.91	34.79	161.23
5	12.54	42.46	55	192.03	9.57	44.98	54.55	280.05	5.78	26.02	31.80	134.85	8.44	34.69	43.13	204.36
6	33.51	60.92	94.43	286.46	42.56	57.09	99.65	379.7	26.12	45.70	71.82	206.67	32.77	53.27	86.04	290.4
7	7.91	25.5	33.41	319.87	12.44	23.11	35.55	415.25	6.02	14.06	20.08	226.75	8.47	14.06	22.53	312.93
8	8.2	25.51	33.71	353.58	18.57	26.16	44.73	459.98	6.43	8.27	14.70	241.45	6.43	31.95	38.38	351.31
9	3.62	20.84	24.46	378.04	8.99	18.87	27.86	487.84	0	17.96	17.96	259.41	0	24.65	24.65	375.96
11	0	18.25	18.25	396.29	0	22.25	22.25	510.09	0	9.74	9.74	269.15	6.92	9.74	16.66	392.62
14	5.69	22.76	28.45	424.74	4.68	29.3	33.98	544.07	4.68	12.69	17.37	286.52	4.68	15.23	19.91	412.53
16	9.12	20.26	29.38	454.12	2.04	23.48	25.52	569.59	0	11.06	11.06	297.58	6.98	19.95	26.93	439.46

Anexo 4. Producción de N-NH_4^+ y $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$ netos por semana y acumulados (ppm) semanalmente a través de todo el periodo de estudio.

Semanas	MCF (NETO)	MCF (ACUM)	ML (NETO)	ML (ACUM)	MG (NETO)	MG (ACUM)
0	3.35	3.35	2.53	2.53	2.87	2.87
1	11.69	15.04	10.12	14.65	3.95	6.82
2	0.97	16.01	29.59	42.23	3.99	10.81
3	4.16	20.17	59.73	101.96	41.09	51.90
4	13.81	33.98	20.49	122.45	6.29	58.19
5	23.20	57.18	22.75	145.20	11.34	69.53
6	22.61	79.80	27.83	173.03	14.23	83.75
7	13.33	93.13	15.47	188.51	2.45	86.20
8	19.01	112.14	30.03	218.54	23.67	109.88
9	6.5	118.64	9.89	228.43	6.69	116.57
11	8.51	127.15	12.51	240.94	6.92	123.49
14	11.08	138.23	16.61	257.55	2.54	126.03
16	18.32	156.55	14.47	272.02	15.88	141.91

Anexo 5. Datos climáticos de la Estación Meteorológicos de Masaya, acumulados semanalmente.

Semanas	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	Temperatura (max)
0	69.5	16	30.1
1	42.6	20.66	29.25
2	2.9	22.07	30.01
3	43.1	30.75	30.1
4	160.3	7.53	28.1
5	10.7	24.24	30.37
6	89.1	6.13	30.13
7	20.8	13.66	30.25
8	34.8	19.14	30.58
9	138.7	25.12	31.31
11	44.2	20.26	31.57
14	113.4	24.62	30.59
16	105.7	11.87	28.6

***Anexo 6.** Precipitación acumulada a lo largo del estudio y precipitaciones ocurridas días antes del muestro.

Semanas	Precipitación acumulada (mm)	Precipitaciones considerable(mm)	Días antes del muestreo en que hubieron precipitaciones
0	69.5	45.9-23.6	4-3
I	42.6	6-24.3-7.2	7-5-3
II	2.9	-	-
III	43.1	6.1-32.1	6-5
IV	160.3	13.5-29.1-111.5	5-2-1
V	10.7	7	5
VI	89.1	12-14-45-8-6	8-7-6-5-2
VII	20.8	10.4-6.1	5-4
VIII	34.8	11.2-10.7-7.6	6-5-3
IX	138.7	85.6-36-16.7	2-1-0
XI	44.2	21.2-13.8-9.2	7-5-3
XIV	113.4	45.9-23.6-28.2	7-6-0
XVI	105.7	22.8-49.2-26.3	6-3-2

*Las precipitaciones fueron tomadas de la estación meteorológica de Masaya y no son confiables en un cien porciento.