

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSTGRADO

**TASA DE DESCOMPOSICION, DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES Y
EFECTOS DE LA APLICACION DE COMPUESTOS ORGANICOS EN EL
CULTIVO DE MAIZ EN UN HUMIC ANDOSOL DE COSTA RICA**

POR

MARCELO FRANCIA ARCO-VERDE



Turrialba, Costa Rica
1998

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
SUBDIRECCION GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

15 DIC 1998

RECIBIDO

Turrialba, Costa Rica

**TASA DE DESCOMPOSICIÓN, DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES Y EFECTOS DE
LA APLICACIÓN DE COMPUESTOS ORGANICOS EN EL CULTIVO DE MAÍZ EN UN
HUMIC ANDOSOL DE COSTA RICA**

POR

MARCELO FRANCIA ARCO-VERDE

Turrialba, Costa Rica

1998

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA
AREA DE POSGRADO

CATIE

TASA DE DESCOMPOSICIÓN, DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES Y EFECTOS
DE LA APLICACIÓN DE COMPUESTOS ORGANICOS SOBRE EL CULTIVO DE
MAÍZ EN UN HUMIC ANDOSOL DE COSTA RICA.

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico de Posgrado y Capacitación
del Programa de Enseñanza en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro
Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de:

Magister Scientiae

por

Marcelo Francia Arco-Verde

Turrialba, Costa Rica

1998

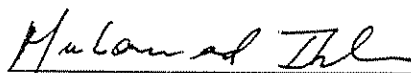
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Dirección de la Escuela de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

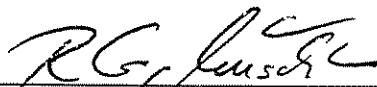
FIRMANTES:



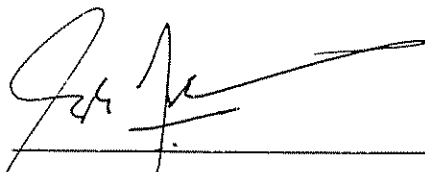
Donald Kass
Profesor Consejero



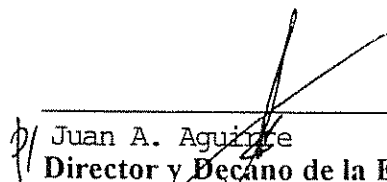
Muhammad Ibrahim
Miembro Comité Asesor



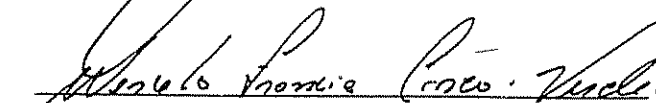
Reinhold Mascher
Miembro Comité Asesor



Miembro Comité Asesor



Juan A. Aguirre
Director y Decano de la Escuela de Postgrado



Marcelo Francia Arco-Verde
Candidato

DEDICATORIA

A Petra Cathleen Schmidt

y

a la memoria de mi abuelo

Oswaldo Coelho de Souza,

por su forma espectacular de ver la vida en todos sus momentos.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), en especial al Centro de Pesquisa Agroflorestal de Roraima, por haber permitido y financiado mis estudios de maestría.

El autor gustaría de mostrar su gratitud al Dr. Donald Charles Lieber Kass, profesor consejero de "primera clase" que además de haber conducido el trabajo de tesis con confianza y eficiencia, es un AMIGO extraordinario. También me gustaría agradecer a los miembros del comité, Dr. Muhammad Ibrahim, por su atenta contribución y enseñanzas; Dr. Reinhold Muschler, por su paciencia y valiosas sugerencias; y al Dr. Erick Cajetan Marian Fernandes, profesor de la Universidad de Cornell, siempre haciéndome pensar en la mejoría de la calidad de vida de los finqueros de bajos recursos. Gracias a todos por ampliar substancialmente mi visión científica y de vida.

A Johnny Perez, por su fundamental asistencia en el análisis estadístico. Asimismo a los doctores Christopher Kleinn y Gilberto Paes por sus valiosos esclarecimientos.

Al Dr. Eduardo Somarriba, siempre buscando mejorar el nivel académico de forma realista y objetiva.

Al Laboratorio de Suelos, en especial a Patricia Leandro, en lo cual fue fundamental para la realización de este estudio.

A los gentiles funcionarios de la Biblioteca Orton, siempre ayudando con toda buena voluntad.

A la Escuela de Posgrado, dirigida por el Dr. Juan Antonio Aguirre, con un especial agradecimiento a Lucy, Jeannet, Rosemary, Marta, Molina y Emilio.

Al equipo de MIP, con atención a Arturo Gamboa, Cristian, Liliana y Carlos

A todo el personal de campo que colaboró para la realización de este trabajo, especialmente a Adolfo, Manuel y Rigo.

A Susannah Tait y Paula Melon, estimadas profesoras de inglés que además de mostraren gran preocupación y profesionalismo en la enseñanza del idioma, son una de las pocas personas que en la vida se puede confiar y llamar de amigas.

A Dra. Maria Kass, gracias por su amistad y por transmitir tanta fuerza y determinación en los momentos más difíciles en Costa Rica.

A mi compañero de maestría Everaldo do Nascimento, por haber compartido todas las fases del curso con entusiasmo, seriedad y muy buen humor. Un agradecimiento especial a "Super" Lili Hurtado, Jesus y Judith, Larry y June, Ana Maria Domingues, Dinorah, Luis Gallo, Thomas, Tangaxuan, Musalen, Alejandro, Carlos Vieira y Dario.

A los amigos brasileiros de Turrialba: D. Maruja, "la madre de los brasileiros"; Ester, Chelsia, Deborah, Luisa, Viviane, D. Marina, Patricia y Marcos. Ustedes ayudaron mucho a disminuir la "saudade" de Brasil.

A mi familia, con especial ternura a "mis madres" Eliana Francia Arco-Verde y Maria Servo Flores.

BIOGRAFIA

El autor nació el 24 de Enero de 1967, en la ciudad de Curitiba, Estado del Paraná, Brasil.

En 1985, ingresó a la Facultad de Ingeniería Forestal de la "Universidade Federal do Paraná", donde se graduó como Ingeniero Forestal.

En 1990, es invitado a dictar las disciplinas de Dasometría y Fotogrametría y Fotointerpretación en el curso de Ingeniería Forestal de la Universidad Técnica del Beni, ubicada en Riberalta, Beni, Bolivia. En el mismo año trabaja como investigador del área de Manejo y Conservación Forestal del Instituto de Investigaciones Forestales de la Amazonía Boliviana.

En 1991, trabaja como extensionista de la Empresa de Asistencia Técnica y Extensión Rural del Estado del Amazonas, Brasil.

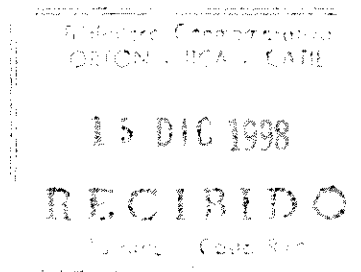
De 1992 a 1994, laboró en la implementación de sistemas agroforestales para la recuperación de áreas degradadas en la Amazonia Occidental de Brasil, en un convenio entre la Universidad Estatal de Carolina del Norte, E.U.A. y la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA) del Estado del Amazonas.

Es investigador agroforestal de EMBRAPA del Estado de Roraima, Brasil, desde Diciembre de 1994.

Ingresó al programa de Posgrado del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza en Enero de 1997 obteniendo el grado de *Magister Science* en Sistemas Agroforestales en Diciembre de 1998.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN		xiv
SUMMARY		xvi
LISTA DE TABLAS		ix
LISTA DE FIGURAS		xi
CAPÍTULO 1		
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL		1
1.2 OBJETIVOS		2
1.3 HIPÓTESIS		3
CAPITULO 2		
ARTICULO 1: COMPUESTOS ORGÁNICOS DE ORIGEN VEGETAL Y ANIMAL APLICADOS EN MAÍZ EN CONDICIONES DE INVERNADERO		4
2.1 Introducción		4
2.2 Revisión de Literatura		5
2.2.1 Importancia de la materia orgánica y del ciclaje de nutrientes		5
2.2.2 Descomposición de la materia orgánica		9
2.3 Materiales y Métodos		11
2.3.1 Descripción del experimento		11
2.3.2 Diseño Experimental		15
2.4 Resultados y Discusión		16
2.4.1 Composición química y descomposición de enmiendas orgánicas		16
2.4.2 Efectos sobre la fertilidad en un Humic Andosol		30
2.4.3 Crecimiento y absorción de nutrientes por maíz		38
2.4.4 Cambios en la distribución de nutrientes entre mantillo, suelo y cultivo		49
2.5 Conclusiones		58
2.6 Recomendaciones		60
2.7 Bibliografía		61



CAPITULO 3

ARTICULO 2: COMPUESTOS ORGÁNICOS DE ORIGEN VEGETAL Y ANIMAL APLICADOS EN MAÍZ EN CONDICIONES DE CAMPO	65
3.1 Introducción	65
3.2 Revisión de Literatura	66
3.2.1 Importancia de la materia orgánica y del ciclaje de nutrientes	66
3.2.2 Descomposición de la materia orgánica	67
3.2.3 Efectos de la aplicación de enmiendas orgánicas	69
3.3 Materiales y Métodos	71
3.3.1 Descripción del experimento	71
3.3.2 Diseño Experimental	75
3.4 Resultados y Discusión	76
3.4.1 Composición química de las enmiendas orgánicas	76
3.4.2 Efectos sobre la fertilidad de un Humic Andosol	80
3.4.3 Crecimiento y absorción de nutrientes por maíz	86
3.4.4 Correlaciones entre los nutrientes presentes en el suelo y en la biomasa de maíz	96
3.5 Conclusiones	97
3.6 Recomendaciones	98
3.7 Bibliografía	99
CAPITULO 4 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LOS EXPERIMENTOS DE INVERNADERO Y CAMPO	103

LISTA DE TABLAS

Capítulo 2

Tablas

1	Características químicas de un Humic Andosol al inicio del experimento	11
2	Cantidades de minerales aplicados por los tratamientos al inicio del experimento	14
3	Peso seco (g/kg de suelo) de los tratamientos al inicio, 20, 40 y 60 días después de la siembra del maíz	16
4	Contenido de nutrientes (mg/kg de suelo) de las enmiendas orgánicas a diferentes tiempos del ciclo de crecimiento del maíz	18
5	Concentración de nutrientes (%) de las enmiendas orgánicas a diferentes tiempos del ciclo de crecimiento del maíz	19
6	Análisis de fibra y polifenoles de las enmiendas vegetales	27
7	Contenido de nutrientes y pH en un Humic Andosol después de la aplicación de enmiendas vegetales y animales	32
8	Niveles de los nutrientes para interpretación de los análisis químicos de un Humic Andosol	32
9	Peso seco (g/kg de suelo) y altura (cm) del maíz con diferentes enmiendas vegetales y animales	40
10	Contenido de nutrientes (mg/kg de suelo) en la biomasa de maíz debido a la aplicación de enmiendas vegetales y animales	40
11	Concentración de nutrientes (%) en la biomasa de maíz debido a la aplicación de enmiendas vegetales y animales	41
12	Cambios en la distribución de nutrientes entre mantillo, suelo y cultivo	50
13	Coefficiente de correlación de Pearson/Prob>(R) entre los nutrientes de la biomasa y suelo	49

Capítulo 3

1	Características químicas de un Humic Andosol al inicio del experimento	72
2	Cantidad de minerales aplicados al inicio del experimento	74
3	Análisis de fibras y polifenoles de las enmiendas orgánicas	77
4	Cambios en pH y nutrientes en un Humic Andosol debido a la aplicación de enmiendas vegetales y animales	81
5	Niveles de los nutrientes para interpretación de los análisis químicos de un Humic Andosol	81
6	Resultados en el peso seco, altura y nutrientes en la biomasa de maíz debido a la aplicación de enmiendas vegetales y animales	87
7	Coefficiente de correlación de Pearson/Prob>(R) entre los nutrientes de la biomasa y suelo	96

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figuras

1	Peso seco (g/kg de suelo) de los compuestos	20
2	Contenido de nitrógeno (mg/kg de suelo) de los compuestos	20
3	Concentración de nitrógeno (%) de los compuestos	20
4	Contenido de fósforo (mg/kg de suelo) de los compuestos	24
5	Concentración de fósforo (%) de los compuestos	24
6	Contenido de potasio (mg/kg de suelo) de los compuestos	24
7	Concentración de potasio (%) de los compuestos	25
8	Contenido de calcio (mg/kg de suelo) de los compuestos	25
9	Concentración de calcio (%) de los compuestos	25
10	Contenido de magnesio (mg/kg de suelo) de los compuestos	26
11	Concentración de magnesio (%) de los compuestos	26
12	Cambios de pH en el suelo para los diferentes compuestos	34
13	Concentración de nitrógeno (%) en el suelo	34
14	Contenido de fósforo (mg/kg) en el suelo	34
15	Contenido de potasio (cmol(+)/l) en el suelo	37
16	Contenido de calcio (cmol(+)/l) en el suelo	37
17	Contenido de magnesio (cmol(+)/l) en el suelo	37
18	Peso seco (g/kg de suelo) de la biomasa de maíz	43
19	Altura promedio (cm) de las plantas de maíz	43
20	Contenido de nitrógeno (mg/kg de suelo) en las plantas de maíz	43
21	Concentración de nitrógeno (%) en las plantas de maíz	44
22	Contenido de fósforo (mg/kg de suelo) en las plantas de maíz	44
23	Concentración de fósforo (%) en la plantas de maíz	44
24	Contenido de potasio (mg/kg de suelo) en las plantas de maíz	47
25	Concentración de potasio (%) en las plantas de maíz	47

26	Contenido de calcio (mg/kg de suelo) en las plantas de maíz	47
27	Concentración de calcio (%) en las plantas de maíz	48
28	Contenido de magnesio (mg/kg de suelo) en las plantas de maíz	48
29	Concentración de magnesio (%) en las plantas de maíz	48
30	Cambios en el contenido de nitrógeno (mg/kg) entre el suelo, mulch y cultivo	53
31	Cambios en el contenido de fósforo (mg/kg) entre el suelo, mulch y cultivo	54
32	Cambios en el contenido de potasio (mg/kg) entre el suelo, mulch y cultivo	55
33	Cambios en el contenido de calcio (mg/kg) entre el suelo, mulch y cultivo	56
34	Cambios en el contenido de magnesio (mg/kg) entre el suelo, mulch y cultivo	57

Capítulo 3

1	Cambios del pH en el suelo para los diferentes tratamientos en el campo	84
2	Concentración de nitrógeno (%) en el suelo	84
3	Contenido de fósforo (mg/kg) en el suelo	84
4	Contenido de potasio (mg/kg) en el suelo	85
5	Contenido de calcio (mg/kg) en el suelo	85
6	Contenido de magnesio (mg/kg) en el suelo	85
7	Peso seco (g/m ²) de la biomasa de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas	89
8	Altura promedio (cm) del maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas	89
9	Contenido de nitrógeno (g/m ²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas	89

10	Contenido de fósforo (g/m ²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas	91
11	Contenido de potasio (g/m ²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas	91
12	Contenido de calcio (g/m ²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas	91
13	Contenido de magnesio (g/m ²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas	93
14	Contenido de cobre (g/m ²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas	93
15	Contenido de zinc (g/m ²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas	95
16	Contenido de manganeso (g/m ²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas	95

ARCO-VERDE, M.F. 1998. Evaluación de la disponibilidad de nutrientes, tasa de descomposición y efectos de productos agroforestales sobre cultivos anuales utilizados en Agricultura Orgánica. Tesis M.Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Palabras claves: Enmiendas orgánicas, composición química, liberación de nutrientes, compuestos secundarios, descomposición, suelo ácido, absorción, biomasa de maíz.

RESUMEN

La aplicación de compuestos orgánicos en cultivos tropicales es una técnica de bajos costos para pequeños productores en los trópicos. La aplicación de mulch en fincas de regiones poco desarrolladas puede reducir el uso de fertilizantes industriales, tornando los sistemas de producción más viables económica y ecológicamente. El objetivo del estudio fue evaluar la calidad de compuestos orgánicos de origen vegetal y animal aplicados en el cultivo de maíz en condiciones de invernadero y campo.

Experimento en invernadero: fueron comparadas el contenido de nutrientes y descomposición de las enmiendas de *Gliricidia sepium*, *Inga edulis*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna pruriens*, *Calliandra calothyrsus*, estiércol de ganado, estiércol de gallina y bocashi (mezcla de compuestos). Los análisis fueron realizados al inicio, 20, 40 y 60 días después de la siembra en el mulch y suelo y a los 20, 40 y 60 días en la biomasa de maíz.

Los compuestos de origen animal obtuvieron mejores resultados que las enmiendas vegetales en las variables evaluadas en el mulch, suelo y en la absorción de nutrientes en la biomasa de maíz. Las enmiendas vegetales presentaron diferencias en cuanto a la composición química, donde *Gliricidia sepium* fue el tratamiento con mayor descomposición en el mulch y más rápidas liberaciones de N, P, K, Ca y Mg. *Inga edulis* presentó los valores más altos para fibras y compuestos secundarios demostrando características de lenta descomposición.

Por lo general, la aplicación de compuestos orgánicos aumentó los contenidos de nutrientes en el suelo. De las enmiendas vegetales, la aplicación de mulch de *Gliricidia sepium* mostró los más altos valores para pH, N, P, K y Mg, manteniendo niveles normales en pH y N durante el estudio. *Canavalia ensiformis* presentó los más altos contenidos de Ca en el mulch y en el suelo. Entre los compuestos animales, los mejores tratamientos fueron bocashi y gallinaza.

Los mejores crecimientos en las plantas de maíz fueron observados con la aplicación de compuestos animales, principalmente bocashi. De las enmiendas vegetales, mayor crecimiento fue medido con el mulch de *Gliricidia sepium*.

Calliandra calothyrsus atendió las exigencias nutricionales para N; *Gliricidia sepium* para K y *Canavalia ensiformis* para K y Mg.

Experimento en campo: al inicio del experimento fueron comparadas la composición química de las enmiendas de *Gliricidia sepium*, *Inga edulis*, *Canavalia ensiformis*, *Calliandra calothyrsus*, estiércol de ganado, estiércol de gallina y bocashi (mezcla de compuestos). Los análisis fueron realizados al inicio y 60 días después de la siembra en el suelo y a los 30 y 60 días en la biomasa de maíz.

Las enmiendas vegetales aumentaron sus valores de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente acida (FDA) y lignina durante el periodo de estudio donde *Calliandra calothyrsus* presentó los más altos contenidos. Solo se detectó presencia de polifenoles en *Calliandra* e *Inga edulis*.

Los resultados de la aplicación de compuestos orgánicos en el campo fueron menos expresivos que en invernadero habiendo diferencias significativas solo para P y K, a través del uso de gallinaza y *Gliricidia sepium*, respectivamente. Bocashi fue el único compuesto a presentar relaciones normales de Ca/Mg, Ca+Mg/K, Mg/K y Ca/K.

Bocashi, estiércol de gallina y *Calliandra calothyrsus* fueron los tratamientos que mostraron los mejores resultados en el crecimiento de las plantas de maíz en cuanto a peso seco, altura y nutrientes.

La aplicación de compuestos orgánicos puede suplir las necesidades del cultivo de maíz, dependiendo de las características del residuo y especie utilizada. Cada compuesto orgánico tiene una determinada importancia en el desarrollo del cultivo para uno o más nutrientes presentes en el proceso de absorción de nutrientes en la biomasa.

ARCO-VERDE, M. F. 1998. Evaluation of nutrient availability, decomposition rate and effects of agroforestry products on maize applied in Organic Agriculture. Thesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica.

Keywords: organic amendments, chemical composition, nutrient release, secondary compounds, decomposition, acid soil, nutrient uptake, maize biomass.

SUMMARY

Use of organic amendments in tropical crops is a low costs system for smallholders in the Tropics. Mulch application in poor regions may reduce the use of chemical fertilizers making systems ecological and economically viable. The purpose of this work was to evaluate the quality of organic amendments on maize growth and utilization of nutrients in greenhouse and field conditions.

Greenhouse experiment: nutrient content and decomposition were compared working with *Gliricidia sepium*, *Inga edulis*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna pruriens*, *Calliandra calothyrsus*, cow manure, chicken manure and bocashi (mixed of compounds). The soil was analysed at the beginning and in intervals of 20, 40 and 60 days after sowing in mulch and soil; and at 20, 40 and 60 days in the maize biomass.

Animal amendments showed better results than vegetal amendments in the variables evaluated in the mulch, soil and nutrient uptake. *Gliricidia sepium* presented the best mulch decomposition and N, P, K, Ca and Mg release. Highest secondary compounds were found in *Inga edulis* showing slow decomposition patterns.

Generally, the application of organic amendments increased nutrient contents in the soil. *Gliricidia sepium* showed the best results for pH, N, P, K and Mg, retaining normal levels in pH and N during the experiment. *Canavalia ensiformis* showed best results for Ca in leaves and soil. The best results from the animal treatments were presented for bocashi and chicken manure.

Maize grew better when animal organic amendments were applied, with bocashi showing the best results. From the vegetal amendments, highest growth was measured in *Gliricidia sepium*. *Calliandra calothyrsus* supplied N levels appropriately; *Gliricidia sepium* to K and *Canavalia ensiformis* to K and Mg.

Field experiment: the chemical compositions of *Gliricidia sepium*, *Inga edulis*, *Canavalia ensiformis*, *Calliandra calothyrsus*, cow manure, chicken manure and bocashi (a mixture of compounds) were compared at the beginning of the study. The experiment was analysed at the beginning and then 60 days after sowing in soil; and at intervals of 30 and 60 days in the maize biomass.

Vegetal amendments increased neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and lignin contents during the 60 days of the study with *Calliandra calothyrsus* presenting the highest content. Polyphenols were observed only in *Calliandra* and *Inga edulis*.

The results of organic amendments application in the field were less pronounced than in the greenhouse showing significant differences only for P and K using chicken manure and *Gliricidia sepium*, respectively. Bocashi was the only compound to show normal nutrient relations of Ca/Mg, Ca+Mg/K, Mg/K and Ca/K.

Bocashi, chicken manure and *Calliandra calothyrsus* were the best treatments for improving maize growth when dry matter, height and nutrients were evaluated.

The application of organic amendments could supply maize requirements according to the mulch characteristics and species used. Each kind of amendment has a specific importance for one or more nutrients in the process of nutrient uptake in the crop growth.

CAPITULO 1

1.1 INTRODUCCION GENERAL

Los sistemas agroforestales difieren de las comunidades naturales de plantas porque las especies son seleccionadas y sus componentes arbóreos y cultivos son manejados a través de podas y cosechas. Los sistemas agroforestales ofrecen oportunidades para manejar el periodo de descomposición del detrito orgánico y la liberación de nutrientes. Esto puede ser obtenido a través de la:

- selección de especies de plantas con diferentes tasas de descomposición del detrito orgánico;
- manipulación del tiempo de adición de la hojarasca al suelo a través de ajustes en el periodo de poda u otras operaciones de corte de árboles;
- controlar la manera de adicionar el detrito orgánico, dejándolo en la superficie del suelo o incorporándolo (Young, 1990).

El uso de árboles leguminosos como fuente de N para cultivos es importante, principalmente en algunas partes del trópico húmedo donde los suelos son deficientes en N y el uso de fertilizantes nitrogenados inorgánicos está limitado por su alto precio (Palm Y Sánchez, 1990; Nyamai, 1992). Con el constante aumento de los costos de la fertilización inorgánica y la disminución de la mayoría de sus subsidios, los pequeños finqueros están entre los más afectados. Mejorar los sistemas de producción con el uso de árboles y arbustos leguminosos son posibles alternativas (Mwiinga et al., 1994).

Recientemente, la aplicación de compuestos orgánicos en cultivos tropicales volvió a tener importancia como una técnica de bajos costos para pequeños productores en los trópicos. Esto se debe porque enmiendas orgánicas ofrecen una serie de beneficios a los cultivos tropicales como control de erosión y malezas, conservación de la humedad del suelo, mantenimiento de la temperatura del suelo, adición de nutrientes y costos reducidos. El efecto de estos beneficios, cuando

utilizados de forma combinada sobre los cultivos, ofrece mejores condiciones ecológicas para su crecimiento (Budelman, 1989). La aplicación del mulch en fincas de regiones con una infraestructura poco desarrollada puede reducir la necesidad del uso de fertilizantes industriales, tornando los sistemas de producción viables económicamente y sostenibles ecológicamente, ofreciendo una alternativa para la agricultura migratoria (Budelman, 1989).

La dinámica de la descomposición de los residuos de las plantas dependen de la composición química de los tejidos. En este sentido, la relación C:N tiene gran importancia en la determinación de la tasa de mineralización (Nyamai, 1992). La presencia de los compuestos secundarios como taninos y polifenoles, y estructurales como lignina, hemicelulosa y celulosa, también afectan la liberación del N (Palm y Sánchez, 1990 Y 1991; Tian et al., 1992).

Sin embargo, todavía no hay informaciones precisas relacionadas al contenido de nutrientes disponibles para los cultivos de diferentes enmiendas orgánicas cuando aplicadas en sistemas de producción. Para planificar mejor el uso de los fertilizantes en las plantaciones se debe conocer la composición química, la cantidad de los elementos nutricionales, la tasa de descomposición de las enmiendas orgánicas y comparar los resultados con las necesidades de los cultivos.

1.2 OBJETIVOS

Evaluar la calidad de compuestos orgánicos vegetales y animales utilizados en el ciclo de maíz en condiciones de invernadero y campo, así como:

- Comparar la composición química y la tasa de descomposición de las enmiendas orgánicas de *Gliricidia sepium*, *Inga edulis*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna pruriens*, *Calliandra calothyrsus*, estiércol de ganado, estiércol de gallina y bocashi;

- Determinar la concentración y liberación de los nutrimentos N, P, K, Ca y Mg disponibles en el suelo, enmiendas y cultivo y las relaciones Ca/Mg, Mg/K, Ca/K y Ca+Mg/K en el suelo;
- Verificar el potencial de enmiendas a sustituir fertilizantes industriales al cultivo a través de una suplementación mineral;

1.3 HIPOTESES

- La composición química y la tasa de descomposición no son diferentes para cada compuesto orgánico;
- No hay diferencia cuanto a la liberación de los nutrientes disponibles entre los tratamientos;
- Las diferentes enmiendas orgánicas no afectan el crecimiento y la absorción de nutrientes por el cultivo de maíz.

CAPITULO 2

ARTÍCULO 1: COMPUESTOS ORGÁNICOS DE ORIGEN VEGETAL Y ANIMAL APLICADOS EN MAÍZ EN CONDICIONES DE INVERNADERO.

2.1 INTRODUCCION

La aplicación de compuestos orgánicos en cultivos tropicales volvió a tener importancia como una técnica de bajos costos para pequeños productores en los trópicos. Esto se debe porque enmiendas orgánicas ofrecen una serie de beneficios a los cultivos tropicales como control de erosión y malezas, conservación de la humedad del suelo, mantenimiento de la temperatura del suelo, adición de nutrientes y costos reducidos. El efecto de estos beneficios, cuando utilizados de forma combinada sobre los cultivos, ofrece mejores condiciones ecológicas para su crecimiento (Budelman, 1989). El uso de residuos orgánicos puede reducir la necesidad del uso de fertilizantes industriales, tomando los sistemas de producción viables económicamente y sostenibles ecológicamente, ofreciendo una alternativa para la agricultura migratoria (Budelman, 1989).

La dinámica de la descomposición de los residuos de las plantas, dependen de la composición química de los tejidos. En este sentido, la relación C:N tiene gran importancia en la determinación de la tasa de mineralización (Nyamai, 1992). La presencia de los compuestos secundarios como taninos y polifenoles, y estructurales como lignina, hemicelulosa y celulosa, también afectan la liberación del N (Palm y Sánchez, 1990 Y 1991; Tian et al., 1992).

Sin embargo, todavía no hay informaciones precisas relacionadas al contenido de nutrientes disponibles para los cultivos de diferentes enmiendas orgánicas cuando aplicadas en sistemas de producción. Para planificar mejor el uso de los fertilizantes en las plantaciones se debe conocer la composición química, la

cantidad de los elementos nutricionales, la tasa de descomposición de las enmiendas orgánicas y comparar los resultados con las necesidades de los cultivos.

2:2 REVISION DE LITERATURA

2.2.1- Importancia de la materia orgánica y del ciclaje de nutrientes.

La materia orgánica del suelo se define como la „fracción del suelo que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y substancias producidas por los habitantes del suelo. Esta fracción se determina en general en suelos que pasan por un tamiz con malla de 2.0 mm" (Soil Science Society of America citado por Fassbender y Bornemisza, 1987; Waring y Schlesinger, 1985).

El ciclo de la materia orgánica puede ocurrir a través de la producción de residuos vegetales que se incorporan al suelo cayendo primero sobre la capa de mantillo donde van siendo descompuestos e incorporados al suelo, en función de los procesos de mineralización y humificación (Fassbender, 1993).

Los procesos de transferencia de elementos nutritivos en las plantas se llevan a cabo por medios de transporte como el agua (lluvia, lavado foliar, escurrimiento de tallos y escurrimiento superficial) y la materia orgánica (producción de restos vegetales, descomposición y liberación de elementos nutritivos). Con el agua se produce un flujo de elementos y nutrientes disueltos en el ecosistema, como los nitratos y amonios, sulfatos, fosfatos, potasio, calcio y magnesio (Fassbender, 1993).

La disponibilidad de nutrimentos en la fracción orgánica es muy variable y su disponibilidad no es inmediata, ya que requiere de una mineralización previa. La liberación lenta y progresiva es una garantía de que los elementos móviles en el suelo como el nitrógeno, permanecen retenidos y no se pierden fácilmente por lavado (Kass, 1996).

El mantenimiento de la materia orgánica es esencial en la agricultura sin insumos externos. También es importante en suelos con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), en los cuales la mayoría de las cargas negativas están en los radicales orgánicos, y en suelos arcillosos susceptibles a la compactación (Sánchez, 1981). Las sustancias húmicas representan fuentes de lenta solubilización de nitrógeno, fósforo y azufre para la nutrición de plantas. También aportan, al mineralizar, potasio, magnesio y cantidades muy pequeñas de micronutrientes (Kass, 1996). En suelos sin problemas en la propiedades físicas, las prácticas de fertilización pueden disminuir la importancia de conservar la materia orgánica, donde las practicas adecuadas de fertilización química aumentan su contenido debido al aumento en la descomposición de las raíces y residuos de las cosechas (Sánchez, 1981). La disponibilidad de nutrientes en el suelo puede afectar seriamente el crecimiento del cultivo.

Los nutrientes minerales tienen funciones específicas y esenciales en el metabolismo de la planta, funcionando como un constituyente de la estructura orgánica, como activador de reacciones enzimáticas o como cargador y osmoregulador (Marschner, 1986).

Las principales funciones de los elementos minerales, como N y P, es servir como constituyentes de la proteína y ácidos nucleicos; Mg y micronutrientes (a excepción de Cl) pueden funcionar como constituyentes de estructuras orgánicas, predominantemente enzimas moleculares; K no forma parte de estructuras orgánicas ya que tiene la función de osmoregulación, manteniendo el equilibrio eletroquímico en las células y en sus compartimentos como también en la regulación de actividades enzimáticas (Marschner, 1986). En seguida se hace una breve descripción de las principales funciones de los elementos químicos estudiados:

Nitrógeno (N): es el elemento más frecuentemente deficiente en los cultivos donde las plantas normalmente contienen 1 a 5 % de N por peso seco, siendo absorbido por las raíces, en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+), o como urea, compuesto

fertilizante que posteriormente mineraliza en el suelo a formas amoniacales y nítricas (Kass, 1996). Los compuestos nitrogenados son móviles en las plantas y las mayores pérdidas se producen por lixiviación en forma de nitratos (NO_3^-). Algunas bacterias usan nitrato como un aceptor de electrón bajo condiciones anaerobias y producen gases nitrosos (N_2 y NO_x), en un proceso que puede causar considerable pérdida de N de los suelos a través de la denitrificación. La reducción del nitrato a amoníaco (NH_3) es mediada por las enzimas: nitrato reductase, que reduce el nitrato a nitrito (NO_2^-); y nitrito reductase, que reduce el nitrito a amoníaco. En general, cuando el suministro de nitrato externo es bajo, una alta proporción de nitrato es reducido en las raíces, y con su aumento, la capacidad para reducirlo en las raíces se torna un factor limitante ocurriendo un aumento en la proporción del nitrógeno total que es translocado para las ramas en forma de nitrato. El contenido de N para un óptimo crecimiento varía de 2 a 5 % del peso seco, dependiendo de la especie, fase de desarrollo y órgano de las plantas. La deficiencia de N provoca retardo del crecimiento, incremento de la asimilación de amoníaco, aumento del contenido de proteína, crecimiento de las hojas y consecuentemente, el índice de área foliar. El exceso de N pospone la senescencia y estimula el crecimiento. Sin embargo, también cambia la morfología de la planta, particularmente si la disponibilidad de N es alta en las raíces medianas en las primeras fases de crecimiento, donde la elongación de las ramas es estimulada mientras que de las raíces es inhibida (Marschner, 1986).

Fósforo (P): es un elemento poco móvil en las plantas y su retención puede ocurrir a través de fosfatos; por óxidos amorfos de Fe y Al o por alofanos; y también puede formar compuestos insolubles con cal. Los suelos tropicales pueden presentar valores altos de P total, pero bajos de P disponible a las plantas. Sánchez (1981) considera que el 60 % del P total en suelos tropicales puede encontrarse en forma orgánica. El contenido de P para un óptimo crecimiento está alrededor de 0.2% del peso seco de la planta. La deficiencia de P exhibe plantas con retardo de crecimiento y una coloración roja en las hojas debido a formación de antocianina o un color verde más oscuro que lo normal; también ocurre reducción general de los

procesos metabólicos, incluyendo la división y expansión celular, respiración y fotosíntesis (Marschner, 1986).

Potasio (K): es un cation univalente caracterizado por su alta movilidad en las plantas, con una concentración optima que varia de 2 a 5 % del peso de materia seca. Cuando hay deficiencia de K el crecimiento se retarda y las hojas y ramas maduras pueden tornarse cloróticas y necróticas. Cuando el suministro de agua es limitado, la pérdida de turgencia y marchitamiento son síntomas típicos de su deficiencia. Al incrementarse la cantidad de K en las raíces de las plantas, es relativamente fácil aumentar su contenido en los demás órganos, excepto en los granos y semillas. Sin embargo, su exceso puede interferir en la absorción y la disponibilidad fisiológica de magnesio y calcio (Marschner, 1986).

Calcio (Ca): es un cation bivalente con baja movilidad y no tóxico, mismo en altas concentraciones. Hojas con altos niveles de Ca forman una gran cantidad de material pectico como pectato de calcio el cual es importante para reducir la susceptibilidad del tejido a infecciones fungicas y maduración de frutos. El contenido de Ca en las plantas varia entre 0.1 a > 5.0 % del peso seco (Marschner, 1986).

Magnesio (Mg): es un cation bivalente donde su tasa de absorción puede disminuir fuertemente con la presencia de cationes como K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} , H^+ y también por bajo pH. Las funciones del Mg en las plantas están relacionadas con la movilidad en las células. Los requerimientos de Mg para un optimo desarrollo en las plantas es de 0.5 % del peso seco de las partes vegetativas. El síntoma más visible de deficiencia es la clorosis expandida en toda la hoja, siendo que el crecimiento de las raíces es más afectado que el crecimiento de las ramas. En las leguminosas esta deficiencia puede afectar el suministro de carbohidratos para los nódulos de las raíces, perjudicando la fijación de N_2 (Marschner, 1986).

2.2.2- Descomposición de la materia orgánica.

El término descomposición es usado para describir procesos donde la materia orgánica es descompuesta en partículas menores y formas solubles de nutrientes que pueden ser absorbidos por las plantas (Coleman y Crossley, 1996; Waring y Schlesinger, 1985).

Según Mafongoya et al. (1998) y Fassbender y Bornemisza (1987) la composición bioquímica de los restos vegetales varía dentro de grandes límites y depende de la edad y funciones del órgano vegetal analizado. Los tejidos verdes son más ricos en carbohidratos y proteínas y los tejidos leñosos presentan mayores contenidos de compuestos fenólicos (lignina) y celulosa. Especies de mulch generalmente tienen más bajo N y más altos contenidos de lignina que biomásas verdes. El contenido de polifenoles son menos previsible y pueden aumentar o disminuir con la edad, dependiendo de la especie (Mafongoya et al., 1998).

La combinación y proporción de los compuestos determina la calidad y la tasa de descomposición de los residuos de las plantas. Enmiendas orgánicas de alta calidad presentan alto contenido de N, bajo contenido de lignina y polifenoles, descomponen rápidamente y liberan nutrientes a corto plazo para las plantas. En contraste, enmiendas de baja calidad presentan bajos niveles de N, altos niveles de lignina y polifenoles y presentan lenta liberación de nutrientes, protegiéndolos de su lixiviación o reciclaje hasta que sean mineralizados (Nyamai, 1992; Young, 1990).

Ya especies con altos contenidos de N y amplio contenido de polifenoles pueden ser divididos en dos categorías: (a) especies con poca capacidad de ligarse a proteínas (p.ej. *Leucaena leucocephala*) con hojas de rápida descomposición que liberan gran cantidad de N a pesar de la presencia de polifenoles, y (b) especies como *Calliandra calothyrsus* con gran capacidad para ligarse a proteínas y con baja descomposición de las hojas que liberan muy poco N (Mafongoya et al., 1998).

En estudios de Tian et al. (1992) y Palm y Sánchez (1990 y 1991), fueron observadas correlaciones negativas entre la tasa de descomposición y las variables C:N, % de lignina y contenido de polifenoles en los residuos. Residuos con bajo contenido de polifenoles (*Erythrina sp.*) descomponen más rápidamente que aquellos con alto contenido (*Inga edulis* y *Cajanus cajan*). Los polifenoles pueden retardar la descomposición y liberación del N al agregarse a los componentes que contienen nitrógeno en los residuos, formando complejos resistentes junto a la pared celular. En los patrones de liberación de fósforo también presenta importancia la calidad del residuo en los cuales la dinámica del nitrógeno puede influenciar la dinámica del fósforo en los primeros estadios de descomposición (Palm y Sánchez, 1990). Gutteridge (1990), aplicando el equivalente de 2.5 y 5.0 toneladas de materia seca/ha en el cultivo de maíz, encontró mayor disponibilidad de N en los tratamientos con fertilización química que en aquellos con enmiendas orgánicas. De las especies utilizadas, *Gliricidia sepium* obtuvo la más alta concentración de N en las hojas (4.35%), produciendo un efecto positivo sobre los rendimientos del cultivo. Mwiinga et al. (1994), observaron que el mulch de *Gliricidia sepium* presentó la mayor tasa de descomposición comparada con las otras especies (*Leucaena leucocephala*, *Sesbania sesban*, *Cassia siamea*, *Pericopsis angolensis* y *Flemingia congesta*). Por eso *Gliricidia* es considerada como la especie con mayor potencial para ser utilizada como enmienda orgánica por presentar rápidas tasas de descomposición y altas concentraciones de N, P y K en la biomasa.

La descomposición es por sí el catabolismo de componentes orgánicos de los residuos, siendo el resultado de las actividades de microorganismos. Algunos animales del suelo tienen celulases en el cual los permiten digerir los compuestos orgánicos. La tasa de descomposición del mulch es el resultado de un conjunto de varias actividades de la biota del suelo, como por ejemplo, respiración, estructura y dinámica de nutrientes en el suelo. La respiración del suelo estima la actividad biológica; la estructura del suelo es el resultado de acciones combinadas de la biota y el clima sobre substratos minerales; y la dinámica de nutrientes es la variable más estudiada para predecir el crecimiento de los cultivos (Coleman y Crossley, 1996).

2.3- MATERIALES Y METODOS

2.3.1 - Descripción del experimento

El experimento fue realizado en un invernadero del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, en Turrialba, Costa Rica. Está ubicado a 9° 53' Latitud Norte y 83° 34' Longitud Oeste a una altitud de 602 msnm. La zona de vida es clasificada como Bosque Húmedo Premontano con temperatura promedio anual de 22°C (Holdridge, 1987).

El suelo estudiado está clasificado como un Acrudoxic Melanudand (Humic Andosol), muy profundo, bien drenado, arcilloso de color marrón oscuro con grueso horizonte A, derivado o influido por cenizas volcánicas. Este suelo ocupa 25 % de las laderas del Volcán Irazú. El material parental del subsuelo > 75 cm es probablemente derivado de una camada inferior de una roca andesítica. Alta actividad biológica puede ser observada a través del suelo. La estructura es moderada a fuerte fina blocosa sub-angular. La reacción es fuertemente ácida y aumenta con la profundidad. Los más altos valores de pH en KCl que en H₂O a profundidades inferiores a 75 cm pueden indicar carga positiva neta (Kass et al., 1995). En la Tabla 1 pueden ser observadas las características del suelo estudiado. El suelo utilizado fue retirado de la estación experimental San Juan Sur a una profundidad entre 70 a 100 cm, por tener niveles más bajos de fertilidad. El muestreo se realizó en el mes de Marzo de 1998.

Tabla 1: Características químicas de un Humic Andosol al inicio del experimento

pH	Ac. Ext.	N	N	P	K	K	Ca	Ca	Mg	Mg
agua	cmol(+)/l	%	mg/kg	mg/l	cmol(+)/l	mg/kg	cmol(+)/l	mg/kg	cmol(+)/l	mg/kg
5.03	0.08	0.1	1000	3.43	0.03	1.17	0.27	5.4	0.07	0.84

Obs: Los datos de la tabla son valores promedios de tres repeticiones

Fueron utilizadas 144 macetas de 26 cm de diámetro (0.054 m²) y capacidad de recibir hasta 12 kg de suelo. Sin embargo, solo se utilizó 6 kg de suelo dejando suficiente espacio para la aplicación de la hojarasca de las diferentes especies y los demás tratamientos. La irrigación se realizó con agua destilada hasta la capacidad de campo evitándose pérdidas de nutrientes por lixiviación. Doce semillas de maíz fueron sembradas por maceta cuando a los 15 días después de la siembra se hizo un raleo dejándose 8 semillas para cada maceta. El maíz sembrado fue la variedad "Los Diamantes" para zonas tropicales bajas. Según su ciclo vegetativo, la floración ocurre entre 55-60 días, llegando a la madurez fisiológica aproximadamente a los 100 días. Fueron estudiados 36 tratamientos consistiendo de 3 tiempos de corte y 12 enmiendas orgánicas. Las enmiendas vegetales fueron podadas y sus hojas fueron secadas al aire durante 2 semanas, manteniendo sus características morfológicas. Los tratamientos están descritos a continuación:

- a) Testigo sin fertilización y sin mulch: tratamiento control donde no fue aplicado ningún fertilizante o compuesto orgánico.
- b) Testigo con fertilización y sin mulch: se aplicó 8.85 g de fertilizante químico con fórmula 18-5-15-6-0.67-7.3, respectivamente para N, P, K, Mg, B y S, el equivalente a 300 kg de N/ha.
- c) Mulch de *Gliricidia* 150N: se aplicó 26.46 g de hojarasca (hojas y tallo tierno) de *Gliricidia sepium* en la superficie del suelo, equivalente a 150 kg de N/ha.
- d) Mulch de *Gliricidia* 300N: se aplicó 52.92 g de hojarasca (hojas y tallo tierno) de *Gliricidia sepium* en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.
- e) Mulch de Inga: se aplicó 57.7 g de hojarasca (hojas y tallo tierno) de *Inga edulis* en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.
- f) Mulch de Calliandra: se aplicó 54.92 g de hojarasca (hojas y tallo tierno) de *Calliandra calothyrsus* en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.
- g) Mulch de Canavalia: se aplicó 59.44 g de hojarasca (hojas y tallo tierno) de *Canavalia ensiformis* en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.
- h) Mulch de Mucuna: se aplicó 49.32 g de hojarasca (hojas y tallo tierno) de *Mucuna pruriens* en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.

- i) Gallinaza: se aplicó 94.8 g de estiércol de gallina en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.
- j) Estiércol de ganado: se aplicó 71.42 g de estiércol de ganado en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.
- k) Bocashi 150N: este abono consta de una mezcla de componentes en las siguientes proporciones: 60 kg de tierra negra, 15 kg de cascarilla cruda de arroz, 20 kg de carbón, 30 kg sacos de gallinaza, 8 kg de cal, 1 litro de melaza y 5 kg de polidura de arroz. Se aplicó 142.2 g de Bocashi en la superficie del suelo, equivalente a 150 kg de N/ha.
- l) Bocashi 300N: el mismo tratamiento que el "k" con la diferencia que se aplicó 284.4 g de Bocashi, equivalente a 300 kg de N/ha.

El muestreo de las enmiendas orgánicas se realizó al inicio y a los 20, 40 y 60 días después de la siembra y la biomasa de maíz a los 20, 40 y 60 días. Los análisis químicos de los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Tejido Vegetal y Aguas de CATIE utilizando la siguiente metodología:

- Nitrógeno (N): determinación de N total a través del método Semi-micro Kjeldahl que comprende la extracción del N en la muestra con ácido sulfúrico concentrado y zinc metálico. Posteriormente se agrega hidróxido de sodio al extracto (1:1) y se destila por lo mínimo 10 minutos. El destilado es colectado en un recipiente conteniendo ácido bórico (2%) mas indicador, y a continuación es titulado con ácido sulfúrico (0.02 N).
- Fósforo (P): determinación de P a través del método colorímetro desarrollando azul de molibdeno. Se lee en el Espectrofotómetro UV/V λ 1 a una longitud de onda de 660 nm.
- Potasio (K): determinación de K a través de Absorción Atómica PERKIN ELMER 2380.
- Calcio (Ca) y Magnesio (Mg): determinación de Ca y Mg a través de extracción con KCl 1N y lectura por Absorción Atómica PERKIN ELMER 2380 de una alícuota diluida del extracto.

Los análisis químicos de suelos de las variables del estudio fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Tejido Vegetal y Aguas de CATIE utilizando la siguiente metodología (Sparks et al., 1996):

- Nitrógeno (N): determinación de N total a través del método Semi-micro Kjeldahl.
- Fósforo (P) y potasio (K): determinación de P y K a través del método de Olsen
- Calcio (Ca) y Magnesio (Mg): extracción con KCl 1N y lectura por Absorción Atómica PERKIN ELMER 2380 de una alícuota diluida del extracto.

Los resultados de los análisis fueron expresados en concentración (%) y su contenido en kilogramos por hectárea (kg/ha) o miligramo del elemento por kilogramo de suelo (mg/kg suelo). Para complementar la información, los resultados de los análisis de suelos también fueron expresados en las relaciones Ca/Mg, Ca/K, Ca + Mg/K y Mg/K. Se puede observar en la Tabla 2 la composición química de los tratamientos aplicados al inicio del experimento. En el estudio no fueron consideradas pérdidas de N por denitrificación.

Tabla 2: Cantidades de minerales aplicados con los tratamientos al inicio del experimento.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg
	kg/ha				
Gallinaza	300	461	212	1232	118
Boca150	150	104	145	563	56
Boca300	300	209	289	1125	113
Ganado	300	104	303	238	120
Canavalia	300	18	124	243	39
Mucuna	300	20	98	134	33
Calliandra	300	21	111	117	27
Inga	300	21	99	71	25
Gli150	150	11	101	78	16
Gli300	300	23	201	156	32

Los análisis químicos de polifenoles y lignina fueron realizados en las enmiendas orgánicas de origen vegetal al inicio y a los 60 días del estudio. El mulch

fue analizado en el Laboratorio de Nutrición Animal de CATIE con la siguiente metodología para las diferentes variables:

- Fibra Detergente Ácida (FDA), Fibra Detergente Neutra (FDN) y lignina: determinación a través del método de Van Soest (CATIE, 1991).
- Polifenoles: determinación de polifenoles totales y adheridos a la pared celular a través del método gravimétrico de fenoles solubles de Folin-Denis (Reed et al, 1984).

2.3.2 - Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño Experimental Factorial Completamente al Azar con doce tratamientos con tres tiempos de análisis (20, 40 y 60 días después de la siembra) y cuatro repeticiones. Para los análisis de la composición química de las enmiendas orgánicas de origen vegetal fueron utilizadas tres repeticiones, provenientes de 10 diferentes árboles seleccionadas al azar. Cada maceta representaba una unidad experimental independiente para cada fecha de muestreo, donde se cosechaban 36 macetas correspondientes a 12 tratamientos con 4 repeticiones. Cada maceta fue dividida en 3 partes, suelo, mulch y biomasa para cada tiempo de muestreo del experimento. Los resultados de las enmiendas orgánicas, suelo y biomasa de maíz fueron analizados a través de un análisis de varianza (ANOVA) multivariable a través de la prueba de Tukey para verificar las diferencias entre las medias y contrastes entre los tratamientos. También fueron realizadas correlaciones entre los resultados de las variables de la biomasa y suelo (SAS, 1989). Los tratamientos fueron comparados con el siguiente modelo estadístico lineal (Montgomery, 1991):

$$Y_{ijk} = u + t_i + a_j + ta_{ij} + e_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} = es la (ij) - ésima observación; u = es un parámetro común a todos los tratamientos denominado media global; t_i = es el efecto del tratamiento i - ésimo; a_j = es el efecto de la duración del tratamiento; ta_{ij} = es la interacción entre el tratamiento y la duración; e_{ijk} = es la componente aleatoria del error.

2.4 – RESULTADOS Y DISCUSION

2.4.1– COMPOSICIÓN QUÍMICA Y DESCOMPOSICIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS.

Los estudios de descomposición sólo fueron posibles con los compuestos de *Inga edulis*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna pruriens*, *Calliandra calothyrsus*, *Gliricidia sepium* y estiércol de ganado. Los tratamientos de bocashi y gallinaza no fueron analizados debido a la imposibilidad de separarlos del suelo.

Peso Seco: Se observó que el tratamiento de inga fue el único que mantuvo constante su peso seco, alrededor de 9 g/kg suelo, durante los 60 días de muestreo del experimento, indicando la necesidad de un período más largo para descomponer. Las enmiendas de ganado y gliricidia perdieron por lo menos la mitad de sus pesos iniciales demostrando que fueron los tratamientos con la más alta tasa de descomposición. (Figura 1 y Tabla 3). McLean (1991) y Tian et al. (1992a), confirman la rápida pérdida de peso seco de *Gliricidia sepium* al estudiar la descomposición de compuestos orgánicos en bolsas plásticas al descomponer casi 50 y 80 %, respectivamente, en los primeros 40 días. La descomposición de calliandra fue de 40 % en los primeros 20 días siendo sorprendente llevándose en cuenta que esta especie tiene baja tasa de degradación.

Tabla 3: Peso Seco (g/kg) de los tratamientos al inicio, 20, 40 y 60 días después de la siembra de maíz.

Tratamientos *	Tiempo (días)				
	Inicio	20	40	60	
Gliricidia-150N	4.41 g	2.92 d	2.4 d	2.15 d	51.7
Gliricidia-300N	8.82 e	6.69 bc	4.79 c	3.36 cd	37
Inga	9.62 c	9.40 ab	9.3 a	9.37 a	37
Calliandra	9.15 d	5.68 cd	5.43 c	5.23 bc	43
Mucuna	8.22 f	7.45 bc	5.96 bc	5.81 b	27 30
Canavalia	9.91 b	9.49 ab	7.01 b	5.48 bc	45
Ganado	11.9 a	11.18 a	7.37 b	5.99 b	50

* Medias de los tratamientos seguidos con la misma letra en las columnas no difieren significativamente (5%) por la prueba de Tukey.

Nitrógeno: Todos los tratamientos iniciaron el experimento con una proporción de 300 kg de N/ha (265 mg/kg suelo), excepto gliricidia-150N, con 150 kg de N/ha (132 mg/kg suelo). Los resultados del análisis estadístico ($p < 0.01$) indicaron que los compuestos de gliricidia, ganado y calliandra fueron los que liberaron N más rápidamente, siendo de 61.9, 49.7 y 42.8 % (Tabla 4). Estos resultados son confirmados en los estudios de Tian et al. (1992a), donde *Gliricidia sepium* liberó de 60 a 80 % de N en los primeros 40 días del experimento (Figura 2). Inga, mucuna y canavalia, además de haber liberado N más lentamente ($p < 0.01$), perdieron carbono en mayor proporción que el N en los primeros 20 días del estudio.

La concentración de N de los tratamientos, en orden decreciente, mostró tres grupos diferentes significativamente al inicio del estudio. Gliricidia, calliandra y mucuna; inga y canavalia; y ganado. Los valores de concentración de N de gliricidia concuerdan con los datos de Handayanto et al. (1994), Mwiinga et al. (1994), McLean (1991), Gutteridge (1990) y Budelman (1989 a y b), quienes también encontraron la más alta concentración de N al inicio del experimento.

A los 60 días el compuesto con más alta concentración del material no descompuesto en la maceta fue mucuna seguido de inga y canavalia (Tabla 5). En la Figura 3 se observa que la concentración de las enmiendas aumenta a los 20 y 40 días, excepto para los tratamientos de gliricidia. Mucuna, canavalia e inga iniciaron el experimento con 3.23, 2.68 y 2.76 %, respectivamente y a los 60 días tuvieron la concentración más alta, con 3.87, 3.06 y 3.0 %, respectivamente. Palm y Sánchez (1990), evaluando la tasa de descomposición de 3 leguminosas arbóreas (*Inga edulis*, *Cajanus cajan* y *Erythrina sp.*), encontraron 3.18 % de N en el mulch de inga al inicio del experimento, siendo similar al promedio en este estudio. Inga también fue considerado el tratamiento con la tasa de descomposición más baja del experimento.

Tabla 4: Contenido de nutrientes (mg/kg de suelo) de las enmiendas orgánicas a diferentes tiempos del ciclo de crecimiento del maíz

Nutrientes mg/kg suelo	Tiempo días	Tratamientos *						
		Gli-150	Gli-300	Inga	Calli	Mucuna Canavalia Ganado		
Nitrógeno	0	132.74 b	265.48 a	265.42 a	265.45 a	265.51 a	265.5 a	265.44 a
	20	82.59 d	230.14 bc	319.71 at	177.84 cd	307.69 bc	311.38 ab	258.14 a
	40	57.4 d	136.9 c	317.19 a	176.53 c	249.79 b	236.86 b	169.51 c
	60	46.87 e	70.56 de	281 a	138.99 cd	224.78 ab	167.79 bc	120.47 cd
Fósforo	0	10.14 c	20.29 b	18.27 bc	18.31 bc	18.08 bc	15.85 bc	91.66 a
	20	7	16.73 b	18.81 b	10.8 b	17.14 b	18.04 b	81.58 a
	40	4.56 c	11.97 bc	17.67 b	10.32 bc	14.9 b	11.91 bc	60.43 a
	60	3.87 b	7.73 b	12.18 b	6.79 b	11.04 b	9.87 b	34.16 a
Potásio	0	89.08 c	178.16 b	87.51 c	97.94 c	86.31 c	109.96 c	267.83 a
	20	44.36 c	115.74 b	47.96 c	44.32 c	61.84 c	103.48 b	165.39 a
	40	30.98 c	80.89 a	56.74 b	40.19 bc	47.69 bc	82 a	93.6 a
	60	25.37 a	52.42 a	56.2 a	37.62 a	48.79 a	61.96 a	49.15 a
Calcio	0	69.24 cd	138.47 b	62.51 d	103.43 bc	118.37 bc	214.97 a	210.69 a
	20	47.57 b	103.03 b	54.54 b	75.57 b	102.07 b	261.07 a	197.8 a
	40	46.59 e	112.49 bc	68.83 de	90.17 cd	110.29 bc	281.74 a	145.19 b
	60	42.79 b	67.2 b	54.33 b	70.54 b	94.68 b	168.34 a	90.5 b
Magnesio	0	14.11 d	28.22 bc	22.12 cd	23.8 bcd	29.59 bc	34.67 b	105.94 a
	20	10.51 c	23.42 bc	32.91 bc	18.18 bc	26.82 bc	40.82 b	91.64 a
	40	8.89 d	22.02 cd	24.18 c	19.01 cd	26.23 c	41.35 b	68.54 a
	60	8.6 b	13.44 ab	21.54 ab	17.24 ab	23.81 ab	27.97 ab	37.16 a

* Medias de los tratamientos seguidos con la misma letra en las líneas no difieren significativamente (5%) por la prueba de Tukey.

Tabla 5: Concentración de nutrientes (%) de las enmiendas orgánicas a diferentes tiempos en el ciclo de crecimiento del maíz

Nutrientes	Tiempo días	Tratamientos *						
		Gli-150	Gli-300	Inga	Calli	Mucuna	Canavalia Ganado	
Nitrógeno (%)	0	3.01 a	3.01 a	2.76 ab	2.9 a	3.23 a	2.68 ab	2.23 b
	20	2.83 c	3.44 b	3.4 b	3.13 bc	4.13 a	3.28 bc	2.31 d
	40	2.39 d	2.86 c	3.41 b	3.25 bc	4.19 a	3.38 b	2.3 d
	60	2.18 c	2.1 c	3 b	2.66 bc	3.87 a	3.06 b	2.01 c
Fósforo (%)	0	0.23 b	0.23 b	0.19 b	0.2 b	0.22 b	0.16 b	0.77 a
	20	0.24 bc	0.25 b	0.2 c	0.19 c	0.23 bc	0.19 c	0.73 a
	40	0.19 b	0.25 b	0.19 b	0.19 b	0.25 b	0.17 b	0.82 a
	60	0.18 b	0.23 b	0.13 b	0.13 b	0.19 b	0.18 b	0.57 a
Potasio (%)	0	2.02 a	2.02 a	0.91 b	1.07 b	1.05 b	1.11 b	2.25 a
	20	1.52 ab	1.73 a	0.51 e	0.78 d	0.83 d	1.09 c	1.48 b
	40	1.29 b	1.69 a	0.61 c	0.74 c	0.8 c	1.17 b	1.27 b
	60	1.18 b	1.56 a	0.6 d	0.72 d	0.84 bcd	1.13 bc	0.82 cd
Calcio (%)	0	1.57 bc	1.57 bc	0.65 d	1.13 cd	1.44 bc	2.17 a	1.77 ab
	20	1.63 b	1.54 b	0.58 c	1.33 b	1.37 b	2.75 a	1.77 b
	40	1.94 bc	2.35 b	0.74 d	1.66 c	1.85 c	4.02 a	1.97 bc
	60	1.99 b	2.0 b	0.58 d	1.35 c	1.63 bc	3.07 a	1.51 bc
Magnesio (%)	0	0.32 bc	0.32 bc	0.23 c	0.26 bc	0.36 b	0.35 bc	0.89 a
	20	0.36 b	0.35 b	0.35 b	0.32 b	0.36 b	0.43 b	0.82 a
	40	0.37 cd	0.46 c	0.26 e	0.35 cd	0.44 cd	0.59 b	0.93 a
	60	0.4 ab	0.4 ab	0.23 b	0.33 ab	0.41 ab	0.51 ab	0.62 a

* Medias de los tratamientos seguidos con la misma letra en las líneas no difieren significativamente (5%) por la prueba de Tukey.

Figura 1: Peso Seco (g/kg de suelo) de los compuestos

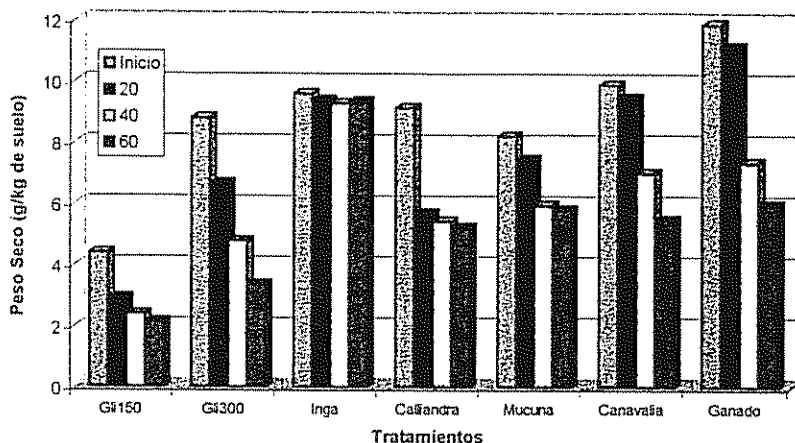


Figura 2: Contenido de nitrógeno (mg/kg de suelo) de los compuestos

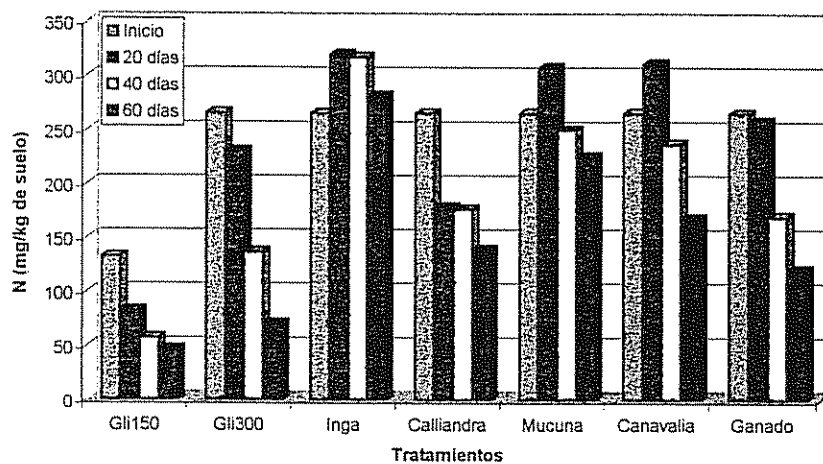
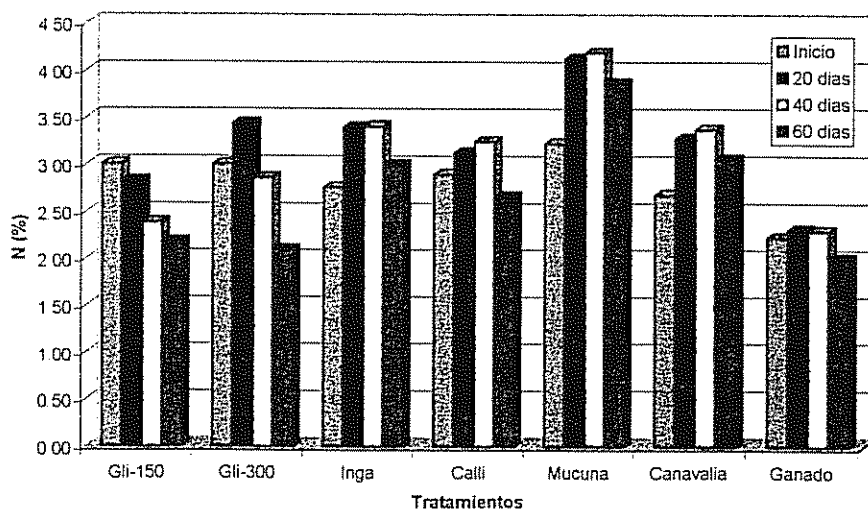


Figura 3: Concentración de nitrógeno (%) de los compuestos



Gliricidia, calliandra y ganado presentaron un comportamiento opuesto de los demás, finalizando el estudio con menor concentración de N (Tabla 5). Las diferencias significativas en la disminución de la concentración de N entre las diferentes enmiendas como también sus pérdidas del contenido de N fueron la consecuencia de que gliricidia y ganado perdieron más materia seca que mucuna, inga y canavalia (Mwiinga et al., 1994).

Fósforo: La descomposición de P en el tiempo se presenta en la Figura 4. Estiércol de ganado tuvo mayor ($p < 0.01$) contenido de P comparado con los otros tratamientos, que tuvieron valores menores de 91.66 mg/kg suelo al inicio del experimento. A excepción de gliricidia-150N, no se observó diferencia significativa en el contenido de P entre los materiales vegetales. A los 60 días del estudio, ganado fue el único tratamiento que se difirió significativamente ($p < 0.01$) de los demás en cuanto a su contenido (Tabla 4) y concentración (Tabla 5). Las enmiendas de inga, canavalia y mucuna presentaron una retención de P principalmente en los primeros 20 días del ciclo de maíz, mostrando una tendencia similar a los estudios de Palm y Sánchez (1990). Los patrones de liberación de P observados demuestran la importancia de la calidad del substrato sobre la dinámica de nutrientes (Palm y Sánchez, 1990).

La calendarización y frecuencia con que los nutrientes estarán disponibles para las plantas afecta la recuperación de nutrientes donde retrasos de más de un año en la aplicación de P frecuentemente causan pérdida de productividad que rara vez es recuperada por una fertilización posterior (Szott y Kass, 1993). La inmovilización de P en el tiempo no ocurre pero la concentración de P en el mantillo remanente sugiere que la dinámica del nitrógeno puede influenciar en la del fósforo por lo menos en las primeras fases de la descomposición. Sin embargo en las fases posteriores P es mineralizado independientemente del nitrógeno (Palm y Sánchez, 1990).

La concentración de P en los materiales varió muy poco a lo largo del tiempo (Figura 5), no habiendo diferencia significativa entre los compuestos orgánicos de origen vegetal (Tabla 5). Gliricidia mantuvo los niveles de P alrededor de 0.25 % durante el estudio, valor similar al encontrado por McLean (1991), al comparar la descomposición de *Gliricidia sepium* y *Cassia spectabilis*. Sin embargo, los estudios de Tian et al. (1992a) evaluando la liberación de nutrientes en bolsas plásticas, muestran una rápida liberación de P de la enmienda de *Gliricidia sepium* a lo largo del experimento.

Potasio: Los contenidos de K son observados en la Tabla 4 donde al inicio del estudio, los niveles más altos fueron encontrados en el ganado seguido de gliricidia-300N. Las enmiendas de canavalia, inga, mucuna, calliandra y gliricidia-150N no presentaron diferencia significativa. Sin embargo, a los 60 días no hubo diferencia estadística entre los tratamientos. Esto demostró que ganado obtuvo la más alta liberación de K, con 267 mg/kg de suelo al inicio y 49.15 mg/kg de suelo a los 60 días, descomponiendo 81.6 % en los 60 días de incubación (Tabla 4 y Figura 6). La rápida liberación de K puede generar pérdidas considerables por lixiviación en los procesos primarios de descomposición (Palm y Sánchez, 1990), dependiendo de la capacidad de la vegetación presente en utilizar K.

Ganado (2.25 %) y gliricidia (2.02 %) alcanzaron las más altas concentraciones de K al inicio de experimento, difiriendo significativamente de los demás tratamientos (Tabla 5). Sin embargo, a los 60 días, la mayor concentración fue de gliricidia-300N con 1.56 %. Los compuestos de origen vegetal, inga, calliandra y mucuna tuvieron las más bajas concentraciones en los diferentes tiempos de muestreo. Como se puede observar en la Figura 7, a excepción de canavalia, los demás compuestos orgánicos disminuyeron la concentración de K durante el estudio. La rápida liberación de K de las enmiendas orgánicas demuestra su alta solubilidad. Tian et al. (1992a) encontraron que las características químicas y actividades de la fauna del suelo afectaron más la liberación del nitrógeno y fósforo que la de potasio.

Calcio: Canavalia y ganado fueron los compuestos con más alto contenido de Ca al inicio del trabajo, con valores de 2.17 y 1.77 %, respectivamente, diferenciándose significativamente de los demás. Los más bajos niveles de Ca fueron encontrados en inga, gliricidia-150N y calliandra (Tabla 4). A pesar de que canavalia fue el tratamiento con más alto nivel de Ca, su liberación fue una de las más bajas (21.7 %), observándose retención de Ca y menor liberación de carbono en el proceso de descomposición a los 20 y 40 días. También se observaron pocos cambios en el contenido de Ca en el compuesto de ganado a los 20 días y en mucuna, calliandra e inga a lo largo del estudio (Figura 8), lo que contradice los resultados encontrados por Tian et al. (1992a), donde se verificó una rápida liberación de Ca de *Gliricidia sepium* en los primeros 40 días del estudio. Los compuestos con mejor liberación de Ca fueron ganado (57%), gliricidia-300N (51.46%) y gliricidia-150N (38.2%) como se puede observar en la Figura 8. La inmovilización inicial y la baja tasa de ciclaje de Ca es generalmente atribuido a la acumulación de oxalato de calcio en los hongos que colonizan el tejido de la hoja en descomposición. (Palm y Sánchez, 1990). Durante la fase del estudio, canavalia e inga fueron los tratamientos con las concentraciones más altas y bajas de Ca, respectivamente ($p < 0.01$). Por lo general la concentración de Ca aumentó a lo largo del estudio alcanzando los valores más altos a los 40 días (Figura 9).

Magnesio: El más alto contenido de Mg aplicado en el maíz fue de la enmienda de ganado (105.94 mg/kg suelo). Enseguida, siguen canavalia > mucuna > gliricidia-300N > calliandra > inga > gliricidia-150N (Tabla 4). Ganado fue el tratamiento con mejor descomposición hasta los 60 días, liberando 64.9% del Mg inicial. Los tratamientos con la más baja liberación de Mg a lo largo del ciclo fueron canavalia, mucuna e inga (Figura 10). Inga mostró también mayor inmovilización a los 20 días. Ganado e inga fueron las enmiendas con las concentraciones más altas y bajas de Mg del estudio (Tabla 5). En los tratamientos de canavalia, mucuna, calliandra y gliricidia fueron observados aumentos en la concentración de Mg hasta los 60 días mientras inga terminó el estudio con la misma concentración inicial (0.23%) y ganado sólo bajó su concentración a los 60 días (Figura 11).

Figura 4: Contenido de fósforo (mg/kg de suelo) de los compuestos

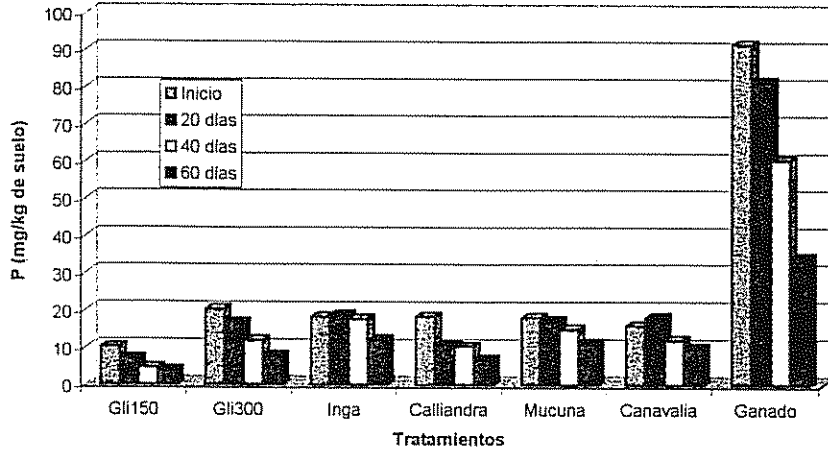


Figura 5: Concentración de fósforo (%) de los compuestos

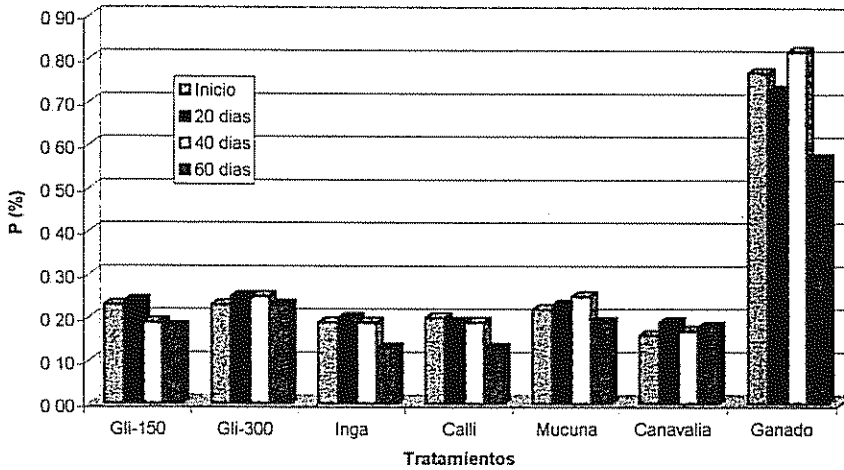


Figura 6: Contenido de potasio (mg/kg de suelo) de los compuestos

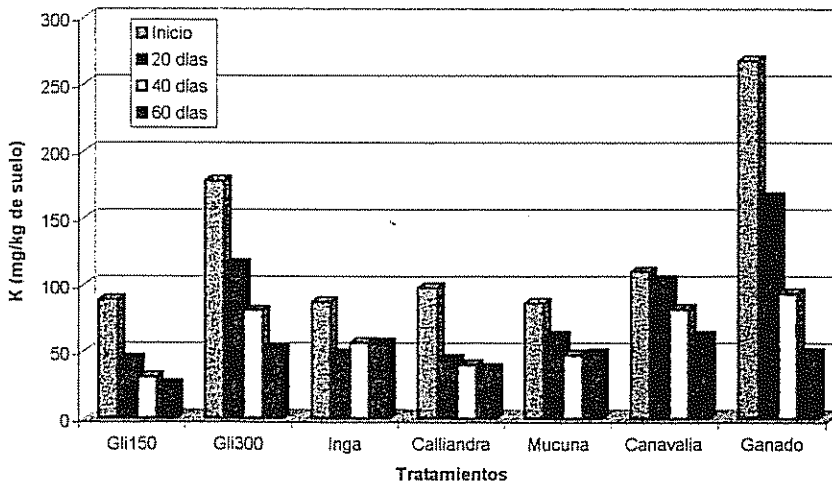


Figura 7: Concentración de potasio (%) de los compuestos

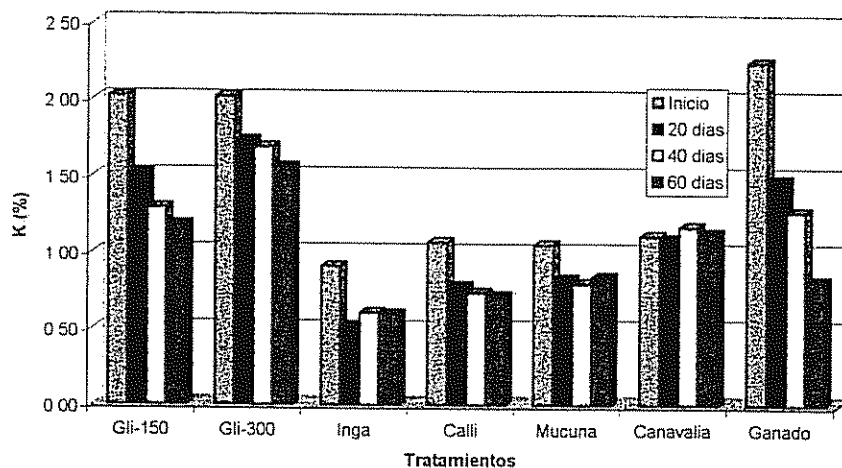


Figura 8: Contenido de calcio (mg/kg de suelo) de los compuestos

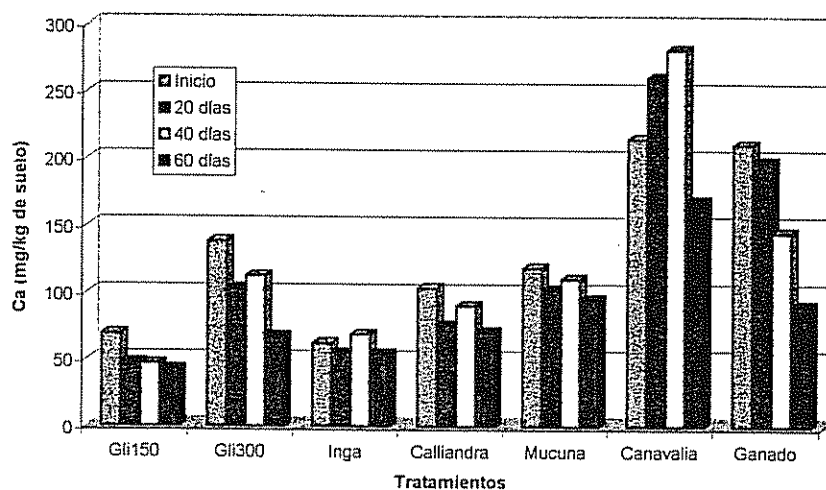


Figura 9: Concentración de calcio (%) de los compuestos

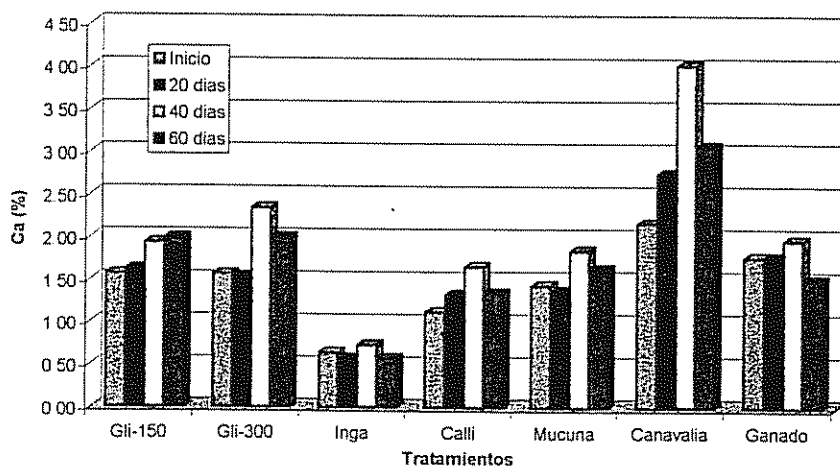


Figura 10: Contenido de magnesio (mg/kg de suelo) de los compuestos

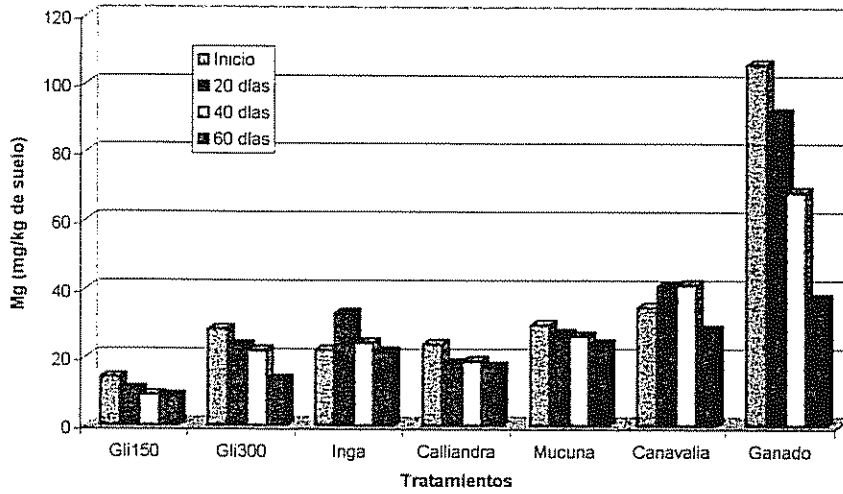
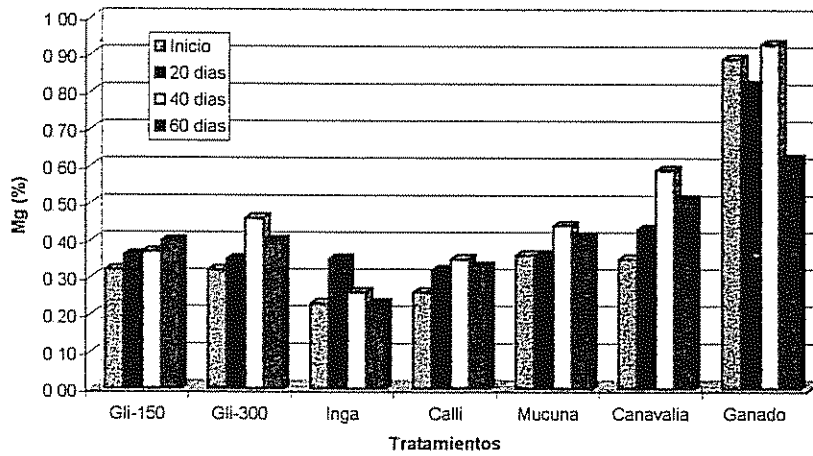


Figura 11: Concentración de magnesio (%) de los compuestos



Fibras y Compuestos Secundarios: Los resultados de los análisis de fibras y compuestos secundarios se presentan en el Tabla 6. Los niveles de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) fueron mayores para las enmiendas de gliricidia e inga comparado con calliandra, canavalia y mucuna. La concentración de lignina fue superior para inga y calliandra y los valores más bajos fueron presentados por canavalia y mucuna. No se detectó polifenoles en canavalia y gliricidia pero inga, mucuna y calliandra presentaron valores de 1.1, 0.78 y 0.7 mg/g, respectivamente. Inga fue el tratamiento que presentó los valores más altos en todas las variables estudiadas; y canavalia y mucuna fueron las enmiendas con valores más bajos (Tabla 6).

Tabla 6: Análisis de fibras y polifenoles de las enmiendas vegetales

Variables	Tiempo	Tratamientos			
		Calliandra	Canavalia	Gliricidia	Inga
FDN %	Inicio	59.5	56.4	77.9	78.6
FDA %	Inicio	38	32.8	51.7	59.5
Lignina %	Inicio	22.2	12.8	19.8	32.5
Polifenoles Mat. Orig.(mg/g)	Inicio	0.7	0	0	1.1
Polifenoles Lig. FDN (mg/g)	Inicio	0	0	0	0

FDN: fibra detergente neutra

FDA: fibra detergente ácida

Las concentraciones de lignina al inicio del experimento variaron de 11.18 % en mucuna hasta 32.5 % en inga. El porcentaje de lignina en las hojas de especies agroforestales varían entre 5% a 20% del peso seco de hojas verdes y de 10% a 40 % en el mulch. Se ha sugerido que 15% de lignina ya es un nivel crítico donde encima de esto la descomposición es afectada ya que la lignina protege la celulosa en la pared celular (Mafongoya et al., 1998). Como se puede observar en la Tabla 6 calliandra, gliricidia, inga y canavalia presentaron niveles de lignina superiores al

nivel crítico sugerido por Mafongoya et al. (1998). Enmiendas orgánicas con altos contenidos de lignina resultan en baja mineralización neta y absorción en el primer periodo de cultivo, sin embargo, puede producir gran efecto residual en el periodo subsecuente. La misma tendencia ocurre con compuestos con altas concentraciones de taninos que necesitan de un periodo más largo para empezar a descomponer pero, después de este retraso, liberan nutrientes rápidamente (Myers et al., 1997).

Los resultados presentados por el Laboratorio de Nutrición Animal de CATIE expresaron muy poca variación en los valores de polifenoles totales y ninguna presencia de polifenoles adheridos a la pared celular (Tabla 6) para las enmiendas orgánicas evaluadas. Desafortunadamente, la falta de diferencias en los resultados de polifenoles presentados nos impiden hacer una mejor evaluación entre los tratamientos.

Disminución de las condiciones de estrés del medio ambiente (sequía o acidez del suelo) y reducción del ataque de plagas o enfermedades pueden cambiar la composición química de las plantas y residuos. Cuando los compuestos orgánicos pasan por periodos de sequía asociados a altas temperaturas puede haber alteraciones en la cantidad y balance de tipos de polifenoles, reduciendo la cantidad de polifenoles "activos" aptos a combinarse con las proteínas (Mafongoya et al., 1998; Mafongoya, 1995). Las razones de los cambios en la composición química de los polifenoles citados por Mafongoya et al. (1998), tal vez puedan explicar parte de los resultados obtenidos en este estudio. El muestreo de las especies vegetales fue realizado 2 semanas antes de la siembra del experimento, almacenado durante 8 semanas bajo condiciones ambientales de invernadero para, finalmente, ser analizados en laboratorio. El lapso de tiempo para realizar los análisis químicos pudo influenciar en los altos valores de FDA y para la disminución de los contenidos de polifenoles en los compuestos vegetales.

Con este ejemplo queda claro que hay la necesidad de homogeneizar los patrones para caracterización de los residuos en cuanto la edad, composición de

partes de la planta (hojas completas, tallos tiernos, copa del árbol) y sus condiciones de crecimiento (condiciones nutricionales y concentración de CO₂ del ambiente)(Vanlauwe et al., 1997).

Discusión General: El uso eficiente de compuestos orgánicos en agroforestería requiere de un entendimiento de los controles de liberación de nutrientes de estos materiales. Clima, textura del suelo, lugar, cantidad, calidad, composición química y el método de aplicación del mulch pueden afectar la tasa de descomposición de los materiales (Nair, 1993; Szott y Kass, 1993; Meentemeyer, 1978). Nutrientes provenientes de compuestos orgánicos generalmente son liberados más lentamente cuando comparados con fertilizantes inorgánicos. Por un lado esto puede ser una ventaja ya que el mulch protege el suelo disminuyendo la lixiviación y el transporte de nutrientes por la escorrentía. Por otro lado la baja liberación de nutrientes del mulch puede resultar en bajas eficiencias por no suplir los nutrientes adecuadamente al cultivo (Budelman, 1989b).

Es común encontrar resultados significativos de la aplicación de compuestos orgánicos solamente después de haber sido practicado por algunos años. Los parámetros utilizados para mejorar la descomposición fueron aumentar la concentración de N en las hojas, reducir la concentración de polifenoles solubles y reducir la capacidad de los polifenoles de se unir a las proteínas (Mafongoya et al., 1998).

Mezclar enmiendas orgánicas de diferentes especies con diferentes calidades puede ser una forma de regular las tasas de descomposición y liberación de nutrientes (especialmente N) de las podas. Existen 3 tipos de constituyentes solubles en el mulch que se pueden mover, resultando en interacciones entre los compuestos orgánicos del mantillo: (1) componentes que contienen de inmediato carbono disponible como substrato, (2) componentes que contienen de inmediato N disponible, y (3) polifenoles solubles en los cuales pueden reaccionar con las

proteínas dando a los componentes resistencia inmediata al ataque de microorganismos (Mafongoya et al., 1998).

Experimentos mezclando residuos de *Gliricidia sepium* (rápida liberación de N) con *Peltophorum dasyrrachis* (lenta liberación de N), con diferentes proporciones, revelaron una tendencia lineal, con el contenido de polifenoles aumentando de acuerdo con el aumento en la proporción de *Peltophorum*. Sin embargo, las mezclas tuvieron muy baja capacidad de unirse a la proteína (PBC), parecida a los residuos puros de *Gliricidia sepium*, aunque más de 50 % fue derivado de *Peltophorum*. Según Handayanto et al. (1997), la PBC y la tasa (lignina + polifenol):N son los mejores indicadores de calidad para observar la mineralización del N. También se observó disminución de la concentración de N y aumento en la concentración de lignina con la disminución de la proporción de *Gliricidia sepium* en la mezcla (Handayanto et al., 1997). Esto indica que intentar manipular la calidad de los compuestos orgánicos con altos contenidos de polifenoles puede mostrar resultados inesperados.

También se puede variar el suministro de nutrientes al mezclar enmiendas orgánicas con fertilizantes químicos, debido a los cambios en el suelo y en los procesos biológicos que determinan la disponibilidad de nutrientes. La respuesta inmediata de la planta a la adición de compuestos orgánicos y fertilizantes químicos puede ser menos de lo que se esperaba (Szott y Kass, 1993).

2.4.2 – EFECTOS SOBRE LA FERTILIDAD EN UN HUMIC ANDOSOL

Los resultados de las evaluaciones en el suelo son mostrados en la Tabla 7. Las muestras de suelo fueron retiradas a los 20, 40 y 60 días después de la siembra y fueron analizadas para N, P, K, Ca y Mg. Con estos datos se calcularon las relaciones entre los nutrientes Ca/Mg, Ca + Mg/K, Mg/K y Ca/K. Como referencia para una mejor comprensión de los resultados, en la Tabla 8 pueden ser vistos los niveles deficiente, normal y en exceso de los nutrientes y sus relaciones en el suelo.

La concentración de los nutrientes en la solución del suelo puede variar ampliamente dependiendo de factores como humedad, pH, capacidad de intercambio catiónico, potencial redox, cantidad de materia orgánica en el suelo, actividad de microorganismos y aplicación de fertilizantes. Lixiviación y transporte por flujo de masa para la superficie de las raíces tienen menor importancia en suelos minerales (Marschner, 1986).

pH: El pH inicial fue en promedio 5.03 y la aplicación de mulch resultó en un aumento del pH en el tiempo con una tendencia de mayores valores a los 40 días de incubación (Figura 12). Resultados semejantes fueron encontrados por Yobterik et al. (1994), que probando la aplicación de diferentes especies de mulch para el cultivo de maíz, observó un aumento en el pH en las primeras 2 semanas llegando a los más altos valores entre 30 y 45 días. Después de los 45 días, hubo una cierta estabilización del pH hasta los 75 días, ilustrando una substancial neutralización por las enmiendas orgánicas (Yobterik et al., 1994). Los análisis estadísticos muestran diferencias significativas en el pH entre los tratamientos, siendo bocashi-300N y bocashi-150N los que presentaron los mayores valores (mayor que 6). Calliandra, gliricidia y fertilizante presentaron los más bajos valores al final de los 60 días de descomposición de la materia orgánica (Tabla 7). Un pH entre 5.5 y 6.5 fue alcanzado en casi todos los tratamientos excepto en el control, fertilizante y calliandra. Este rango de pH favorece la disponibilidad de P para las plantas. Con valores de pH inferiores a 5.5, la retención de P puede resultar de la reacción con Fe y Al (Kass, 1996; Marschner, 1986). Valores de pH mayores a 4 disminuyen la concentración de Al^{3+} y en suelos con pH superiores a 5.5 se vuelve poco importante (Marschner, 1986).

Tabla 7: Contenido de nutrientes y pH en un Humic Andosol después de la aplicación de enmiendas vegetales y animales

Variables	Tiempo días	Tratamientos											
		Control	Fertil	Gilr150	Gilr300	Inga	Calli	Mucuna	Canav	Galli	Bo150	Bo300	Ganado
pH agua	20	5.3 e	6.15 bc	5.78 cd	5.75 d	5.23 e	5.78 cd	5.58 de	5.5 de	5.7 d	6.28 b	6.8 a	5.28 e
	40	5.4 f	5.98 de	5.8 def	5.9 de	5.45 ef	5.65 def	5.95 d	6.08 cd	6.53 bc	6.68 ab	7.0 a	5.78 def
	60	5.3 c	5.38 c	5.5 c	5.58 bc	5.25 c	5.4 c	5.93 bc	5.9 bc	5.9 bc	6.28 ab	6.65 a	5.5 c
N %	20	0.1 d	0.14 bc	0.14 bc	0.14 bc	0.13 bcd	0.14 bc	0.11 cd	0.13 bcd	0.15 bc	0.16 ab	0.19 a	0.13 bcd
	40	0.11 c	0.13 bc	0.15 bc	0.14 bc	0.11 c	0.13 bc	0.15 bc	0.14 bc	0.3 a	0.19 b	0.27 a	0.18 bc
	60	0.1 c	0.13 bc	0.14 bc	0.21 ab	0.12 bc	0.13 bc	0.15 abc	0.16 abc	0.16 abc	0.17 abc	0.24 a	0.2 abc
P mg/l	20	2.12 c	7.76 c	2.89 c	3.47 c	2.96 c	3.18 c	2.71 c	3.11 c	83.16 a	23.93 bc	43.22 b	6.0 c
	40	4.29 c	8.35 c	3.19 c	2.97 c	3.34 c	2.68 c	3.34 c	3.37 c	224.81 a	49.2 bc	98.15 b	15.78 c
	60	1.34 b	5.08 b	2.39 b	3.37 b	1.9 b	1.79 b	1.79 b	2.8 b	61.87 ab	31.66 ab	100.07 a	15.35 ab
K cmol(+)/l	20	0.02 g	0.71 a	0.18 efg	0.27 cde	0.08 fg	0.15 efg	0.07 fg	0.14 efg	0.4 bc	0.21 def	0.38 bcd	0.53 b
	40	0.26 abc	0.53 ab	0.22 bc	0.31 abc	0.08 c	0.11 bc	0.19 bc	0.3 abc	0.33 abc	0.18 bc	0.4 abc	0.7 a
	60	0.05 c	0.57 a	0.27 bc	0.56 a	0.12 c	0.1 c	0.16 c	0.39 ab	0.11 c	0.15 c	0.26 bc	0.42 ab
Ca cmol(+)/l	20	0.28 c	0.42 c	0.33 c	0.38 c	0.25 c	0.42 c	0.2 c	0.35 c	2.26 b	2.09 b	3.28 a	0.45 c
	40	0.28 c	0.46 c	0.43 c	0.44 c	0.18 c	0.45 c	0.39 c	0.56 c	4.54 a	4.14 ab	3.42 b	1.12 c
	60	0.24 b	0.43 b	0.46 b	0.93 b	0.25 b	0.49 b	0.52 b	1.01 b	1.75 b	4.59 a	4.42 a	1.17 b
Mg cmol(+)/l	20	0.11 f	1.18 a	0.15 def	0.19 def	0.13 ef	0.21 def	0.11 f	0.16 def	0.72 b	0.37 cd	0.56 bc	0.37 cde
	40	0.53 abc	0.99 ab	0.2 bc	0.19 bc	0.09 c	0.18 bc	0.23 bc	0.25 bc	1.16 a	0.58 abc	0.7 abc	0.9 abc
	60	0.12 c	1.07 a	0.19 c	0.34 bc	0.12 c	0.17 c	0.21 bc	0.32 bc	0.35 bc	0.55 abc	0.73 abc	0.85 ab
Ca/Mg	20	2.5	0.4	2.2	2	1.9	2	1.8	2.2	3.1	5.6	5.9	1.2
	40	0.5	0.5	2.2	2.3	2	2.5	1.7	2.2	3.9	7.1	4.9	1.2
	60	2	0.4	2.4	2.7	2.1	2.9	2.5	3.2	5	8.3	6.1	1.4
Ca+Mg/K	20	19.5	2.3	2.7	2.1	4.8	4.2	4.4	3.6	7.5	11.7	10.1	1.5
	40	3.1	2.7	2.9	2	3.4	5.7	3.3	2.7	17.3	26.2	10.3	2.9
	60	7.2	2.6	2.4	2.3	3.1	6.6	4.6	3.4	19.1	34.3	19.8	4.8
Mg/K	20	5.5	1.7	0.8	0.7	1.6	1.4	1.6	1.1	1.8	1.8	1.5	0.7
	40	2	1.9	0.9	0.6	1.1	1.6	1.2	0.8	3.5	3.2	1.8	1.3
	60	2.4	1.9	0.7	0.6	1	1.7	1.3	0.8	3.2	3.7	2.8	2
Ca/K	20	14	0.6	1.8	1.4	3.1	2.8	2.9	2.5	5.7	10	8.6	0.8
	40	1.1	0.9	2	1.4	2.3	4.1	2.1	1.9	13.8	23	8.6	1.6
	60	4.8	0.8	1.7	1.7	2.1	4.9	3.3	2.6	15.9	30.6	17	2.8

* Medias de los tratamientos seguidos de la misma letra en las líneas no se diferencian significativamente (5%) por la prueba de Tukey

Tabla 8: Niveles de los nutrientes para interpretación de los análisis químicos de un Humic Andosol

Niveles	Nutrientes									
	pH agua	P mg/l	K cmol(+)/l	Ca cmol(+)/l	Mg cmol(+)/l	Ca/Mg	Ca+Mg/K	Mg/K	Ca/K	Ca/K
Deficiente	5	10	0.2	4	1	2	10	2.5	5	5
Normal	5.5-6.5	10-40	0.2-1.5	4-20	1-10	2-5	10-40	2.5-15	5-25	5-25
Exceso	>6.5	>40	>1.5	>20	>10	>5	>40	>15	>25	>25

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, citado por Kass (1996)

Nitrógeno: Los resultados de la Tabla 7 muestran que bocashi-300N tuvo mayores concentraciones de N comparadas con otras enmiendas. También se observa en la Figura 13 que gallinaza obtuvo el mayor resultado (0.3%) a los 40 días del experimento, sin embargo, su concentración disminuyó casi a la mitad a los 60 días. Bocashi-300N mantuvo las mayores concentraciones de N en el tiempo y las otras enmiendas no difirieron del control, excepto gliricidia, con mayores valores de N a los 60 días de descomposición.

El nivel de N no varió entre las enmiendas de árboles a pesar de gliricidia, inga y calliandra presentaron valores más altos que canavalia. Sin embargo, los resultados de los estudios de Tian et al. (1992b), muestran que fueron observados rápidos aumentos de N en el suelo en los compuestos de *Gliricidia sepium* y *Mucuna pruriens*. En el presente trabajo estas respuestas sólo fueron vistas en gliricidia-300N, mucuna, canavalia y bocashi-300N (Tabla 7).

Fósforo: El contenido de P en el suelo a los 20 y 40 días fue más alto con las enmiendas de gallinaza y bocashi-300N y a los 60 días fue más alto para bocashi-300N siendo iguales estadísticamente a bocashi-150N, ganado y gallinaza. Los demás tratamientos muestran resultados muy parecidos con el control (Figura 14). Esto se confirma a través de la prueba de Tukey mostrando que, a excepción de bocashi-300N, los compuestos no difieren significativamente del control ($p < 0.01$), donde todas las enmiendas de origen vegetal presentaron niveles deficientes de P. En algunos casos no hay liberación de P al aplicarse enmiendas vegetales debido a inmovilización del P por la actividad de los microorganismos del suelo y formación de complejos fósforo - orgánicos (Kass, 1996).

Figura 12: Cambios de pH en el suelo para los diferentes tratamientos

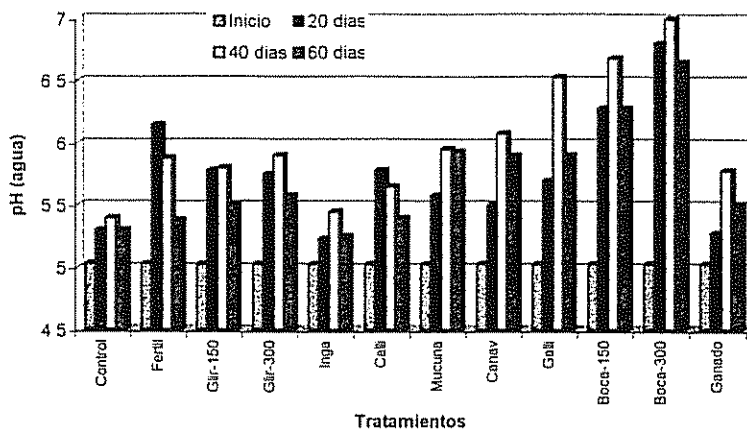


Figura 13: Concentración de Nitrógeno (%) en el suelo

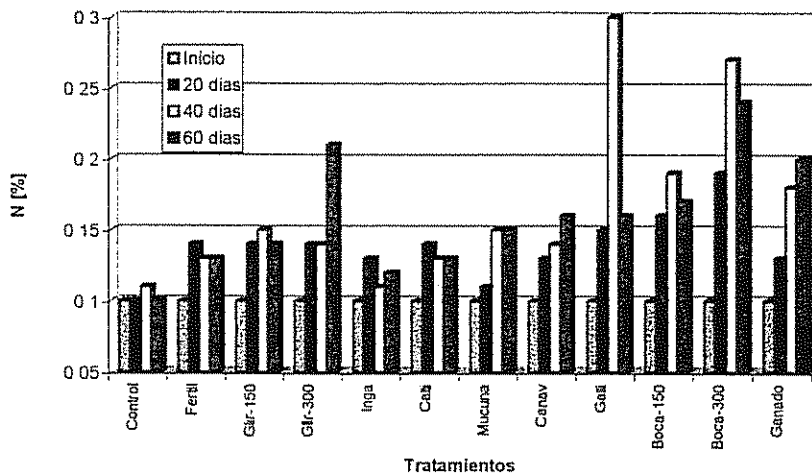
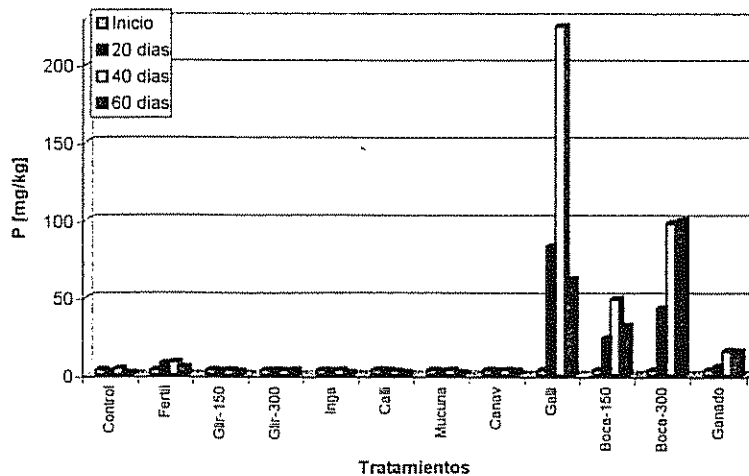


Figura 14: Contenido de fósforo (mg/kg) en el suelo



La adición de compuestos orgánicos con altos contenidos de C (como inga y calliandra) pueden dar como resultado inmovilización y disminución de N y P inorgánico en la solución del suelo, causando una más baja disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, en algunos casos la adición de enmiendas orgánicas puede dar como resultado la formación de complejo material orgánico con Al y Fe, causando una mayor disponibilidad de formas inorgánicas de P (Szott y Kass, 1993).

Potasio, Calcio y Magnesio: En la Figura 15 se puede ver que los contenidos de K de los tratamientos en el suelo fueron bien heterogéneos, distribuyéndose a lo largo del tiempo. A los 40 días, la heterogeneidad de los resultados no mostró ninguna diferencia significativa en los contenidos de K con relación al control. En los 60 días de estudio, fertilizante (0.57 cmol(+)/l) y gliricidia-300N (0.56 cmol(+)/l) tuvieron los mejores compuestos seguidos de ganado y canavalia. Los compuestos vegetales de inga, calliandra y mucuna presentaron contenidos deficientes de K en el suelo a los 60 días.

Los resultados de los contenidos de Ca en el suelo pueden ser observados en la Tabla 7 y Figura 16. Los tratamientos con más altos valores a los 20, 40 y 60 días fueron bocashi-300N, gallinaza y bocashi-150N; gallinaza, bocashi-150N y bocashi-300N; y bocashi-150N, bocashi-300N y gallinaza, respectivamente. Estos resultados están de acuerdo con los datos en la literatura donde muestran generalmente que Ca presenta un contenido diez veces mayor que K (Kass, 1996). No se observaron diferencias significativas entre las enmiendas de origen vegetal. También se observa que los niveles de Ca de los compuestos de inga, calliandra, fertilizante y control se mantuvieron prácticamente constantes en los diferentes tiempos del estudio (Figura 16) y que solamente la aplicación de los compuestos de bocashi presentaron contenidos normales de Ca en el suelo. La inmovilización de Ca durante la descomposición tiene serias implicaciones en el manejo del cultivo donde las deficiencias pueden ser generadas, particularmente en suelos ácidos pobres en Ca (Palm y Sánchez, 1990). También se conoce que en suelos con bajos niveles de

humedad ocurre mayor reducción en la absorción de K y P que Ca y Mg, en el cual hasta pueden aumentar los contenidos de Ca y Mg (Marschner, 1986).

Los más altos contenidos de Mg en el suelo fueron de fertilizante seguido de ganado, bocashi-300N y bocashi-150N (Tabla 7 y Figura 17). Fertilizante también fue el único tratamiento a presentar contenidos normales de Mg en el suelo. Gallinaza presentó muy altos niveles de Mg a los 20 días (0.72 cmol(+)/l) y 40 días (1.16 cmol(+)/l) donde obtuvo el segundo y el primer nivel en estos tiempos, respectivamente.

En cuanto a las relaciones entre los nutrientes, los resultados muestran los compuestos de bocashi y gallinaza con todas las variables normales mientras el control, fertilizante, ganado y las enmiendas vegetales presentaron deficiencias en todas las relaciones estudiadas (Ca/Mg, Ca + Mg/K, Mg/K y Ca/K).

Figura 15: Contenido de potasio (cmol(+)/l) en el suelo

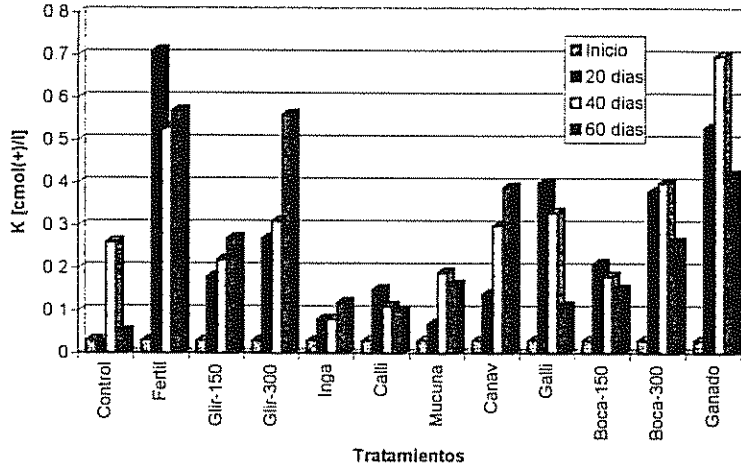


Figura 16: Contenido de calcio (cmol(+)/l) en el suelo

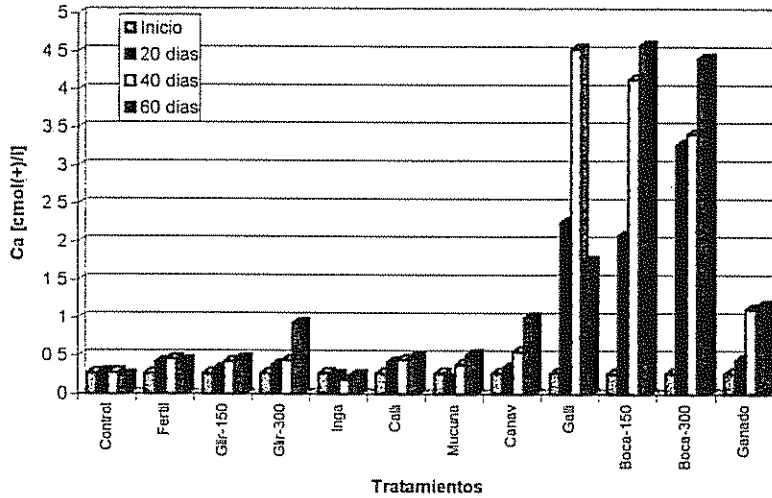
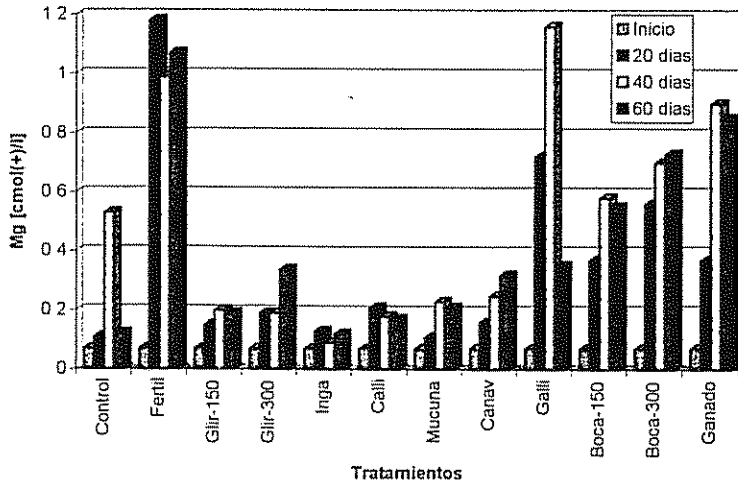


Figura 17: Contenido de magnesio (cmol(+)/l) en el suelo



2.4.3- CRECIMIENTO Y ABSORCIÓN DE NUTRIENTES POR MAÍZ

Peso Seco: Los valores más altos de peso seco de los compuestos de origen animal a los 20 días del ensayo fueron alcanzados con bocashi-300N y 150 con 0.85 g/kg de suelo seguidos de gallinaza y ganado con 0.80 y 0.30 g/kg de suelo, respectivamente. A los 60 días gallinaza (5.76 g/kg) y bocashi-300N (5.27 g/kg) fueron los compuestos con los más altos valores y los valores más bajos de peso seco fueron encontrados en los tratamientos control (0.06 g/kg), inga (0.29 g/kg), mucuna (0.43 g/kg), canavalia (0.45 g/kg), gliricidia-150N (0.45 g/kg) y gliricidia-300N (0.61 g/kg). La aplicación de fertilizante mostró bajos resultados del peso seco de la biomasa de maíz y el análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre los compuestos de origen vegetal y el control (Tabla 9 y Figura 18). Amara et al. (1994), aplicando fertilizante y diferentes cantidades de mulch de *Gliricidia sepium* en cultivo de maíz, observó que generalmente el fertilizante nitrogenado mostró resultados más bajos que los tratamientos con gliricidia, particularmente para tasas superiores a 100 kg N/ha.

Según la prueba de contrastes, las enmiendas de origen vegetal y fertilizante no se diferenciaron del control. Ezenwa y Alasiri (1991) tampoco encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de origen vegetal (*Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Cassia siamea* y *Parkia clappertoniana*) con el control.

Altura: Los valores de altura presentados en la Tabla 9 y Figura 19 muestran que el tratamiento con mejor crecimiento al final de estudio fue gallinaza alcanzando la altura de 86.5 cm, seguido de bocashi-300N (77.75 cm), ganado (66.75 cm) y bocashi-150N (63.75 cm). Rippin et al. (1994), obtuvieron una de las mejores mediciones de altura a los 45 días después de la siembra del compuesto de estiércol de ganado. Los resultados de este estudio contradicen Amara et al. (1994), donde dice que, por lo general, el desarrollo del maíz suplido con mulch fue mejor que el maíz suplido con equivalentes cantidades de fertilizante mineral.

Los tratamientos más bajos a los 60 días del estudio fueron el control (13 cm), gliricidia-150N (19.5 cm) e inga (20.25 cm) (Tabla 9). No se encontró diferencia significativa al hacer contrastes entre los tratamientos de origen vegetal.

Nitrógeno: Los compuestos con más altos contenidos de N en la biomasa de maíz fueron gallinaza y bocashi-300N durante el periodo de estudio (Figura 20). También se observa que, a excepción del control, los demás tratamientos aumentaron sus contenidos de N a lo largo del tiempo, donde los mayores niveles ocurrieron a partir de los 40 días para los compuestos de gallinaza > bocashi-300N > ganado > calliandra (Tabla 10 y Figura 20).

La concentración de N en la biomasa de maíz a los 60 días fue más alta estadísticamente en fertilizante, Calliandra y Gliricidia-300. Ezenwa y Alasiri (1991) también encontraron mejores resultados con la aplicación de fertilizantes debido a su rápida disponibilidad de N, P y K para el cultivo. Los niveles más bajos fueron encontrados en bocashi-150N, ganado y bocashi-300N (Tabla 11). También se observa que las enmiendas disminuyeron sus concentraciones entre los 20 y 60 días. En aquellos sistemas donde el N de los compuestos orgánicos no pueden llenar el total de requerimientos del cultivo, podría ser esencial aplicar una suplementación mineral de N (Amara et al., 1994).

Los únicos tratamientos que terminaron el estudio con sus concentraciones de N superiores a los niveles críticos, de 2.56 % (Jones et al., 1990), fueron fertilizante y calliandra (Figura 21). Se entiende por nivel crítico de deficiencia el contenido de un elemento en cierto tejido indicador por debajo del cual se espera una respuesta significativa a la aplicación de este elemento, y por encima del cual no se espera una respuesta (Howeler, 1983).

Tabla 9: Peso Seco (g/kg de suelo) y altura (cm) del maíz con diferentes enmiendas vegetales y animales.

Tratamientos *	Peso Seco (g/kg de suelo)			Tiempo (días)			Altura (cm)		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
Control	0.06 d	0.08 d	0.06 e	14 e	14 d	13 d			
Fertilizante	0.27 bc	0.34 cd	0.74 de	27.5 bc	22.5 c	36 c			
Glir-150	0.22 bcd	0.40 bcd	0.45 e	24.5 cd	23.5 c	19.5 cd			
Glir-300	0.25 bc	0.42 bcd	0.61 e	25.25 cd	25 c	29.25 cd			
Inga	0.13 cd	0.16 cd	0.29 e	21.25 d	19.75 cd	20.25 cd			
Calliandra	0.23 bcd	0.54 bc	0.83 de	24.5 cd	26 c	33 cd			
Mucuna	0.16 bcd	0.26 cd	0.43 e	20.5 d	23 c	24.67 cd			
Canavalia	0.21 bcd	0.26 cd	0.45 e	23.25 cd	22 c	23.25 cd			
Gallinaza	0.80 a	1.70 a	5.76 a	41 a	51.25 a	86.5 a			
Boca-150	0.85 a	1.64 a	2.79 cd	42.25 a	52 a	63.75 b			
Boca-300	0.85 a	1.77 a	5.27 ab	40.75 a	54 a	77.75 ab			
Ganado	0.30 b	0.82 b	3.44 bc	32.25 b	42.25 b	66.75 ab			

* Medias de los tratamientos seguidos con la misma letra en las columnas no difieren significativamente (5%) por la prueba de Tukey.

Tabla 10: Contenido de nutrientes (mg/kg de suelo) en la biomasa de maíz debido a la aplicación de enmiendas vegetales y animales.

Nutrientes	mg/kg de suelo	Tiempo días	Tratamientos *											
			Control	Fertil	Glir-150	Glir-300	Inga	Calli	Mucuna	Canav	Galli	Boca-150	Boca-300	Ganado
Nitrógeno		20	1.56 e	9.77 c	6.99 cd	8.11 cd	3.11 de	7.99 cd	4.5 cde	6.17 cde	26.94 a	17.85 b	26.44 a	5.25 cde
		40	1.13 e	10.7 cde	10.71 cde	13.49 cd	3.56 de	16.85 bc	8.37 cde	7.93 cde	36 a	18.8 bc	27.1 ab	11.69 cde
		60	nd	20.3 bc	10.03 c	15.54 c	5.42 c	22.2 bc	10.49 c	10.88 c	88.15 a	22.01 bc	51.61 b	30.29 bc
Fósforo		20	0.57 b	0.51 b	0.6 b	0.58 b	0.55 b	0.59 b	0.58 b	0.55 b	1.76 a	1.7 a	1.96 a	0.74 b
		40	0.33 c	0.44 c	0.4 c	0.51 c	0.31 c	0.59 c	0.34 c	0.49 c	2.55 a	2.13 ab	2.3 a	1.48 b
		60	0.07 c	0.74 c	0.32 c	0.49 c	0.26 c	0.58 c	0.3 c	0.32 c	8.64 a	2.79 bc	7.37 ab	3.79 bc
Potasio		20	0.5 e	15.47 cd	5.31 de	7.14 cde	1.49 e	5.02 de	1.73 e	4.99 de	59.8 a	40.8 b	55.85 a	19.14 c
		40	0.74 c	16.43 c	13.45 c	13.07 c	2.84 c	12.79 c	6.72 c	8.65 c	73.88 a	46.6 b	54.04 b	43.06 b
		60	0.69 c	29.98 bc	14.36 c	22.26 bc	5.56 c	18.14 c	9.54 c	14.14 c	118.1 a	60.75 abc	134.83 a	115.3 ab
Calcio		20	0.18 b	0.22 b	0.43 b	0.46 b	0.37 b	0.52 b	0.34 b	0.68 b	4.73 a	4.34 a	4.17 a	0.53 b
		40	0.35 b	0.37 b	1.11 b	1.18 b	0.45 b	1.82 b	0.78 b	1.03 b	8.83 a	9.48 a	7.44 a	1.65 b
		60	0.27 c	0.81 c	1.54 c	1.41 c	0.98 c	2.07 c	1.42 c	1.41 c	29.38 a	11.15 b	23.7 a	6.88 bc
Magnesio		20	0.31 c	0.73 c	0.45 c	0.48 c	0.4 c	0.56 c	0.42 c	0.53 c	2.65 a	1.62 b	1.53 b	0.59 c
		40	0.31 d	1.45 d	0.79 d	0.76 d	0.36 d	1.55 cd	0.65 d	0.65 d	5.94 a	3.76 b	3.01 bc	1.4 d
		60	0.15 d	3.47 cd	0.9 cd	1.16 cd	0.69 cd	1.91 cd	0.99 cd	1.13 cd	21.89 a	6.41 c	12.64 b	5.85 cd

* Medias de los tratamientos seguidos con la misma letra en las líneas no difieren significativamente (5%) por la prueba de Tukey.

Tabla 11: Concentración de nutrientes (%) en la biomasa de maíz debido a la aplicación de enmiendas vegetales y animales.

Nutrientes %	Tiempo días	Tratamientos *											
		Control	Fertil	Glir-150	Glir-300	Inga	Calli	Mucuna	Canav	Galli	Boca-150	Boca-300	Ganado
Nitrógeno	20	2.47 def	3.62 a	3.25 abc	3.2 abc	2.36 efg	3.55 ab	2.81 cde	2.89 bcde	3.36 abc	2.1 fg	3.11 abcd	1.77 g
	40	1.44 de	3.18 a	2.7 ab	3.2 a	2.27 bc	3.15 a	3.24 a	3.07 a	2.12 bcd	1.15 e	1.53 cde	1.42 de
	60	nd	2.75 a	2.22 ab	2.54 a	1.88 bc	2.68 a	2.43 ab	2.4 ab	1.53 cd	0.79 e	0.98 de	0.88 e
Fósforo	20	0.9 a	0.19 d	0.28 cd	0.23 d	0.42 b	0.26 cd	0.36 bc	0.26 cd	0.22 d	0.2 d	0.23 d	0.25 d
	40	0.42 a	0.13 b	0.1 b	0.12 b	0.2 b	0.11 b	0.13 b	0.19 b	0.15 b	0.13 b	0.13 b	0.18 b
	60	0.12 ab	0.1 ab	0.07 b	0.08 b	0.09 ab	0.07 b	0.07 b	0.07 b	0.15 a	0.1 ab	0.14 a	0.11 ab
Potasio	20	0.79 e	5.73 bc	2.47 d	2.82 d	1.13 e	2.23 d	1.08 e	2.34 d	7.46 a	4.8 c	6.57 ab	6.45 ab
	40	0.94 e	4.88 ab	3.39 bcd	3.1 cd	1.81 de	2.39 de	2.6 de	3.35 bcd	4.35 abc	2.85 cd	3.05 cd	5.23 a
	60	1.12 e	4.06 a	3.18 abcd	3.64 ab	1.93 de	2.19 cde	2.21 cde	3.12 abcd	2.05 de	2.18 cde	2.56 bcd	3.35 abc
Calcio	20	0.29 cd	0.08 g	0.2 def	0.18 fg	0.28 cde	0.23 cdef	0.21 def	0.32 c	0.59 a	0.51 ab	0.49 b	0.18 efg
	40	0.45 abc	0.11 f	0.28 de	0.28 de	0.29 de	0.34 cde	0.3 cde	0.4 bcd	0.52 ab	0.58 a	0.42 bcd	0.2 ef
	60	0.44 ab	0.11 e	0.34 abcd	0.23 cde	0.34 abcd	0.25 cde	0.33 bcd	0.31 bcd	0.51 a	0.4 abc	0.45 ab	0.2 de
Magnesio	20	0.49 a	0.27 bc	0.21 def	0.19 ef	0.3 bc	0.25 cde	0.26 cd	0.25 cde	0.33 b	0.19 ef	0.18 f	0.2 ef
	40	0.4 a	0.43 a	0.2 d	0.18 d	0.23 cd	0.29 bc	0.25 cd	0.25 cd	0.35 ab	0.23 cd	0.17 d	0.17 d
	60	0.25 bc	0.47 a	0.2 c	0.19 c	0.24 bc	0.23 c	0.23 bc	0.25 bc	0.38 ab	0.23 c	0.24 bc	0.17 c

* Medias de los tratamientos seguidos con la misma letra en las líneas no difieren significativamente (5%) por la prueba de Tukey.

Fósforo: Los resultados de los contenidos de P a los 20 días demuestran claramente que los compuestos de bocashi-300N, gallinaza y bocashi-150N fueron los mejores diferenciándose significativamente de los demás tratamientos, con valores de 1.96, 1.76 y 1.7 mg/kg de suelo, respectivamente. Al final del estudio los compuestos con mayor absorción de P fueron gallinaza y bocashi-300N con niveles de 8.64 y 7.37 mg/kg de suelo, respectivamente (Tabla 10). En los trabajos de Ezenwa y Alasiri (1991) se observaron los mejores resultados con la aplicación de fertilizantes (Tabla 10), contradiciendo las respuestas de este estudio, ya que se obtuvo medianos contenidos de P. Al compararse los resultados del control con las enmiendas vegetales no se observó diferencia significativa entre los tratamientos, contradiciendo los resultados de Soto (1992), que sugirió un aumento de la eficiencia y disponibilidad de P con la adición de enmiendas orgánicas en el suelo. Se observa en la Figura 22 que el control y las enmiendas de origen vegetal bajaron sus contenidos de P y los compuestos de origen animal aumentaron sus valores a lo largo del tiempo. La prueba de Tukey mostró que a los 60 días sólo gallinaza y bocashi-300N se diferenciaron significativamente ($p < 0.01$) del control.

Los resultados de la concentración de P en la biomasa de maíz mostraron que todos los compuestos orgánicos bajaron sus niveles de P durante el experimento (Figura 23). El control obtuvo a los 20 días la más alta concentración (0.9 %) seguido de inga (0.42 %) y mucuna (0.36 %) como se puede ver en la Tabla 11. A los dos meses de muestreo, gallinaza y bocashi-300N presentaron mayores concentraciones de P pero no se encontró diferencias significativas con el control (Tabla 11). A los 20 días todos los tratamientos presentaron concentraciones superiores al valor crítico (0.14%) (Jones et al., 1990) y a los 60 días solamente gallinaza fue superior (Figura 23).

Figura 18: Peso Seco (g/kg de suelo) de la biomasa de maíz

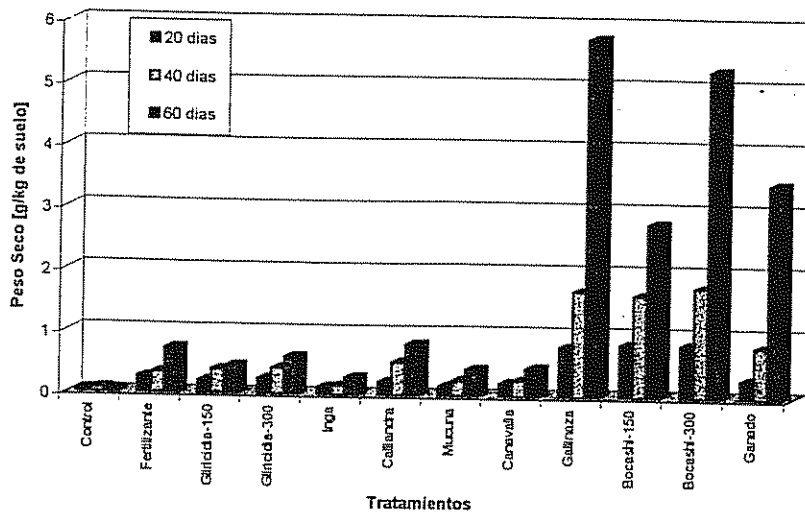


Figura 19: Altura promedio (cm) de las palntas de maíz

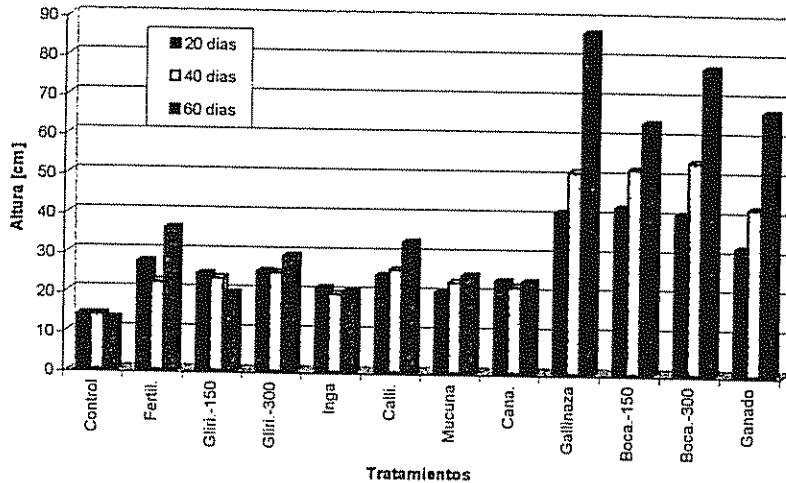


Figura 20: Contenido de nitrógeno (mg/kg de suelo) en las plantas de maíz

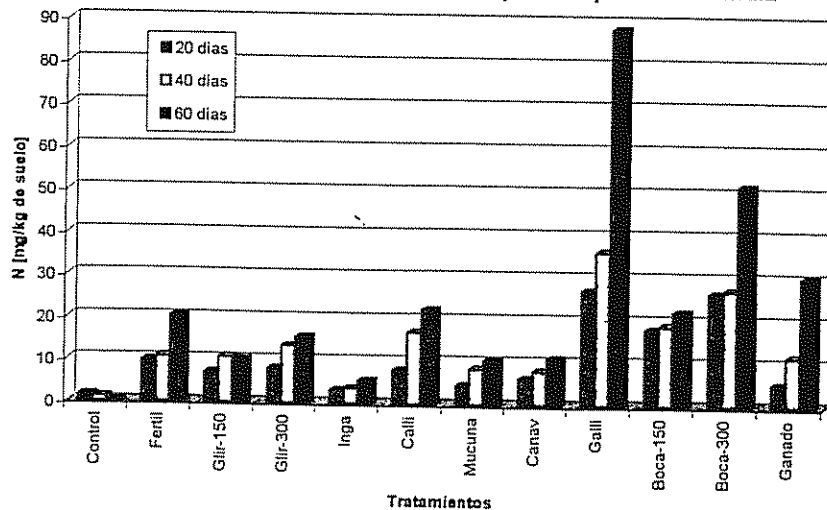


Figura 21: Concentración de nitrógeno (%) en las plantas de maíz

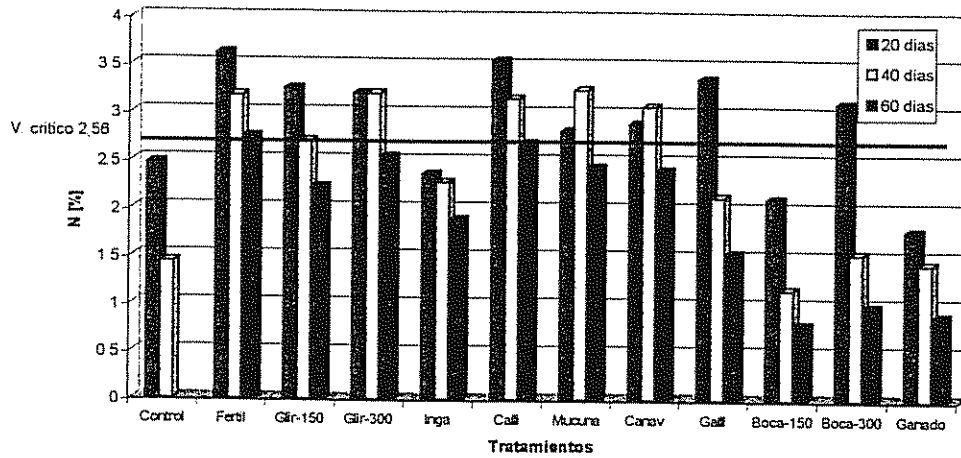


Figura 22: Contenido de fósforo (mg/kg de suelo) en las plantas de maíz

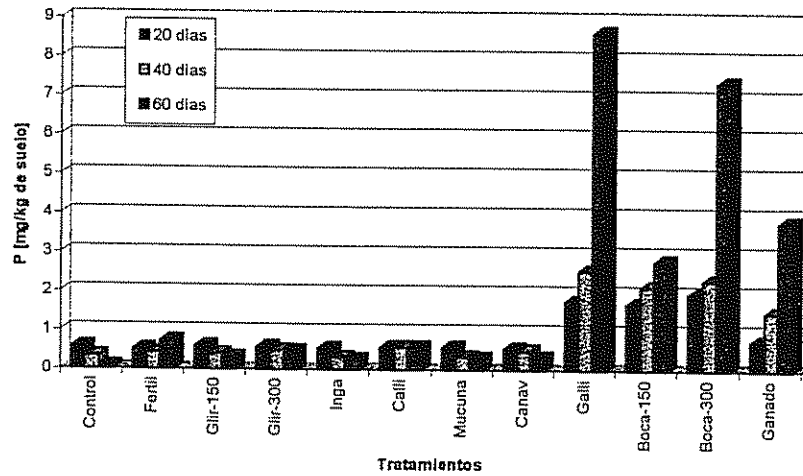
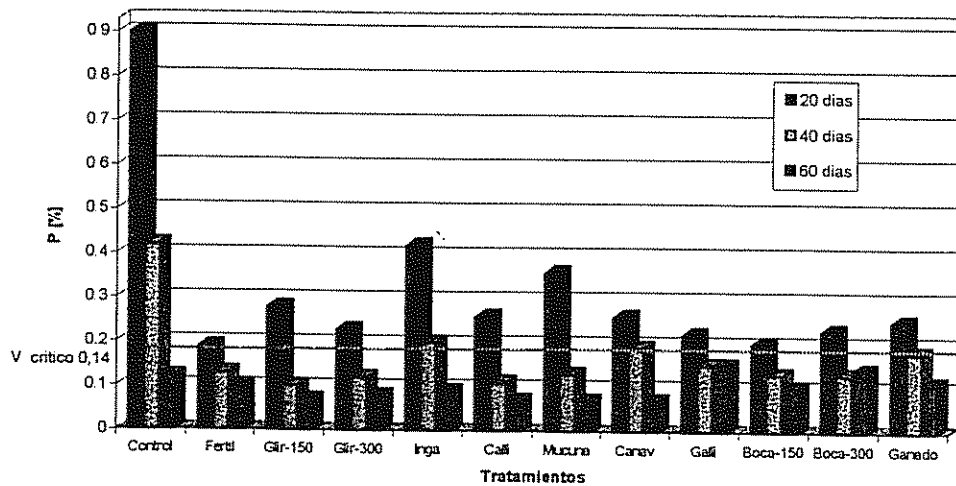


Figura 23: Concentración de fósforo en las plantas de maíz



Potasio: Los compuestos de bocashi-300N, gallinaza y ganado tuvieron los más altos contenidos de K en la biomasa de maíz donde alcanzaron a los 60 días niveles de 134.83, 118.1 y 115.3 mg/kg de suelo, respectivamente (Tabla 10). A pesar de los altos valores, el compuesto de ganado no difirió significativamente del fertilizante. Así como ocurrió con N, se observa en la Figura 24 que los tratamientos de origen vegetal aumentaron sus contenidos de K a lo largo del tiempo, con mayor absorción a partir de los 40 días. La prueba de Tukey mostró que a los 60 días sólo bocashi-300N, gallinaza y ganado se diferenciaron significativamente del control. De los compuestos vegetales, el más alto contenido de K en la biomasa de maíz fue encontrado en gliricidia-300N.

A los 20 días del estudio, las concentraciones más altas de K fueron de gallinaza (7.46 %), bocashi-300N (6.57 %) y ganado (6.45 %). Sin embargo, se observa en la Tabla 11 que a los 60 días fertilizante (4.06 %) fue el tratamiento con mayor concentración de K, seguido de gliricidia-300N (3.64 %) y ganado (3.35 %). Estas evaluaciones están de acuerdo con Ezenwa y Alasiri (1991) que también encontraron los mejores resultados con la aplicación de fertilizantes. En la Figura 25 se puede ver que los tratamientos control, gliricidia-150N, gliricidia-300N, inga, mucuna y canavalia aumentaron sus concentraciones de K en el estudio y que fertilizante, gallinaza, ganado, bocashi-150 y 300 disminuyeron. También se observa que sólo el control mantuvo la concentración de K inferior al valor crítico (Jones et al., 1990).

Calcio: Los resultados de los contenidos de Ca a los 60 días demuestran que gallinaza y bocashi-300N fueron los mejores tratamientos del estudio con valores de 29.38 y 23.7 mg/kg de suelo, respectivamente, diferenciándose significativamente de los demás (Tabla 10 y Figura 26). A pesar de que no hubo diferencia significativa entre los compuestos de origen vegetal según la prueba de Tukey, calliandra fue la enmienda con más alto contenido de Ca (2.07 mg/kg de suelo).

Observándose la Tabla 11, las más altas concentraciones de Ca en el primer muestreo del experimento fueron encontradas en gallinaza (0.59 %) y bocashi-150N (0.51 %). A los 60 días las más altas concentraciones se encuentran con gallinaza (0.51 %) > bocashi-300N (0.45 %) > control (0.44 %). En la Figura 27 se observa que los tratamientos control, mucuna e inga, aumentaron sus concentraciones de Ca mientras bocashi-150N y gallinaza disminuyeron. Fertilizante y las enmiendas de calliandra, canavalia, ganado y bocashi-300N mantuvieron prácticamente constantes sus concentraciones. También se puede ver en la Tabla 11 que a los 60 días gallinaza (0.51 %), bocashi-300N (0.45 %) y control (0.44 %) tenían la concentración de Ca superior al valor crítico (0.4 %) (Jones et al., 1990).

Magnesio: Gallinaza y bocashi-300N fueron los compuestos con más altos contenidos de Mg en la biomasa de maíz a lo largo del tiempo alcanzando, a los 60 días, valores de 21.89 y 12.64 mg/kg de suelo, respectivamente (Tabla 10). También se observa en la Figura 28 que, a excepción del control, todos los tratamientos aumentaron sus contenidos de Mg en el tiempo y, en la Tabla 10, se puede ver que calliandra fue el compuesto vegetal con más alto contenido de Mg (1.91 mg/kg de suelo).

Los valores de concentración de Mg, presentados en la Tabla 11 y Figura 29, demuestran que a los 20 días control fue significativamente ($p < 0.01$) superior a los demás. Al fin del estudio la más alta concentración de Mg fue encontrada en fertilizante (0.47 %) seguido de gallinaza (0.38 %), siendo también los únicos tratamientos con valores superiores a los valores críticos (entre 0.15 y 0.25 %) (Jones et al., 1990). Los valores más bajos fueron encontrados en ganado, gliricidia-300N y gliricidia-150N. Observándose los cambios en las concentraciones a lo largo del tiempo, control disminuyó en casi la mitad sus valores a los 60 días; fertilizante, gallinaza y las enmiendas de bocashi aumentaron sus niveles; y los demás compuestos mantuvieron prácticamente estables las concentraciones de Mg (Figura 29).

Figura 24: Contenido de potasio (mg/kg de suelo) en las plantas de maiz

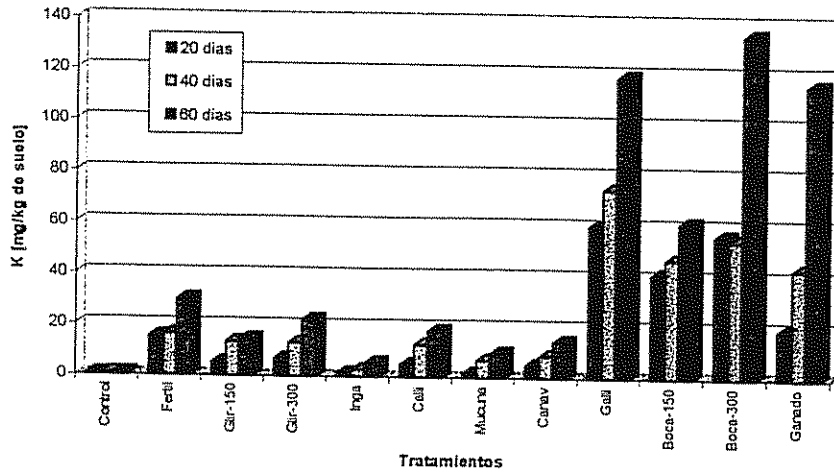


Figura 25: Concentración de potasio (%) en las plantas de maiz

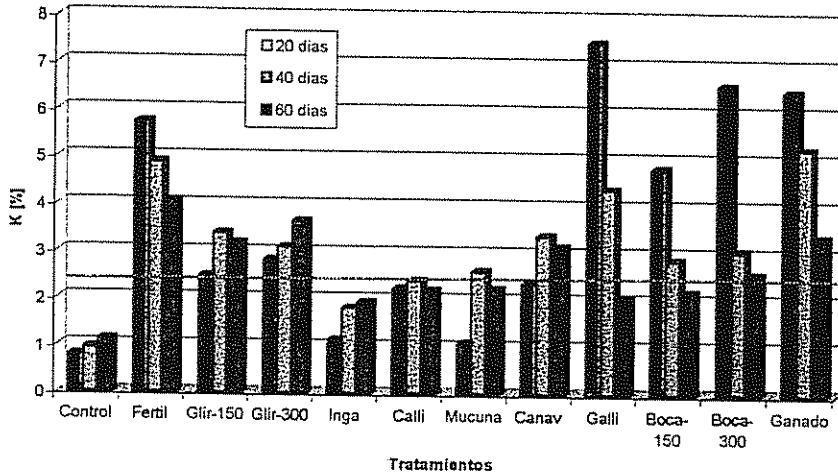


Figura 26: Contenido de calcio (mg/kg de suelo) en la biomasa de maiz

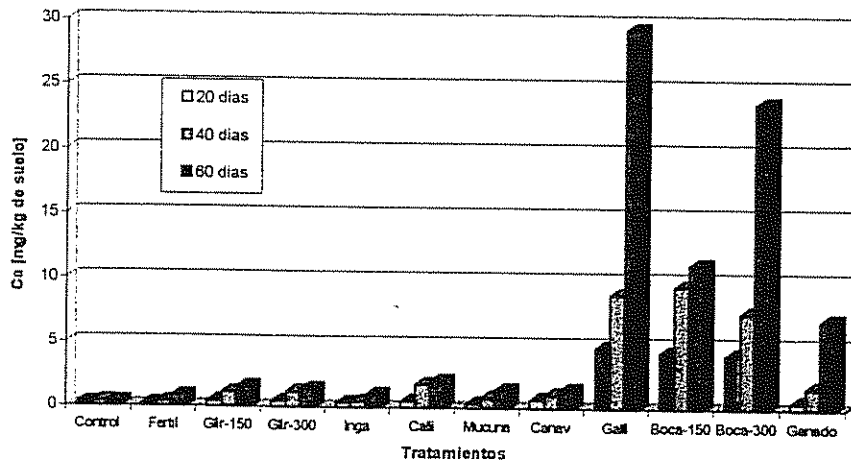


Figura 27: Concentración de calcio (%) en las plantas de maíz

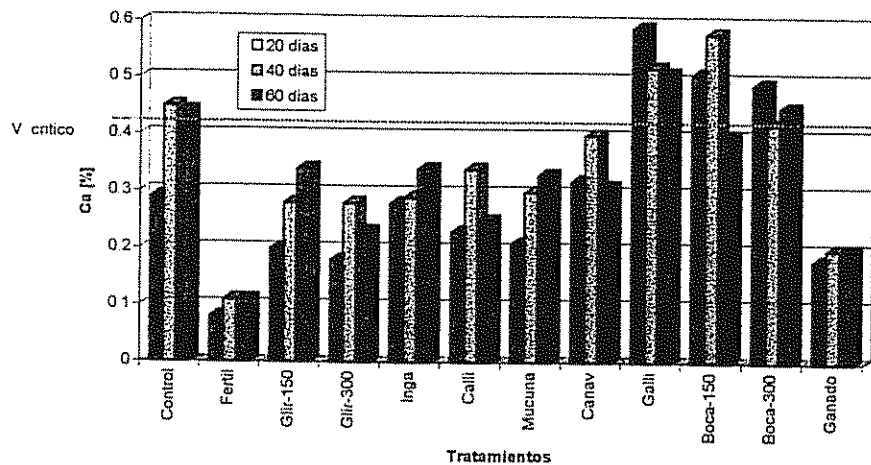


Figura 28: Contenido de magnesio (mg/kg de suelo) en las plantas de maíz

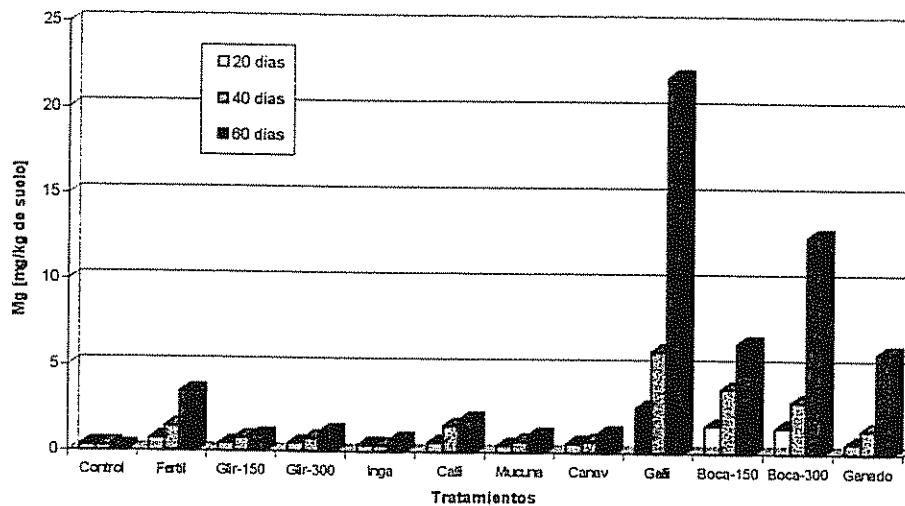
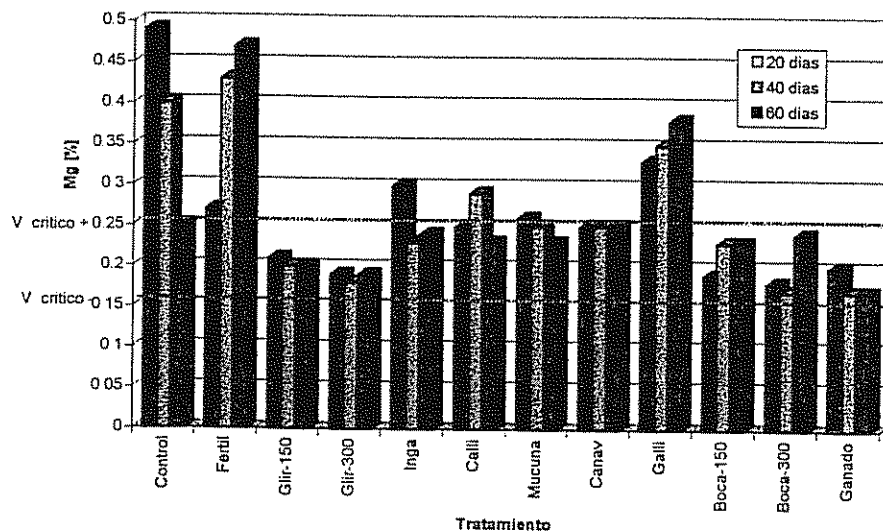


Figura 29: Concentración de magnesio en las plantas de maíz



2.4.4- CAMBIOS EN LA DISTRIBUCION DE NUTRIENTES ENTRE MANTILLO, SUELO Y CULTIVO

Los resultados de los cambios de nutrientes entre el suelo, mulch y el cultivo de maíz así como los coeficientes de correlación de Pearson son presentados en las Tablas 12 y 13. Solo fue posible realizar análisis en el mulch de los tratamientos de *Calliandra calothyrsus*, *Mucuna pruriens*, *Canavalia ensiformis*, *Gliricidia sepium*, *Inga edulis* y estiércol de ganado. No se evaluaron los tratamientos de bocashi y gallinaza debido a imposibilidad de separar el residuo del suelo, ya que estos compuestos contienen una cierta proporción de suelo en sus materiales. Los compuestos orgánicos fueron evaluados en el tiempo (a los 20, 40 y 60 días) cuanto a los cambios en el contenido (mg/kg de suelo) de N, P, K, Ca y Mg en el suelo, residuos y en la biomasa del cultivo.

Tabla 13: Coeficiente de correlación de Pearson/Prob>(R) entre los nutrientes de la biomasa y suelo

Suelo	Biomasa				
	N	P	K	Ca	Mg
N	-0.3758	-0.2897	0.2288	0.3241	-0.2156
	0.0001	0.0005	0.0067	0.0001	0.0108
P	-0.2528	-0.1056	0.233	0.4878	0.0904
	0.0033	0.216	0.0058	0.0001	0.2899
K	0.0383	-0.2311	0.6365	-0.2687	-0.0256
	0.662	0.0062	0.0001	0.0014	0.7646
Ca	-0.5075	-0.2009	0.2202	0.6029	-0.103
	0.0001	0.018	0.0092	0.0001	0.2278
Mg	-0.165	-0.1482	0.4612	0.0019	0.2398
	0.057	0.0815	0.0001	0.9821	0.0045

Los contenidos de N y P fueron mucho más altos en el suelo que en el cultivo habiendo poca variación en el tiempo. Donde se aplicó gallinaza, el cultivo de maíz demostró una mayor absorción de N a los 60 días (Figura 30). También se observa que el N liberado de del mulch fue casi totalmente almacenado en el suelo mientras

Tabla 12: Cambios en la distribución de nutrientes entre mantillo, suelo y cultivo

Nutrientes mg/kg de suelo	Tiempo días	Tratamientos													
		Control	Fertil	Galli	Boca150	Boca300	Calli	Mucuna	Canav	Glir-150	Glir-300	Inga	Ganado		
Nitrógeno	20	Suelo	1000	1400	1500	1500	1900	1400	1100	1300	1400	1400	1300	1300	
		Mulch	1.56	9.77	26.94	17.85	26.44	177.84	307.69	311.38	82.59	230.14	319.71	258.14	
		Cultivo	1100	1300	3000	1900	2700	7.99	4.50	6.17	6.99	8.11	3.11	5.25	
	40	Suelo	1100	1300	3000	1900	2700	176.56	249.79	236.88	57.40	136.90	317.19	169.51	
		Mulch	1.13	10.71	36.00	18.80	27.11	16.85	8.37	7.93	10.71	13.49	3.56	11.69	
		Cultivo	1000	1300	1600	1700	2400	1300	1500	1600	1400	1200	2000	2000	
	60	Suelo	1000	1300	1600	1700	2400	138.99	224.78	167.79	46.87	70.56	281.00	120.47	
		Mulch	2.12	7.76	83.16	23.93	43.22	3.18	2.71	3.11	2.89	3.47	5.42	30.29	
		Cultivo	0.57	0.51	1.76	1.70	1.96	10.80	17.14	18.04	7.00	16.73	18.81	81.58	
	Fósforo	20	Suelo	4.29	8.35	224.81	49.20	98.15	2.68	3.34	3.37	3.19	2.97	3.34	15.78
			Mulch	0.33	0.44	2.55	2.13	2.30	10.32	14.90	11.91	4.56	11.97	17.67	60.43
			Cultivo	1.34	5.08	61.87	31.66	100.07	0.59	0.34	0.49	0.40	0.51	0.31	1.48
40		Suelo	0.07	0.74	8.64	2.79	7.37	6.79	11.04	9.87	3.87	7.73	12.18	34.16	
		Mulch	0.78	27.69	15.60	8.19	14.82	0.58	0.30	0.32	0.32	0.49	0.26	3.79	
		Cultivo	0.50	15.47	59.80	40.80	55.85	44.32	61.84	103.48	44.36	115.74	47.96	165.39	
60		Suelo	10.14	20.67	12.87	7.02	15.60	5.02	1.73	4.99	5.31	7.14	1.49	19.14	
		Mulch	0.74	16.43	73.88	46.60	54.04	40.19	47.69	82.00	30.98	80.89	56.74	93.60	
		Cultivo	1.95	22.23	4.29	5.85	10.14	12.79	6.72	8.65	13.45	13.07	2.84	43.06	
Calcio		20	Suelo	0.69	29.98	118.11	60.75	134.83	37.62	48.79	61.96	25.37	52.42	56.20	49.15
			Mulch	5.60	8.40	45.20	41.80	65.60	18.14	9.54	14.14	14.36	22.26	5.56	115.30
			Cultivo	0.18	0.22	4.73	4.34	4.17	75.57	102.70	261.07	47.57	103.03	54.54	197.80
	40	Suelo	5.60	9.20	90.80	82.80	68.40	9.00	7.80	11.20	8.60	8.80	3.60	22.40	
		Mulch	0.35	0.37	8.83	9.48	7.44	90.17	110.29	281.74	46.59	112.49	68.83	145.19	
		Cultivo	4.80	8.60	35.00	91.80	88.40	9.80	10.40	20.20	9.20	18.60	5.00	23.40	
	60	Suelo	0.27	0.81	29.38	11.15	23.70	70.54	94.68	168.34	42.79	67.20	54.33	90.50	
		Mulch	1.32	14.16	8.64	4.44	6.72	2.07	1.42	1.41	1.54	1.41	0.98	6.88	
		Cultivo	0.31	0.73	2.65	1.62	1.53	18.18	26.82	40.82	10.51	23.42	32.91	91.64	
	Magnesio	20	Suelo	6.36	11.88	13.92	6.96	8.40	2.16	2.76	3.00	2.40	2.28	1.08	10.80
			Mulch	0.31	1.45	5.94	3.76	3.01	19.01	26.23	41.35	10.51	22.20	24.18	68.54
			Cultivo	1.44	12.84	4.20	6.60	8.76	1.55	0.65	0.65	0.79	0.76	0.36	1.40
40		Suelo	0.15	3.47	21.89	6.41	12.64	17.24	23.81	27.97	8.60	13.44	21.54	37.16	
		Mulch	0.31	1.45	5.94	3.76	3.01	1.55	0.65	0.65	0.79	0.76	0.36	1.40	
		Cultivo	1.44	12.84	4.20	6.60	8.76	2.04	2.52	3.84	2.28	4.08	1.44	10.20	
60		Suelo	0.15	3.47	21.89	6.41	12.64	1.91	0.99	1.13	0.90	1.16	0.69	5.85	
		Mulch	0.31	1.45	5.94	3.76	3.01	1.55	0.65	0.65	0.79	0.76	0.36	1.40	
		Cultivo	1.44	12.84	4.20	6.60	8.76	2.04	2.52	3.84	2.28	4.08	1.44	10.20	

el P mantuvo mayores proporciones en el propio residuo, no se observando cambios consistentes en la biomasa del cultivo (Figura 31).

El N en el suelo se correlacionó (Prob > 0.05) positivamente con K y Ca del cultivo; y negativamente con N, P y Mg de la biomasa. Con relación al N en la biomasa de maíz, la prueba de Pearson mostró correlaciones negativas con N, P y Ca. El P en el suelo correlacionó positivamente con K y Ca y negativamente con el N en la biomasa; en el cultivo, fósforo correlacionó negativamente con N, K y Ca en el suelo (Tabla 13).

Potasio y magnesio demostraron alta movilidad en la cual se puede ver una diferente tendencia con relación a N y P, donde grandes contenidos de K fueron almacenados en cultivo y/o en el mulch y bajos contenidos en el suelo (Figuras 32 y 33). Los compuestos animales de bocashi y gallinaza tuvieron contenidos de K en el cultivo variando de 80 a 95 % del total y durante el período de evaluación del experimento. Los contenidos de Mg presentaron menor variación en el cultivo, con valores oscilando de 50 hasta casi 90 % del total a los 60 días del estudio. Se puede notar que la pérdida de K y Mg del mulch de los tratamientos fue almacenada en mayor proporción en la biomasa del cultivo que en el suelo demostrando rápida absorción de este nutriente por las plantas del maíz. Esta tendencia fue menos pronunciada en los resultados de Mg para las enmiendas de origen vegetal.

Los contenidos de Ca en los compuestos vegetales no variaron mucho con el tiempo, manteniendo proporciones prácticamente constantes tanto en el mulch como en el suelo y cultivo (Figura 34). Solamente los compuestos animales, principalmente gallinaza, absorbieron mayor cantidad de Ca en la biomasa de maíz. Al contrario de como ocurrió con K, hubo una mayor proporción de Ca almacenada en el mulch, para los compuestos vegetales, y en el suelo, para los tratamientos control, fertilizante, gallinaza y bocashi. Estos resultados confirman los datos de la literatura lo cual citan la baja movilidad del calcio en el tejido vegetal y en el suelo (Kass, 1996; Marschner, 1986).

Para la mayoría de los nutrientes, especialmente N, Ca y Mg, la cantidad de nutrientes almacenados en la biomasa es insignificante comparada con las reservas "disponibles" en el suelo. Afortunadamente, en la mayoría de los suelos minerales, las formas disponibles de P forman solamente una pequeña parte del total de la reserva del suelo (Ahimana y Maghembe, 1987).

Los resultados de la correlación de Pearson demuestran las relaciones antagónicas entre K, Ca y Mg. Potasio en el suelo correlacionó positivamente (+) con el K en la biomasa y negativamente (-) con P y Ca; en el cultivo K correlacionó + con todos los elementos estudiados. Calcio en el suelo tuvo correlaciones positivas con K y Ca y negativas con N y P; en la biomasa de maíz los resultados mostraron correlaciones positivas de Ca con K y negativas con N, P, K y Ca en el suelo. Para magnesio en el suelo solo fue posible encontrar correlaciones positivas con K y Mg de la biomasa; y Mg en el cultivo correlacionó positivamente con Mg y negativamente con el N del suelo.

Figura 30: Cambios en el contenido de Nitrógeno (mg/kg) entre el suelo, mulch y cultivo

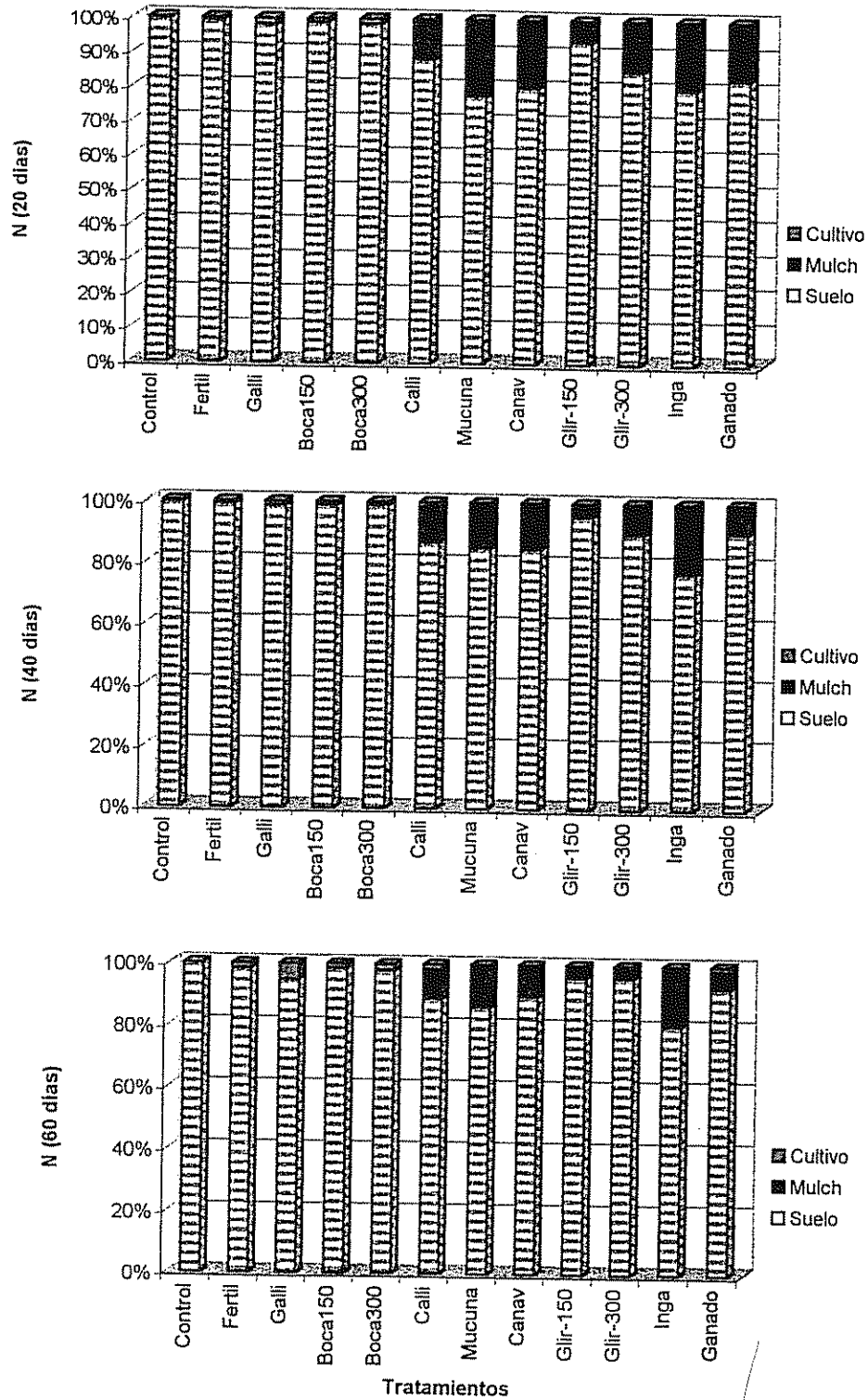


Figura 31: Cambios en el contenido de Fósforo (mg/kg) entre el suelo, mulch y cultivo

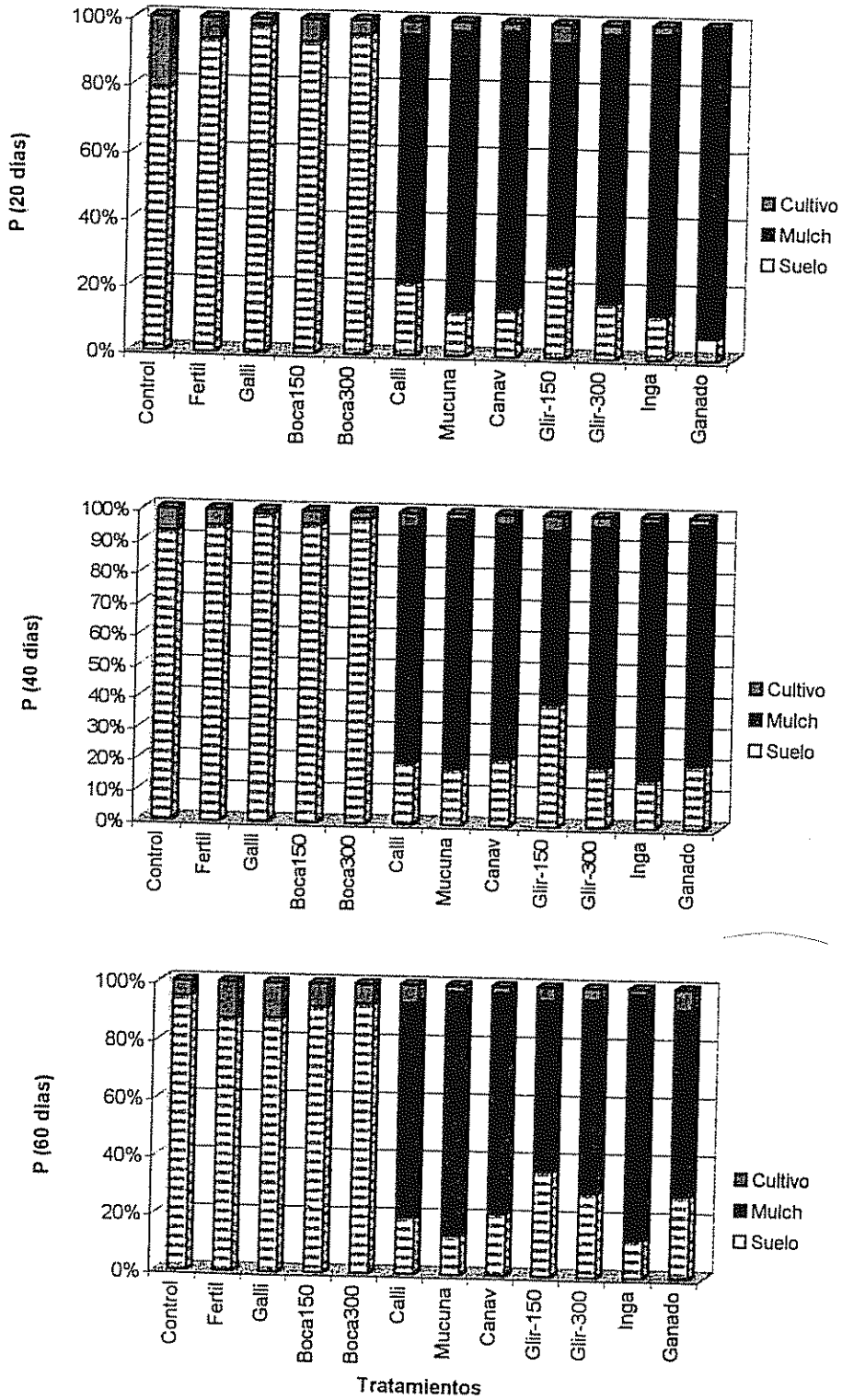


Figura 32: Cambios en el contenido de Potasio (mg/kg) entre el suelo, mulch y cultivo

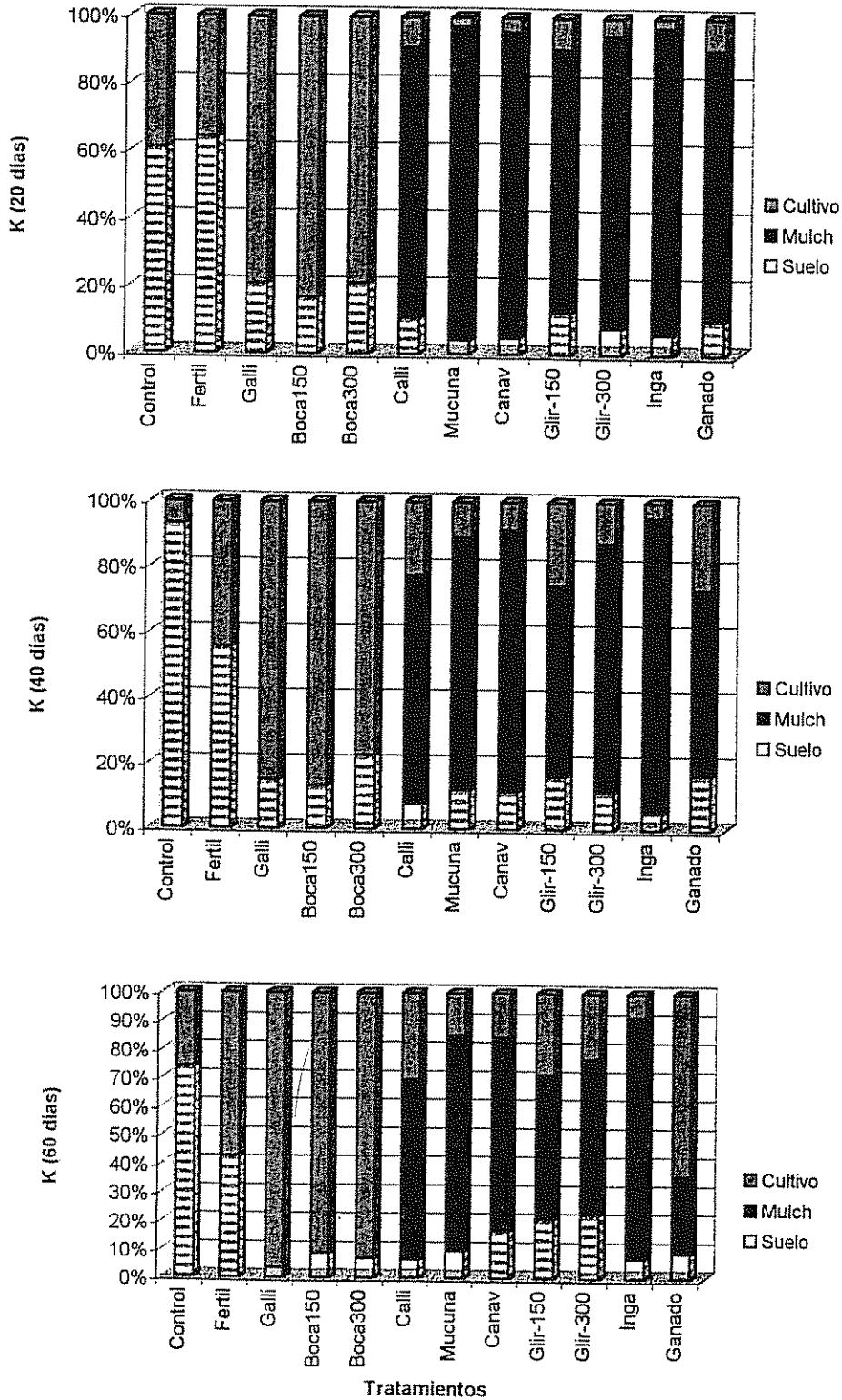


Figura 33: Cambios en el contenido de Magnesio (mg/kg) entre el suelo, mulch y cultivo

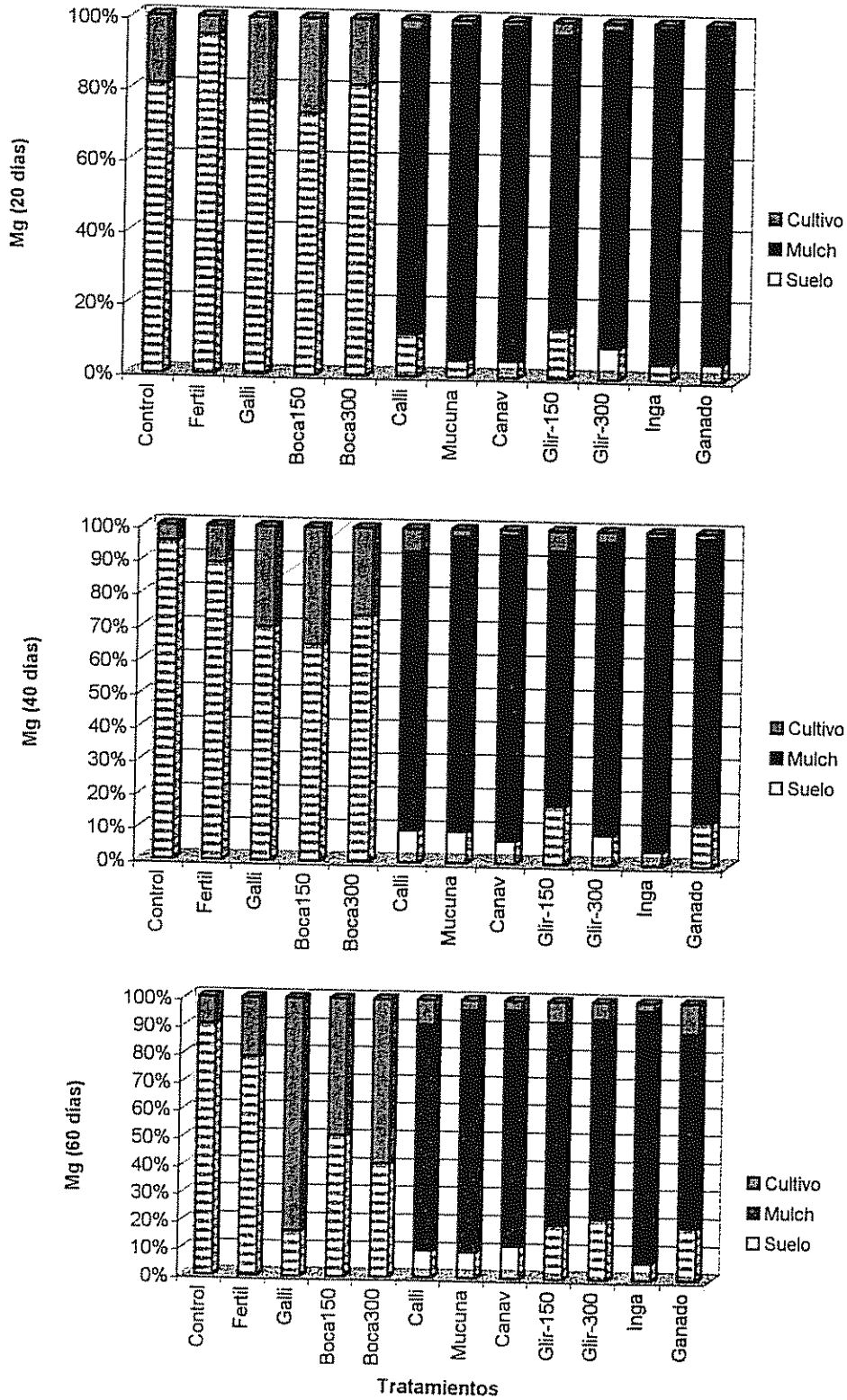
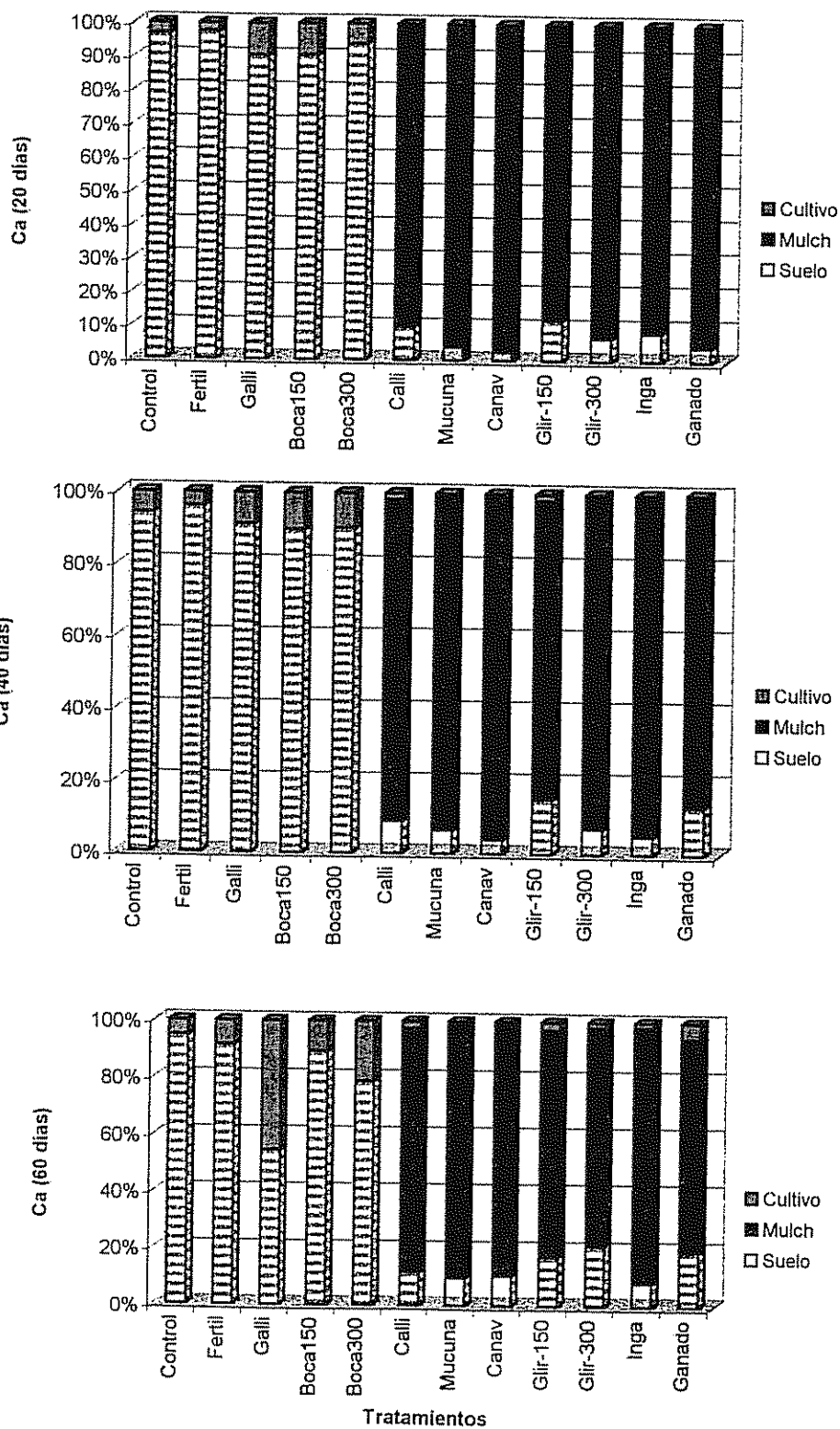


Figura 34: Cambios en el contenido de Calcio (mg/kg) entre el suelo, mulch y cultivo



2.5- CONCLUSIONES

Las enmiendas vegetales presentaron diferencias en cuanto a la composición química, donde *Gliricidia sepium* fue el tratamiento con mayor descomposición en el mulch y más rápidas liberaciones de N, P, K, Ca y Mg. Por otro lado, *Inga edulis* fue el compuesto con la tasa más baja de descomposición y mayor retención de N y P en el mulch; y *Canavalia ensiformis* mostró menor liberación de K, Ca y Mg. Estiércol de ganado también fue evaluado mostrando mayor liberación que las enmiendas vegetales para los nutrientes P, K y Mg.

Fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente acida (FDA), lignina, polifenoles totales y adheridos a la pared celular fueron las variables evaluadas en los compuestos secundarios donde inga mostró las concentraciones más altas. *Mucuna pruriens* presentó los valores más bajos de FDN, FDA y lignina; y *Calliandra calothyrsus* tuvo los valores más bajos de polifenoles.

La aplicación de compuestos orgánicos en el suelo presentó diferencias significativas entre las enmiendas de origen vegetal y animal. Dentre los compuestos vegetales, la aplicación de residuos de *Gliricidia sepium* al suelo fue el tratamiento que más aumentó los valores de pH y los contenidos de N, P, K y Mg. *Canavalia ensiformis* además de tener los contenidos más altos de Ca en el mulch, también mostró los mejores resultados en los contenidos en el suelo. La aplicación de enmiendas vegetales al suelo mantuvo niveles deficientes de P, Ca y Mg así como para las relaciones Ca/Mg, Ca+Mg/K, Mg/K y Ca/K. Niveles normales pudieron ser observados en pH, N y con las enmiendas de gliricidia y canavalia para K.

A excepción de K y Mg, los mejores resultados de las variables estudiadas en los compuestos de origen animal fueron presentados por bocashi; estiércol de ganado fue superior en K y Mg. Al comparar los resultados no queda duda sobre la superioridad en la liberación de nutrientes, a corto plazo, de los tratamientos de origen animal cuando comparados con los vegetales. El uso de bocashi-300N en el

suelo presentó niveles deficientes de Mg y altos en pH y P y en la relación Ca/Mg. Gallinaza suplió adecuadamente los contenidos de N y tuvo niveles normales en las relaciones Ca/Mg, Ca+Mg/K, Mg/K y Ca/K, siendo excesivo en P y deficiente en K, Ca y Mg.

El uso de fertilizante químico sólo demostró buenos resultados para los contenidos de N, K y Mg en el suelo.

Por lo general, las plantas de maíz que alcanzaron mejor crecimiento fueron aquellas que recibieron aplicación de enmiendas de origen animal, principalmente gallinaza y bocashi-300N. La aplicación de bocashi-300 presentó resultados significativos cuanto a peso seco, altura y nutrientes cuando fue comparado con bocashi-150 a los 60 días de estudio.

En cuanto a las enmiendas vegetales, generalmente, los mejores resultados fueron presentados por *Gliricidia sepium*. Aumentos en la biomasa del maíz y en la absorción de nutrientes con la aplicación de enmiendas orgánicas, con una gran variabilidad en la composición química, indica la importancia que los compuestos orgánicos pueden tener para reforzar y sostener la producción del cultivo (Tian et al., 1993)

La absorción de nutrientes de las enmiendas por las plantas de maíz presentaron diferencias significativas entre los compuestos vegetales y animales para todas las variables evaluadas (peso seco, altura, N, P, K, Ca y Mg) a los 20, 40 y 60 días de evaluación. Entre los residuos vegetales y animales, por lo general, el cultivo absorbió más nutrientes con la aplicación del mulch de calliandra y estiércol de gallina, respectivamente.

La aplicación de compuestos orgánicos puede suplir las necesidades del cultivo de maíz, dependiendo del tipo o especie utilizada. Calliandra atendió las exigencias nutricionales para N; gliricidia para K y canavalia para K y Mg. Los

compuestos animales que mantuvieron los niveles normales en la biomasa del maíz fueron bocashi-300N supliendo K y Ca, ganado para K y gallinaza para Ca y Mg. Cada compuesto orgánico tiene una determinada importancia en el desarrollo del cultivo para uno o más nutrientes presentes en el proceso de absorción de la biomasa.

2.6- RECOMENDACIONES

- a) Futuros trabajos podrían ser acompañados de estudios biológicos como, por ejemplo, actividad de microorganismos o macrofauna en el suelo asociados a los efectos en la descomposición de los residuos, a fin de complementar las informaciones físico - químicas de este tipo de experimento.
- b) Evaluar el efecto de la aplicación de compuestos orgánicos por más de un ciclo del cultivo, para estudiar los efectos residuales de las enmiendas orgánicas a largo plazo.
- c) Estudiar mezclas de enmiendas vegetales de rápida y lenta descomposición para optimizar el uso de los compuestos de baja calidad como también sincronizar la liberación de nutrientes de los residuos de acuerdo con las necesidades de absorción del cultivo
- d) Utilizar una adecuada metodología para análisis de compuestos secundarios cuando se utiliza muestras mulch afectadas por condiciones climáticas (temperatura, precipitación, lixiviación y volatilización)
- e) Al aplicarse compuestos orgánicos, se recomienda verificar la necesidad de complementar las exigencias nutricionales del cultivo a través de una fertilización química, de acuerdo con las características químicas del residuo, suelo y los requerimientos del cultivo.

2.7- BIBLIOGRAFIA

- AHIMANA, C.; MAGHEMBE, J. A. 1987. Growth and biomass production by young *Eucalyptus tereticornis* under agroforestry at Morogoro, Tanzania. *Forest Ecology and Management* 22: 219-228.
- AMARA, D. S.; ALPHA, P.T.J.; SALEMA, M. P. 1994. Uptake of N from fertilizer and prunings of *Gliricidia sepium*. Nuclear techniques in soil-plant studies for sustainable agriculture and environmental preservation. Proceedings of a symposium. 17-21 October. Vien. 321-326.
- BUDELMAN, A. 1989a. Effect of the application of the leaf mulch of *Gliricidia sepium* on early development, leaf nutrient contents and tuber yields of water yam (*Dioscorea alata*). *Agroforestry Systems* 8: 243-256.
- BUDELMAN, A. 1989b. Nutrient composition of the leaf biomass of three selected woody leguminous species. *Agroforestry Systems* 8: 39-51.
- BUDELMAN, A. 1989c. The performance of selected leaf mulches in temperature reduction and moisture conservation in the upper soil stratum. *Agroforestry Systems* 8:53-66.
- CATIE. 1991. Métodos de Análisis Rutinarios. Laboratorio de Producción Animal. Turrialba, Costa Rica. 48p.
- COLEMAN, D. C., CROSSLEY, D. A. Jr. 1996. *Fundamentals of Soil Ecology* Academic Press, 205 p.
- EZENWA, I. V.; ALASIRI, K. O. 1991. Use of leguminous tree leaves as a nutrient source for maize in a Lateritic Soil. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports* 9:21-24.
- FASSBENDER, H.W. 1993. Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales. Serie de Materiales de Enseñanza N°. 29, Turrialba, Costa Rica, 491 p.
- FASSBENDER, H.W., BORNEMISZA, E. 1987. *Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina*. 420 p.
- GUTTERIDGE, R. C. 1990. The use of the leaf of nitrogen fixing trees as a source of nitrogen for maize. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports* 8:27-28.
- HANDAYANTO, E.; CADISCHI, G.; GILLER, K. E. 1994. Nitrogen release from prunings of legume hedgerow trees in relation to quality of prunings and incubation method. *Plant and Soil* 160: 237-248.

- HOLDRIDGE, L. R. 1987. La Zona de Vida. Ecología Basada en las Zonas de Vida. IICA, San José, Costa Rica. Colección Libros y Materiales Educativos/IICA no. 83. p 1-8.
- HOWELER, R. H. 1983. Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales. Algunos cultivos tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Colombia. 28 p.
- JONES, J. B. Jr.; ECK, H. V.; VOSS, R. 1990. In: Westerman, R. L.; Baird, J. V.; Christensen, N. W.; Fixen, P. E.; Whitney, D. A. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America Book Series. Wisconsin, USA. 521-547.
- KASS, D. C. L.; JIMENEZ, M.; KAUFFMAN, S.; HERRERA-REYES, C. 1995. Reference Soils of the Tropical Agriculture Research and Training Center (CATIE) typical of the Turrialba Valley and Slopes of the Irazu Volcano. CATIE. 23 p.
- KASS, D. L. 1996. Fertilidad de Suelos. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 272 p.
- MACLEAN, R. 1991. The decomposition rate of *Gliricidia sepium* and *Cassia spectabilis* mulch and its influence on biomass management in an alley cropping system in the Southern Philippines. Nitrogen Fixing Tree Research Reports 9: 43-46.
- MAFONGOYA, P. L. 1995. Multipurpose tree prunings as a source of nitrogen to maize (*Zea mays* L.) under semiarid conditions in Zimbabwe. Thesis de PhD. Universidad de Florida, USA. 140 p.
- MAFONGOYA, P. L.; GILLER, K. E.; PALM, C. A. 1998. Decomposition and nitrogen release patterns and tree prunings and litter. *Agroforestry Systems* 38: 77-97.
- MARSCHNER, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. The Universitie Press (Belfast) Ltd. 674 p.
- MEENTEMEYER, V. 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology* 59: 465-472.
- MONTGOMERY, D. C. 1991. Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F. 589 p.
- MWIINGA, R. D.; KWESIGA, F. R.; KAMARA, C. S. 1994. Decomposition of leaves of six multipurpose tree species in Chipata, Zambia. *Forest Ecology and Management* 64:209-216.

- MYERS, R. F. K.; van NOORDWIJK, M.; VITYAKON, P. 1997. Synchrony of nutrient release and plant demand: plant litter quality, soil environment and farmer management options. In: Cadisch, G. y Giller, K. E. (eds) *Driven by Nature: plant litter quality and decomposition*. CAB International. 215 – 229.
- NAIR, P. K. R. 1993. *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 499 p.
- NYAMAI, D.O. 1992. Investigations on decomposition of foliage of woody species using a perfusion method. *Plant and Soil* 139: 239-245.
- OMORO, L.M.A., NAIR, P.K.R. 1993. Effects of mulching with multipurpose-tree prunings on soil and water run-off under semi-arid conditions in Kenya. *Agroforestry Systems* 22:225-239.
- PALM, C.A., SÁNCHEZ, P.A. 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica* 22(4): 330-338.
- PALM, C.A., SÁNCHEZ, P.A. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* 23(1): 83-88.
- REED, J.D.; HORVARTH, P.J.; ALLEN, M.S.; VAN SOEST, P.J. 1984. Gravimetric determination of soluble phenolics including tannins from leaves by precipitation with trivalent ytterbium. *J. Sci. Food Agriculture* 36:255 – 261.
- RIPPIN, M.; HAGGAR, J. P.; KASS, D.; KOEPKE, U. 1994. Alley cropping and mulching with *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O. F. Cook and *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.: effects on maize / weed competition. *Agroforestry Systems* 25: 119-134.
- ROSECRANCE, R.C., RODERS, S., TOFINGA, M. 1992. Effects of alley cropped *Calliandra calothyrsus* and *Gliricidia sepium* hedges on weed growth, soil properties, and taro yields in Western Samoa. *Agroforestry Systems* 19:57-66.
- SÁNCHEZ, P.A. 1981. *Suelos del Trópico. Características y Manejo*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica, 634 p.
- SAS INSTITUT INC., SAS/STAT. 1989. *User's Guide, version 6, Fourth edition, Vol. 1*, Cary, N. C.: SAS Institut Inc. 943 p.
- SCHROTH, G., ZECH, W., HEIMANN, G. 1992. Mulch decomposition under agroforestry conditions in a sub-humid tropical savanna processes and influence of perennial plants. *Plant and Soil* 147: 1-11.

- SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. 1996 (Eds.). Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America. USA. 1390 p.
- SZOTT, L. T.; KASS, D. C. L. 1993. Fertilizers in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 23: 157-176.
- TIAN, G., BRUSSAARD, L., KANG, B. T. 1993. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects on soil fauna. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 25, No.6, pp. 731-737.
- TIAN, G., KANG, B. T., BRUSSAARD, L. 1992a. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions - decomposition and nutrient release. *Soil Biol. Biochem.* 24(10): 1051-1060.
- TIAN, G.; KANG, B. T.; BRUSSAARD, L. 1992b. Effects of chemical composition on N, Ca, and Mg release during incubation of leaves from selected agroforestry and fallow plant species. *Biogeochemistry* 16: 103-119.
- TIAN, G.; KANG, B. T.; BRUSSAARD, L. 1993. Mulching effect of plant residues with chemically contrasting compositions on maize growth and nutrients accumulation. *Plant and Soil* 153: 179 – 187.
- VANLAUWE, B., DIELS, J.; SANGINGA, N.; MERCKX, R. 1997. Residue quality and decomposition: An unsteady relationship? In: Cadisch, G. y Giller, K. E. (eds) *Driven by Nature: Plant litter quality and decomposition*. CAB International. 157-166.
- WARING, R.H., SCHLESINGER, W. H. 1985. *Forest Ecosystems. Concepts and Management*. Academic Press, Inc., 340 p..
- YOBTERIK, A.C., TIMMER, V. R., GORDON, A.M. 1994. Screening agroforestry tree mulches for corn growth: a combined soil test, pot trial and plant analysis approach. *Agroforestry Systems* 25: 153-166.
- YOUNG, A. 1990. *Agroforestry for Soil Conservation*. CAB International, 276 p..

CAPITULO 3

ARTÍCULO 2: COMPUESTOS ORGÁNICOS DE ORIGEN VEGETAL Y ANIMAL APLICADOS EN MAÍZ EN CONDICIONES DE CAMPO.

3.1 INTRODUCCION

La aplicación de compuestos orgánicos en cultivos tropicales volvió a tener importancia como una técnica de bajos costos para pequeños productores en los trópicos. Esto se debe porque enmiendas orgánicas ofrecen una serie de beneficios a los cultivos tropicales como control de erosión y malezas, conservación de la humedad del suelo, mantenimiento de la temperatura del suelo, adición de nutrientes y costos reducidos. El efecto de estos beneficios, cuando utilizados de forma combinada sobre los cultivos, ofrece mejores condiciones ecológicas para su crecimiento (Budelman, 1989). El uso de residuos orgánicos puede reducir la necesidad del uso de fertilizantes industriales, tornando los sistemas de producción viables económicamente y sostenibles ecológicamente, ofreciendo una alternativa para la agricultura migratoria (Budelman, 1989).

La dinámica de la descomposición de los residuos de las plantas, dependen de la composición química de los tejidos. En este sentido, la relación C:N tiene gran importancia en la determinación de la tasa de mineralización (Nyamai, 1992). La presencia de los compuestos secundarios como taninos y polifenoles, y estructurales como lignina, hemicelulosa y celulosa, también afectan la liberación del N (Palm y Sánchez, 1990 Y 1991; Tian et al., 1992).

Sin embargo, todavía no hay informaciones precisas relacionadas al contenido de nutrientes disponibles para los cultivos de diferentes enmiendas orgánicas cuando aplicadas en sistemas de producción. Para planificar mejor el uso de los fertilizantes en las plantaciones se debe conocer la composición química, la

cantidad de los elementos nutricionales, la tasa de descomposición de las enmiendas orgánicas y comparar los resultados con las necesidades de los cultivos.

3.2 REVISION DE LITERATURA

3.2.1- Importancia de la materia orgánica y del ciclaje de nutrientes.

La materia orgánica del suelo se define como la „fracción del suelo que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas por los habitantes del suelo. Esta fracción se determina en general en suelos que pasan por un tamiz con malla de 2.0 mm" (Soil Science Society of America citado por Fassbender y Bornemisza, 1987; Waring y Schlesinger, 1985).

El ciclo de la materia orgánica puede ocurrir a través de la producción de residuos vegetales que se incorporan al suelo cayendo primero sobre la capa de mantillo donde van siendo descompuestos e incorporados al suelo, en función de los procesos de mineralización y humificación (Fassbender, 1993).

Los procesos de transferencia de elementos nutritivos en las plantas se llevan a cabo por medios de transporte como el agua (lluvia, lavado foliar, escurrimiento de tallos y escurrimiento superficial) y la materia orgánica (producción de restos vegetales, descomposición y liberación de elementos nutritivos). Con el agua se produce un flujo de elementos y nutrientes disueltos en el ecosistema, como los nitratos y amonios, sulfatos, fosfatos, potasio, calcio y magnesio (Fassbender, 1993).

La disponibilidad de nutrimentos en la fracción orgánica es muy variable y su disponibilidad no es inmediata, ya que requiere de una mineralización previa. La liberación lenta y progresiva es una garantía de que los elementos móviles en el suelo como el nitrógeno, permanecen retenidos y no se pierden fácilmente por lavado (Kass, 1996).

El mantenimiento de la materia orgánica es esencial en la agricultura sin insumos externos. También es importante en suelos con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), en los cuales la mayoría de las cargas negativas están en los radicales orgánicos, y en suelos arcillosos susceptibles a la compactación (Sánchez, 1981). Las sustancias húmicas representan fuentes de lenta solubilización de nitrógeno, fósforo y azufre para la nutrición de plantas. También aportan, al mineralizar, potasio, magnesio y cantidades muy pequeñas de micronutrientes (Kass, 1996). En suelos sin problemas en las propiedades físicas, las prácticas de fertilización pueden disminuir la importancia de conservar la materia orgánica, donde las prácticas adecuadas de fertilización química aumentan su contenido debido al aumento en la descomposición de las raíces y residuos de las cosechas (Sánchez, 1981). La disponibilidad de nutrientes en el suelo puede afectar seriamente el crecimiento del cultivo.

Los nutrientes minerales tienen funciones específicas y esenciales en el metabolismo de la planta, funcionando como un constituyente de la estructura orgánica, como activador de reacciones enzimáticas o como cargador y osmoregulador (Marschner, 1986).

Las principales funciones de los elementos minerales, como N y P, es servir como constituyentes de la proteína y ácidos nucleicos; Mg y micronutrientes (a excepción de Cl) pueden funcionar como constituyentes de estructuras orgánicas, predominantemente enzimas moleculares; K no forma parte de estructuras orgánicas ya que tiene la función de osmoregulación, manteniendo el equilibrio electroquímico en las células y en sus compartimentos como también en la regulación de actividades enzimáticas (Marschner, 1986).

3.2.2- Descomposición de la materia orgánica.

El término descomposición es usado para describir procesos donde la materia orgánica es descompuesta en partículas menores y formas solubles de nutrientes

que pueden ser absorbidos por las plantas (Coleman y Crossley, 1996; Waring y Schlesinger, 1985).

Según Mafongoya et al. (1998) y Fassbender y Bornemisza (1987) la composición bioquímica de los restos vegetales varía dentro de grandes límites y depende de la edad y funciones del órgano vegetal analizado. Los tejidos verdes son más ricos en carbohidratos y proteínas y los tejidos leñosos presentan mayores contenidos de compuestos fenólicos (lignina) y celulosa. Especies de mulch generalmente tienen más bajo N y más altos contenidos de lignina que biomásas verdes. El contenido de polifenoles son menos previsible y pueden aumentar o disminuir con la edad, dependiendo de la especie (Mafongoya et al., 1998).

La combinación y proporción de los compuestos determina la calidad y la tasa de descomposición de los residuos de las plantas. Enmiendas orgánicas de alta calidad presentan alto contenido de N, bajo contenido de lignina y polifenoles, descomponen rápidamente y liberan nutrientes a corto plazo para las plantas. En contraste, enmiendas de baja calidad presentan bajos niveles de N, altos niveles de lignina y polifenoles y presentan lenta liberación de nutrientes, protegiéndolos de su lixiviación o reciclaje hasta que sean mineralizados (Nyamai, 1992; Young, 1990).

Ya especies con altos contenidos de N y amplio contenido de polifenoles pueden ser divididos en dos categorías: (a) especies con poca capacidad de ligarse a proteínas (p.ej. *Leucaena leucocephala*) con hojas de rápida descomposición que liberan gran cantidad de N a pesar de la presencia de polifenoles, y (b) especies como *Calliandra calothyrsus* con gran capacidad para ligarse a proteínas y con baja descomposición de las hojas que liberan muy poco N (Mafongoya et al., 1998).

En estudios de Tian et al. (1992) y Palm y Sánchez (1990 y 1991), fueron observadas correlaciones negativas entre la tasa de descomposición y las variables C:N, % de lignina y contenido de polifenoles en los residuos. Residuos con bajo contenido de polifenoles (*Erythrina sp.*) descomponen más rápidamente que

aquellos con alto contenido (*Inga edulis* y *Cajanus cajan*). Los polifenoles pueden retardar la descomposición y liberación del N al agregarse a los componentes que contienen nitrógeno en los residuos, formando complejos resistentes junto a la pared celular. En los patrones de liberación de fósforo también presenta importancia la calidad del residuo en los cuales la dinámica del nitrógeno puede influenciar la dinámica del fósforo en los primeros estadios de descomposición (Palm y Sánchez, 1990).

Gutteridge (1990), aplicando el equivalente de 2.5 y 5.0 toneladas de materia seca/ha en el cultivo de maíz, encontró mayor disponibilidad de N en los tratamientos con fertilización química que en aquellos con enmiendas orgánicas. De las especies utilizadas, *Gliricidia sepium* obtuvo la más alta concentración de N en las hojas (4.35%), produciendo un efecto positivo sobre los rendimientos del cultivo. Mwiinga et al. (1994), observaron que el mulch de *Gliricidia sepium* presentó la mayor tasa de descomposición comparada con las otras especies (*Leucaena leucocephala*, *Sesbania sesban*, *Cassia siamea*, *Pericopsis angolensis* y *Flemingia congesta*). Por eso *Gliricidia* es considerada como la especie con mayor potencial para ser utilizada como enmienda orgánica por presentar rápidas tasas de descomposición y altas concentraciones de N, P y K en la biomasa.

3.2.3 - Efectos de la aplicación de enmiendas orgánicas

Los efectos de la aplicación de enmiendas son presentados a seguir para mostrar la importancia en el proceso de descomposición de los tratamientos en estudio, sin embargo, debido a las condiciones limitantes del trabajo, no todos los tópicos presentados serán considerados, principalmente la fauna del suelo y pérdida de suelo.

Fauna del Suelo: La fauna del suelo está presente en las transformaciones más importantes en los procesos de mineralización y humificación. Después de la destrucción mecánica y física de los restos vegetales y animales se produce el ataque de microorganismos e insectos (bacterias, hongos, microfauna protozoarios,

nemátodos, lombrices, hormigas, termitas y colémbolas), los que por medio de sus jugos digestivos y enzimas, destruyen los compuestos orgánicos y dan lugar a la liberación de minerales (Fassbender y Bornemisza, 1987). Las lombrices tienen una importante función en el mantenimiento de la productividad del suelo a través de sus efectos en la descomposición y disponibilidad de nutrientes para las plantas. Cuanto mayor la proporción de lignina en el mulch, menor será la población de lombrices, hormigas y milípedos. En contraste, la población de termitas no fue afectada por los contenidos de N, polifenoles y lignina en los residuos (Tian et al., 1993). La dominancia de la fauna del suelo en los procesos de descomposición puede explicar porque el N y P fueran rápidamente perdidos de los compuestos orgánicos después de la fase de lixiviación, mismo con una relación C/N de 20 y C/P de 200. Debido que la cascara de los árboles tienen generalmente más nutrientes minerales que la madera, el consumo selectivo de la cascara, posiblemente a través de los termitas, pudo haber contribuido significativamente al aumento de N y P en los residuos de las ramas (Schroth et al., 1992).

Temperatura y Humedad: Budelman (1989) encontró diferencias en la variación de la humedad y temperatura en el suelo para cada tipo de mulch, como también en el control de malezas. Rosecrance et al. (1992), evaluando cultivos en callejones, encontraron en los suelos de los callejones mayor retención de agua (0.3 a 1.0 bar) y menor densidad aparente (0.89) que en el control.

Pérdida de suelo: Omoro y Nair (1993) encontraron mayor pérdida de suelo (1536 t/ha) en el tratamiento control (sin cobertura de suelo) mientras la menor pérdida de suelo se observó con la aplicación de *Cassia siamea*. Las diferencias encontradas entre los diferentes materiales utilizados se atribuyeron a las características inherentes del mulch, como la forma y tamaño de las hojas y la resistencia del material a la descomposición. Hojas pequeñas son más efectivas en el control de erosión mientras hojas mayores tienen la tendencia de reducir la infiltración y aumentar la escorrentia y la concentración de sedimentos.

Nitrificación y pH: el pH del suelo y la liberación de $\text{NH}_4\text{-N}$ parecen estar relacionados, ya que el pH aumenta en las primeras dos semanas, alcanza su máximo entre 4 y 6 semanas y se estabiliza alrededor de la semana 10. Estos padrones probablemente reflejan los cambios de bases de cationes sobre el complejo cambiante del suelo en la solución del suelo realizada por el NH_4^+ . Después de la semana 6 hubo reducción de la amonificación y aumento de la nitrificación, coincidiendo con la estabilización del pH. También se observó que una alta nitrificación contribuyó para bajos niveles de $\text{NH}_4\text{-N}$ en el suelo. (Yobterik et al., 1994).

La descomposición es por sí el catabolismo de componentes orgánicos de los residuos, siendo el resultado de las actividades de microorganismos. Algunos animales del suelo tienen celulasas en el cual los permiten digerir los compuestos orgánicos. La tasa de descomposición del mulch es el resultado de un conjunto de varias actividades de la biota del suelo, como por ejemplo, respiración, estructura y dinámica de nutrientes en el suelo. La respiración del suelo estima la actividad biológica; la estructura del suelo es el resultado de acciones combinadas de la biota y el clima sobre substratos minerales; y la dinámica de nutrientes es la variable más estudiada para predecir el crecimiento de los cultivos (Coleman y Crossley, 1996).

3.3 MATERIALES Y METODOS

3.3.1 - Descripción del experimento

El experimento fue realizado en el campo experimental San Juan Sur del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE Costa Rica. Está ubicado a $9^\circ 53'$ Latitud Norte y $83^\circ 34'$ Longitud Oeste a una altitud de 900 m.s.n.m., en una zona de vida clasificada como Bosque Húmedo Premontano (Holdridge, 1987). El clima se caracteriza por lluvias distribuidas a lo largo de todo el año, con un periodo de mínima precipitación entre los meses de Marzo a Abril. La

temperatura y precipitación promedio anual son de 22 °C y 2600 mm, respectivamente.

El suelo estudiado está clasificado como un Acrudoxic Melanudand (Humic Andosol), muy profundo, bien drenado, arcilloso de color marrón oscuro con grueso horizonte A, derivado o influido por cenizas volcánicas. Este suelo ocupa 25 % de las laderas del Volcán Irazu. El material parental del subsuelo > 75 cm es probablemente derivado de una camada inferior de una roca andesítica. Alta actividad biológica puede ser observada a través del suelo. La estructura es moderada a fuerte fina blocosa sub-angular. La reacción es fuertemente ácida se tornando mas ácida con la profundidad y los más altos valores de pH en KCl que en H₂O a profundidades inferiores a 75 cm pueden indicar carga positiva neta (KASS et al., 1995). En la Tabla 1 pueden ser observadas las características del suelo estudiado.

Tabla 1: Características químicas de un Humic Andosol al inicio del experimento

pH agua	Ac. Ext. cmol(+)/l	N %	P mg/l	K cmol(+)/l	Ca cmol(+)/l	Mg cmol(+)/l
4.43	0.08	0.41	4.07	0.1	0.97	0.3

Obs: Los datos de la tabla son valores promedios de tres repeticiones

El maíz sembrado fue la variedad "Los Diamantes" para zonas tropicales bajas. Según su ciclo vegetativo, la floración ocurre entre 55-60 días, llegando a la madurez fisiológica aproximadamente a los 100 días. Fueron estudiados 18 tratamientos consistiendo de 2 tiempos de corte y 9 enmiendas orgánicas que están descritas a continuación:

- Testigo sin fertilización y sin mulch: este es el tratamiento control donde no fue aplicado ningún fertilizante o compuesto orgánico.
- Testigo con fertilización y sin mulch: se aplicaron 166.5 g/m² de fertilizante con fórmula 18-5-15-6-0.67-7.3, respectivamente para N, P, K, Mg, B y S, equivalente a 300 kg de N/ha.

- c) Mulch de Gliricidia: se aplicó 1.0 kg/m^2 de hojarasca (hojas y tallo tierno) de *Gliricidia sepium* en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.
- d) Mulch de Inga: se aplicó 1.08 kg/m^2 de hojarasca (hojas y tallo tierno) de *Inga edulis* en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.
- e) Mulch de Calliandra: se aplicó 1.03 kg/m^2 de hojarasca (hojas y tallo tierno) de *Calliandra calothyrsus* en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.
- f) Mulch de Canavalia: se aplicó 1.12 kg/m^2 de hojarasca (hojas y tallo tierno) de *Canavalia ensiformis* en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.
- g) Gallinaza: se aplicó 1.78 kg/m^2 de estiércol de gallina en la superficie del suelo, representando una proporción de 300 kg de N/ha.
- h) Estiércol de ganado: se aplicó 1.34 kg/m^2 de estiércol de ganado en la superficie del suelo, representando una proporción de 300 kg de N/ha.
- i) Bocashi: este abono consta de una mezcla de componentes en las siguientes proporciones: 60 kg de tierra negra, 15 kg de cascarilla cruda de arroz, 20 kg de carbón, 30 kg sacos de gallinaza, 8 kg de cal, 1 litro de melaza y 5 kg de polidura de arroz. Se aplicó 5.35 kg/m^2 de Bocashi en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.

El muestreo de la biomasa de maíz se realizó a los 30 y 60 días después de la siembra y los residuos fueron analizados al inicio del estudio. Los análisis químicos de las variables de estudio fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Tejido Vegetal y Aguas de CATIE utilizando la siguiente metodología:

- Nitrógeno (N): N total a través del método Semi-micro Kjeldahl que comprende la extracción del N en la muestra con ácido sulfúrico concentrado y zinc metálico. Posteriormente se agrega hidróxido de sodio al extracto (1:1) y se destila por lo mínimo 10 minutos. El destilado es colectado en un recipiente conteniendo ácido bórico (2%) mas indicador, y a continuación es titulado con ácido sulfúrico (0.02 N).
- Fósforo (P): método colorimetro desarrollando azul de molibdeno. Se lee en el Espectrofotometro UV/V λ 1 a una longitud de onda de 660 nm.
- Potasio (K): a través de Absorción Atómica PERKIN ELMER 2380.

- c) Mulch de Gliricidia: se aplicó 1.0 kg/m^2 de hojarasca (hojas y tallo tierno) de *Gliricidia sepium* en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.
- d) Mulch de Inga: se aplicó 1.08 kg/m^2 de hojarasca (hojas y tallo tierno) de *Inga edulis* en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.
- e) Mulch de Calliandra: se aplicó 1.03 kg/m^2 de hojarasca (hojas y tallo tierno) de *Calliandra calothyrsus* en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.
- f) Mulch de Canavalia: se aplicó 1.12 kg/m^2 de hojarasca (hojas y tallo tierno) de *Canavalia ensiformis* en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.
- g) Gallinaza: se aplicó 1.78 kg/m^2 de estiércol de gallina en la superficie del suelo, representando una proporción de 300 kg de N/ha.
- h) Estiércol de ganado: se aplicó 1.34 kg/m^2 de estiércol de ganado en la superficie del suelo, representando una proporción de 300 kg de N/ha.
- i) Bocashi: este abono consta de una mezcla de componentes en las siguientes proporciones: 60 kg de tierra negra, 15 kg de cascarilla cruda de arroz, 20 kg de carbón, 30 kg sacos de gallinaza, 8 kg de cal, 1 litro de melaza y 5 kg de polidura de arroz. Se aplicó 5.35 kg/m^2 de Bocashi en la superficie del suelo, equivalente a 300 kg de N/ha.

El muestreo de la biomasa de maíz se realizó a los 30 y 60 días después de la siembra y los residuos fueron analizados al inicio del estudio. Los análisis químicos de las variables de estudio fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Tejido Vegetal y Aguas de CATIE utilizando la siguiente metodología:

- Nitrógeno (N): N total a través del método Semi-micro Kjeldahl que comprende la extracción del N en la muestra con ácido sulfúrico concentrado y zinc metálico. Posteriormente se agrega hidróxido de sodio al extracto (1:1) y se destila por lo mínimo 10 minutos. El destilado es colectado en un recipiente conteniendo ácido bórico (2%) mas indicador, y a continuación es titulado con ácido sulfúrico (0.02 N).
- Fósforo (P): método colorímetro desarrollando azul de molibdeno. Se lee en el Espectrofotómetro UV/Vlambd1 a una longitud de onda de 660 nm.
- Potasio (K): a través de Absorción Atómica PERKIN ELMER 2380.

- Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Manganeso (Mn): extracción con KCl 1N y lectura por Absorción Atómica PERKIN ELMER 2380 de una alicuota diluida del extracto.

Los análisis químicos de suelos de las variables del estudio fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Tejido Vegetal y Aguas de CATIE utilizando la siguiente metodología (Sparks et al., 1996):

- Nitrógeno (N): determinación de N total a través del método Semi-micro Kjeldahl.
- Fósforo (P) y potasio (K): determinación de P y K a través del método de Olsen
- Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Manganeso (Mn): extracción con KCl 1N y lectura por Absorción Atómica PERKIN ELMER 2380 de una alicuota diluida del extracto.

Los resultados de los análisis fueron expresados en concentración (%) y contenidos de los elementos (kg/ha o g/m²). También fueron estudiadas las relaciones Ca/Mg, Mg/K, Ca/K y Ca+Mg/K para complementar los resultados de los análisis de nutrientes. Se puede observar en la Tabla 2 la composición química de los tratamientos aplicados al inicio del experimento. Como solamente fueron medidas las características del suelo en los primeros 20 cm de profundidad, no fueron cuantificadas las pérdidas de N por nitrificación y N, P, K, Ca y Mg por lixiviación.

Tabla 2: Cantidades de minerales aplicados con los tratamientos al inicio del experimento.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg
	Kg/ha				
Gallinaza	300	461	212	1232	118
Bocashi	300	209	289	1125	113
Ganado	300	104	303	238	120
Canavalia	300	18	124	243	39
Calliandra	300	21	111	117	27
Inga	300	21	99	71	25
Gliricidia	300	23	201	156	32

Los análisis químicos de polifenoles y lignina sólo fueron realizados en las enmiendas orgánicas de origen vegetal al principio y a los 30 y 60 días del estudio. El mulch fue analizado en el Laboratorio de Nutrición Animal de CATIE con la siguiente metodología para las diferentes variables:

- Fibra Detergente Ácida (FDA), Fibra Detergente Neutra (FDN) y lignina: determinación a través del método de Van Soest (CATIE, 1991).
- Polifenoles: determinación de polifenoles totales y adheridos a la pared celular a través del método gravimétrico de fenoles solubles de Folin-Denis (Reed et al, 1984).

3.3.2 - Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño Experimental Factorial en Bloques Completos al Azar con nueve tratamientos, dos tiempos de análisis (30 y 60 días después de la siembra) y tres repeticiones. La unidad experimental estaba representada por parcelas de 3.5 m x 3.5 m (12.25 m²) con un área útil de 9.00 m². El maíz fue sembrado a 0.5 m x 0.5m con 3 plantas por cueva, representando 108 plantas/ parcela útil. Las enmiendas orgánicas de origen vegetal fueron cosechadas de 10 árboles seleccionados al azar.

Para verificar la diferencia significativa en la composición química de la biomasa de maíz se compararon los diferentes tratamientos con un análisis de varianza (ANOVA) multivariable a través de la prueba de Tukey utilizándose el programa SAS. Para complementar, los resultados fueron analizados a través de contrastes entre los tratamientos. También fueron realizadas correlaciones entre los resultados de las variables de la biomasa y suelo (SAS, 1989).

Para comparar los tratamientos fue empleado el siguiente modelo estadístico lineal (Montgomery, 1991):

$$Y_{ijk} = u + t_i + a_j + ta_{ij} + e_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} = es la (ij) - ésima observación; u = es un parámetro común a todos los tratamientos denominado media global; t_i = es el efecto del tratamiento i - ésimo; a_j = es el efecto de la duración del tratamiento; ta_{ij} = es la interacción entre el tratamiento y la duración; e_{ijk} = es la componente aleatoria del error.

3.4 – RESULTADOS Y DISCUSION

3.4.1- COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ENMIENDAS ORGANICAS

La composición química de las enmiendas vegetales y animales se presentan en la Tabla 2. Todos los tratamientos iniciaron el estudio con una proporción de 300 kg de N/ha. También se puede ver valores mucho más altos de los nutrientes en los compuestos animales que en los vegetales, en donde gallinaza presentó los mayores contenidos de P (461 kg/ha) y Ca (1232 kg/ha); y ganado de K (303 kg/ha) y Mg (120 kg/ha). De los compuestos vegetales, gliricidia mostró mejores contenidos de P (23 kg/ha) y K (201 kg/ha) y canavalia de Ca (243 kg/ha) y Mg (39 kg/ha).

Los resultados de los análisis de polifenoles son presentados en la Tabla 3. Los datos fueron registrados para las enmiendas de *Calliandra calothyrsus*, *Canavalia ensiformis*, *Gliricidia sepium* y *Inga edulis* al inicio, 30 y 60 días después de la siembra, evaluándose la materia seca (M.S.), pared celular (FDN), fibra cruda (FDA), lignina, polifenoles totales y polifenoles adheridos a la pared celular.

Para evaluar los resultados de los compuestos secundarios realizados en este estudio hay que considerar, entre varios aspectos, que el experimento fue realizado en condiciones de campo. Generalmente este tipo de trabajo es realizado

bajo condiciones controladas donde no ocurre lixiviación. Sin embargo, siendo los polifenoles solubles en agua, su papel en la determinación de las tasas de descomposición y mineralización del N pueden no pronunciarse en condiciones de campo debido a la facilidad de ser lavados por lixiviación (Handayanto et al., 1994).

Inga y gliricidia tuvieron las mayores concentraciones de FDN al inicio del estudio, con valores de 78.6 y 77.9% respectivamente. A los 30 días calliandra e inga prácticamente ya mantuvieron constantes el FDN. Todos los tratamientos aumentaron sus concentraciones de FDN durante el periodo del experimento, siendo calliandra e inga los tratamientos que obtuvieron los más altos niveles ($p < 0.01$).

Tabla 3: Análisis de Fibras y polifenoles de las enmiendas vegetales

Variables	Tiempo	Tratamientos			
		Calliandra	Canavalia	Gliricidia	Inga
FDN %	Inicio	59.5	56.4	77.9	78.6
	30	88.8 a	62.37 b	71 b	91.5 a
	60	88.8 a	72.3 b	75.3 b	88.53 a
FDA %	Inicio	38	32.8	51.7	59.5
	30	80.07 a	44.5 c	55.4 b	76.53 a
	60	78.5 a	50.83 bc	44.53 c	73.1 ab
Lignina %	Inicio	22.2	12.8	19.8	32.5
	30	42.67 a	23.43 a	24.93 a	31.97 a
	60	47.97 a	27.47 b	35.03 b	34.67 b
Polifenoles Mat. Orig. mg/g	Inicio	0.7	0	0	1.1
	30	0	0	0	0
	60	0	0	0	0.03
Polifenoles Lig. FDN mg/g	Inicio	0	0	0	0
	30	0	0	0	0
	60	0	0	0	0

FDN: fibra detergente neutra

FDA: fibra detergente ácida

A excepción de gliricidia, los demás tratamientos aumentaron los niveles de FDA, donde calliandra alcanzó el mejor resultado (48.5 %) al final del experimento ($p < 0.01$). Gliricidia tuvo un comportamiento opuesto a los otros compuestos empezando el estudio con 51.7 % de FDA, aumentando ligeramente a 55.4 % a los 30 días y volviendo a bajar a niveles de 44.53 % al final del experimento.

Las concentraciones de lignina al inicio del experimento variaron de 12.8 % en canavalia hasta 32.5 % en inga. En general todos los tratamientos incrementaron los niveles de lignina durante el estudio, siendo calliandra el compuesto con más alto valor (47.97 %). El porcentaje de lignina en las hojas de especies agroforestales varían entre 5% a 20% del peso seco de hojas verdes y de 10% a 40 % en el mulch. Se ha sugerido que 15% de lignina ya es un nivel crítico donde encima de esto la descomposición es afectada ya que la lignina protege la celulosa en la pared celular (Mafongoya et al., 1998). Como se puede observar en la Tabla 3 calliandra, canavalia, gliricidia e inga presentaron niveles de lignina superiores al nivel crítico sugerido por Mafongoya et al. (1998). Enmiendas orgánicas con altos contenidos de lignina resultan en baja mineralización neta y absorción en el primer periodo del cultivo, sin embargo, se produce un efecto residual en el periodo subsecuente. La misma tendencia ocurre con compuestos con alta concentración de taninos que necesitan de un periodo más largo para empezar a descomponer pero, después de este retraso, liberan nutrientes rápidamente (Myers et al., 1997).

Hojas con alto contenido de N pero bajo en lignina y polifenoles (por ej. *Gliricidia sepium*) van a descomponer muy rápidamente, liberando gran proporción de N. Lento patrón de descomposición puede resultar de varias características diferentes, generalmente relacionadas por grandes cantidades de polifenoles reactivos o lignina estructural y asociados a protoantocianidinas insolubles (Mafongoya et al., 1998).

Los resultados presentados por el Laboratorio de Nutrición Animal de CATIE expresaron muy poca variación en los valores de polifenoles totales y ninguna presencia de polifenoles adheridos a la pared celular para las enmiendas orgánicas evaluadas. Calliandra e inga fueron los únicos compuestos que mostraron valores diferentes de cero para polifenoles totales, donde calliandra alcanzó 0.7 ABS/GM al inicio e inga con 1.1 y 0.03 ABS/GM, al inicio y a los 60 días, respectivamente. Desafortunadamente los resultados de polifenoles presentados nos impiden hacer una mejor evaluación entre los tratamientos.

La disminución de las condiciones de estrés del medio ambiente (sequía o acidez del suelo) y reducción del ataque de plagas o enfermedades pueden cambiar la composición química de las plantas y residuos. Cuando los compuestos orgánicos pasan por periodos de sequía asociados a altas temperaturas puede haber alteraciones en la cantidad y balance de tipos de polifenoles, reduciendo la cantidad de polifenoles "activos" aptos a combinarse con las proteínas (Mafongoya et al., 1998; Mafongoya, 1995). Las razones de los cambios en la composición química de los polifenoles citados por Mafongoya et al. (1998), tal vez puedan explicar parte de los resultados obtenidos en este estudio. El muestreo de las especies vegetales fue realizado 2 semanas antes de la siembra del experimento, almacenado durante 8 semanas bajo condiciones ambientales de invernadero para, finalmente, ser analizados en laboratorio en conjunto con las muestras del tiempo 30 y 60 días. Este tiempo para realizar los análisis químicos pudo influenciar en los altos valores de FDA y en la disminución de los contenidos de polifenoles en los compuestos vegetales.

Hay la necesidad de homogeneizar los patrones para caracterización de los residuos en cuanto la edad, composición de partes de la planta (hojas completas, tallos tiernos, copa del árbol) y sus condiciones de crecimiento (condiciones nutricionales y concentración de CO₂ del ambiente) (Vanlauwe et al., 1997). Aun que exista una gran cantidad de indicadores de pérdida de biomasa y liberación de N en la literatura también hay que considerar el tipo de material utilizado. Especies de mulch generalmente tienen más bajo N y más altos contenidos de lignina que biomásas verdes. El contenido de polifenoles son menos previsibles y pueden aumentar o disminuir con la edad, dependiendo de la especie (Mafongoya et al., 1998).

3.4.2- EFECTOS SOBRE LA FERTILIDAD DE UN HUMIC ANDOSOL

En esta fase del estudio los análisis de suelo para pH, N, P, K, Ca y Mg y las relaciones Ca/Mg, Ca + Mg/K, Mg/K y Ca/K sólo fueron realizados al inicio y al final del experimento. Los elementos Cu, Zn y Mn fueron analizados solamente a los 60 días. Se observaron diferencias entre los bloques en cuanto a características químicas del suelo y, consecuentemente, cambios en el crecimiento de las plantas de maíz. Como referencia para una mejor comprensión de los resultados, en la Tabla 5 pueden ser vistos los niveles deficiente, normal y en exceso de los nutrientes y sus relaciones en el suelo.

pH: Aunque los resultados del análisis estadístico no mostraron diferencias significativas (Tabla 4) y el suelo tenía niveles deficientes de pH al inicio del estudio (Tabla 5), todos los tratamientos aumentaron los valores de pH a los 60 días del experimento. Resultados semejantes fueron encontrados por Yobterik et al. (1994), que probando la aplicación de diferentes especies de mulch para el cultivo de maíz, observó un aumento en el pH en las primeras dos semanas llegando a los más altos valores entre 30 y 45 días, ilustrando una substancial neutralización por las enmiendas orgánicas. El compuesto de bocashi cambió el pH de 4.43, al inicio del estudio, a 5.2 a los 60 días siendo el único tratamiento a no presentar pH deficiente en estudio, de acuerdo con los niveles críticos presentados en la Tabla 5. Los menores cambios en el pH a lo largo del estudio fueron en los tratamientos de inga, fertilizante y canavalia (Figura 1). Ningún tratamiento alcanzó los niveles normales de pH (5.5 – 6.5) lo que puede provocar una mayor retención de P en el suelo (Kass, 1996; Marchner, 1986). Valores de pH mayores a 4 disminuyen la concentración de Al^{3+} (Marchner, 1986).

Tabla 4: Cambios en el pH y nutrientes en un Humic Andosol debido a la aplicación de compuestos orgánicos

Variables	Tiempo días	Tratamientos								
		Control	Fertilizante	Glicridia	Inga	Calliandra	Canavalia	Gallinaza	Bocashi	Ganado
pH agua	Inicio	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43
	60	4.77 a	4.47 a	4.7 a	4.4 a	4.67 a	4.5 a	4.87 a	5.2 a	4.83 a
N (%)	Inicio	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
	60	0.42 a	0.40 a	0.43 a	0.40 a	0.44 a	0.39 a	0.42 a	0.40 a	0.42 a
P (mg/kg)	Inicio	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07
	60	4.6 b	4.56 ab	6.16 ab	4.51 ab	5.61 ab	4.21 b	10.87 a	8.82 ab	6.41 ab
K cmol(+)/l	Inicio	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	60	0.13 cd	0.1 d	0.34 a	0.16 bcd	0.18 abcd	0.15 bcd	0.28 abc	0.25 abcd	0.3 ab
Ca cmol(+)/l	Inicio	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
	60	2.97 a	0.55 a	1.07 a	0.35 a	0.8 a	0.7 a	1.99 a	2.58 a	0.75 a
Mg cmol(+)/l	Inicio	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	60	0.69 a	0.2 a	0.4 a	0.2 a	0.37 a	0.31 a	0.53 a	0.8 a	0.44 a
Cu (mg/kg)	60	17.62 a	16.26 a	18.61 a	17.28 a	19.87 a	17.74 a	21.77 a	20.99 a	22.34 a
Zn (mg/kg)	60	1.31 a	1.17 a	1.48 a	1.03 a	1.41 a	1.01 a	2.2 a	1.44 a	1.65 a
Mn (mg/kg)	60	69.95 a	71.51 a	83.64 a	79.04 a	76.4 a	83.51 a	84.11 a	56.05 a	97.51 a
Ca/Mg	60	2.96	2.48	2.24	1.78	2.03	2.27	3.74	3.37	1.68
Ca+Mg/K	60	21.88	8.44	3.81	3.38	6.36	7.17	9.16	16.4	4
Mg/K	60	4.33	2.18	1.08	1.22	2	2.24	1.91	3.93	1.49
Ca/K	60	17.54	6.26	2.73	2.16	4.35	4.93	7.25	12.47	2.51

Tabla 5: Niveles de los nutrientes para interpretación de los análisis químicos de un Humic Andosol

Niveles	Nutrientes											
	pH agua	P mg/l	K cmol(+)/l	Ca cmol(+)/l	Mg cmol(+)/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Mn mg/l	Ca/Mg	Ca+Mg/K	Mg/K	Ca/K
Deficiente	5	10	0.2	4	1	1	3	5	2	10	2.5	5
Normal	5.5-6.5	10-40	0.2-1.5	4-20	1-10	1-20	3-15	5-50	2-5	10-40	2.5-15	5-25
Exceso	>6.5	>40	>1.5	>20	>10	>20	>15	>50	>5	>40	>15	>25

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, citado por Kass (1996)

Nitrógeno: Todos los tratamientos iniciaron el estudio con valores de N de 4100 mg/kg de suelo. A los 60 días los resultados estadísticos no presentaron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos (Tabla 4). Sin embargo se puede observar en la Figura 2 que control, gliricidia, calliandra, gallinaza y ganado tuvieron una tendencia a aumentar sus contenidos de N mientras fertilizante, inga, canavalia y bocashi disminuyeron.

Fósforo: Todas las enmiendas iniciaron el estudio con valores de P de 4.07 mg/kg aumentando sus contenidos a los 60 días. Gallinaza, único tratamiento a presentar valores normales de P, tuvo lo más alto valor de P alcanzando 10.87 mg/kg a los 60 días del estudio, diferenciándose significativamente de los demás (Tabla 4). Los enmiendas vegetales y los otros compuestos de origen animal no presentaron diferencias ($p < 0.01$) entre sus contenidos de P (Figura 3). En algunos casos no hay liberación de P al aplicarse enmiendas vegetales debido a inmovilización del P por la actividad de los microorganismos del suelo y formación de complejos fósforo - orgánicos (Kass, 1996).

La adición de compuestos orgánicos con altos contenidos de C (como inga y calliandra) pueden dar como resultado inmovilización y disminución de N y P inorgánico en la solución del suelo, causando una disponibilidad de nutrientes más baja. Sin embargo, en algunos casos la adición de enmiendas orgánicas puede dar como resultado la formación de complejo material orgánico con Al y Fe, causando una mayor disponibilidad de formas inorgánicas de P (Szott y Kass, 1993).

Potasio, Calcio y Magnesio: Los contenidos de K al inicio y a los 60 días pueden ser observados en la Tabla 4. Los mejores resultados fueron obtenidos con la aplicación de gliricidia (0.34 cmol(+)/l) seguido de ganado (0.3 cmol(+)/l). En la Figura 4 también se puede ver que el contenido de fertilizante no cambió durante el estudio. Los compuestos animales y gliricidia fueron los tratamientos que suplieron adecuadamente los niveles de K en el suelo.

Calcio y magnesio presentaron niveles deficientes durante todo el periodo del experimento para todas las enmiendas aplicadas en el suelo (Tabla 4 y 5). Sin embargo, se observa en la Figura 5 que los tratamientos tuvieron diferentes tendencias en el cambio de los contenidos de Ca durante el estudio. Control, bocashi y gallinaza aumentaron los contenidos de Ca mientras fertilizante, inga, calliandra, canavalia y ganado disminuyeron. La enmienda de gliricidia mantuvo los valores de Ca casi constantes durante el experimento. Con relación a Mg, a excepción de fertilizante e inga, los demás compuestos tuvieron la tendencia de aumentar sus contenidos de Mg durante el estudio (Figura 6). La inmovilización de Ca durante la descomposición tiene serias implicaciones en el manejo del cultivo donde las deficiencias pueden ser generadas, particularmente en suelos ácidos pobres en Ca (Palm y Sánchez, 1990). También se conoce que en suelos con bajos niveles de humedad ocurre mayor reducción en la absorción de K y P que Ca y Mg, en el cual hasta pueden aumentar sus contenidos (Marschner, 1986).

Figura 1: Cambios del pH en el suelo para los diferentes tratamientos en el campo

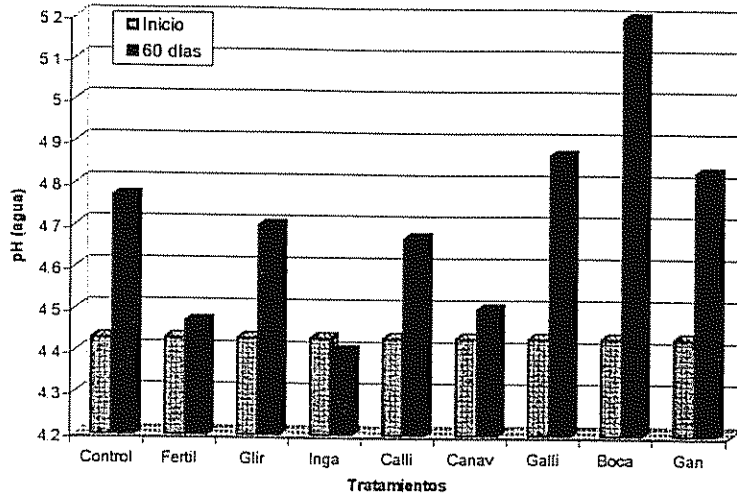


Figura 2: Concentración de nitrógeno (%) en el suelo

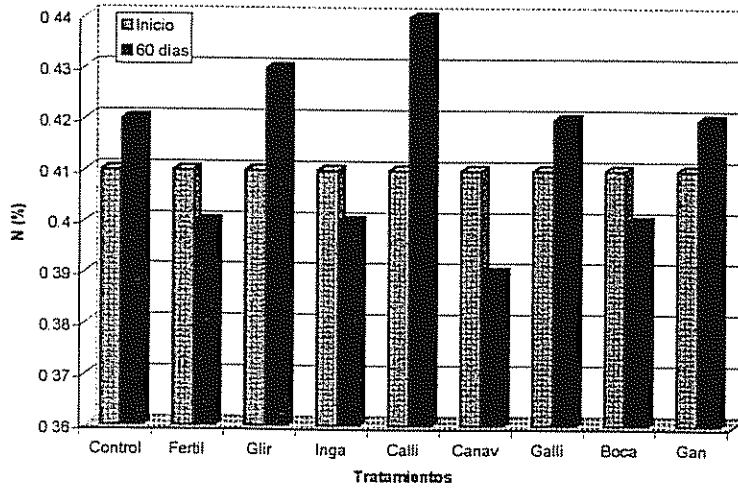


Figura 3: Contenido de fósforo (mg/kg) en el suelo

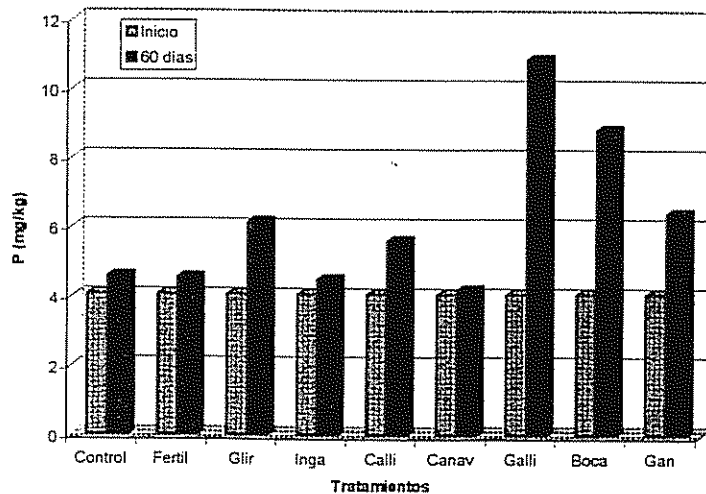


Figura 4: Contenido de potasio (cmol(+)/l) en el suelo

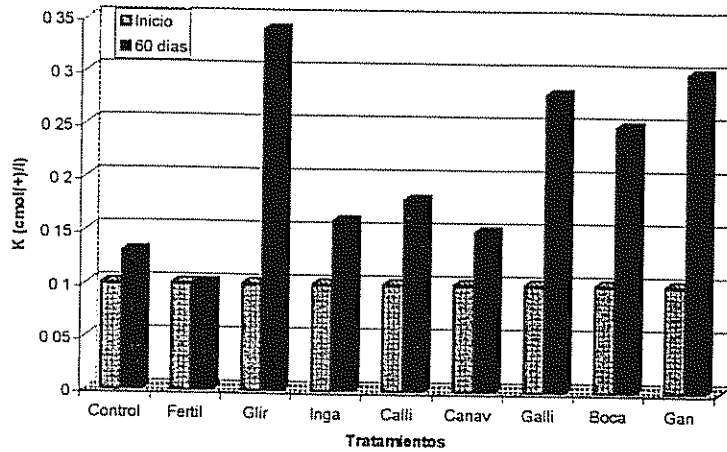


Figura 5: Contenido de calcio (cmol(+)/l) en el suelo

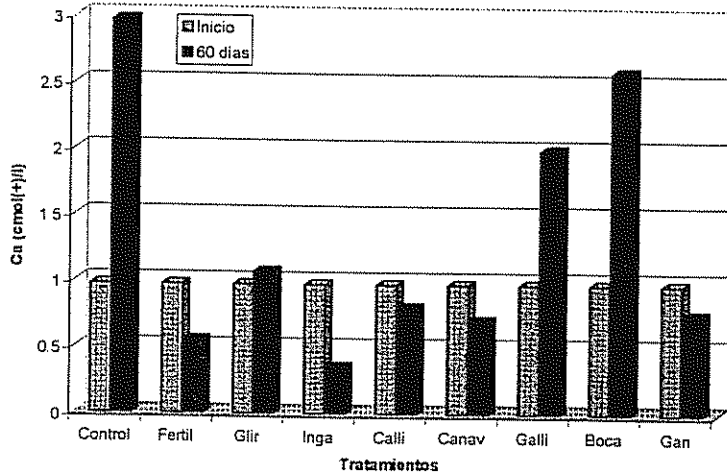
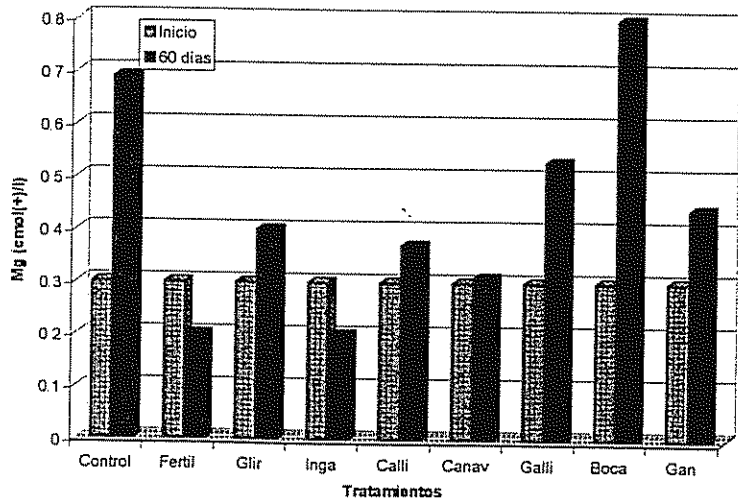


Figura 6: Contenido de magnesio (cmol(+)/l) en el suelo



Cobre, Zinc y Manganeso: Cu, Zn y Mn sólo fueron analizados a los 60 días del experimento y los resultados de la prueba de Tukey no mostraron diferencia significativa ($p < 0.01$) entre los tratamientos para ningún de estos elementos (Tabla 4). Sin embargo, cada elemento mostró diferentes efectos en el suelo. Cobre presentó niveles normales en el control, fertilizante y con la aplicación de enmiendas de origen vegetal en el suelo; pero se observó niveles excesivos con el uso de compuestos de origen animal. Ya zinc y manganeso alcanzaron valores deficientes y excesivos, respectivamente, para todos los tratamientos evaluados (Tabla 4 y 5).

Según Marschner (1986), altas concentraciones de Mn^{2+} en la solución del suelo son esperadas solamente en suelo ácidos con altos niveles de manganeso reducible combinados con gran cantidad de materia orgánica, alta actividad de microorganismos y anaerobiosis. Muchos suelos ácidos tropicales son altamente meteorizados y sus contenidos totales de Mn son normalmente bajos, existiendo menor riesgo de toxicidad de Mn que por Al en estos suelos. La toxicidad de Mn es mucho más severa en suelos pobremente drenados con pH de hasta 6.0 y con alto contenido de materia orgánica.

3.4.3- CRECIMIENTO Y ABSORCIÓN DE NUTRIENTES POR MAÍZ

Las mediciones de peso seco y altura y análisis de biomasa para N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn y Mn fueron realizadas a los 30 y 60 días después de la siembra.

Peso Seco: En la Tabla 6 se puede observar que el peso seco de maíz fue más alto para el compuesto de bocashi (581.82 g/m^2 a los 60 días) habiendo diferencias significativas entre los otros tratamientos ($p < 0.01$). Entre las enmiendas vegetales, calliandra presentó mayores valores (232.33 g/m^2) pero la diferencia no fue significativa (Figura 7). Fertilizante tuvo lo más bajo ($p < 0.01$) peso seco del experimento (23.65 g/m^2). Los resultados concuerdan con Amara et al. (1994), que al aplicar fertilizante y diferentes cantidades de mulch de *Gliricidia sepium* en cultivo de maíz, observó que generalmente el fertilizante nitrogenado mostró resultados más bajos que los tratamientos con gliricidia, particularmente para tasas superiores a

Tabla 6: Resultados en el peso seco, altura y nutrientes en la biomasa de maíz debido a la aplicación de enmiendas vegetales y animales

Variables	Tiempo días	Tratamientos								
		Control	Fertilizante	Gliricidia	Inga	Calliandra	Canavalia	Gallinaza	Bocashi	Ganado
Peso Seco (g/m ²)	30	5.83 ab	2.59 b	7.64 ab	4.8 ab	15.76 ab	4.64 ab	12.62 ab	20.49 a	12.31 ab
	60	91.74 bc	23.65 c	107.54 bc	203.22 bc	232.33 bc	45.52 bc	363.6 ab	581.82 a	174.25 bc
Altura (cm)	30	14.33 bc	12.33 c	19.67 abc	17 bc	27 abc	14.67 bc	25.33 abc	33.33 a	28 ab
	60	40.33 c	28.33 c	55 bc	81 abc	91 abc	38 c	116.67 ab	152 a	77.33 bc
Nitrógeno (g/m ²)	30	0.19 ab	0.07 b	0.23 ab	0.16 ab	0.59 ab	0.14 b	0.49 ab	0.84 a	0.38 ab
	60	2.45 bc	0.60 c	2.72 bc	4.04 bc	4.36 bc	1.18 c	7.34 ab	10.13 a	3.29 bc
Fósforo (g/m ²)	30	0.01 b	0.004 b	0.02 b	0.01 b	0.04 ab	0.01 b	0.05 ab	0.09 a	0.04 ab
	60	0.25 c	0.06 c	0.3 bc	0.49 bc	0.48 bc	0.11 c	1.04 ab	1.52 a	0.49 bc
Potasio (g/m ²)	30	0.17 b	0.07 b	0.39 ab	0.22 ab	0.88 ab	0.16 b	0.68 ab	1.22 a	0.68 ab
	60	4.54 bc	0.75 c	5.77 bc	9.12 bc	10.17 bc	1.83 c	15.73 ab	24.28 a	8.77 bc
Calcio (g/m ²)	30	0.03 ab	0.01 b	0.03 ab	0.01 b	0.04 ab	0.01 b	0.05 ab	0.07 a	0.04 ab
	60	0.43 bc	0.07 c	0.44 bc	0.37 bc	0.64 bc	0.13 c	1.5 ab	2.11 a	0.38 bc
Magnesio (g/m ²)	30	0.02 a	0.01 a	0.02 a	0.01 a	0.03 a	0.01 a	0.03 a	0.05 a	0.03 a
	60	0.33 ab	0.07 b	0.31 ab	0.43 ab	0.56 ab	0.11 b	1.07 ab	1.42 a	0.39 ab
Cobre (g/m ²)	30	1.13 a	0.87 a	1.08 a	0.76 a	1.19 a	1.06 a	1.25 a	1.37 a	1.13 a
	60	1.28 a	1.05 ab	0.95 ab	1.13 ab	0.93 ab	1.10 ab	0.82 ab	0.64 b	0.67 b
Zinc (g/m ²)	30	3.45 a	2.73 a	2.71 a	2.16 a	7.51 a	2.92 a	3.62 a	2.64 a	2.88 a
	60	6.46 a	3.49 b	3.51 b	4.13 ab	4.09 ab	3.57 b	2.51 b	3.01 b	3.84 ab
Manganeso (g/m ²)	30	21.2 a	25.7 a	16.69 a	33.96 a	18.95 a	15.77 a	11.09 a	8.49 a	16.65 a
	60	7.4 a	8.5 a	8.38 a	7.83 a	9.73 a	7.99 a	6.28 a	5.19 a	7.35 a

100 kg N/ha. Ezenwa y Alasiri (1991) tampoco encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de origen vegetal (*Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Cassia siamea* y *Parkia clappertoniana*) con el control.

Altura: En la Tabla 6 y Figura 8 se observa que las plantas de maíz del tratamiento de bocashi alcanzaron los más altos valores de altura del experimento (152 cm) a los 60 días seguidos de gallinaza (116.67 cm), no habiendo diferencia significativa. Entre los compuestos de origen vegetal, calliandra (91 cm) e inga (81 cm) obtuvieron los mejores resultados y canavalia (38 cm) lo más bajo valor al fin del estudio. Los resultados de este estudio están de acuerdo con Amara et al. (1994), donde dice que, por lo general, el desarrollo del maíz suplido con mulch fue mejor que el maíz suplido con equivalentes cantidades de fertilizante mineral.

Los buenos resultados de la aplicación de *Calliandra calothyrsus* en el cultivo de maíz durante los estudios de campo pueden ser atribuidos al aumento en la moderada accesibilidad del carbono disponible (p.ej. celulosa y hemicelulosa) proveniente del ataque de microorganismos, aunque es considerado un compuesto de baja calidad. Este ataque es debido a la gran área superficial disponible como también de la reducción de la protección de los componentes del carbono degradable a través de constituyentes recalcitrantes como cutina o lignina (Chesson, 1997)

Nitrógeno: El compuesto con más alto contenido de N en la biomasa de maíz fue bocashi con 10.13 g/m² a los 60 días del estudio (Figura 9), diferenciándose significativamente de los demás compuestos (Tabla 6). También se observa en las enmiendas vegetales que calliandra e inga fueron los que más aumentaron sus contenidos de N a los 60 días de muestreo. En aquellos sistemas donde el N de los compuestos orgánicos no pueden llenar el total de requerimientos del cultivo, podría ser esencial aplicar una suplementación mineral de N (Amara et al., 1994).

Figura 7: Peso seco (g/m²) de la biomasa de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas

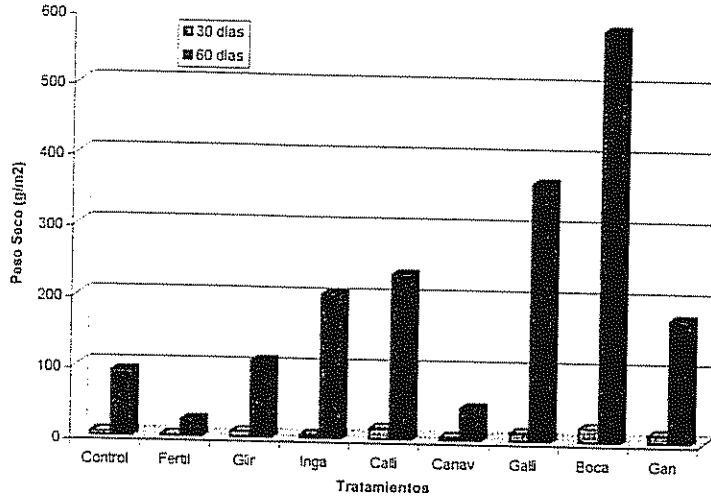


Figura 8: Altura promedio (cm) del maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas

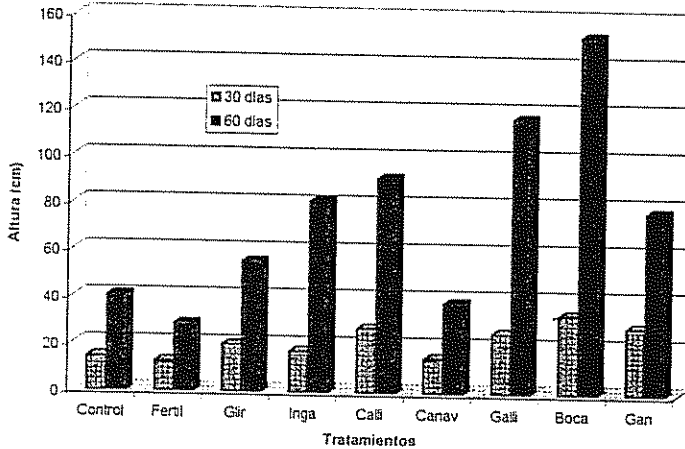
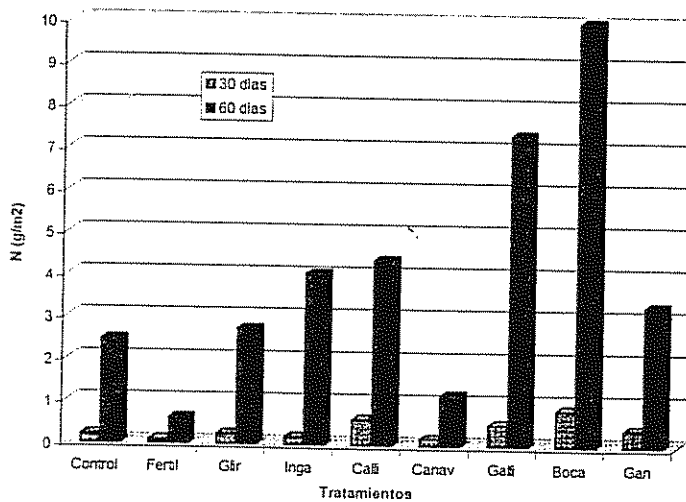


Figura 9: Contenido de nitrógeno (g/m²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas



Fósforo: Los resultados de los contenidos de P a los 60 días, presentados en la Tabla 6, muestran que el mejor tratamiento fue bocashi (1.52 g/m^2) seguido de gallinaza (1.04 g/m^2). Los compuestos que menos absorbieron P en la biomasa fueron fertilizante (0.06 g/m^2) y canavalia (0.11 g/m^2), no se diferenciando estadísticamente del control ($p < 0.01$). En los trabajos de Ezenwa y Alasiri (1991) se observó que los mejores resultados fueron debido a la aplicación de fertilizantes, contradiciendo las respuestas de este estudio, ya que fertilizante obtuvo bajos contenidos de P. La Figura 10 muestra que todos los tratamientos aumentaron los contenidos de P en la biomasa de los 30 para los 60 días del estudio, de acuerdo con Soto (1992), que sugirió un aumento de la eficiencia y disponibilidad de P con la adición de enmiendas orgánicas en el suelo.

Potasio, Calcio y Magnesio: El compuesto con más alto contenido de K en la biomasa de maíz fue bocashi con 24.28 g/m^2 a los 60 días del estudio (Figura 11), diferenciándose significativamente de los demás compuestos (Tabla 6). Los compuestos que menos absorbieron K en la biomasa fueron fertilizante (0.75 g/m^2) y canavalia (1.83 g/m^2), no se diferenciando estadísticamente del control ($p < 0.01$). Estas evaluaciones no concuerdan con los resultados de Ezenwa y Alasiri (1991) que encontraron los mejores resultados con la aplicación de fertilizantes. Entre las enmiendas vegetales, calliandra e inga fueron las que más aumentaron los contenidos de K a los 60 días de muestreo (Figura 11).

Observándose la Tabla 6, los más altos contenidos de Ca al fin del estudio fueron encontrados en bocashi (2.11 g/m^2) y gallinaza (1.5 g/m^2). Entre las enmiendas vegetales, calliandra fue la que más aumentó su contenido de Ca al fin del experimento (Figura 12). Las enmiendas con menor contenido de Ca en la biomasa fueron fertilizante (0.07 g/m^2) y canavalia (0.13 g/m^2). Se puede ver en la Figura 12 que todos los tratamientos aumentaron los contenidos de Ca en la biomasa de los 30 para los 60 días del estudio.

Figura 10: Contenido de fósforo (g/m²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas

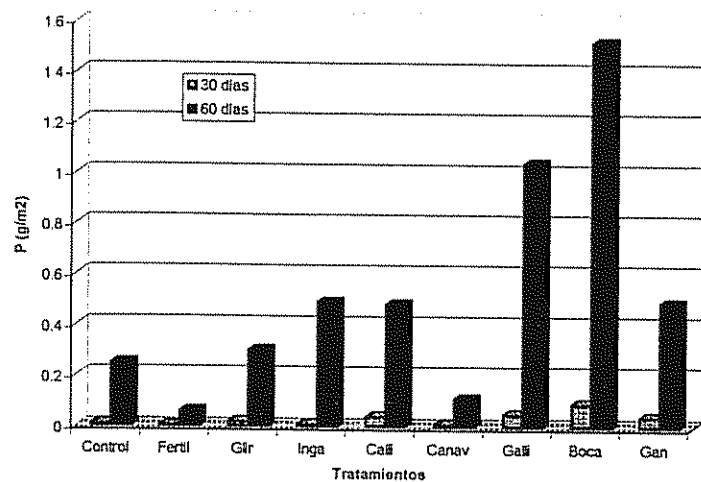


Figura 11: Contenido de potasio (g/m²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas

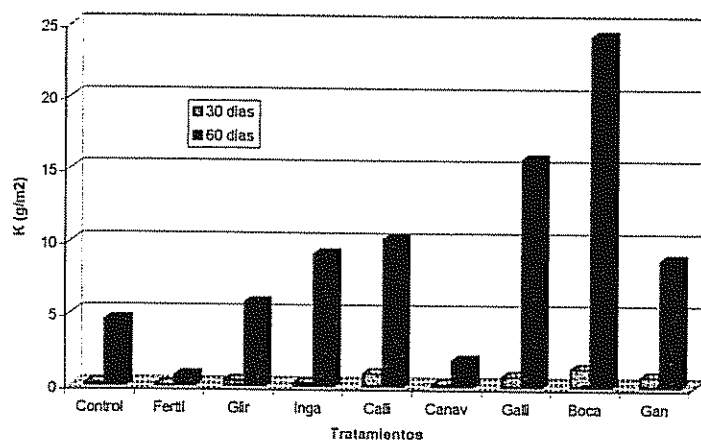
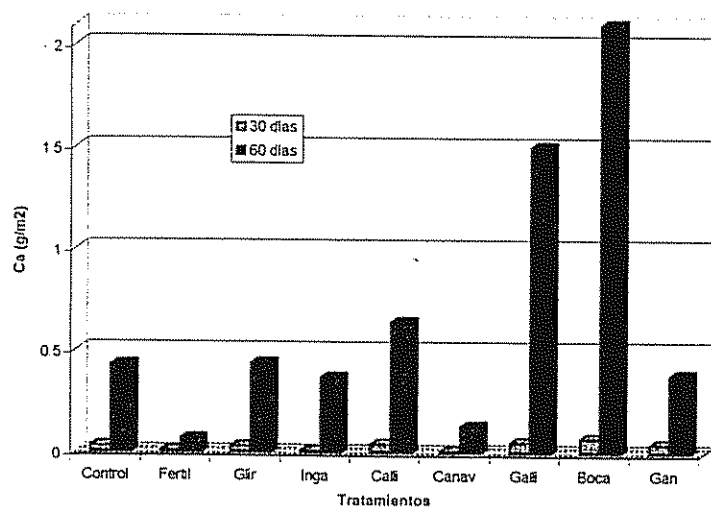


Figura 12: Contenido de calcio (g/m²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas



No se encontró diferencia significativa ($p < 0.01$) en los contenidos de Mg en la biomasa de maíz debido a la aplicación de los tratamientos a los 30 días del estudio (Tabla 6). Sin embargo, a los 60 días, los niveles de Mg estuvieron más altos en bocashi (1.42 g/m^2) seguido de gallinaza (1.07 g/m^2). Los compuestos con menor contenido de Mg en la biomasa fueron fertilizante (0.07 g/m^2) y canavalia (0.11 g/m^2). Entre las enmiendas vegetales, calliandra fue el que más aumentó el contenido de Mg a los 60 días de muestreo (Figura 13). También se nota que todos los tratamientos aumentaron los contenidos de Mg en la biomasa de los 30 para los 60 días del estudio.

Cobre: No se encontró diferencia significativa ($p < 0.01$) en los contenidos de Cu en la biomasa de maíz debido a la aplicación de los tratamientos a los 30 días del estudio (Tabla 6). Al fin del estudio, se encontró diferencia significativa en el control con más alto valor de 1.28 g/m^2 mientras bocashi y ganado presentaron los más bajos, 0.64 y 0.67 g/m^2 , respectivamente. La absorción de Cu por las plantas de maíz mostró diferentes tendencias entre los tratamientos, donde el control, fertilizante, inga y canavalia aumentaron sus contenidos de Cu mientras gliricidia, calliandra, gallinaza, bocashi y ganado disminuyeron sus valores durante el estudio (Figura 14). Considerándose los valores críticos y normales para Cu de 0.5 y $0.7 - 2.0 \text{ g/m}^2$, respectivamente (Jones et al., 1990), todos los tratamientos presentaron contenidos superiores al crítico y, a excepción de bocashi y ganado, los demás compuestos tuvieron sus contenidos de Cu considerados normales.

Zinc: No se encontró diferencia significativa ($p < 0.01$) en los contenidos de Zn en la biomasa de maíz a los 30 días del estudio (Tabla 6). Control tuvo el contenido más alto a los 60 días con 6.46 g/m^2 siendo diferente estadísticamente de los demás tratamientos. A excepción de gallinaza, todos los compuestos aumentaron la absorción de Zn en la biomasa durante el periodo de estudio (Figura 15). Zinc actúa como un componente metálico de las enzimas o como un cofactor funcional, estructural y regulatório de un gran número de enzimas, donde concentraciones de Ca por encima del valor crítico pueden afectar la absorción de Zn por las plantas.

Figura 13: Contenido de magnesio (g/m²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas

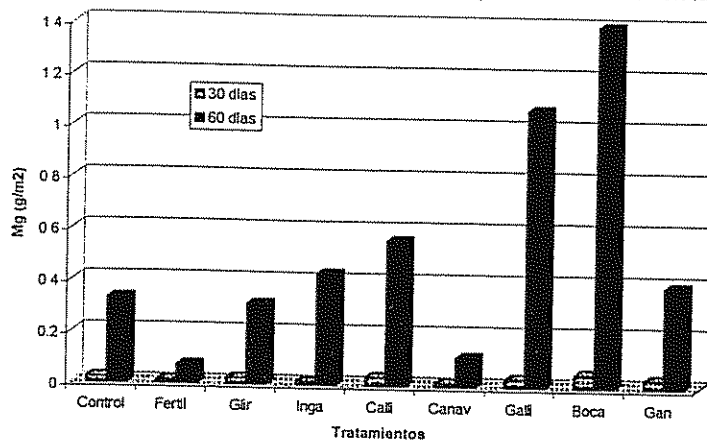
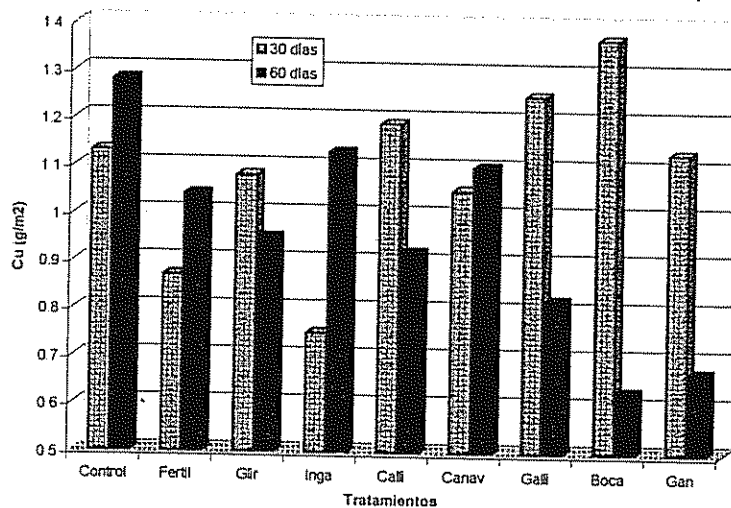


Figura 14: Contenido de cobre (g/m²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas



También existen interacciones entre P y Zn en lo cual grandes aplicaciones de fertilizantes fosforados en suelos con bajos niveles de zinc pueden inducir a deficiencias de Zn y aumento de los requerimientos de Zn de las plantas. Esto se puede notar cuando al se aumentar la cantidad de P se percibe a penas un pequeño cambio en los contenidos de P en las hojas jóvenes pero ocurre una fuerte reducción en los contenidos de Zn, induciendo a síntomas de deficiencia de Zn cuando las relaciones P/Zn llegan a 200 (Marschner, 1986).

Manganeso: No se encontró diferencia significativa ($p < 0.01$) en los contenidos de Mn en la biomasa de maíz debido a la aplicación de los tratamientos a los 30 y 60 días del estudio (Tabla 6). Se puede observar en la Figura 16 que todos los tratamientos disminuyeron la concentración de Mn en la biomasa de maíz de los 30 para los 60 días del experimento. Considerándose los valores críticos y normales para Mn de 1.5 y 5 - 16 g/m^2 , respectivamente, todos los tratamientos presentaron contenidos superiores al crítico como también tuvieron sus contenidos de Mn considerados normales al fin del estudio. Bajo condiciones de campo la deficiencia de Mn está restringida a plantas que crecen en suelos tropicales altamente lixiviados o en suelos con alto pH con gran contenido de materia orgánica. Sin embargo, deficiencias en Mn pueden ser fácilmente corregidas a través de aplicación de Mn en el suelo o en las hojas. Por otro lado, la toxidez de Mn puede afectar la absorción de K, Mg y Ca (Marschner, 1986).

La eficiencia en el uso de nutrientes por el cultivo depende de la eficiencia de la adquisición de nutrientes (captura de nutrientes) y la eficiencia en la cual los nutrientes son utilizados por el cultivo (eficiencia convertida). Dos estrategias pueden ser utilizadas para manipular la descomposición de compuestos orgánicos mejorando la eficiencia del uso de nutrientes: (1) regular las tasas de liberación de nutrientes para mejorar la sincronía en la oferta de nutrientes con la demanda del cultivo, y (2) proveer las más favorables condiciones ambientales para el crecimiento de la planta (Mafongoya et al., 1998)

Figura 15: Contenido de zinc (g/m²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas

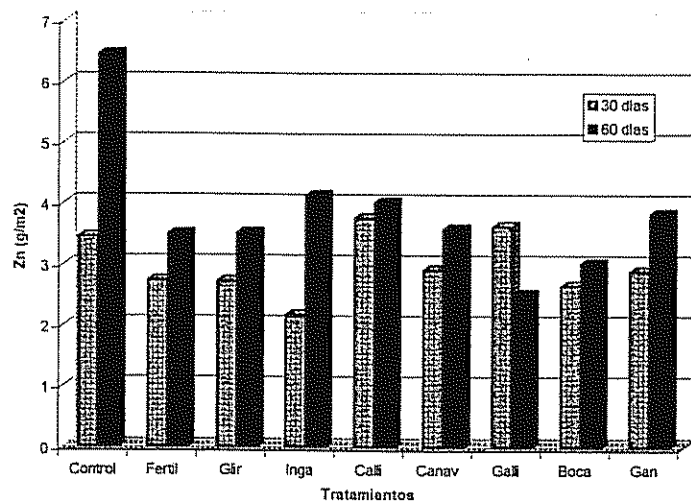
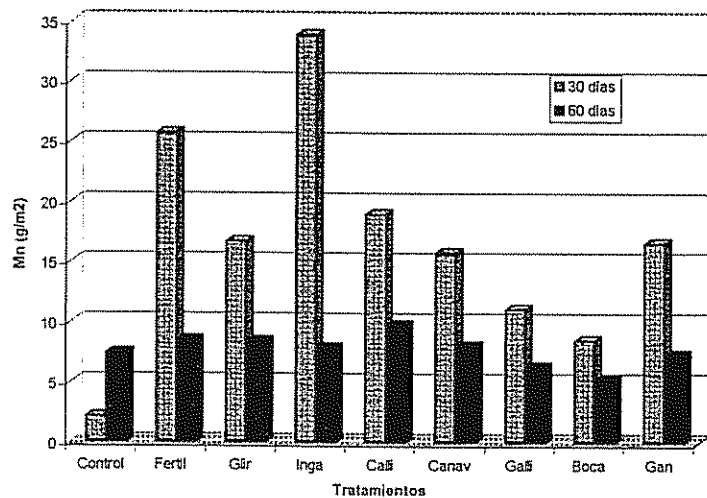


Figura 16: Contenido de manganeso (g/m²) en las plantas de maíz con la aplicación de enmiendas orgánicas



3.4.4- CORRELACIONES ENTRE LOS NUTRIENTES PRESENTES EN EL SUELO Y EN LA BIOMASA DE MAÍZ

Los resultados de las correlaciones de los nutrientes entre el suelo y la biomasa del maíz son presentados en la Tabla 6. Los nutrientes en el suelo fueron correlacionados con la biomasa de la siguiente forma: el nitrógeno y cobre tuvieron correlación negativa con Cu; entre manganeso con Ca y Mg; y entre zinc y P y Cu. Las correlaciones positivas pueden ser observadas entre fósforo y K y Zn; entre potasio y K; entre calcio y magnesio y Ca y Mg; y entre zinc y Ca y Mg.

Tabla 7: Coeficiente de correlación de Pearson/Prob>(R) entre los nutrientes de la biomasa y suelo

Suelo	Biomasa							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
N	-0.0806	0.2658	-0.0698	0.0436	0.2855	-0.1014	0.1509	0.2267
	0.7505	0.2865	0.783	0.8635	0.2508	0.6889	0.55	0.3656
P	-0.19	0.4112	0.1389	0.1199	-0.2311	-0.4591	-0.5516	-0.1231
	0.4502	0.09	0.5825	0.6355	0.3562	0.055	0.0176	0.6265
K	-0.2939	0.4726	0.5698	0.0867	-0.2272	-0.3672	-0.2038	-0.2104
	0.2366	0.048	0.0136	0.7322	0.3645	0.1339	0.4172	0.402
Ca	0.2163	0.4512	0.2979	0.6009	0.6421	0.3252	0.612	-0.5257
	0.3887	0.0602	0.2299	0.0083	0.0041	0.1879	0.0069	0.0251
Mg	0.1119	0.4381	0.3375	0.5088	0.5703	0.206	0.5494	-0.5651
	0.6585	0.069	0.1708	0.0311	0.0135	0.4122	0.0182	0.0145
Cu	-0.476	0.4065	0.2567	-0.0684	-0.3609	-0.7643	-0.5647	-0.2309
	0.0458	0.094	0.3039	0.7873	0.1412	0.0002	0.0146	0.357
Zn	0.0568	0.6578	0.3303	0.3952	0.2881	-0.0539	0.0372	-0.2434
	0.8227	0.003	0.1806	0.1045	0.2463	0.8318	0.8836	0.3304
Mn	0.005	0.217	0.1697	-0.2975	-0.3466	-0.2235	-0.1549	0.3744
	0.9843	0.3871	0.5014	0.2305	0.1588	0.3726	0.5393	0.1258

Al observarse los nutrientes en el suelo con relación a la biomasa se puede notar que nitrógeno y manganeso no correlacionaron con ningún de los nutrientes en la biomasa. Potasio se correlacionó positivamente con P y K; y zinc con P. Calcio y magnesio tuvieron correlación positiva con Ca, Mg y Zn; y negativa con Mn. Correlaciones negativas pueden ser vistas entre fósforo y Zn; y entre cobre y N, Cu y Zn.

3.5- CONCLUSIONES

Los contenidos de nutrientes fueron mucho más altos en los compuestos de origen animal (bocashi, gallinaza y ganado) que en las enmiendas vegetales (*Calliandra calothyrsus*, *Canavalia ensiformis*, *Gliricidia sepium* e *Inga edulis*).

Las enmiendas vegetales aumentaron sus valores de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina durante el periodo de estudio encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos. *Calliandra* presentó los más altos valores para las variables estudiadas mientras *gliricidia* mostró las más bajas concentraciones de FDA; y *canavalia* de lignina y FDN. Solo fueron encontrados polifenoles en *calliandra* e *inga*.

La aplicación de compuestos orgánicos al suelo solo presentó resultados significativos para los elementos P y K, a través del uso de gallinaza y *gliricidia*, respectivamente. Para un Humic Andosol, Ca y Mg fueron los nutrientes que presentaron niveles deficientes durante los 60 días del estudio, donde ningún tratamiento suplió las necesidades del suelo. Niveles deficientes y excesivos fueron encontrados en Zn y Mn, respectivamente, para todos los trataminetos; Cu presentó comportamiento diferenciado de acuerdo con el tratamiento aplicado, con niveles normales en las enmiendas vegetales y fertilizante y excesivos con el uso de compuestos animales. Bocashi fue el único compuesto a presentar las relaciones Ca/Mg, Ca+Mg/K, Mg/K y Ca/K con valores normales durante el experimento.

Los mejores resultados en el crecimiento de las plantas de maíz, para peso seco, altura, N, P, K, Ca y Mg, fueron obtenidos con la aplicación de los compuestos de bocashi, gallinaza y *Calliandra calothyrsus*. Resultados satisfactorios también fueron encontrados en la enmienda de *Inga edulis*, sin embargo, se obsevó mayor fertilidad del suelo en las parcelas donde se aplicó mulch de *Inga edulis*.

3.6- RECOMENDACIONES

- a) Futuros trabajos podrían ser acompañados de estudios biológicos como, por ejemplo, actividad de microorganismos o macrofauna en el suelo asociados a los efectos en la descomposición de los residuos, a fin de complementar las informaciones físico - químicas de este tipo de experimento.
- b) Evaluar el efecto de la aplicación de compuestos orgánicos por más de un ciclo del cultivo, para estudiar los efectos residuales a largo plazo de las enmiendas orgánicas
- c) Estudiar mezclas de enmiendas vegetales de rápida y lenta descomposición para optimizar el uso de los compuestos de baja calidad como también sincronizar la liberación de nutrientes de los residuos de acuerdo con las necesidades de absorción del cultivo
- d) Considerar la producción del cultivo indicador como variable de estudio
- e) Utilizar una adecuada metodología para análisis de compuestos secundarios cuando se utiliza muestras mulch afectadas por condiciones climáticas (temperatura, precipitación, lixiviación y volatilización)
- f) Al aplicarse compuestos orgánicos, se recomienda verificar la necesidad de complementar las exigencias nutricionales del cultivo a través de una fertilización química, de acuerdo con las características químicas del residuo, suelo y los requerimientos del cultivo.

3.7- BIBLIOGRAFIA

- AMARA, D. S.; ALPHA, P.T.J.; SALEMA, M. P. 1994. Uptake of N from fertilizer and prunings of *Gliricidia sepium*. Nuclear techniques in soil-plant studies for sustainable agriculture and environmental preservation. Proceedings of a symposium. 17-21 October. Vien. 321-326.
- BUDELMAN, A. 1989. The performance of selected leaf mulches in temperature reduction and moisture conservation in the upper soil stratum. *Agroforestry Systems* 8:53-66.
- CATIE. 1991. Métodos de Análisis Rutinarios. Laboratorio de Producción Animal. Turrialba, Costa Rica. 48p.
- CHESSON, A. 1997. Plant degradation by ruminants: Parallels with litter decomposition in soils. In: Cadisch, G. y Giller, K. E. (eds) *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. CAB International. 47-66
- COLEMAN, D.C., CROSSLEY, D.A.Jr. 1996. *Fundamentals of Soil Ecology*. Academic Press, 205 p.
- EZENWA, I. V.; ALASIRI, K. O. 1991. Use of leguminous tree leaves as a nutrient source for maize in a Lateritic Soil. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports* 9:21-24.
- FASSBENDER, H.W. 1993. Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales. Serie de Materiales de Enseñanza N°. 29, Turrialba, Costa Rica, 491 p.
- FASSBENDER, H.W., BORNEMISZA, E. 1987. *Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina*. 420 p.
- GUTTERIDGE, R. C. 1990. The use of the leaf of nitrogen fixing trees as a source of nitrogen for maize. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports* 8:27-28.
- HANDAYANTO, E.; CADISCHI, G.; GILLER, K. E. 1994. Nitrogen release from prunings of legume hedgerow trees in relation to quality of prunings and incubation method. *Plant and Soil* 160: 237-248.
- HOLDRIDGE, L. R. 1987. *La Zona de Vida. Ecología Basada en las Zonas de Vida*. IICA, San José, Costa Rica. Colección Libros y Materiales Educativos/IICA no. 83. p 1-8.
- JONES, J. B. Jr.; ECK, H. V.; VOSS, R. 1990. In: Westerman, R. L.; Baird, J. V.; Christensen, N. W.; Fixen, P. E.; Whitney, D. A. *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Science Society of America Book Series. Wisconsin, USA. 521-547.

- KASS, D.C.L.; JIMENEZ, M.; KAUFFMAN, S.; HERRERA-REYES, C. 1995. Reference Soils of the Tropical Agriculture Research and Training Center (CATIE) typical of the Turrialba Valley and Slopes of the Irazu Volcano. CATIE. 23 p.
- KASS, D. L. 1996. Fertilidad de Suelos. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 272 p.
- MAFONGOYA, P. L. 1995. Multipurpose tree prunings as a source of nitrogen to maize (*Zea mays* L.) under semiarid conditions in Zimbabwe. Thesis de PhD. Universidad de Florida, USA. 140 p.
- MAFONGOYA, P. L.; GILLER, K. E.; PALM, C. A. 1998. Decomposition and nitrogen release patterns and tree prunings and litter. *Agroforestry Systems* 38: 77-97.
- MARSCHNER, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. The Universitie Press (Belfast) Ltd. 674 p.
- MONTGOMERY, D.C. 1991. Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F. 589 p.
- MYERS, R. F. K.; van NOORDWIJK, M.; VITYAKON, P. 1997. Synchrony of nutrient release and plant demand: plant litter quality, soil environment and farmer management options. In: Cadisch, G. y Giller, K. E. (eds) *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. CAB International. 215 – 229
- MWIINGA, R. D.; KWESIGA, F. R.; KAMARA, C. S. 1994. Decomposition of leaves of six multipurpose tree species in Chipata, Zambia. *Forest Ecology and Management* 64:209-216.
- NYAMAI, D.O. 1992. Investigations on decomposition of foliage of woody species using a perfusion method. *Plant and Soil* 139: 239-245.
- OMORO, L.M.A., NAIR, P.K.R. 1993. Effects of mulching with multipurpose-tree prunings on soil and water run-off under semi-arid conditions in Kenya. *Agroforestry Systems* 22:225-239.
- PALM, C.A., SÁNCHEZ, P.A. 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica* 22(4): 330-338.
- PALM, C.A., SÁNCHEZ, P.A. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* 23(1): 83-88.

- REED, J.D.; HORVARTH, P.J.; ALLEN, M.S.; VAN SOEST, P.J. 1984. Gravimetric determination of soluble phenolics including tannins from leaves by precipitation with trivalent ytterbium. *J. Sci. Food Agriculture* 36:255 – 261.
- ROSECRANCE, R.C., RODERS, S., TOFINGA, M. 1992. Effects of alley cropped *Calliandra calothyrsus* and *Gliricidia sepium* hedges on weed growth, soil properties, and taro yields in Western Samoa. *Agroforestry Systems* 19:57-66.
- SÁNCHEZ, P.A. 1981. Suelos del Trópico. Características y Manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica, 634 p..
- SAS INSTITUT INC., SAS/STAT. 1989. User's Guide, version 6, Fourth edition, Vol. 1, Cary, N. C.: SAS Institut Inc. 943 p..
- SCHROTH, G., ZECH, W., HEIMANN, G. 1992. Mulch decomposition under agroforestry conditions in a sub-humid tropical savanna processes and influence of perennial plants. *Plant and Soil* 147: 1-11.
- SOTO, M. L. P. 1992. Dinamica de la eficiencia de uso y balance de nutrimentos en sistemas agroforestales y en cultivos con enmiendas orgánicas en "La Montaña", Turrialba, Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE. 125 p.
- SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M.E. 1996 (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods.* Soil Science Society of America. USA. 1390 p.
- SZOTT, L. T.; KASS, D. C. L. 1993. Fertilizers in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 23: 157-176.
- TIAN, G., BRUSSAARD, L., KANG, B.T. 1993. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects on soil fauna. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 25, No.6, pp. 731-737.
- TIAN, G., KANG, B.T., BRUSSAARD, L. 1992a. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions - decomposition and nutrient release. *Soil Biol. Biochem.* 24(10): 1051-1060.
- TIAN, G., KANG, B. T., BRUSSAARD, L. 1992b. Effects of chemical composition on N, Ca, and Mg release during incubation of leaves from selected agroforestry and fallow plant species. *Biogeochemistry* 16: 103-119.

- VANLAUWE, B.; DIELS, J.; SANGINGA, N.; MERCKX, R. 1997. Residue quality and decomposition: An unsteady relationship? In: Cadisch, G. y Giller, K. E. (eds) *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. CAB International. 157-166.
- WARING, R.H., SCHLESINGER, W.H. 1985. *Forest Ecosystems. Concepts and Management*. Academic Press, Inc., 340 p..
- YOBTERIK, A.C., TIMMER, V.R., GORDON, A.M. 1994. Screening agroforestry tree mulches for corn growth: a combined soil test, pot trial and plant analysis approach. *Agroforestry Systems* 25: 153-166.
- YOUNG, A. 1990. *Agroforestry for Soil Conservation*. CAB International, 276 p..

CAPITULO 4:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LOS EXPERIMENTOS DE INVERNADERO Y CAMPO

Los compuestos orgánicos de origen animal presentaron contenidos de nutrientes mucho más altos que las enmiendas vegetales en condiciones de campo e invernadero. Los valores de peso seco, altura y los niveles de nutrientes alcanzados por las enmiendas fueron más bajos en campo que en condiciones de invernadero. Esto se debió posiblemente por pérdidas de nutrientes por lixiviación y mayor actividad de microorganismos del suelo en condiciones de campo, donde N y P son los elementos más sensibles a estos cambios.

Por lo general, la aplicación de compuestos animales, en condiciones de invernadero y campo, aumentaron los contenidos de nutrientes en el suelo. Enmiendas vegetales solo afectaron los contenidos de nutrientes en el estudio en invernadero. En condiciones de campo, ningún compuesto orgánico fue capaz de suplir las necesidades de Ca y Mg en maíz. En invernadero, bocashi fue el único tratamiento a alcanzar niveles normales de Ca, demostrando que mantener niveles adecuados de Ca y Mg es un punto crítico en el Humic Andosol estudiado.

Los mejores resultados de crecimiento de las plantas de maíz fueron observados con la aplicación de compuestos de origen animal, principalmente bocashi y gallinaza. De los compuestos vegetales, *Gliricidia sepium* y *Calliandra calothyrsus* tuvieron mayor destaque en condiciones de invernadero y campo, respectivamente, a pesar de haber suplido adecuadamente las exigencias del cultivo.

Se puede clasificar la calidad de los compuestos orgánicos de origen vegetal de acuerdo con la tasa de descomposición y liberación de N como también la concentración de polifenoles y lignina en tejido vegetal. *Gliricidia sepium* mostró características de un residuo de alta calidad con rápida descomposición del mulch y liberación de N, P, K y Mg. También se observó que la aplicación de gliricidia con la proporción de 300 kg de N/ha descompuso 62 % del mulch en 60 días mientras la mitad de la aplicación descompuso 51 % en el mismo periodo. Una de las razones para explicar esta diferencia en la descomposición podría ser el diferente microclima en las macetas provocados por una mayor cantidad de residuos de *Gliricidia sepium* 300N lo que podría aumentar la humedad y mantener la temperatura en el suelo más constante.

Lenta descomposición y baja liberación de N pudieron ser observados en las enmiendas de *Inga edulis*, *Mucuna pruriens* y *Canavalia ensiformis*. *Calliandra calothyrsus* presentó características intermedias entre los compuestos de alta y baja calidad.

La calidad de las enmiendas orgánicas determina el periodo de su aplicación de acuerdo con los periodos de mayor absorción de nutrientes del cultivo. Especies de lenta descomposición (*Inga edulis*, *Mucuna pruriens* y *Canavalia ensiformis*) liberan pequeñas cantidades de nutrientes por un periodo más largo mientras especies de rápida descomposición (*Gliricidia sepium*) proporcionan al cultivo mayores cantidades de nutrientes en un periodo más corto.

Mezclas de emniendas de baja y alta calidad deben ser más estudiadas con el fin de facilitar las practicas de manejo de los cultivos asi como buscar optimizar la eficiencia del ciclaje de nutrientes en el suelo y biomasa de los sistemas de producción. Se sugiere realizar diferentes combinaciones de *Gliricidia sepium* con *Inga edulis*, *Mucuna pruriens*, *Canavalia ensiformis* o *Calliandra calothyrsus*.

Los compuestos de origen animal (Bocashi, gallinaza y ganado) fueron los que más aumentaron los contenidos de N, P, K, Ca y Mg en el suelo como también presentaron el mejor crecimiento y absorción de nutrientes por las plantas de maíz.

Se debe conocer muy bien la curva de crecimiento del cultivo antes de aplicarse enmiendas orgánicas, principalmente compuestos animales. Siendo su descomposición bastante rápida, los nutrientes deben estar disponibles al cultivo en el periodo adecuado para la absorción evitándose pérdidas y labores innecesarios por parte del finquero.