

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
SUBDIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA
PROGRAMA DE POSGRADO

EFFECTO DE LA COBERTURA MUERTA DE *INGA DENSIFLORA*
BENTH. E *INGA EDULIS* MART. EN EL CRECIMIENTO INICIAL
DE PLANTULAS DE CAFETO (*COFFEA ARABICA* CV. CATUAI) Y
MAIZ (*ZEA MAYS* L.) HIBRIDO SALVADOREÑO H-5.

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

Magister Scientiae

Por

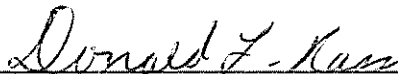
MARGARITA CONTRERAS FERNANDEZ

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Turrialba, Costa Rica
Mayo, 1991

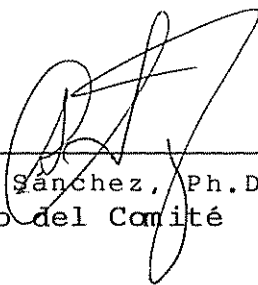
Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

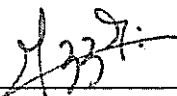
COMITE ASESOR:



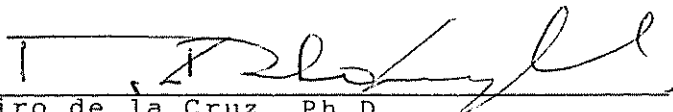
Donald Kass, Ph.D.
Profesor Consejero



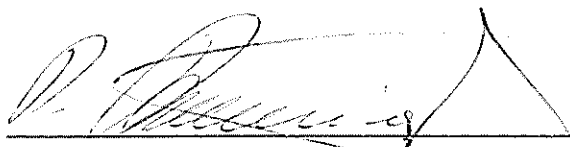
Germán Sánchez, Ph.D.
Miembro del Comité



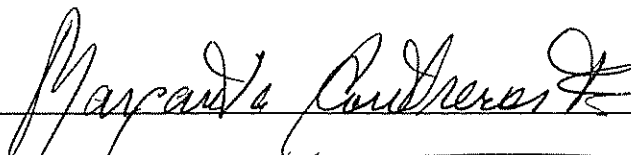
María Julia Mazzarino, Ph.D.
Miembro del Comité



Ramiro de la Cruz, Ph.D.
Miembro del Comité



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



Candidato

DEDICATORIA

Dedico este esfuerzo a:

mis abuelos q.p.d.: Hernán y Yolanda, Irma y Manuel; a mis padres Hernán y Margarita; a mis hermanas: Paulina, Ximena y Marcia; a mi sobrina Valentina y a mi cuñado Rómulo.

mis amigos, especialmente a:

Las familias Camacho Roses, Nygren, Chamorro Aguirre, Hermosilla Rumie, Espinoza Garrido, Morales Mejía.

Ana Aguirre, Leslie Cooperband, Alba Chávez, Silvia Gajardo, Vilma Jiménez, Magaly Jurado, Ana Loaiza, María Isabel Manta, María Julia Mazzarino, Odilia Roses.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sobretodo a mi padre incansable luchador por la conservación de los recursos naturales no renovables y por la conciencia de la calidad de vida, a mi hermana Marcía y al Dr. Germán Sánchez por alentarme en la idea de realizar la Maestría.

Agradezco muy especialmente el apoyo ejemplar y participación fundamental en esta tesis de la Dra. María Julia Mazzarino.

También agradezco a los miembros del comité asesor Profesor Consejero Dr. Donald Kass, al Dr. Ramiro de la Cruz por su dedicada y ejemplar revisión del contenido de la tesis, y al Dr. Germán Sánchez.

Agradezco la guía de Don Pedro Oñoro en la estadística aplicada en la tesis.

Agradezco al CATIE las facilidades otorgadas para la realización de los estudios.

Agradezco al CIID, Canadá por el aporte de financiamiento otorgado.

Gracias al personal del laboratorio de suelos y al personal obrero sobre todo a Carlos Sánchez.

Mi gratitud a la química Ana Aguirre por su aliento y colaboración.

Gracias a Pekka Nygren por su amistad y colaboración en la medición de los parámetros climáticos de la tesis .

Gracias a Alexis Ulloa por su amable asesoría en el manejo de la microcomputadora.

Mi agradecimiento al Ing. For. Edgar Viquez y a la dibujante Rocío Jiménez por su colaboración en la obtención de los diapositivos de la presentación.

Agradezco al personal de la Biblioteca ORTON e INFORAT por su ejemplar y amable disposición.

Agradezco al personal del proyecto PROMECAFE-CATIE en la persona de la Ing. Nidia Morera por la colaboración otorgada.

Gracias al personal del Centro de Cómputo por la colaboración brindada, especialmente a Johnny Pérez.

Mi reconocimiento a Sulay Fumero, Randall Martínez, Mayela Alvarado y Ramón Alvarado por la paciente colaboración en la transcripción de textos y datos.

Mi reconocimiento a Ovidio Novoa por el trabajo realizado en el género *Inga*.

Agradezco a Esteban Arosemena por compartir gentilmente uno de los invernaderos.

Agradezco la colaboración de Alexis Ramírez del Banco de Semillas.

Agradezco la colaboración de Pablo Dittel, Alexander Granados y Javier Brenes.

A mis compañeros de Maestría, especialmente de Agroforestería.

BIOGRAFIA

La autora nació el 14 de enero de 1956 en Santiago de Chile.

En 1969 obtuvo su Licencia de Educación Básica en el Lyceé de L'Alliance Française "Claude Gay" en Osorno, Chile.

En 1973 obtuvo su Licenciatura de Enseñanza Media en el Liceo Experimental Manuel de Salas dependiente de la Universidad de Chile, en Santiago de Chile.

En 1985 recibió el grado de Ingeniero Forestal de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad de Chile, con distinción máxima, presentando la tesis "Zonificación de Areas Bioclimáticas Homogéneas, a través de un Método Analítico, en la IX Región de Chile".

En septiembre de 1988 ingresa al Programa de Maestría del CATIE, en Costa Rica.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN	XI
SUMMARY	XIV
LISTA DE CUADROS	XVI
LISTA DE FIGURAS	XVIII
LISTA DE ANEXOS	XX
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	5
2.1 Uso de leguminosas en sistemas agroforestales.	5
2.1.1 Aspectos generales.	5
2.1.2 Uso de leguminosas como árboles de sombra	6
2.2 Uso del género <i>Inga</i> en sistemas agroforestales.	7
2.2.1 Especies utilizadas.	7
2.2.2 El aporte del género <i>Inga</i> como árboles de sombra.	9
2.2.3 El aporte del género <i>Inga</i> en cultivo de callejones.	11
2.2.4 El aporte del género <i>Inga</i> en barbechos mejorados.	12
2.3 Características de los ciclos de nutrimentos en ecosistemas tropicales.	12
2.4 Requerimientos nutricionales del cafeto.	14
2.4.1 Nutrimentos.	14
2.4.2 Interacciones entre nutrimentos.	16
2.5 Requerimientos nutricionales del maiz.	17
2.5.1 Nutrimentos.	17
2.5.2 Interacciones entre nutrimentos	19
2.6 Efectos alelopáticos de los residuos vegetales en los cultivos.	20

3.	MATERIALES Y METODOS	24
3.1	Experimento de fertilidad, localización, colección de la cobertura muerta y prácticas agronómicas.	24
3.1.1	Tratamientos de fertilidad (variables independientes).	26
3.1.2	Descripción de la unidad experimental y métodos de evaluación.	27
3.1.3	Análisis químico del suelo y tejidos vegetales.	27
3.1.4	Medición de la radiación en el invernadero.	29
3.2	Efecto de la cobertura muerta en la germinación y crecimiento inicial de los cultivos.	29
3.2.1	Establecimiento del experimento.	29
3.2.2	Descripción de la Unidad Experimental y de las evaluaciones.	31
3.2.3	Variables evaluadas (variables dependientes).	31
3.3	Diseño experimental y análisis estadístico.	32
3.3.1	Experimento de fertilidad.	32
3.3.2	Experimento del efecto de la cobertura muerta en la germinación y crecimiento inicial de los cultivos.	33
4.	RESULTADOS	35
4.1	Experimento de fertilidad.	35
4.1.1	Café.	35
4.1.1.1	Parámetros de crecimiento del cafeto.	35
4.1.1.2	Nutrientes en el suelo del cafeto.	37
4.1.1.3	Nutrientes en el tejido vegetal del cafeto.	42
4.1.2	Maíz.	47
4.1.2.1	Parámetros de crecimiento del maíz.	47
4.1.2.2	Nutrientes en el suelo del maíz.	48
4.1.2.3	Nutrientes en el tejido	

	vegetal del maíz.	52
	4.1.3 Medición de la ración en el invernadero	58
4.2	Efectos de la cobertura muerta en la germinación y el crecimiento inicial de café y maíz.	60
	4.2.1 Cafeto.	60
	4.2.2 Maíz.	63
5.	DISCUSION	67
	5.1 Experimento de fertilidad.	67
	5.1.1. Especie de cobertura muerta.	67
	5.1.2 Niveles de cobertura muerta.	68
	5.1.3 Cambios en el tiempo.	79
	5.1.4 Efectos del fertilizante.	84
	5.1.5 Utilización de la radiación solar por los cultivos.	85
	5.2 Efecto de la cobertura muerta en la germinación y crecimiento inicial de los cultivos.	87
6.	CONCLUSIONES	90
7.	RECOMENDACIONES	94
8.	BIBLIOGRAFIA	96
9.	ANEXOS	102

RESUMEN

Contreras, F. M. 1991. Efecto de la cobertura muerta de *Inga densiflora* Benth e *Inga edulis* Mart en el crecimiento inicial de plántulas de cafeto (*Coffea arabica* cv. Catuai) y maíz (*Zea mays* L.) híbrido Salvadoreño H-5. tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. 142 p.

Palabras claves: Fertilización orgánica, alelopatía, *Inga* spp., sombra de cafetos, maíz.

Las leguminosas arbóreas del género *Inga* sp. son ampliamente utilizadas por los agricultores de los países de América Tropical para brindar sombra a plantaciones de café y cacao. Además dichas especies proporcionan frutos y leña de buena calidad, la cual es obtenida de las podas. También estas especies son potencialmente fijadoras de nitrógeno.

Se postula que la biomasa de la poda de los árboles de sombra puede tener un efecto significativo en el aporte de materia orgánica para los cultivos; lo anterior reportaría un beneficio que daría una mayor sustentabilidad y sostenibilidad al Sistema Agroforestal pues contribuiría a la protección y fertilidad del suelo.

El presente estudio se realizó durante el periodo de marzo a diciembre de 1990 en invernaderos del CATIE. En él se ha pretendido cuantificar los efectos de la cobertura muerta de *Inga*, en el aporte de nutrimentos al suelo y al tejido vegetal de las plántulas de maíz y café. Se consideran las principales especies del género que son utilizadas en Costa Rica: *Inga densiflora* e *Inga edulis*.

Se llevó a cabo un experimento de invernadero en macetas para determinar el efecto de la cobertura muerta en el crecimiento inicial de plántulas de café y maíz. Los tratamientos fueron: a) aplicación de la cobertura muerta de

las dos especies del género *Inga* ya señaladas; b) la cobertura muerta fresca triturada se aplicó en cuatro niveles (equivalentes a 0, 8, 16 y 24 t ha⁻¹); c) aplicación de una dosis (más el testigo) de nitrato de amonio y fosfato de potasio (K₂PO₄ y NH₄ NO₃). Se midieron los parámetros de crecimiento de los cultivos, y se realizaron los análisis químicos del suelo y del tejido vegetal, el cual se separó en parte aérea y radical. Para el maíz se realizó un muestreo mensual durante tres meses, en el café el muestreo se efectuó cada dos meses durante seis meses.

Paralelamente se realizó otro experimento en macetas en invernadero (abierto para el maíz), para probar el posible efecto alelopático de la cobertura muerta de *Inga* desde la germinación hasta el crecimiento de los cultivos ya mencionados. Los tratamientos fueron similares al experimento de fertilidad, variando las condiciones ambientales, el tiempo de permanencia, la edad de la plántulas y la localización de la cobertura muerta, la cual fué puesta en superficie o incorporada al suelo. El fertilizante se aplicó en todos los tratamientos. Se realizó un solo muestreo final en el que se evaluó la germinación y los parámetros de crecimiento.

El diseño estadístico fué de bloques completos al azar para el experimento fertilidad y completamente al azar para el experimento de efectos alelopáticos de la cobertura muerta.

Se constató que no hubo diferencias entre las dos especies de *Inga* en los parámetros de crecimiento de los cultivos, Sin embargo *I. edulis* produjo mayor acidificación del suelo y causó reducción en la absorción de nutrimentos por los cultivos cuando se aplicaron los niveles de la cobertura muerta. Con los niveles de cobertura hubo respuesta en los parámetros de crecimiento y en el suelo se produjo un aumento en la cantidad de K. En los tejidos vegetales aumentó

el N, P y Ca. Los niveles de cobertura más adecuados fueron el equivalente a 24 t ha⁻¹ y para el maíz, 16 t ha⁻¹. La localización de la cobertura muerta mezclada con el suelo dió los mejores resultados en relación a la germinación del maíz y sobre el peso y la longitud de las raíces del cafeto.

SUMMARY

CONTRERAS, F. M. 1991. Effect of the mulch from *Inga densiflora* Benth e *Inga edulis* Mart on the initial seedling growing of coffee (*Coffea arabica* cv. Catuai) and maize (*Zea mays* L.) Salvadoreño H-5. Mag. Sc. Thesis, Turrialba. Costa Rica. 142 p.

Key words: organic fertilizer, allelopathy, *Inga* spp, coffee shade, maize .

Many species of the genus *Inga*, an arboreous legume, are widely used by farmers in the american tropics to provide shade in coffee and cacao plantations. In addition, farmers harvest their fruits and use pruned branches as a good fuelwood. The species of this genus are potentially nitrogen fixing trees.

It is postulated that the biomass from tree prunings could have a positive effect on organic matter accumulation for the plantation crop. This would, in turn, create a more sustainable agroforestry system by improving soil fertility and providing constant cover.

This study was achieved between march to december 1990 in CATIE. This study attempts to quantify the effect of *Inga* mulch in terms of soil fertility and nutrients on two plantation crops: coffee and maize. We used mulch from the two dominant *Inga* species in Costa Rica: *Inga densiflora* and *Inga edulis*.

We conducted a pot experiment to determine the mulch effects on coffee and maize seedling growing.

Treatments included: a) application of mulch from two species of genus *Inga*; b) application of four rates of freshly chopped *Inga* leaves and young stems (equivalent 0, 8, 12 y 24 t h⁻¹); c) with and without inorganic fertilizer

potassium phosphate and ammonium nitrate (K_2PO_4 y $NH_4 NO_3$). We measured root and shoot length as well as dry weight biomass and plant and soil nutrient status. For chemical analyses of plant material, we separated root and shoot components. For maize, these measurements were taken monthly for three months, and for coffee, every two months for six months.

Also we conducted an greenhouse experiment (in a outdoor greenhouse for maize) to test the possible allelopathic effects of the mulch of *Inga* on coffee and maize. the treatments included are similar of the fertilizer experiment but the environment conditions, the time of experimentation and the seedlings age were different. The mulch was place on the soil surface or incorporated into the soil. We evaluated (at the end of the experiment time) seed germination, stem and root length, and dry weight crop biomass.

The statistical design was complet randomized bloques for the fertilizer experiment and completly randomized for the allelopathic effects experiment.

No differences in crop biomass production were between the two species of *Inga*. However, with respect to soil fertility and plant nutrient status, *Inga edulis* produced greater soil acidification and decrease in plant nutrient uptake with mulch. With the mulch application there was as increase in crop biomass production. In addition, soil potassium increased, while nitrogen, phosphorus and calcium increased in the plant material. Greatest increases in many factors mesured were produced by the highest mulch level in coffee and the intermediate level for corn. In comparing mulch placement, mulch incorporated into the soil resulted in the highest percent germination and greatest root development and weight in coffee .

LISTA DE CUADROS

Cuadro No.	Título	Página
Cuadro 1.	Características edafo-climáticas del suelo experimental. Acosta Puriscal, Costa Rica.	26
Cuadro 2.	Efecto de los niveles de cobertura en los parámetros de crecimiento del cafeto.	36
Cuadro 3.	Concentración de Ca, acidez extraíble y porcentaje de saturación de acidez en el suelo del cafeto en relación a la especie de cobertura muerta.	38
Cuadro 4.	Concentración de los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del cafeto en el tiempo y según niveles de cobertura muerta.	45
Cuadro 5a.	Concentración de nutrimentos en relación al promedio de los niveles de cobertura muerta en el suelo del maíz.	50
Cuadro 5b.	Características químicas del suelo del maíz en relación al promedio de los niveles de cobertura muerta.	51
Cuadro 6.	Efecto de la especie de cobertura muerta sobre el contenido de nutrimentos en el tejido de la raíz del maíz.	53
Cuadro 7a.	Concentración de nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del maíz en el tiempo y según niveles de cobertura muerta.	55
Cuadro 7b.	Concentración de nutrimentos en el tejido vegetal de la raíz del maíz en el tiempo y según nivel de cobertura muerta.	56
Cuadro 8.	Efecto de la especie y localización de cobertura muerta en el crecimiento inicial de las plántulas de cafeto.	61
Cuadro 9.	Efecto de la especie y localización de cobertura muerta en el crecimiento inicial de las plántulas de maíz.	64
Cuadro 10.	Nutrimentos en el suelo, en el cafeto y en el maíz con los niveles 0 y 3 (más alto) de cobertura muerta.	72

Cuadro 11. Contenido total de macro nutrimentos en cafeto y en el maíz sin fertilizante en relación a la descomposición potencial de niveles de cobertura muerta (tercer muestreo en el tiempo).	75
Cuadro 12. Concentración de nutrimentos en el suelo de los cultivos para el primer y tercer muestreo en el tiempo.	83
Cuadro 13. Peso promedio (gramos) de la sección aérea, radical y total de los cultivos (cafeto de seis meses de edad y maíz de tres meses).	84

LISTA DE FIGURAS

Figura No.	Título	Página
Figura 1.	Efecto de los niveles de cobertura muerta sobre el peso total y de la sección aérea de las plántulas de cafeto.	36
Figura 2a.	Efecto de los niveles de cobertura muerta en la concentración de K en el suelo del cafeto.	39
Figura 2b.	Efecto de los niveles de cobertura muerta en la concentración de Ca y Mg en el suelo del cafeto.	39
Figura 2c.	Efecto de los niveles de cobertura muerta en la CiCe y en el porcentaje de saturación de acidez en el suelo del cafeto.	40
Figura 3.	Interacción de la especie y el nivel de cobertura muerta en el contenido de Mg del tejido vegetal de la sección aérea de las plántulas de cafeto.	43
Figura 4.	Efecto de los niveles de cobertura muerta en los contenidos de N y K en el tejido vegetal de la sección aérea de las plántulas de cafeto.	43
Figura 5.	Efecto de los niveles de cobertura muerta en el contenido de P y Ca en el tejido vegetal de la sección aérea de las plántulas de cafeto.	44
Figura 6.	Efecto de los niveles de cobertura muerta en el peso total y de la sección aérea de las plántulas de maíz.	47
Figura 7.	Efecto de los niveles de cobertura muerta en la concentración de K en el suelo en el maíz.	49
Figura 8.	Efecto de los niveles de cobertura muerta en las concentraciones de nitratos, amonio y nitrógeno inorgánico en el suelo en el maíz.	50
Figura 9a.	Efecto de los niveles de cobertura muerta en el contenido de N y K de la sección aérea del tejido vegetal de las plántulas	

de maíz.	54
Figura 9b. Efecto de los niveles de cobertura muerta en el contenido de P, Ca y Mg de la sección aérea del tejido vegetal de las plántulas de maíz.	54
Figura 10a. Variación diurna de la densidad del flujo de fotones fotosintéticamente activos.	59
Figura 10b. Exposición acumulativa de fotones fotosintéticamente activos.	60
Figura 11. Interacción entre la especie de cobertura muerta y su localización sobre el peso de la sección aérea y total de las plántulas de cafeto.	62
Figura 12. Efecto de los niveles de cobertura muerta sobre el peso de la raíz, de la sección aérea y total de las plántulas de maíz.	63
Figura 13. Interacciones entre niveles y localización de la cobertura muerta sobre el porcentaje de germinación en el maíz.	65
Figura 14. Interacciones entre niveles y localización de la cobertura muerta sobre el peso de la raíz y total de las plántulas de maíz.	66
Figura 15a. Efecto de los niveles de cobertura muerta sobre el peso total de las plántulas de maíz con y sin fertilizantes.	70
Figura 15b. Efecto de los niveles de cobertura muerta sobre el peso total de las plántulas de cafeto con y sin fertilizantes.	70
Figura 16a. Contenido de potasio en el suelo y en el tejido vegetal de las plántulas de cafeto con los distintos niveles de cobertura muerta a través del tiempo.	77
Figura 16b. Contenido de potasio en el suelo y en el tejido vegetal de las plántulas de maíz con los distintos niveles de cobertura muerta a través del tiempo.	78
Figura 17. Contenido de P, K, Ca y Mg en el tejido vegetal de las plántulas de maíz y de cafeto a través del tiempo.	81

LISTA DE ANEXOS

Anexo No.	Título	Página
Cuadro 1aA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento de las plántulas de cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta.	103
Cuadro 1bA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento de las plántulas de cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 1).	104
Cuadro 1cA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento de las plántulas de cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 2).	105
Cuadro 1dA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento de las plántulas de cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 3).	106
Cuadro 2aA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos en el suelo en el cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta.	107
Cuadro 2bA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del suelo en el cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 1).	108
Cuadro 2cA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos en el suelo en el cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 2).	109
Cuadro 2dA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos en el suelo en el cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 3).	110
Cuadro 3aA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos en los nitratos, amonio y nitrógeno inorgánico en el suelo en el cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta.	111

Cuadro 3bA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos en los nitratos, amonio y nitrógeno inorgánico en el suelo del cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 2).	112
Cuadro 3cA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos en los nitratos, amonio y nitrógeno inorgánico en el suelo del cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 3).	113
Cuadro 4aA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta.	114
Cuadro 4bA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 1).	115
Cuadro 4cA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 2).	116
Cuadro 4dA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 3).	117
Cuadro 5aA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la raíz del cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta.	118
Cuadro 5bA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la raíz del cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 1).	119
Cuadro 5cA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la raíz del cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 2).	120

Cuadro 5dA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la raíz del cafeto y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 3).	121
Cuadro 6aA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento de las plántulas de maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta.	122
Cuadro 6bA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento de las plántulas de maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 1).	123
Cuadro 6cA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento de las plántulas de maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 2).	124
Cuadro 6dA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento de las plántulas de maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 3).	125
Cuadro 7aA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos en el suelo en el maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta .	126
Cuadro 7bA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos en el suelo en el maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 1).	127
Cuadro 7cA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos en el suelo en el maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 2).	128
Cuadro 7dA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos en el suelo en el maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 3).	129
Cuadro 8aA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos en los nitratos, amonio y nitrógeno inorgánico en el suelo en el maíz y contrastes ortogonales para nivel cobertura muerta.	130
Cuadro 8bA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos en los nitratos, amonio y nitrógeno inorgánico en el suelo en el maíz y	

	contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 2).	131
Cuadro 8cA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos en los nitratos, amonio y nitrógeno inorgánico en el suelo en el maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 3).	132
Cuadro 9aA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta.	133
Cuadro 9bA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 1).	134
Cuadro 9cA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 2).	135
Cuadro 9dA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 3).	136
Cuadro 10aA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la raíz del maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta.	137
Cuadro 10bA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la raíz del maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 1).	138
Cuadro 10cA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la raíz del maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 2).	139
Cuadro 10dA.	ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la raíz del maíz y contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta (tiempo 3).	140

Cuadro 11A.	ANDEVA de los efectos de la cobertura muerta en la germinación y crecimiento inicial del cafeto.	141
Cuadro 12A.	ANDEVA de los efectos de la cobertura muerta en la germinación y crecimiento inicial del maíz.	142

1. INTRODUCCION

El género *Inga* spp. es utilizado ampliamente por los agricultores de los países de América Central para brindar sombra a plantaciones de café y cacao. Como leguminosas arbóreas, además de los beneficios provenientes de la sombra, entre sus especies se encuentran las que tienen la posibilidad de fijar nitrógeno, reciclar nutrimentos y de que su follaje enriquezca y proteja al suelo a través de la cobertura y de los procesos de descomposición.

Para la mayor sostenibilidad y sustentabilidad de los cultivos de café, se requiere el mejor aporte posible de nutrimentos por medio del reciclaje, mediante la utilización de mecanismos naturales, en este caso biológicos, para relocalizar los nutrimentos del perfil del suelo, en posición más superficial y hacerlos accesibles a los cultivos; en este mecanismo participarían los árboles de sombra asociados al café.

Es importante conocer cual es el aporte, en relación a los nutrimentos, que realiza la biomasa depositada en forma de cobertura muerta sobre el suelo en los cafetales, así como su influencia en el crecimiento de las plantas.

La utilización de árboles de sombra en Sistemas Agroforestales asegura una mayor cobertura del suelo y con ello una disminución de la erosión. En el sentido de la preservación de la potencialidad de producción, es necesario apoyar todo Sistema Agroforestal que implique la conservación del suelo, considerado en este caso como un recurso no renovable, sometido a constante desgaste.

Además representa sustentabilidad económica por la reducción de la aplicación de fertilizantes químicos, contribuyendo al uso de una tecnología propia y de bajo insumo.

El uso de fertilizantes químicos significa un mayor costo financiero de producción, sobretodo en el caso del pequeño finquero, más aún cuando éste se encuentra subsistiendo en regiones aisladas o marginales, pues el costo de insumos es en ese caso mayor, ante una realidad de menores ingresos.

En el área centroamericana, con una población aproximada de 25 millones de habitantes, el 72 por ciento de ella utiliza leña para la cocción de alimentos y en algunos países más del 52 por ciento del consumo total de energía proviene de este combustible (Leonard, 1987). Además en el 38 por ciento del territorio centroamericano el abastecimiento de leña es crítico a muy crítico, lo que no asegura la disponibilidad futura de este combustible. En estas condiciones las diferentes especies del género *Inga*, utilizadas como sombra de cafetales, proveen por medio de las podas anuales, la mayor parte de la leña que se consume en El Salvador, en la región suroriental y central de Guatemala y en las regiones cafetaleras de Nicaragua y Costa Rica. El material residual es dejado en el sitio, el cual junto a las hojas que caen en forma natural, constituyen una cobertura muerta generada por el mismo sistema.

El trabajo que se expone a continuación considera aquellas especies del género *Inga* de uso más frecuente en Costa Rica en los cultivos de cafeto y maíz, los que se cuentan entre las actividades agrícolas de mayor significación en la región.

Actualmente no existe suficiente información acerca de las especies del género *Inga*, como para promover su

incorporación bajo una recomendación técnica, aparte del uso tradicional que de ellas se ha venido haciendo y que está determinado únicamente por las preferencias de los agricultores. Por ello se plantea la necesidad de realizar investigaciones que permitan la recomendación sustentada en una base adecuada de estudios.

Además cabe destacar que los suelos ácidos del Trópico Húmedo, presentan generalmente baja CIC y K, y toxicidad de Al. En suelos de este tipo (Ultisoles, Yurimaguas, Perú), *Inga edulis* ha sido una de las especies que mejor adaptación y respuesta ha tenido en Sistemas Agroforestales (Szott et al., 1987).

Se postula que la biomasa de la poda de los árboles del género *Inga*, puede tener un efecto significativo en el aporte de nutrimentos a cultivos tradicionales de Centroamérica como café y maíz.

Otro aspecto que se pretende investigar es la posible producción de sustancias que de alguna manera interfieran con el crecimiento de los cultivos, las que podrían ser diferentes para cada una de las especies de *Inga*. Existe evidencia en la literatura citada, de la presencia de un alto contenido de ligninas y polifenoles en el tejido vegetal de *Inga*, sustancias que en otros casos se ha probado que tienen un efecto alelopático sobre las especies asociadas (Fischer, 1980).

El objetivo general es, estudiar en forma comparativa el efecto de la cobertura muerta de dos especies del género *Inga*, en relación al desarrollo inicial de plántulas de cafeto y maíz.

Como objetivos específicos se plantea:

- a. Conocer los efectos de la cobertura muerta en el crecimiento inicial y en el nivel de nutrimentos de

los tejidos de las plántulas de cafeto y maíz.

- b. Evaluar los niveles de nutrimentos y el cambio de fertilidad ocurrido en el suelo, provenientes de descomposición de la cobertura muerta.
- c. Constatar si existe efecto alelopático de la cobertura muerta, en la germinación y crecimiento inicial de los cultivos de café y maíz.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Uso de leguminosas en sistemas agroforestales.

2.1.1 Aspectos generales.

Una de las ventajas del uso de árboles en Sistemas Agroforestales es el suministro al suelo de una cobertura vegetal *in situ*, que aporta nutrimentos y evita pérdidas por escorrentía y lixiviación.

La descomposición del material de poda aumenta la cantidad de materia orgánica en el suelo (Kang et al., 1985; Kass et al., 1989); ésta es fundamental porque su descomposición aporta nutrimentos, especialmente N, S, P y cationes (K, Ca, Mg), es fuente de energía para los microorganismos del suelo, mantiene la estructura y, por lo tanto, regula el contenido de agua de los suelos y aumenta la capacidad de almacenaje de nutrimentos al aumentar la CIC (Fassbender, 1987).

Todos estos procesos van a depender de la velocidad de descomposición del material de poda y del tipo de materia orgánica que origine. La composición bioquímica de los restos vegetales varía según la especie, la edad y funciones del órgano vegetal analizado. Los tejidos verdes son más ricos en carbohidratos y proteínas y descomponen rápidamente, mientras que los tejidos leñosos presentan mayores contenidos en compuestos fenólicos (ligninas y celulosas) y descomponen más lentamente. La velocidad de descomposición también va a depender de factores externos, como son las características del suelo, la población de microorganismos, la flora y fauna presentes, las condiciones de pH, el agua disponible, etc. (Witkamp, 1966; Singh, 1969; Vilas, 1990).

La velocidad de descomposición de los residuos superficiales del material vegetal que se acumula por caída

de las hojas de los árboles es en términos generales, más del 50 por ciento en seis meses y en un año cerca del 70 por ciento. El producto de esta descomposición en el suelo es pequeño, normalmente oscila entre tres y cinco por ciento y está localizado fundamentalmente en la capa superficial (20 a 30 cm) (Henríquez, 1976).

Sin embargo, suelos con alto contenido en materia orgánica, no indican necesariamente gran disponibilidad de nutrimentos, pues gran parte de la materia orgánica puede estar formando complejos sumamente estables con las partículas del suelo, de muy difícil descomposición y disponibilidad, especialmente en suelos volcánicos (Sánchez *et al.*, 1989).

2.1.2 Uso de leguminosas como árboles de sombra

Budowski, Kass y Russo, (1984) indican que el uso de leguminosas arbóreas en el sombreado de cultivos perennes, es una práctica agrícola antigua, probablemente coincidente con la domesticación de plantas perennes. La disponibilidad de nitrógeno, el tipo de sombra, la capacidad de rebrote y la facilidad del manejo de la sombra pudo haber favorecido la selección de árboles de la familia de las leguminosas.

La sombra permite regular la fotosíntesis, la producción y el desarrollo y con ello, la demanda de nutrimentos del cultivo asociado. Esto es importante en las áreas tropicales de gran precipitación donde el crecimiento es más rápido y los suelos más pobres. La sombra regula la demanda de nutrimentos, dentro de límites tales que pueden ser abastecidos por la fertilidad natural, evitándose así una demanda nutricional excesiva (Alvim, 1960).

2.2 Uso de género *Inga* en sistemas agroforestales.

2.2.1 Especies utilizadas.

Las especies del género *Inga* se encuentran entre las más utilizadas como árboles de sombra en Centroamérica. Según Salazar, (1985), el género *Inga* spp. es originario de la región amazónica y se extiende desde allí hasta el sur de México hacia el norte, y hasta el Río de la Plata hacia el sur.

Camargo de León, (1978) señala que la *Inga* cumple con muchas de las características deseables para un árbol de sombra ya que puede regularse su densidad y mantenerse su altura de 4 a 5 m siendo así resistente al viento. La regulación del follaje de los árboles de sombra tiene por objeto dejar pasar determinada luminosidad y que las ramas no rocen las del cultivo. Además, dan buena sombra en 3 ó 4 años; la disposición de sus ramas otorga buena cobertura; la altura de los árboles permite una buena ventilación; la mayoría tiene un sistema radical profundo; tienen un período de vida bastante largo y proporcionan N y abundante materia orgánica al suelo.

Roskoski, (1982) señala que *Inga jinicuil* es capaz de fijar 40 Kg de N ha⁻¹ año⁻¹ en cafetales en México, lo cual equivale a aproximadamente la mitad de la cantidad aplicada por fertilización mineral.

Las características de las especies que se consideran en esta tesis son:

***Inga edulis* Mart.:** Se llama comúnmente "guabo", "guamora de mono", "cuajinicuil", "guajiniquil", "guabo mecate", etc. (Cerón, 1985 citado por Araya, 1989).

Pertenece a la familia de las Mimosáceas. Se distinguen por tener hojas pinnadas simples, inflorescencias en racimos o cabezuelas esféricas. Los frutos son indehiscentes y los embriones vivíparos, es decir que inician su desarrollo dentro del fruto aún cerrado.

Su uso como sombra en el cultivo del café se extendió en el siglo pasado. De las diferentes especies reportadas la *I. edulis* es la de mayor uso como árbol de sombra en Costa Rica (Holdrige y Poveda, 1975).

Es originaria de América del Sur y se distribuye desde Brasil y Ecuador hasta Honduras; según estos autores posiblemente introducida en Costa Rica. Es fácil de manejar podándola, pues se abre mucho siempre que no crezca a mucha altura. Se distingue por sus llamativos frutos que son legumbres de hasta un metro de largo. Sus semillas germinan fácilmente (Holdridge y Poveda, 1975).

Inga edulis puede alcanzar 5 a 15 m de altura; crece más de 5 cm de diámetro por año en el Amazonas Ecuatorial y provee excelente combustible de leña y carbón en menos de seis años. También sus semillas están envueltas en un arilo azucarado comestible y sus flores son ricas en néctar (Arkcoll, 1984a). Debacker y Openshaw, (1973), reportan una tasa de crecimiento de 27 m³/ha/año plantado a 2 m.

Inga edulis nodula muy bien, fija N₂, tiene alto nivel de regeneración, buena habilidad de establecimiento y sobrevivencia. Es tolerante a la sequía rigurosa y de fácil rebrote ante el ataque de las hormigas cortadoras de la hoja. Su crecimiento rápido y rusticidad sugieren que podría ser útil para pequeños finqueros como fuente de leña y para uso en barbechos.

Inga densiflora Benth.: En la Meseta Central costarricense se le conoce como "guabo salado o caite".

Holdrige y Poveda, (1975) señalan que es nativa de la región de Costa Rica, Panamá y Colombia. Se la encuentra en altitudes medianas con climas húmedos a muy húmedos. Se debe identificar primero por su fruto característico, que es plano, transversalmente estriado, verde y glabro.

En Colombia crece entre los 300 y 1700 msnm, con temperatura de 18 a 30°C y precipitaciones de 1500 a 2500 mm; en suelos de buen drenaje, porosos y profundos, con pH superior a 4,5.

Es un árbol de 10 a 17 m de altura y muy usado en sombra de café y cacao, y en cercas vivas. Sus hojas y frutos son comestibles para los animales (Parent, 1989)

2.2.2 El aporte del género *Inga* como árboles de sombra

Salazar (1985) evaluó la producción de biomasa en una plantación de *Inga densiflora*, de 20 años de edad, en San Ramón de Alajuela, Costa Rica. Los árboles fueron plantados a 2 m x 4 m como sombra de café. Al ser cosechado el rodal presentó una densidad de 400 árboles ha⁻¹; el 68 por ciento de los árboles habían sido previamente raleados. La producción de biomasa seca total fué de 48,7 tm ha⁻¹ (2,4 tm ha⁻¹ año⁻¹), correspondiendo el 52 por ciento al peso del fuste (25.2 tm ha⁻¹). Según este autor, el 12 por ciento de la biomasa puede incorporarse al suelo.

Jiménez Avila y Martínez Vara (1979) estudiaron la producción de materia orgánica de los principales componentes de cafetales sombreados con *Inga* en Veracruz, México: i) Mixto (cafetal con *Inga jinicuil* Sch., *Inga leptoloba* Sch., *Musa c.f. sapientum* L. y *Citrus sinensis*); ii) cafetal con *Inga jinicuil* Sch. y iii) cafetal con *Inga leptoloba*.

Estos autores encontraron que 73 por ciento del aporte de materia orgánica proviene de las hojas y las ramas. En cuanto a la periodicidad fenológica encontraron que las tasas de caída de hojarasca son altas en la época de sequía, principalmente cuando los mantos freáticos son profundos como sucede en los meses de marzo, abril y aproximadamente hasta mediados de mayo. Según las diferentes estructuras de cultivo estimaron que los árboles de *Inga* producen 6857 kg ha⁻¹ año⁻¹ (*I.jinicuil*); 5347 kg ha⁻¹ año⁻¹ (*I.leptoloba*) y 4917 kg ha⁻¹ año⁻¹ (mixto) de materia orgánica total. Sumando todos los aportes, incluyendo los del cafeto, estimaron los siguientes valores: 10249 kg ha⁻¹ año⁻¹ en cultivo mixto; 9475 kg ha⁻¹ año⁻¹ en cafetales con *I. leptoloba*; 8380 kg ha⁻¹ año⁻¹ en cafetales con *I.jinicuil* y 6042 kg ha⁻¹ año⁻¹ en cafetales sin sombra.

Los suelos con árboles de sombra presentan la ventaja de un alto potencial agrícola debido a la presencia de materia orgánica y nutrimentos. De esta manera, en los casos en que se considere necesario reemplazar el cafetal por otros cultivos, estos suelos orgánicos tendrán prioridad con un buen potencial de producción. Los cafetales con sombra descuidada y al sol, en general presentan suelos erosionados y pobres en materia orgánica.

Russo (1983) se refiere al flujo de biomasa y lo define como las transferencias de materiales dentro del sistema agroforestal, siendo su evaluación importante en el estudio de la dinámica de circulación de los nutrimentos. La cantidad de residuos, a veces denominados como hojarasca o mantillo, puede ser muy variable en función de los componentes del sistema. Estos residuos según Aranguren et al, citados por Russo (1983) pueden llegar a 11,2 ton de materia seca ha⁻¹ año⁻¹ en cafetales sombreados con *Inga* sp., *Erythrina* sp. y otros árboles.

Estos valores se encuentran dentro del ámbito que Suárez

de Castro (1962) menciona al estudiar cafetales con sombra de *Inga* sp. en Colombia 0,86 t ha⁻¹ en cafetales jóvenes, hasta 23,06 t ha⁻¹ en cafetales viejos.

2.2.3 El aporte del género *Inga* en cultivo en callejones.

Se efectuó un estudio de selección de especies usadas en cultivo de callejones en suelos ácidos en Perú (Salazar y Palm, 1987). *Inga* sp. (paca) presentó un 100 por ciento de sobrevivencia y un crecimiento de 30 cm por mes en los primeros siete meses en el campo. La producción de biomasa de poda fué de 5 t ha⁻¹ año⁻¹ con podas cada tres meses, lo que equivale a 515 g por árbol (peso seco). Las hojas representaron 59 por ciento del total de la biomasa y presentaron en promedio: 2,93 por ciento de N, 18,6 por ciento de lignina y 1,61 por ciento de fenoles solubles. Las conclusiones del estudio indican que *Inga* sp. es adecuada para cultivos en callejones porque aporta residuos vegetales y nutrimentos.

En otro estudio realizado en Yurimaguas, Perú (Szott et al., 1991), se cita a la *Inga* como una especie de rápido crecimiento, excelente producción de biomasa y cobertura. Utilizada en cultivo de callejones con maíz y arroz, se constató que la biomasa de la poda *in situ* es capaz de suplir la mayoría de los macronutrimentos requeridos para la producción moderada de arroz, salvo fósforo. Al realizar pruebas de mineralización se constató que en *Inga* esta fué muy lenta para el P, Ca y Mg durante las primeras 8 a 12 semanas. A las 32 semanas, el P se redujo a 40 por ciento, Ca y Mg a 50-80 por ciento y K a 10 por ciento de sus contenidos iniciales. Se sugiere que la acumulación paulatina de residuos vegetales va creando un microambiente propicio para la descomposición más acelerada de los mismos.

En el mismo estudio, Szott et al., (1991) encontraron un

30 por ciento de la masa de las raíces de *Inga edulis* en los primeros 20 cm del suelo y un 85 por ciento a 1.75 m del callejón, sugiriendo una competencia por nutrimentos a ese distanciamiento. La distancia que se sugiere es a partir de los 4 m, siendo la óptima de 8 m con un aumento del rendimiento de 18 por ciento del cultivo. En un estudio posterior Salazar (1990) concluye que *Inga edulis* resulta apta en asociaciones con maíz, caupí y arroz, permite 3 a 4 podas anuales, es resistente a la acidez del suelo y al barrenador del brote (*Hypsipyla sp.*), y fundamentalmente, debido a la lenta descomposición de las hojas, controla malezas.

Contreras et al. (1990) trabajando con cobertura muerta de *Inga densiflora* en CATIE, Costa Rica, obtuvieron un 67 por ciento de control de gramíneas y la humedad del suelo fué aproximadamente 25 ciento mayor que el testigo sin cobertura muerta.

2.2.4 El aporte del género *Inga* en barbechos mejorados.

En estudios sobre barbechos mejorados que incluían *Inga* sp., también en Yurimaguas, Peru (Szott et al., 1991), se observó que Ca y Mg declinaron en el suelo hasta un nivel constante y su recuperación respecto a la sucesión secundaria fué lenta. Sin embargo, la tasa de recuperación de algunos elementos fué apreciable. Así por ejemplo, el P disponible en 4,5 años excedió al testigo y el N y K se recuperaron en 24 meses. También se comprobó que la especie tiene aptitud para el control de malezas.

2.3 Características de los ciclos de nutrimentos en ecosistemas tropicales.

Segun Jordan (1985), los ciclos de los nutrimentos pueden dividirse en volátiles, en una parte del mismo (N,S) y en no volátiles (P, Ca, Mg, K, Na, Al).

Los nutrimentos de la solución del suelo se intercambian en forma iónica en la superficie de las arcillas y en el humus. Los cationes K y Na son retenidos con menos fuerza que Ca, Mg y Al. Además de la valencia del ión, el intercambio es regulado por la actividad relativa de los iones en la solución del suelo.

Los cationes monovalentes como Na y K son más móviles en el ecosistema que los divalentes como Ca y Mg. Los divalentes se transfieren primariamente a través de la descomposición del mantillo, mientras que los monovalentes pueden ser aportados directamente por el lavado de las hojas.

El P es un elemento poco móvil. Los suelos tropicales pueden presentar valores altos de P total, pero bajos de P disponible a las plantas. En suelos ácidos, los fosfatos pueden formar compuestos insolubles con Al de la solución. También pueden ser retenidos por los óxidos amorfos de Fe y Al o por los alofanos. En zonas secas, también puede formar compuestos insolubles con cal. Este conjunto de procesos se conoce como retención de P (Sánchez y Uehara, 1980). En los suelos tropicales infértiles la mineralización de la materia orgánica es fundamental siendo la cantidad de P disponible proporcional a la cantidad de materia orgánica. Sánchez (1981) considera que el 60 por ciento del P total en suelos tropicales puede encontrarse en forma orgánica.

A diferencia de los fosfatos, los compuestos inorgánicos nitrogenados son móviles y las mayores pérdidas se producen por lixiviación en forma de nitratos. Es el único elemento que se presenta en el suelo en dos formas nutricionales importantes, una catiónica NH_4^+ y otra aniónica, NO_3^- , ambas absorbibles por las plantas. El proceso de transformación de los compuestos orgánicos de N a inorgánicos se llama mineralización. Amonificación es el pasaje de aminoácidos a amonio y es efectuado por una serie de microorganismos no específicos del suelo. El amonio puede ser directamente

tomado por las plantas, ser intercambiado en la superficie de partículas cargadas del suelo, fijado en el interior de arcillas de tipo 2:1, lixiviado, volatizado a la atmósfera o pasar a nitratos por el proceso de nitrificación. Este proceso es específicamente regulado por un número limitado de bacterias aeróbicas. Los nitratos son tomados por las plantas, intercambiados, lixiviados o convertidos a N gaseoso por un proceso que se conoce como denitrificación.

La disponibilidad de los elementos menores, Cu, Zn y Mn es alta a pH bajo y se reduce notablemente al subir este valor, con la excepción del Cu, donde esta reducción es pequeña, cuando los suelos presentan apreciables contenidos de materia orgánica (Bornemisza, 1988).

2.4 Requerimientos nutricionales del cafeto.

2.4.1 Nutrimientos.

Coste (1974) señala que del primero al quinto año, las necesidades de nutrimentos en el cafeto van aumentando. Así el N aumenta de 1,3 a 117,5 g por planta, el P_2O_5 de 0,1 a 16,3 g, el K_2O de 1,4 a 121,3 g; el Ca de 0,6 a 77,1 g y el MgO de 0,3 a 23,4 g. Los aumentos más importantes se producen entre el primero y tercer año.

Bercht (1988) considera que la secuencia de extracción para una planta de cafeto es la siguiente:

$N \geq K > Ca > Mg > P = S$

$Cl (?) > Fe > Mn > Bo > Cu > Zn > Mo$

siendo los valores correspondientes a N, P, K, Ca y Mg: 105, 11, 117, 35 y 15 g/planta para *Coffea arabica*.

Considerando las exigencias de elementos mayores para plántulas de tres años de edad derivados de los estudios de Mehlich mencionados por Carvajal (1984), se deduce que el

equilibrio N:P:K tiene una relación, 10:1:11. El potasio se destaca como elemento mayoritario.

Según Valencia (1988) el contenido normal de minerales en la hoja en el cafeto es N (2,30-2,80%); P (0,10-0,18%); K (1,50-2,0%); Ca (0,50-1,30%); Mg (0,30-0,40%); Chaverri et al citados por Carvajal (1984) señala para *Coffea arábica* los siguientes datos como niveles medios expresados en base seca: N (2,30-2,80%); P (0,12-0,20%); K (1,70-2,70%); Ca (1,10-1,70%); Mg (0,20-0,35%). Carvajal (1984) señala además los siguientes valores medios para los micronutrientes: Cu (6-12 ppm); Zn (15-20 ppm) y Mn (50-150 ppm).

En cuanto a los requerimientos de nutrimentos en el suelo, Berscht et al., (1990) consideran que en Costa Rica, el N y el P son los elementos más deficientes y limitantes en la producción de cafetales. Incluso plantaciones bajo sombra son fuertemente fertilizadas con niveles que llegan hasta 270 kg N, 60 kg P y 150 kg K ha⁻¹ año⁻¹ (Beer, 1988).

La experiencia ganada hasta ahora respecto al suministro de P al cafeto, señala que la respuesta es muy importante en cafetos jóvenes, desde la planta en el vivero hasta 2-3 años después del trasplante. Una vez que el sistema radical ha alcanzado plena funcionalidad, la dosis puede ser disminuida e incluso eliminada durante algún período, pues la planta lo requiere en pequeñas cantidades y su capacidad de extracción por las raíces es alta (Carvajal, 1984). El P constituye del 0,1 al 9,5 por ciento de la materia seca del cafeto (Valencia, 1988).

Según la experiencia ganada en Costa Rica, la zona de respuesta del cafeto al potasio está demarcada por contenidos en el suelo de 0,2 a 0,4 cmol(+)kg⁻¹ de K intercambiable según Briceño y Carvajal (1973) y Ramírez (1980), citados por Valencia (1988). Según este mismo autor El K constituye del 0,2 al 1,0 por ciento de la materia seca del cafeto.

La investigación sobre la necesidad de calcio en cafetales, indica que su utilización está fundamentalmente dirigida a mejorar los aspectos relacionados con el pH del suelo, equilibrar la relación Ca: Mg: K, elevar la fertilidad integral del suelo y corregir síntomas severos de toxicidad de manganeso (Abruña, 1965; Küpper 1981). En Costa Rica para el cafeto se considera un nivel crítico de Ca en el suelo de $4 \text{ cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$ (Bertch, 1988).

Respecto a los elementos menores, para suelos cafetaleros en Costa Rica se informa sobre niveles de Cu entre 8 y 38 mg kg^{-1} (Koss, et al., 1973). Debido a que el Cu se encuentra muy ligado a la materia orgánica, puede haber acumulación de este elemento en la capa superior del suelo, determinando problemas de toxicidad en cafetales. Estos problemas se reducen al aumentar el pH (Bornemisza, 1988; Bertch et al., 1990). Uno de los micronutrientes más problemático en Costa Rica, por deficiencia, es el Zn, que afecta tanto al ciclo vegetativo como al reproductor del cafeto (Carvajal, 1984; Bertch, 1988; Bornemisza, 1988). Los excesos de este elemento son muy poco corrientes en cafetales (Carvajal, 1984), encontrándose sus límites en suelos entre $10\text{-}300 \text{ mg kg}^{-1}$. En el caso del manganeso, se conocen problemas tanto por exceso como por deficiencia en cafetales. Este mismo autor, sugiere como niveles normales en suelos valores entre 25 y 150 mg kg^{-1} ; los cultivares Caturra y Catuai toleran sin problemas incluso el doble de este nivel superior. La presencia de deficiencia se ha observado en suelos fuertemente lavados, altamente meteorizados o en suelos con pH alto y contenido de materia orgánica considerable (Bornemisza, 1988).

2.4.2 Interacciones entre nutrientes.

La deficiencia de nitrógeno causa una disminución en la absorción de prácticamente todos los demás, excepto de calcio. La de fósforo disminuye la absorción de nitrógeno y

magnesio, mientras que la de potasio no sufre y la de calcio se incrementa. La deficiencia de potasio causa especialmente una disminución de la absorción de nitrógeno, al tiempo que sube la de calcio. La falta de calcio afecta negativamente la absorción de nitrógeno, fósforo y magnesio. La deficiencia de magnesio provoca una disminución de la absorción de nitrógeno, mientras induce un aumento en la absorción de calcio (Carvajal, 1984). El exceso de P determina problemas en la absorción de Zn (Bertch et al., 1990).

2.5 Requerimientos nutricionales del maíz.

2.5.1 Nutrimientos.

Grüneberg (1966) considera que la relación de los elementos nutritivos N, P y K en el maíz es de 10:3,8:11,9.

En el caso del nitrógeno, la planta de maíz puede absorber amonio o nitratos, dependiendo de los factores del medio ambiente, especialmente de la acidez del suelo (Grüneberg 1966). Según Whitehead et al. (citados por Grüneberg, 1966), hasta el momento de la floración la planta de maíz ha asimilado aproximadamente un 25 por ciento de su necesidad en N. Con la floración da principio un período de intensiva producción de materia, el cual trae consigo una mayor necesidad de este elemento, siendo asimilados hasta la formación de las mazorcas dos tercios de la cantidad total del N requerido.

El maíz absorbe del suelo una cantidad mucho mayor de fósforo que cualquier otra variedad de cereales, aún cuando la extracción de este elemento sea menor que la de nitrógeno y de potasio, respondiendo significativamente a la fertilización fosfatada. El contenido de P en tallos y hojas es de 0,3 % de P_2O_5 (Ortiz, 1978). El P es asimilado casi exclusivamente en forma inorgánica. Sin embargo, algunas

investigaciones (Rogers, citado por Grüneberg, 1966) indican que es posible la asimilación directa de compuestos orgánicos fosfatados, especialmente fitina y lecitina. Las fases de mayor necesidad de P son las que siguen a la floración y la de la madurez del fruto; sólo un 15 por ciento del P es asimilado antes de la floración (Grüneberg, 1966).

De los tres elementos nutritivos principales, el potasio es el que requiere las plantas de maíz en mayor cantidad (Grüneberg, 1966). La necesidad de K se presenta en la planta de maíz mucho antes que la de N; un 30 por ciento de la cantidad total de K se asimila en los estadios anteriores a la floración. Asimismo existe una elevada necesidad de K durante los periodos de la floración y la formación de las mazorcas, cesando prácticamente su asimilación después de esta fase. Existen evidencias de pérdidas de K durante el periodo de madurez (Grüneberg, 1966). Los síntomas de deficiencia no aparecen en las hojas sino hasta que están bastante desarrolladas (Peregrina, 1954).

Respecto al calcio, puede decirse que el maíz exige suelos neutros a ligeramente alcalinos, o sea, suelos suficientemente saturados con iones Ca. Este sólo hecho explica el significado que tiene este elemento en el desarrollo de la planta de maíz.

Según los estudios de Beaumont y Snell (citado por Grüneberg, 1966), el maíz es una de las plantas cultivadas con mayor sensibilidad a la deficiencia de magnesio. Según Kandiah y Rodrigo citados por Grüneberg (1966) las hojas sanas del maíz presentan un contenido de MgO de 0,39 por ciento no detectándose los síntomas de insuficiencia sino hasta el momento en que el contenido alcanza un porcentaje de 0,13 por ciento.

Según Grüneberg (1966) las hojas sanas de maíz presentan un contenido de zinc entre 31 y 66 ppm. Se han detectado

deficiencias en el maíz cuando el contenido de Zn en el suelo es menor de 0,4 ppm, para una capacidad de intercambio de 12 $\text{cmol}^{-1}\text{kg}^{-1}$. Aparentemente, la mayor necesidad de Zn esta en los centros de crecimiento de la planta (Viets et al., citados por Grüneberg, 1966).

2.5.2 Interacciones entre nutrimentos.

Scharrer y Jung, citados por Grüneberg (1966), han comprobado que existe una relación constante entre la suma de los aniones y la de los cationes absorbidos por la planta. Si la cantidad de aniones aumenta, aumenta la absorción de cationes. No obstante, la mayor disponibilidad de un catión dado, no trae como consecuencia el aumento de la asimilación de aniones, sino que ocurre una limitación en la absorción de otros cationes para mantener el equilibrio. Dentro de la fertilización práctica, se tiene como consecuencia de los estudios de Scharrer y Jung, que una abundante fertilización con nitratos fomenta la asimilación de los cationes K, Na, Ca y Mg, mientras que la fertilización con sales de amonio produce una disminución de la absorción de estos cationes. Beckenbach et al. (citados por Grüneberg, 1966) pudieron ratificar esta afirmación en el caso del maíz, observando que altas concentraciones de nitratos en el substrato nutritivo determinaron un aumento de la asimilación del Ca. Tyner y Webb (citados por Grüneberg 1966) comprobaron en hojas de plantas de maíz provenientes de un suelo con aplicación de sulfato de amonio, un contenido más bajo de K, que el que presentaban cuando se agregaba nitratos.

Existe un efecto antagónico del ión potasio frente a los iones calcio y magnesio. La función fisiológico-nutritiva del K determina una asimilación preferente de este ión frente a los demás cationes (Grüneberg, 1966). Stanford et al. (citados por Grüneberg, 1966) comprobaron que si a suelos ricos en carbonatos de Ca y Mg se suministran dosis elevadas de K, la planta de maíz disminuye la asimilación de los iones

Ca y Mg.

Los elementos menores como el manganeso, cobre y zinc influyen sobre la eficiencia de utilización de los macroelementos. Scharrer y Jung (citados por Grüneberg, 1966) comprobaron en ensayos de invernadero con plantas de maíz, que la deficiencia o el exceso de los elementos menores arriba citados, originaban considerables disminuciones en los rendimientos y acumulaciones en la planta de macroelementos, especialmente de N. Bajo la aplicación de dosis óptimas de oligoelementos se obtuvo un aprovechamiento muy favorable de los macroelementos, evitándose su acumulación. Según Snider (citado por Grüneberg, 1966), existe una relación directa entre la asimilación del fósforo y la del manganeso: la fertilización fosfatada eleva el contenido de Mn en la planta de maíz. La elevada saturación del complejo de intercambio del suelo con calcio, así como valores de pH elevados fomentan la carencia de oligoelementos.

2.6 Efectos alelopáticos de los residuos vegetales en los cultivos

Existe evidencia de que las plantas que liberan fenoles y ligninas pueden ser responsables de un efecto detrimental de interferencia para los cultivos asociados (Wihtaker y Feemy, 1971). *Inga edulis* posee un contenido considerable de estas sustancias, que pueden ser producidas en cualquier parte de la planta, aunque las concentraciones más altas parecen estar en el follaje o en los frutos (Fisher, 1980).

Dichas sustancias químicas actúan en una variedad de formas (Fisher, 1980): algunas retardan el crecimiento o inhiben la germinación al impedir la división celular, también pueden afectar la nutrición de las plantas al impedir la absorción de nutrimentos o la traslocación de los mismos. Pero el efecto más marcado es la reducción del crecimiento.

Es clara la evidencia presentada por Rice (1974) de que muchos factores genéticos y ambientales afectan la cantidad de sustancias alelopáticas potenciales producidas.

Una vez que las sustancias alelopáticas son producidas y escapan al ambiente, comienzan a ser descompuestas, liberadas o sintetizadas por acción química o por la acción biológica de microorganismos (Putnam, 1988). Así, los efectos potenciales dependen básicamente de las tasas relativas de adición de estas sustancias al ambiente y su descomposición o inactivación.

Según Patrick (1971) la acción de estos compuestos depende de su acumulación, estabilidad, persistencia y concentración, si bien, aún no se ha dilucidado como muchos de estos compuestos se forman en condiciones de campo y se acumulan en cantidad suficiente para producir efectos.

En muchos casos, una acumulación de uno de estos compuestos podría ocurrir sólo por un corto período, pero esto podría ser muy importante si sucede en una etapa crítica de una planta susceptible. Además de la concentración, la naturaleza de la respuesta va a depender de la susceptibilidad de la planta receptora (Putnam, 1988). Un aspecto esencial para la actividad de estas sustancias es la ubicación y movimiento de ellos en cantidades nocivas para la especie receptora en el ambiente (Rice, 1979).

Es difícil detectar este efecto en condiciones de campo puesto que se trata de un sistema dinámico, donde todos los efectos son transitorios y donde la producción, transformación y destrucción de las sustancias es continua y simultánea. Pero es claro que si un compuesto fitotóxico es liberado al ambiente y no es descompuesto, probablemente la sobrevivencia de las plantas sería difícil (Rice 1974).

Se sabe sin embargo que la liberación de sustancias de

los residuos vegetales son más abundantes en los estados iniciales de descomposición y bajo condiciones anaeróbicas (Patrick, 1971).

Se reconoce la gran variabilidad de efectos inhibitorios que se da entre las plantas de una misma especie, incluso, creciendo todas juntas en condiciones controladas de invernadero (Rice, 1984). Como se señaló anteriormente existe una gran influencia ambiental, principalmente de las condiciones ambientales críticas. Es lógico asumir que la cantidad de inhibidores químicos producidos por una planta y la sensibilidad de la planta al estrés pueden estar influenciados genéticamente, como anteriormente se indicó.

Del Moral (1972) informa de mayores concentraciones de compuestos fenólicos en plantas creciendo bajo condiciones de estrés de agua. Al parecer, las condiciones de estrés parecen estimular algunas interacciones de estas sustancias como mecanismo de sobrevivencia o de neutralización de la competencia. Los efectos sinérgicos de los factores de estrés, son particularmente importantes pues generalmente ocurren en combinación, bajo condiciones de campo.

La lixiviación se produce, para las toxinas solubles en agua, las cuales están aún presentes después de muerta la parte de la planta y pueden ser lavadas, pero esto no significa que las sustancias alelopáticas que se encuentren en extractos de varias partes de las plantas sean exudadas o lavadas de la planta.

Los inhibidores solubles en agua podrían fácilmente lixivarse de los residuos de la planta después de muerta cuando varias membranas pierden su permeabilidad diferencial.

Es necesario efectuar bioensayos para confirmar la actividad y cuantificar la contribución relativa de compuestos alelopáticos. En tal sentido, son de gran

utilidad las pruebas de germinación y crecimiento de la raíz bajo condiciones estériles, con especies potencialmente susceptibles bajo condiciones de campo (Putnam, 1978). Un criterio muy usado para determinar la presencia o efectividad relativa de agentes alelopáticos son los cambios en tamaño de los tallos y peso de los organismos probados, así como las pruebas de germinación.

La absorción de iones es de básica importancia en el crecimiento y reproducción de microorganismos a todos los niveles de complejidad y la evidencia se está acumulando en relación a que muchos tipos de agentes inhibitorios afectan la tasa de absorción de iones. Sin embargo, es muy importante estudiar el mecanismo de acción de este fenómeno.

Muchos investigadores en efectos alelopáticos prontamente han llegado a conocer los rápidos y pronunciados efectos de varias fitotoxinas en el desarrollo de las raíces. Este hecho, asociado a la función básica de las raíces en la absorción mineral, ha sido motivo de muchas investigaciones hechas en efectos de componentes alelopáticos en la absorción mineral (Rice, 1974).

Diversos métodos de bioensayos se han utilizado para evaluar el efecto de los compuestos alelopáticos de una planta sobre la germinación y crecimiento radical de otra. Putnam y Duke (1978) los agrupan en ensayos: a) con extractos o lixiviados; b) con fragmentos de materiales secos o frescos de la planta; c) con planta intacta. Además, hay variaciones en cuanto al medio de soporte empleado.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Experimento de fertilidad: Localización, colección de la cobertura muerta, prácticas agronómicas

Se realizó un experimento para estudiar el posible aporte de nutrimentos de la cobertura muerta de *Inga* a los cultivos de café y maíz. Este se llevó a cabo en las instalaciones del invernadero del Proyecto Arboles Fijadores de Nitrógeno en Cabiria, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Con el objeto de trabajar en invernadero con valores de biomasa equivalentes a una situación real de aporte de cobertura muerta en las podas del cafeto, se realizó un muestreo en un cafetal con sombra de *Inga densiflora*, en la localidad de San Juan de San Ramón. Se recolectó la biomasa de la poda de 10 árboles de sombra en el momento en que ésta era efectuada y se determinó su peso húmedo. El valor promedio obtenido fue de 7,8 t ha⁻¹. Con base en este dato, se aplicaron cantidades de cobertura muerta equivalentes a 8, 16 y 24 t ha⁻¹.

La cobertura muerta de *Inga densiflora* se recolectó en un plantel de dos años de edad, establecido por el proyecto Arboles Fijadores de Nitrógeno en Cabiria, CATIE. El material de *Inga edulis* se recolectó en los cacaotales del sector de Bajos del Chino, CATIE, de árboles de aproximadamente dos años de edad, con el objeto de trabajar con material joven, de descomposición rápida.

De la poda de cada especie se obtuvo un material de hojas y ramillas no lignificadas. El material fue cortado finamente en una trituradora electro-mecánica (fracciones < de 1 cm²), con el objeto de homogeneizar el material, favorecer la liberación de nutrimentos y facilitar la aplicación en las cantidades deseadas.

El suelo elegido corresponde a la serie "Jilgueral", suborden Fluventic ustropept, distrito Mercedes Sur de Puriscal (Cuadro 1). El suelo se tamizó en una zaranda de aproximadamente 1 cm² y se llenaron las macetas plásticas de 23 cm de diámetro x 23 de alto con 5,5 kg de tierra sin esterilizar. Con el objeto de evaluar las interacciones fertilizante-cobertura muerta y aislar el efecto por fertilidad, se aplicó fertilizante mineral. Se realizó un análisis químico previo al establecimiento del experimento, para determinar la dosis de fertilizante mineral que sería aplicada.

Las macetas se regaron por capilaridad en cámaras de sorción colocando marcos de madera recubiertos con plástico sobre las mesas y cuatro mechas de algodón dentro de cada maceta, a fin de evitar pérdidas por lixiviación. Se humedeció la superficie cubierta por la cobertura muerta con una cantidad medida de agua para favorecer su descomposición y la incorporación de los nutrientes.

Se realizaron las aplicaciones de pesticidas mínimas necesarias para evitar posibles daños de plagas en la fase inicial de establecimiento de los cultivos. Se usó el insecticida Volatón (fosforado) en el maíz, el fungicida Benlate en el café y el bactericida Agrimycin en ambos.

Cuadro 1. Características edafo-climáticas del suelo experimental. Acosta Puriscal, Costa Rica

Característica	Jilgueral (Puriscal)
Distrito	Mercedes Sur Acosta Puriscal
Localización	9°41' latitud norte y 84° 25' longitud oeste
Zona de vida	Bosque muy húmedo premontano
Altitud	720 msnm
Precipitación (X anual)	3.000 mm
Temperatura (X anual)	24°C
Clasificación suelos	Fluventic. Ustropept
Origen	Cretaceo
Profundidad	50 a 90 cm
Pendiente	15 %
Uso actual	Potreros - granos
pH	5 - 6
Textura	Arcillosa
Erosión	Moderada-severa
Capacidad uso	Forestería y agroforestería

Fuente: Araya Sánchez (1987).

3.1.1 Tratamientos de fertilidad (variables independientes).

Para cada cultivo (café y maíz) se utilizaron 16 tratamientos: dos especies de *Inga* (*I. edulis* e *I. densiflora*), cuatro niveles de cobertura muerta (0, 25, 50 y 75 g/maceta, equivalentes a 0, 8, 16 y 24 t ha⁻¹) y dos niveles (con y sin) de fertilizante K₂ H₂ PO₄ y NH₄NO₃ (0,525 g y 0,786 g, respectivamente).

El café se instaló en 15 bloques aleatorizados y el maíz con 9; las evaluaciones se realizaron en tres etapas, bimensuales para el café y mensuales para el maíz. El total de unidades para este experimento estuvo constituido por 384 macetas.

3.1.2 Descripción de la unidad experimental y métodos de evaluación.

En el caso del cafeto se utilizaron semillas del cultivar Catuai y en el caso del maíz, el híbrido Salvadoreño H-5, que fué seleccionado por su ciclo de crecimiento corto. Las semillas fueron pregerminadas para acelerar el proceso de evaluación y para tener seguridad de que fuesen todas fértiles. El 1° de enero se sembró el café en camas de arena, el cual fué transplantado el día 12 de marzo a las macetas, colocando dos plántulas en cada una. El maíz fué sembrado en cajas de arena y puesto en la cámara de germinación del Banco de Semillas durante tres días, para posteriormente colocar también dos plántulas por cada maceta.

El experimento se montó el 18 de marzo, las evaluaciones para el maíz se realizaron el 19 de abril, 19 de mayo y 19 de junio. Para el café las mediciones se tomaron el 18 de mayo, 18 de julio y 18 de setiembre de 1990.

En cada etapa se hizo la evaluación de los factores de fertilidad del suelo y de los parámetros de crecimiento de los cultivos. Se midió: peso seco y altura de las plántulas de los cultivos, diferenciándolas en secciones aérea y radical. En cada muestreo en el tiempo se analizaron los nutrimentos en el tejido vegetal y en el suelo.

3.1.3 Análisis químico del suelo y tejidos vegetales.

a) Suelos

Los análisis químicos realizados en el suelo fueron los siguientes: pH en agua (1:2,5) (León, 1973); materia orgánica por el método de Walkey y Black (Saiz del Río y Bornemisza, 1961); N total, nitratos y amonio por el método de semi-micro Kjeldahl (Bremmer, 1965). Fósforo y K se

extrajerón con solución de Olsen modificado y se determinaron por colorimetría y por espectrofotometría de absorción atómica respectivamente (Díaz-Romeu y Hunter, 1978). Los suelos fueron secados al aire y tamizados por malla de 2 mm. En el caso de materia orgánica, N y P se molió y tamizó por malla de 0.2 mm. Las determinaciones de nitrato y amonio se realizaron sobre suelo húmedo, extrayendo con KCl 2N (Bremner, 1965).

Acidez (Al+H), Ca y Mg se extrajerón con una solución de KCl 1N y se determinó, la acidez por titulación y Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica (Díaz-Romeu y Hunter, 1978). La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) se calculó como:

$$\text{CICE} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + (\text{Al} + \text{H})$$

y el porcentaje de saturación de acidez como:

$$\% \text{ Saturación de acidez} = \frac{\text{AL} + \text{H}}{\text{CICE}} \times 100$$

Los elementos menores no fueron determinados en suelos.

b) Tejidos vegetales

Para los tejidos vegetales las determinaciones de N se realizaron por el método de semi-micro Kjeldahl (Mueller, 1961).

Para K, P, Ca, Mg y los elementos menores (Cu, Zn y Mn) se utilizó digestión nítrico-perclórica, seguida por determinación colorimétrica en el caso del P y espectrofotometría de absorción atómica para los demás elementos (Johnson y Ulrich, 1967).

3.1.4 Medición de la radiación en el invernadero.

A fin de establecer una estimación y comparación del porcentaje de luz incidente en el interior del invernadero respecto al exterior, se realizó la medición de la radiación fotosintéticamente activa.

Para medir la radiación se utilizaron dos sensores de quantum Li-Cor 190-SB con un plato de nivel colocados uno en un mástil de 3,5 m de altura contiguo al invernadero, y el otro en un poste ubicado a 2 m de altura en el interior del invernadero, con los cuales se midió la densidad del flujo de fotones fotosintéticamente activo en las longitudes de onda de 400 a 700 nanómetros. La unidad de medida es micromoles por segundo por metro cuadrado ($\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ S}^{-1}$).

El sensor de quantum está diseñado para medir el flujo de fotones recibido en una superficie plana. Un fotodiodo de silicón es usado como sensor de fotones. Este sensor sirve para medir la radiación directa y difusa. Los sensores fueron conectados a un registrador de datos (data logger). Li-Cor Li-1000 (Li-Cor Inc.; Lincoln, Neb, E.E.U.U.) se realizaron lecturas instantáneas cada 5 segundos obteniéndose un promedio de cada 10 minutos el cual se registró en la memoria del logger en el primer período de una semana y luego se siguió registrando los datos cada hora desde el 31 de mayo hasta el 22 de septiembre de 1990. Con esto se realizaron curvas para comparar la radiación en el interior y exterior del invernadero.

3.2 Efecto de la cobertura muerta en la germinación y crecimiento inicial de los cultivos.

3.2.1 Establecimiento del experimento.

Se realizó un experimento para evaluar las posibles condiciones alelopáticas de la cobertura muerta sobre la

germinación y crecimiento inicial de los cultivos.

Este se realizó en una casa de mallas en la finca de CATIE en Ganadería en el sector de "Las Cabras" y en otra casa de malla del Programa de Cacao de CATIE, en la Sede Principal.

El material utilizado como cobertura muerta es el mismo que se empleó en el experimento de fertilidad preparado de igual forma.

El sistema de riego fué el mismo empleado en el experimento de fertilidad.

Se aplicó la cantidad de cobertura muerta proporcional al tamaño de estas macetas que fueron más pequeñas que las utilizadas para fertilidad (15,5 cm de diámetro x 16,5 cm de alto y una capacidad de 3,7 Kg de suelo). Las macetas plásticas se llenaron con el suelo de "Jilqueral" de Puriscal, la cobertura de *Inga* se colocaron en cada uno de sus niveles de (0, 15, 30 y 45 g) superficie y mezcladas con el suelo. El suelo fué preparado como se indicó en el experimento anterior con una sola dosis de fertilizante de 0,172 g de $K_2H_2PO_4$ y 0,257 g NH_4NO_3 , por maceta.

No se aplicó ningún producto para el control de plagas en las macetas.

Después de la emergencia de las plántulas, se contabilizó la emergencia de las 9 semillas por maceta y se dejaron las dos mejores plántulas (longitud y robustez) para continuar su crecimiento bajo los distintos tratamientos. Al final del experimento se extrajeron las plántulas, se midieron sus longitudes aérea y radical y se determinó su peso seco.

Las variables independientes correspondieron a las dos especies de *Inga*, cuatro niveles de cobertura muerta (0, 15,

30 y 46 g/maceta), y a dos distribuciones de los residuos en el suelo del macetero en posición superficial y mezclado en profundidad.

Se tenía entonces un total de 16 tratamientos los que replicados seis veces daban un total de 192 maceteros.

3.2.2 Descripción de la Unidad Experimental y de las evaluaciones.

La semilla de café fué escarificada, al sacarla del frigorífico, en una máquina que le quitó la cáscara. Luego fué puesta a remojar en agua fría una noche para acelerar su germinación. Las semillas utilizadas son las mismas que en el experimento de fertilidad (Café: *Coffea arabica* cv. Catuai; maíz: *Zea mays* L. híbrido Salvadoreño H-5). En cada maceta se puso a germinar nueve semillas de ambos cultivos.

El experimento se montó el 28 de junio en una casa de malla, a los 10 días se evaluó la germinación del maíz, el 7 de julio y luego se trasladaron las macetas a una instalación sin techo, cubierto lateralmente con malla plástica transparente. El maíz se dejó crecer seis semanas más hasta la evaluación final (26 de agosto); la evaluación de la germinación del café se realizó el 16 de julio y la evaluación final fué el 17 de septiembre.

3.2.3 Variables evaluadas (variables dependientes).

-Se evaluó la emergencia de las plántulas (número de semillas germinadas y porcentaje de germinación).

-Se midió la longitud del tallo y la raíz y el peso seco.

3.3 Diseño experimental y análisis estadístico.

3.3.1 Experimento de Fertilidad.

Para la investigación sobre el efecto de la fertilización se realizaron simultáneamente dos experimentos: uno con cultivo de café y otro con cultivo de maíz.

Para el experimento de fertilidad se contempló un total de 16 tratamientos para cada cultivo: dos especies de *Inga* por dos niveles de fertilizante (0 y 1) por cuatro niveles de cobertura muerta. Se hicieron tres repeticiones en maíz y cinco repeticiones para café.

El diseño del experimento se planteó como un factorial de 16 con 3 y 5 bloques respectivamente completos al azar, para cada cultivo.

Se realizaron dos tipos de análisis de varianza: a) por muestreo en el tiempo; b) incluyendo al muestreo como una fuente de variación, considerando todas las interacciones posibles entre el muestreo y las demás fuentes de variación.

El modelo lineales en el primer caso se plantea como sigue:

$$a. \quad Y_{ijkl} = u + B_i + S_j + N_k + F_l + (S \times N)_{jk} + (S \times F)_{jl} + (F \times N)_{lk} + (S \times N \times F)_{jkl} + E_{ijkl}$$

Y_{ijkl} = cualquiera de las variables dependientes que se consideran

u = media de la población

B_i = efecto del bloque i -ésimo

S_j = el efecto de la especie j -ésima

N_k = efecto del nivel de cobertura muerta k -ésimo

F_l = efecto del nivel de fertilizante mineral l -ésimo

$(S \times N)_{jk}$ = efecto de la especie j -ésima en el nivel k -ésimo

$(S \times F)_{j1}$ = efecto de la especie j -ésima con el nivel de fertilizante 1-ésimo

$(F \times N)_{lk}$ = efecto del nivel de fertilizante 1-ésimo con el nivel de cobertura muerta k -ésimo

$(S \times N \times F)_{jkl}$ = efecto de la especie j -ésima en el nivel k -ésimo con el nivel de fertilizante mineral k -ésimo E_{ijkl} = es un efecto aleatorio

En el segundo caso el modelo es similar agregando como fuente de variación al muestreo en el tiempo, y todas las interacciones que este genera con las demás fuentes de variación ya expuestas (bloque, especie, nivel de cobertura muerta y fertilizante).

Los niveles de significancia fueron 1 y 5 por ciento.

Se realizó en cada caso un análisis de contraste para la fuente de variación nivel de cobertura muerta, estos contrastes fueron lineales, cuadráticos y cúbicos. Además se efectuaron las correlaciones entre todas las variables.

3.3.2 Experimento del efecto de la cobertura muerta en la germinación y crecimiento inicial de los cultivos.

En la investigación para determinar el efecto de diferentes niveles de residuos, se plantea con un diseño completamente al azar con 16 tratamientos con seis repeticiones para cada cultivo.

En él se compara para cada cultivo (café y maíz), el efecto del nivel de cobertura muerta (cuatro niveles) de cada *Inga* (dos especies) y de su localización en la maceta (superficial e incorporado).

El modelo lineal correspondiente se desarrolla como sigue:

$$Y_{ijkl} = u + S_j + T_k + C_l + (S \times T)_{jk} + (S \times C)_{kl} + (T \times C)_{kl} + (S \times T \times C)_{jkl} + E_{ijkl}$$

Y_{ijkl} = cualquiera de las variables dependientes que se consideran

u = media de la población

S_j = efecto de la especie j -ésima

T_k = efecto de la localización de la cobertura muerta k -ésimo

C_l = efecto de la cantidad de cobertura muerta l -ésimo

$(S \times T)_{jk}$ = efecto de la especie j -ésima con la localización de cobertura muerta k -ésimo

$(S \times C)_{jl}$ = efecto de la especie j -ésima en la cantidad l -ésima

$(T \times C)_{kl}$ = efecto de la localización de cobertura muerta k -ésimo en la cantidad l -ésima

$(S \times T \times C)_{jkl}$ = efecto de la especie j -ésima de la localización de cobertura muerta k -ésimo en la cantidad l -ésima

E_{ijkl} = error aleatorio

Los niveles de significancia fueron 1 y 5 por ciento. También se efectuó un análisis de contrastes y correlaciones similares a los del experimento anterior.

4. RESULTADOS

Se realizó un ANDEVA por muestreo en el tiempo y uno general que incluye a la época de muestreo como una de las fuentes de variación. En cada caso se presenta el análisis de varianza general, y se discuten los resultados por muestreo en el tiempo. Esta información se presenta en el Anexo pág (103).

4.1 Experimento de Fertilidad.

4.1.1 Café.

4.1.1.1 Parámetros de crecimiento del cafeto.

En los Cuadros 1aA-1dA se presentan los niveles de significación de los ANDEVA para los datos de los parámetros de crecimiento del cafeto.

No se encontraron efectos de la especie de cobertura muerta en los parámetros de crecimiento del cafeto. Se destacó, en cambio, el efecto de los niveles de cobertura muerta sobre los pesos secos total y de la parte aérea (ver también Fig. 1) y sobre el largo de las raíces. El largo de las raíces aumentó en promedio 5 por ciento. Los pesos secos de la sección aérea y total aumentaron progresivamente (18%-20% para el nivel más alto). La longitud de la sección aérea y el peso de la raíz mostraron tendencias similares, pero no significativas. En el Cuadro 2 se presentan los valores absolutos para todos los parámetros de crecimiento analizados, comparando testigos con el nivel más alto de cobertura muerta.

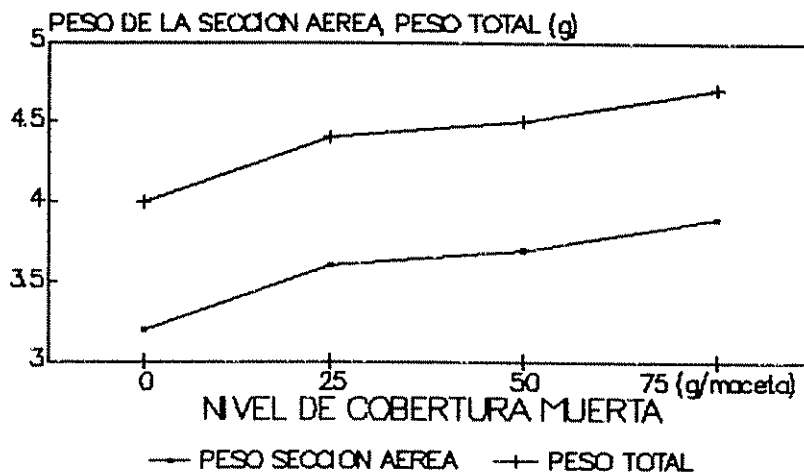


Figura 1. Efecto de los niveles de cobertura muerta sobre el peso total y de la sección aérea de las plántulas de café.

Cuadro 2. Efecto de los niveles de cobertura muerta en los parámetros de crecimiento del café.

parámetro de crecimiento	cobertura muerta	
	nivel 0 (1)	nivel 3 (2)
Largo sección aérea (cm)	15,8	16,6
Largo raíz (cm)	27,0	28,3
Peso sección aérea (g)	3,2	3,9
Peso raíz (g)	0,8	0,8
Peso total (g)	4,0	4,7

(1): testigo; (2): 75 g de cobertura/maceta, equivalente a 24 t ha⁻¹.

Además del efecto de los niveles de cobertura, se observó que el fertilizante agregado produjo un aumento entre

7 y 8 por ciento de todos los pesos.

Hubo una interacción entre la especie y nivel de cobertura y el fertilizante para el peso seco de la sección aérea y el peso total. Igualmente se observó un aumento de todos los parámetros en relación al tiempo.

Los contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta presentaron una tendencia lineal muy significativa respecto al peso seco de la sección aérea y al peso total.

Se observó una correlación muy significativa entre peso total y los pesos secos de la sección aérea y radical. También estos dos últimos se correlacionaron en forma muy significativa. Los valores correspondientes de r variaron entre 0,72-0,99 para los tres muestreos en el tiempo.

4.1.1.2 Nutrimientos en el suelo del cafeto.

Durante el desarrollo del experimento se produjeron cambios en la composición del suelo, como consecuencia de los tratamientos y de la sustracción de nutrimentos por las plantas (Cuadro 2aA).

La especie de cobertura muerta influyó en forma significativa en la cantidad de Ca, en la acidez extraíble y en el porcentaje de saturación de acidez. Como puede observarse en el Cuadro 3 la cantidad de Ca bajo *I. densiflora* fué mas alta que bajo *I. edulis*; consecuentemente, los valores de acidez extraíble y porcentaje de saturación de acidez fueron más altos bajo *I. edulis*.

Cuadro 3. Concentración de Ca, acidez extraíble y porcentaje de saturación de acidez en el suelo del cafeto en relación a la especie de cobertura muerta.

Espece	Ca cmol(+)L ⁻¹	acidez extraíble cmol(-)L ⁻¹	Saturación de acidez porcentaje
<i>I. densiflora</i>	4,20	1,88	22,91
<i>I. edulis</i>	4,09	2,00	24,38

El nivel de cobertura muerta influyó notoriamente en la cantidad de nutrimentos y características químicas del suelo. Así, se observaron aumentos significativos en el caso de la materia orgánica (3% en promedio) y del K (18% para el nivel más alto) (Fig. 2a). Sin embargo, se observaron disminuciones significativas progresivas en el caso del Ca (9% para el nivel más alto) y del Mg (14% para el nivel más alto), lo que trajo como consecuencia una disminución de la capacidad de intercambio catiónica efectiva (7% en promedio) y un aumento del porcentaje de saturación de acidez (10% para el nivel más alto) (Fig. 2 b,c). En el caso del pH, se observó un aumento respecto al testigo en el primer nivel, disminuyendo levemente para los niveles mayores de cobertura. El nivel de cobertura muerta no tuvo ninguna influencia en los niveles de P y de N total, ni en la acidez extraíble.

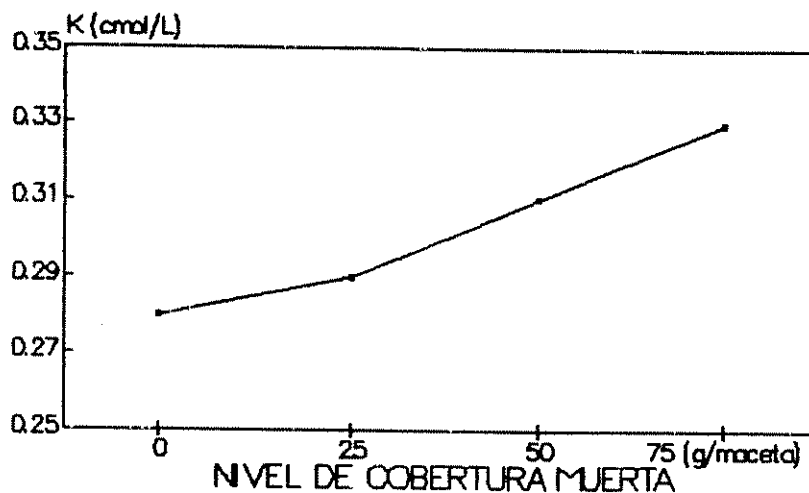


Figura 2a. Efecto de los niveles de cobertura muerta en la concentración de K en el suelo en el café.

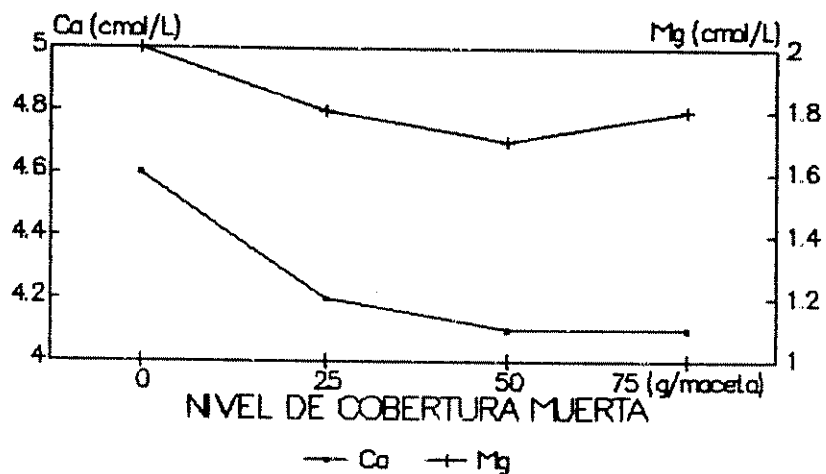


Figura 2b. Efecto de los niveles de cobertura muerta en la concentración de Ca y Mg en el suelo en el café.

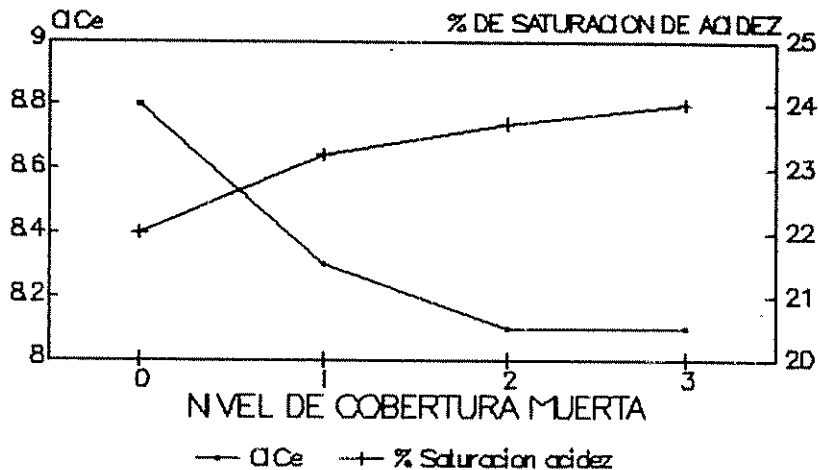


Figura 2c. Efecto de los niveles de cobertura muerta en la CICE y en el porcentaje de saturación de acidez en el suelo del cafeto.

Los fertilizantes produjeron un efecto muy significativo en las características nutricionales del suelo. Los aumentos más notables se observaron en el caso del N inorgánico (74%, de 6,8 a 11,9 mg kg⁻¹), del P (34%) y del K (10%). Calcio, Mg, CICE y acidez extraíble aumentaron entre un 3-4 por ciento en relación al testigo y el pH bajó en una proporción similar.

Considerando los cambios en el tiempo, los cuales se refieren a las distintas épocas de muestreo se observaron disminuciones significativas de P (49%); K (39%); N total (12%); Mg (9%); Ca (4%); pH (10%) y materia orgánica (2%). Por otro lado, se produjo un aumento de acidez extraíble (53%); % de saturación de acidez (46%) y un leve aumento de la CICE (4%). En el caso del N inorgánico (nitratos más amonio), no se realizaron mediciones en el primer muestreo en el tiempo; comparando segundo y tercer muestreo en el tiempo

se apreció una disminución del 25 por ciento; los nitratos bajaron de 9,6 a 3,6 mg kg⁻¹, y se acumuló amonio (0,8 a 4,2 mg kg⁻¹).

Se observaron interacciones entre los muestreos en el tiempo respecto a la especie y nivel de cobertura y al fertilizante aplicado:

i) Las diferencias entre la especie de cobertura muerta se dieron en el primer y segundo muestreo en el tiempo.

ii) Calcio, Mg y CICE disminuyeron en los dos primeros muestreos en el tiempo. Como consecuencia, aumentó el porcentaje de saturación de acidez. El pH aumentó ligeramente en estos dos muestreos en el tiempo.

iii) La aplicación de fertilizantes produjo los siguientes efectos significativos en el tiempo: en el primer y segundo muestreo disminuyó ligeramente el pH y aumentó el P. En el segundo y el tercero aumentaron el N inorgánico, el K y la CICE y disminuyó el Mg. En el primer muestreo aumentó el N total y el Ca y disminuyó el porcentaje de saturación de acidez.

Se observaron interacciones triples sobre todo en el caso del Ca y de la CICE (muestreo x especie x nivel, muestreo x nivel x fertilizante, muestreo x especie x fertilizante).

Los contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta fueron muy significativos en la tendencia lineal para la M.O., K, Ca, Mg, CICE y el porcentaje de saturación de acidez. Para la tendencia cuadrática fueron muy significativos para el pH, Ca, Mg, CICE, y significativo para la materia orgánica.

En todos los muestreos en el tiempo se observaron correlaciones significativas entre Ca y CICE, y entre acidez

extraíble y porcentaje de saturación de acidez, con valores de $r = 0,67-0,92$.

4.1.1.3 Nutrientes en el tejido vegetal del café.

Se presenta a continuación la información obtenida en cuanto al efecto de los tratamientos en el contenido de nutrientes de los tejidos de la sección aérea y radical del café. El Cuadro 4aA corresponde al ANDEVA de la composición de la parte aérea; se aportará la información que corresponda a la raíz cuando difiera significativamente de la composición de la sección aérea.

La especie de cobertura no determinó diferencias significativas en los valores de ninguna de las variables. Sin embargo, se observaron interacciones entre niveles y especie de cobertura muerta respecto al contenido de P, Ca y Mg del café, del tipo que se presenta en la Fig.3.

Los distintos niveles de cobertura muerta determinaron diferencias significativas en la cantidad de nutrientes del café. En la sección aérea hubo un aumento progresivo, que para el nivel más alto fue de 25 % en el caso del K, 22% N y Ca y 15% P (Fig.4 y 5). El manganeso es el elemento que aumentó en mayor magnitud (45%), de 0,6 mg en el testigo a 0,86 mg para el nivel más alto de cobertura. En la raíz (Cuadro 5aA), se observó un aumento progresivo significativo de K y Mn (aproximadamente 15%), mientras que el Cu disminuyó (9% en promedio).

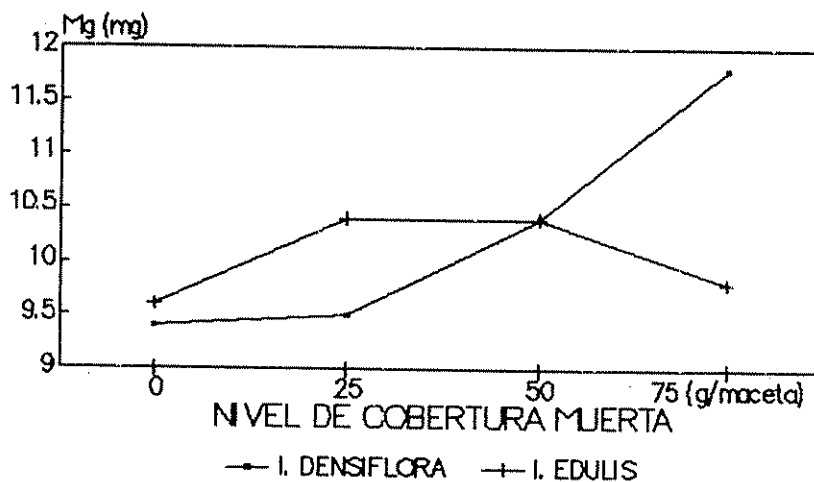


Figura 3. Interacción de la especie y nivel de cobertura muerta en el contenido de Mg del tejido vegetal de la sección aérea de las plántulas de cafeto.

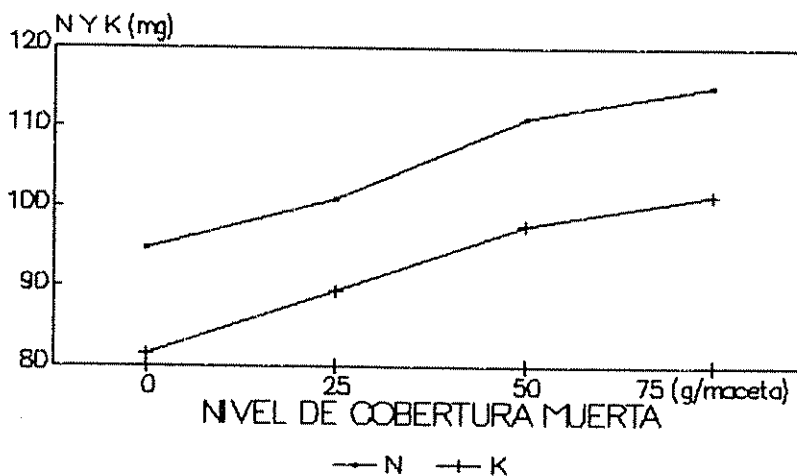


Figura 4. Efecto de los niveles de cobertura muerta en los contenidos de N y K en el tejido vegetal de la sección aérea de las plántulas de cafeto.

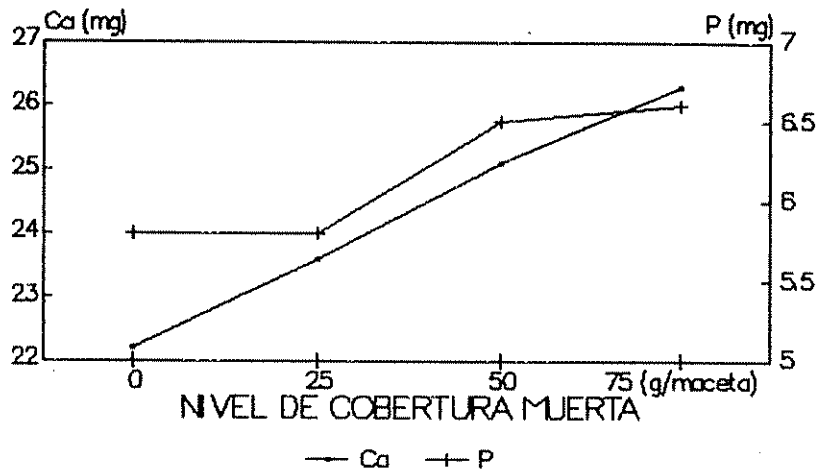


Figura 5. Efecto de los niveles de cobertura muerta en el contenido de P y Ca en el tejido vegetal de la sección aérea de las pántulas de café.

Cuadro 4. Concentración de los nutrimentos en el tejido vegetal de la sección aérea del café en el tiempo y según nivel de cobertura muerta.

Tiempo meses	Nivel de cobertura muerta (1)	N	P	K %	Ca	Mg	Cu ppm	Mn
1	0	3,60	0,16	2,81	0,59	0,36	—	211,54
1	\bar{x}	3,62	0,18	3,07	0,56	0,33	—	216,36
1	%	101	113	109	95	92	—	102
2	0	3,04	0,21	2,96	0,76	0,32	50,98	211,77
2	\bar{x}	3,11	0,21	3,02	0,74	0,30	49,70	220,19
2	%	102	100	102	97	94	86	104
3	0	2,83	0,16	2,28	0,66	0,28	21,00	171,92
3	\bar{x}	2,79	0,15	2,31	0,65	0,26	19,49	204,56
3	%	99	94	101	99	93	93	119

(1) el porcentaje de variación es de el promedio (x) de los niveles de cobertura muerta respecto al nivel 0 (testigo)

El fertilizante aplicado mostró influencias muy significativas en la composición del tejido del cafeto: N, P, K y Ca aumentaron entre 11 y 13 por ciento respecto al testigo. El efecto fué mayor en el caso de los elementos menores, con un aumento de 25% para el Cu y 45% para el Mn. En la raíz se produjo un aumento de: Mn (33%); Ca (17%); N y K (13%).

Hubo aumento del contenido de todos los nutrimentos en el tejido vegetal del cafeto en el tiempo, tanto en la sección aérea como en la raíz, sin embargo, la concentración de nutrimentos disminuyó (Cuadro 4).

Se observaron interacciones entre tiempo de muestreo respecto a niveles de cobertura y fertilizante:

i) en relación a los niveles de cobertura muerta, se observó aumento de Mn en el segundo y tercer muestreo en el tiempo y de Cu en el primero.

ii) en relación al fertilizante, se observó aumento de Mn en el segundo y tercer muestreo en el tiempo y un ligero aumento de K en el segundo muestreo en el tiempo en la sección aérea. En la raíz nuevamente se observó aumento de Mn en el segundo y tercer muestreo, y de Ca y N en el tercero.

Se observaron fuertes interacciones entre especie, niveles de cobertura muerta y fertilizante para todos los macronutrientes analizados.

Los contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta presentaron para la sección aérea una tendencia lineal muy significativa para N, P, K, Ca y Mn, y significativa para Mg. Para los tejidos de la raíz, hubo tendencia lineal significativa para K, Cu y Mn; también la hubo cuadrática muy significativa para Cu y significativa para Mg y Mn.

4.1.2 Maíz.

4.1.2.1 Parámetros de crecimiento del maíz.

Para conocer los efectos de los diferentes tratamientos sobre los parámetros de crecimiento del maíz se presenta un ANDEVA general en el Cuadro 6aA.

Del cuadro citado anteriormente se destaca que no hay diferencia en cuanto al efecto de la especie de cobertura muerta proveniente de las dos especies de *Inga* en estudio.

Sin embargo, los niveles de cobertura muerta tuvieron un efecto muy significativo en relación al peso de la parte aérea y como consecuencia de ello, sobre el peso total. El efecto fué mayor (24% de aumento para ambos pesos) con el nivel intermedio de cobertura muerta, equivalente a 16 t ha^{-1} (Figura 6).

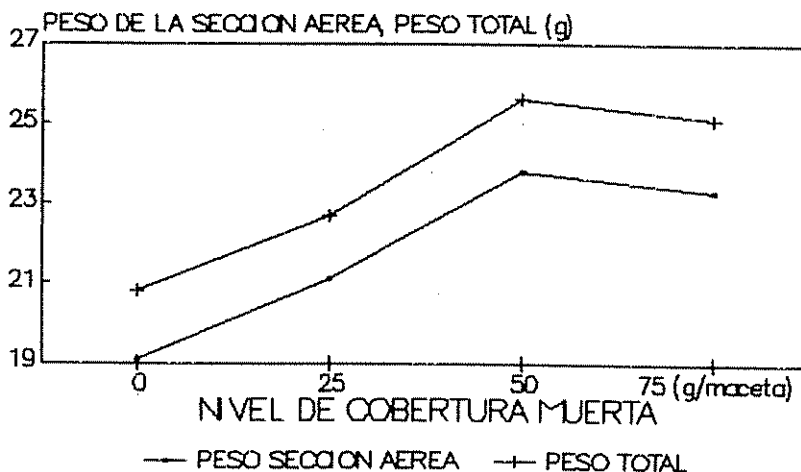


Figura 6. Efecto de los niveles de cobertura muerta sobre el peso total y de la sección aérea de las plántulas de maíz.

La fertilización produjo un incremento muy significativo de todos los pesos (43-57%) y del largo de la sección aérea (27%). A su vez, se observó una interacción entre el fertilizante y la especie de cobertura muerta para largo y peso seco de la raíz, los que aumentaron en mayor proporción bajo *I.densiflora*.

En el tiempo se observaron interacciones respecto a niveles de cobertura muerta y al fertilizante:

i) el efecto de los niveles fué mayor en el primer y segundo muestreo en el tiempo para los pesos de la sección aérea y total, y en el primer muestreo en el tiempo para largo de la sección aérea.

ii) los mayores aumentos bajo fertilizantes se observaron en el segundo y tercer muestreo en el tiempo para largo de tallo y peso de raíz, y en el primer y segundo muestreo en el tiempo para los pesos de la sección aérea y total.

Los contrastes ortogonales para el nivel del cobertura muerta fueron muy significativos para la tendencia lineal, para el peso seco de la sección aérea y el peso total.

Se obtuvieron correlaciones muy significativas entre peso de la raíz respecto a los pesos de la sección aérea y total ($r=0,64-0,75$) y valores de $r=1$ para la correlación peso sección aérea-peso total.

4.1.2.2 Nutrientes en el suelo del maíz.

Para conocer el efecto de los diferentes tratamientos sobre el suelo en que fué sembrado el maíz, los datos se sometieron a un ANDEVA que se presenta en el Cuadro 7aA.

La especie de cobertura muerta produjo un aumento ligero

para el N (1,4%) con *Inga edulis*.

Los niveles de cobertura muerta solo afectaron significativamente a dos nutrientes: K y N inorgánico (tanto al total, como a sus componentes en particular). En el caso del K (Fig. 7) se observó un aumento progresivo (15% para el nivel más alto) y en el caso del N inorgánico un aumento en promedio de 158 por ciento. La mayor proporción de N inorgánico correspondió a nitratos (Fig 8). En el cuadro 5a y 5b se presenta la magnitud de los valores de los distintos parámetros analizados.

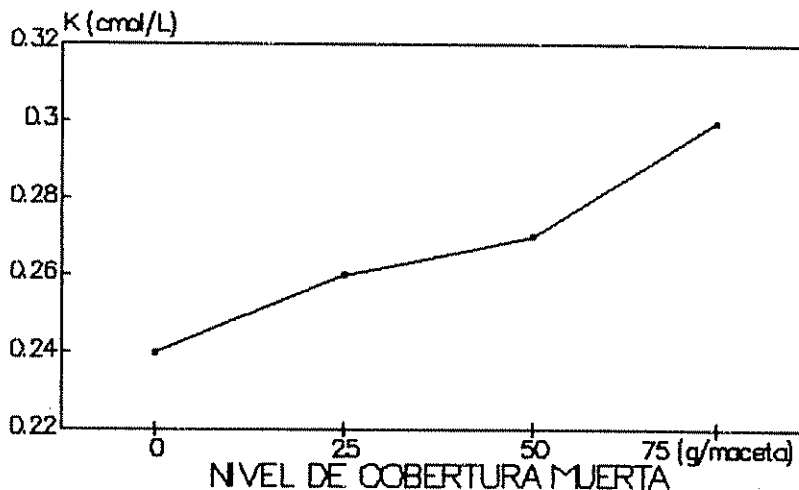


Figura 7. Efecto de los niveles de cobertura muerta en la concentración de K en el suelo en el maíz.

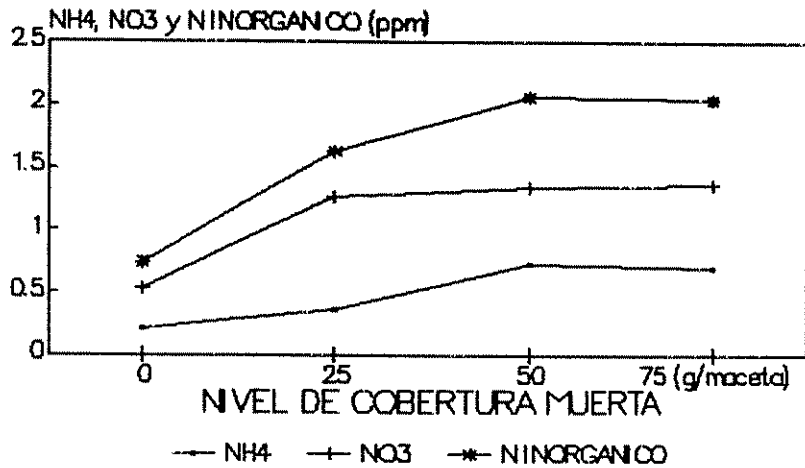


Figura 8. Efecto de los niveles de cobertura muerta en las concentraciones de nitratos, amonio y nitrógeno inorgánico en el suelo en el maíz.

Cuadro 5a. Concentración de nutrimentos en relación al promedio de los niveles de cobertura muerta en el suelo del maíz.

Niveles de coberura	N %	P ppm	Nutrimentos		
			K	Ca	Mg
cmol ⁽⁺⁾ L ⁻¹					
promedio de niveles	0,32	19,10	0,28	3,97	1,71
nivel 0	0,31	18,92	0,24	4,05	1,76

Cuadro 5b. Características químicas del suelo del maíz en relación al promedio de los niveles de cobertura muerta.

niveles de cobertura	pH	M.O. %	ac.ext.(1) cmol ⁽⁺⁾ L ⁻¹	CICe cmol ⁽⁻⁾ L ⁻¹	Sat. ac.(2) porcentaje
promedio de niveles	5,6	5,58	1,66	7,64	21,82
nivel 0	5,6	5,53	1,71	7,76	22,23

(1): ac. ext.= Acidez extraíble; (2): Sat. ac.= Saturación de acidez.

En presencia de fertilizante se observó un aumento del P (27%) y del N inorgánico (47%). El aumento de N inorgánico se debió fundamentalmente al aumento de nitratos (58%). El pH disminuyó ligeramente (2%).

Con el transcurso del tiempo se produjo un aumento en el Ca (21%), CICe (14%), Mg (12%), acidez extraíble (9%) y pH (7%); a su vez disminuyó el fósforo (43%), el potasio (40%), la materia orgánica (10%), el porcentaje de saturación de acidez (5%) y el nitrógeno total (3%). También hubo una disminución de los nitratos (49%) y del N inorgánico (46%) en los muestreos en el tiempo dos y tres (no se midió el primer muestreo).

La aplicación de fertilizante produjo interacciones con la especie y los niveles de cobertura muerta solo en el caso del P (más alto para *I.edulis* y en el caso de los niveles uno y dos). También produjo los siguientes efectos significativos en el tiempo: en el primero y segundo muestreo el pH disminuyó y el P aumentó; la acidez extraíble aumentó en el primer muestreo en el tiempo y disminuyó en el segundo;

en el segundo muestreo disminuyó levemente el porcentaje de saturación de acidez.

Se observaron interacciones triples entre tiempo, especie de cobertura muerta y fertilizante en el caso de P, nitratos y N inorgánico.

Los contrastes ortogonales para el análisis de suelos, tuvieron tendencia lineal significativa para N y acidez extraíble y muy significativa para K. El pH fué significativo para la tendencia cúbica. Los contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta fueron muy significativos para la tendencia lineal en las variables, nitrato, amonio y N inorgánico.

Se encontraron correlaciones muy significativas para los tres muestreos en el tiempo entre Ca-CICE, Mg-CICE y acidez extraíble-porcentaje de saturación de acidez ($r=0,59-0,91$).

4.1.2.3 Nutrimientos en el tejido vegetal del maíz.

Los resultados de los análisis químicos del tejido vegetal de la sección aérea y de las raíz del maíz se sometieron a análisis de varianza, los cuales se presentan en los Cuadros 9aA y 10aA.

No se produjo efecto de la especie de cobertura muerta en la sección aérea. Para la raíz se presentaron valores inferiores con *I. edulis* en relación a *I. densiflora* para: Zn (33%); Ca y Mg (14%); K (12%); P y N (11%). (Cuadro 6)

Cuadro 6. Efecto de la especie de cobertura muerta sobre el contenido de nutrimentos en los tejidos de la raíz del maíz.

Especie	Nutrimentos					
	N	P	K	Ca	Mg	Zn
	miligramos					
<i>I. densiflora</i>	24,73	2,45	22,20	2,93	1,70	0,04
<i>I. edulis</i>	22,00	2,07	19,61	2,53	1,47	0,03

Los niveles de cobertura produjeron aumentos para varios nutrimentos en la sección aérea del maíz, destacándose el nivel intermedio de cobertura, para el cual se señalan los porcentajes de aumento: K (40%); N (32%); P y Ca (22%); Zn (24%) y Mg (20%) (Fig.9a y 9b). En el caso de la raíz se produjo un aumento de P (14% para el nivel intermedio) y una disminución de Ca, (2%), especialmente para el nivel más bajo de cobertura muerta (Cuadro 7a y 7b).

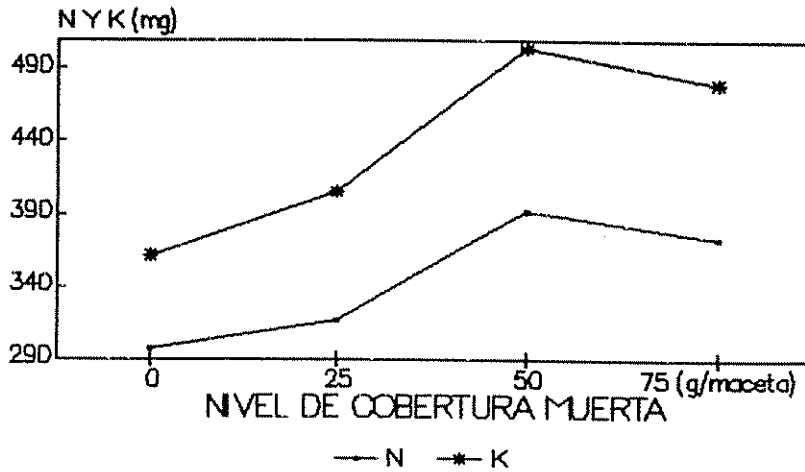


Figura 9a. Efecto de los niveles de cobertura muerta en el contenido de N y K de la sección aérea del tejido vegetal de las plántulas de maíz.

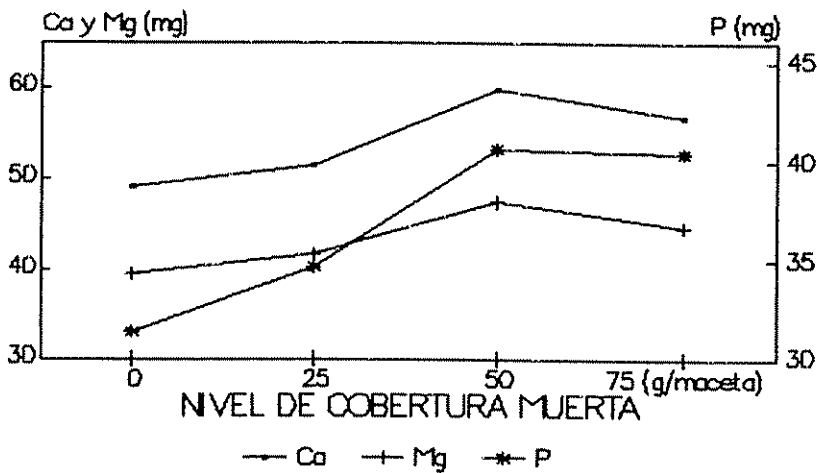


Figura 9b. Efecto de los niveles de cobertura muerta en el contenido de P, Ca y Mg de la sección aérea del tejido vegetal de las plántulas de maíz.

Cuadro 7a. Concentración de nutrimentos en el tejido vegetal de la sección aérea del maíz en el tiempo y según nivel de cobertura muerta.

Tiempo	Nivel de cobertura (1)	N	P	K %	Ca	Mg	Cu	Zn ppm	Mn
1	0	2,74	0,21	3,60	0,37	0,28	22,97	27,14	109,60
1	\bar{x}	2,80	0,24	3,76	0,37	0,27	21,27	29,27	100,74
1	%	102	114	104	100	96	93	108	92
2	0	1,48	0,15	1,83	0,24	0,19	13,81	22,10	74,59
2	\bar{x}	1,52	0,15	1,94	0,22	0,18	12,58	22,00	76,59
2	%	103	100	106	92	95	91	100	103
3	0	1,23	0,16	1,38	0,23	0,19	16,24	24,03	83,933
3	\bar{x}	1,16	0,16	1,42	0,22	0,18	17,67	24,34	78,223
3	%	94	100	103	96	95	109	101	93

(1): el porcentaje de variación del promedio (\bar{x}) de los niveles de cobertura muerta respecto al nivel 0 (testigo).

Cuadro 7b. Concentración de nutrimentos en el tejido vegetal de la raíz del maíz en el tiempo y según nivel de cobertura muerta.

Tiempo	Nivel de meses de cobertura(1)	N	P	K %	Ca	Mg	Cu	Zn ppm	Mn
1	0	1,80	0,14	1,64	0,24	0,13	79,37	39,00	174,60
1	\bar{x}	1,76	0,15	1,77	0,21	0,14	89,18	21,51	173,37
1	%	98	107	108	88	108	112	55	99
2	0	1,45	0,14	0,95	0,17	0,09	101,16	21,51	133,72
2	\bar{x}	1,30	0,14	1,02	0,14	0,08	77,09	13,99	98,89
2	%	90	100	107	82	89	76	65	74
3	0	1,06	0,11	1,06	0,14	0,08	88,89	15,46	86,96
3	\bar{x}	1,11	0,12	1,05	0,13	0,07	81,92	17,73	88,10
3	%	105	109	99	93	88	92	115	101

(1): el porcentaje de variación del promedio (\bar{x}) de los niveles de cobertura muerta respecto al nivel 0 (testigo).

El fertilizante produjo un efecto muy marcado en los nutrimentos de la raíz y la sección aérea. En esta última se observaron los siguientes aumentos: N y Mn aproximadamente 100%; P, K, Ca y Mg entre 60-70%; Cu y Zn entre 40-50%. En la raíz los aumentos fueron de 77% en el caso de N, 50-60% para P, Ca, Mg y Mn; 30% para K y Zn y 14% para Cu.

Se apreció una interacción entre la especie de cobertura muerta y el fertilizante, en todos los casos los valores fueron mayores con *I. densiflora* que con *I. edulis*. En la parte aérea los nutrimentos afectados fueron N, P, K, Ca, Mg y Mn; en la raíz N, P, K, Ca, Mg, Cu y Mn. También se observó una interacción entre nivel de cobertura muerta y fertilizante en la parte aérea: K y Zn aumentaron especialmente en el segundo nivel y Cu aumentó especialmente en el tercero.

En el tiempo se produjo un aumento de los siguientes elementos en la sección aérea: P y Mg aproximadamente 70%, Ca 50%, Cu, Zn y Mn aproximadamente 100%. El N solo aumentó un 9% y el K disminuyó 4%. En la raíz los valores de aumento fueron de 48% para P, 9-13% para N, K y Ca, 72% para Cu y 23% para Zn. El Mn disminuyó 5%. La concentración de nutrimentos en el tiempo disminuyó tanto en la sección aérea como radical (Cuadro 7a y 7b).

En el tiempo se observaron interacciones con la especie, los niveles de cobertura muerta y el fertilizante: i) respecto a la especie, la raíz en el tercer muestreo en el tiempo produjo valores mayores para *I. densiflora* en relación a *I. edulis* para N, P y Mg.

ii) El efecto de los niveles de cobertura muerta en la composición del tejido de la parte aérea fué mayor en el primero y segundo muestreo en el tiempo para todos los nutrimentos considerados, estos valores de aumento se produjeron con los niveles dos y tres. En el tercer muestreo

en el tiempo se produjo un descenso en relación a los niveles para los siguientes elementos: Ca, Mg, Cu, Zn y Mn.

ii) El efecto de los fertilizantes en la parte aérea, produjo un aumento en todos los nutrimentos salvo Ca y Cu.

En la raíz se produjo un aumento para el P en los tres muestreos en el tiempo y un aumento para el Cu en los dos primeros.

La interacción especie por fertilizante en la sección aérea fué muy significativa para todas las variables. En la raíz sucedió algo similar salvo para el Zn. Siempre hubo mayor aumento en relación al fertilizante para *I. densiflora*.

Los contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta para la sección aérea fueron muy significativos para la tendencia lineal para N, P, K, Ca, Mg y Zn y significativa para Mn. También fueron muy significativas para la tendencia cúbica, el N y el K.

En la raíz fueron significativos el P y el Zn para la tendencia lineal; el Mn para la cuadrática y también fueron significativos y muy significativos el P y el Ca, respectivamente, para la tendencia cúbica.

4.1.3 Medición de la radiación en el invernadero.

En la Figura 10a se presentan los valores promedio de radiación registrados cada 10 minutos. En la Figura 10b se presentan los valores acumulados, registrados durante cuatro meses. Se puede apreciar la amplia diferencia entre los registros en el exterior y en el interior del invernadero. Las condiciones experimentales determinaron un flujo total de fotones 9,13 veces menor en el interior que en el exterior del invernadero para el periodo de experimentación.

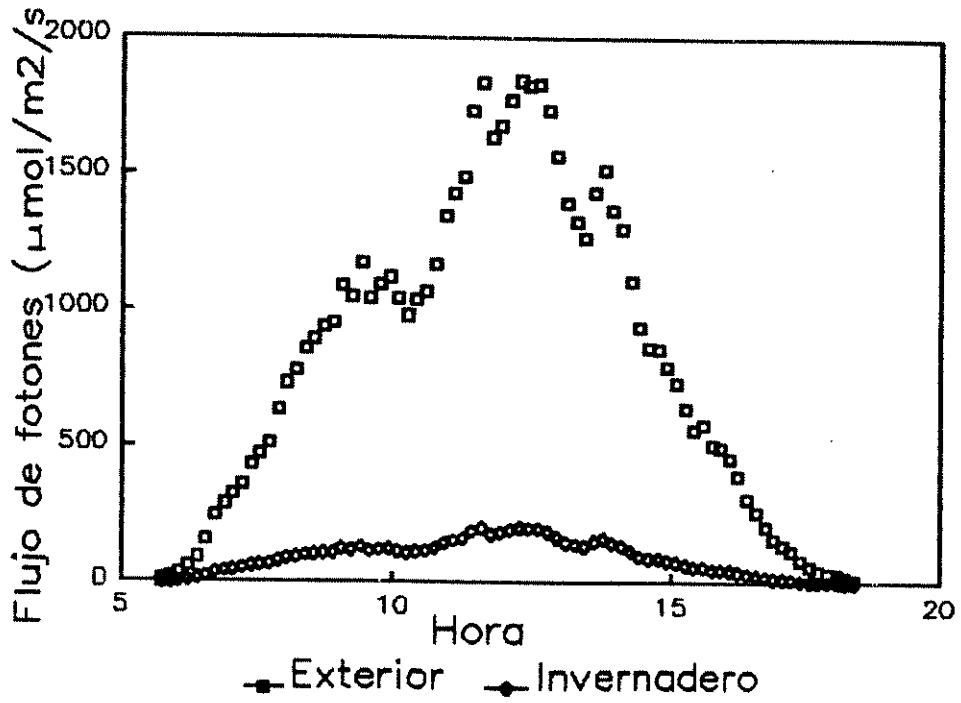


Figura 10a. Variación diaria de la densidad del flujo de fotones fotosintéticamente activos.

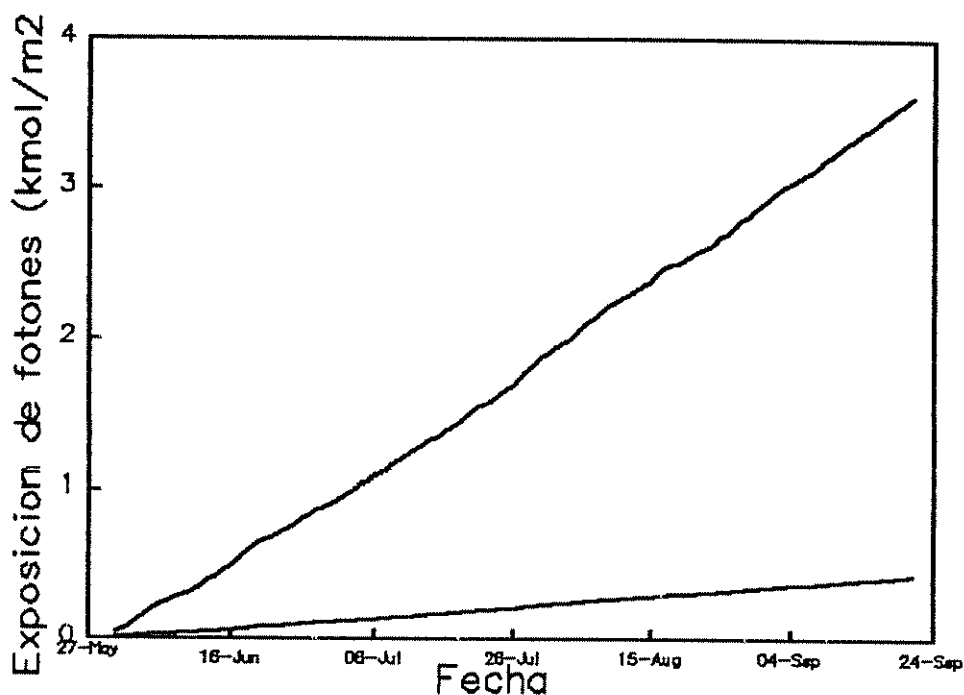


Figura 10b. Exposición acumulativa de fotones fotosintéticamente activos (línea superior indica exterior del invernadero).

4.2 Efectos de la cobertura muerta en la germinación y el crecimiento inicial de café y maíz.

4.2.1 Cafeto.

En el Cuadro 11aA se presenta el ANDEVA para los datos sobre los efectos de la cobertura muerta en la germinación y el crecimiento inicial de café.

La especie de cobertura muerta produjo un incremento en el peso de la sección aérea (9%) y en el peso total (10%), para *Inga edulis* respecto a *I. densiflora* (Cuadro 8).

Los niveles de cobertura disminuyeron el porcentaje de germinación en promedio 3 por ciento.

La localización en forma incorporada de la cobertura muerta produjo un aumento del largo (10%) y del peso seco de la raíz (13%) en relación a la localización superficial.

Cuadro 8. Efecto de la especie y localización de la cobertura muerta en el crecimiento inicial de las plántulas de cafeto.

Especie y localización de la cobertura (1)	parámetros de crecimiento				
	LSA (cm)	LR	PSSA	PSR (g)	PT
<i>I. densiflora</i>					
Superficial	10,11	20,68	1,17	0,25	1,42
%	99	92	100	86	97
Incorporada	8,97	23,57	1,17	0,28	1,46
%	88	105	100	97	100
<i>I. edulis</i>					
Superficial	9,86	22,32	1,25	0,27	1,52
%	97	99	107	93	104
Incorporada	10,40	24,08	1,32	0,31	1,64
%	102	107	113	107	112
Testigo	10,18	22,52	1,17	0,29	1,46

(1): porcentajes en relación al testigo.

(2): LSA= largo de la sección aérea; LR= largo de la raíz; PSSA= peso seco de la sección aérea; PSR= peso seco de la raíz; PT= peso total.

Hubo una interacción del nivel de cobertura muerta y la localización para el largo de la raíz, observándose ascendente con el aumento de los niveles de cobertura muerta. En la localización superficial sucedió lo contrario es decir a mayor nivel de cobertura muerta, el largo de la raíz fué menor.

Para la incorporación el peso de la sección aérea y total aumentaron con el tercer nivel, para la localización superficial hubo un incremento de peso de la sección aérea mayor en el nivel uno. En este caso la tendencia para la

localización incorporada fué ascendente y para la superficial descendente (Figura 11).

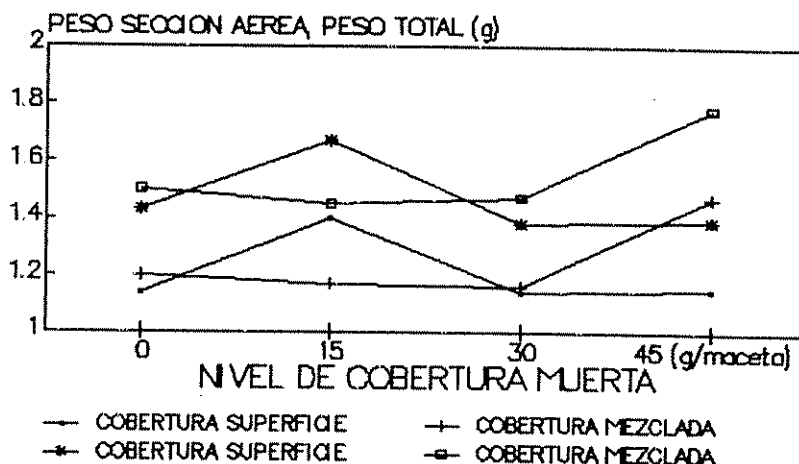


Figura 11. Interacción entre la especie de cobertura muerta y su localización sobre los pesos de la sección aérea y total de las plántulas de cafeto.

Los contrastes ortogonales para el nivel de cobertura muerta para el porcentaje de germinación y el peso seco del tallo del cafeto fueron significativos para la tendencia cúbica.

Hubo correlaciones muy significativas entre el peso seco de la raíz y el peso seco de la sección aérea ($r= 0,65$); entre el peso seco de la sección aérea y el peso seco total ($r= 0,99$); y entre el peso seco de la raíz y el peso seco total ($r= 0,75$).

4.2.2 Maíz.

En el Cuadro 12aA se presenta el ANDEVA de los efectos del cobertura muerta en la germinación y el crecimiento inicial del maíz.

No hubo efecto de la especie de cobertura muerta en la germinación ni en los parámetros de crecimiento del maíz.

Los niveles de cobertura muerta causaron un efecto de incremento progresivo sobre los pesos secos de la parte aérea (35%), peso seco de la raíz (38%) y peso total (36%). (Figura 12).

La localización de la cobertura muerta en profundidad produjo un porcentaje de germinación mayor (6%) que con la localización superficial.

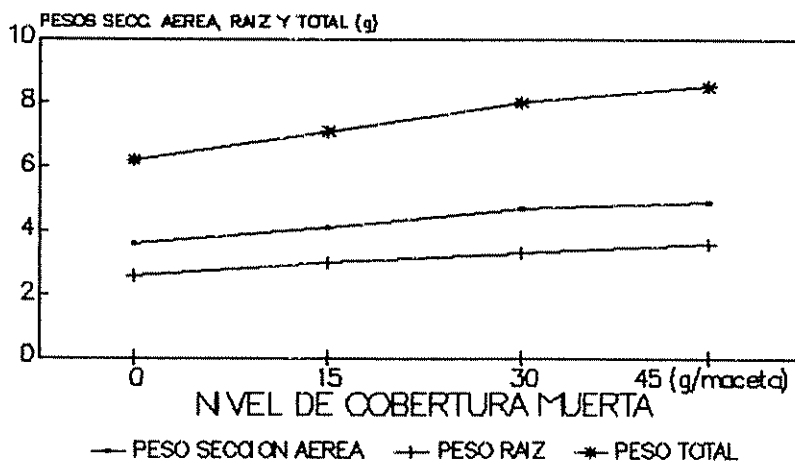


Figura 12. Efecto de los niveles de cobertura muerta sobre el peso de la raíz, de la sección aérea y total de las plántulas de maíz.

Cuadro 9. Efecto de la especie y localización de la cobertura muerta en el crecimiento de las plántulas de maíz.

especie y localización de la cobertura (1)	parámetros de crecimiento			
	LT cm	PSSA	PSR g	PT
<i>I. densiflora</i>				
Superficial	20,93	4,14	3,00	7,14
%	103	115	114	107
incorporada	21,53	4,50	3,50	7,99
%	106	125	133	120
<i>I. edulis</i>				
Superficial	22,57	4,48	3,10	7,57
%	111	124	117	114
incorporada	21,09	4,14	3,03	7,16
%	103	115	115	108
Testigo	20,39	3,60	2,64	6,65

(1): porcentajes en relación al testigo.

(2): LSA= largo de la sección aérea; PSSA= peso seco de la sección aérea; PSR= peso seco de la raíz; PT= peso total.

En la interacción especie de cobertura muerta-localización, con *I. densiflora*, en la localización superficial fueron menores los valores del largo de la sección aérea, peso seco de la sección aérea, peso seco de la raíz y el peso seco total, comparados con los valores obtenidos para *I. edulis*.

Hubo un leve ascenso en relación a los niveles, con la localización superficial, pero con un leve descenso en el nivel dos. En relación al peso seco de la raíz, para la localización incorporada existió un marcado ascenso en relación a los niveles de cobertura muerta. Con la

localización en superficie el efecto fué al inicio levemente ascendente, para luego descender con el nivel tres. En el peso seco total, ambas localizaciones incorporada y superficial tuvieron una tendencia de ascenso en relación a los niveles de cobertura muerta, siendo más marcado este efecto para la localización incorporada (Figuras 13 y 14).

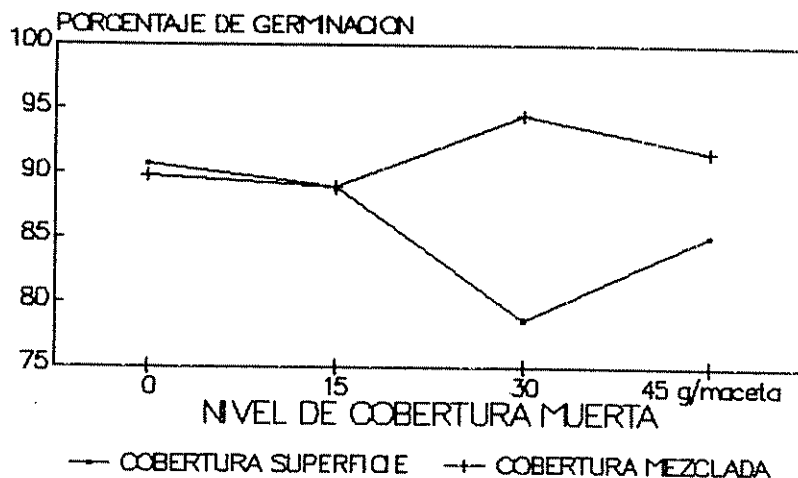


Figura 13. Interacciones entre los niveles y la localización de la cobertura muerta sobre el porcentaje de germinación en el maíz.

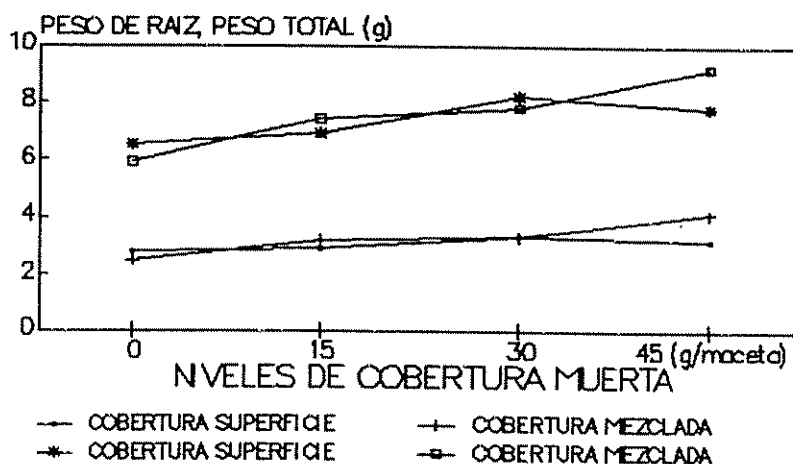


Figura 14. Interacciones entre niveles y localización de la cobertura muerta sobre el peso de la raíz y total de las plántulas de maíz.

Los contrastes ortogonales para el nivel de cobertura muerta fueron significativos para la tendencia lineal para el largo de la sección aérea y muy significativo para el peso seco, el peso seco de la raíz y el peso seco total.

Las correlaciones fueron muy significativas entre el peso seco de la raíz y el de la sección aérea ($r=0,80$); entre el peso seco de la sección aérea y el peso seco total ($r=0,96$) y entre el peso seco de la raíz y el peso seco total ($r=0,94$).

5. DISCUSION

5.1 Experimento de fertilidad.

5.1.1 Especie de cobertura muerta.

Datos de la bibliografía indican diferencias en la producción de cafetales bajo sombra de diferentes especies de *Inga*, como *I. jinicuil* e *I. leptoloba* (Jiménez y Martínez, 1979). En el presente estudio, las dos especies de *Inga* consideradas, *I. edulis* e *I. densiflora*, no tuvieron efectos en los parámetros de crecimiento en las fases iniciales de desarrollo vegetativo de café y maíz en condiciones de invernadero.

Sin embargo, en el caso de los suelos del café se observó que bajo *I. edulis* la cantidad de Ca fue menor y la acidez extraíble mayor que bajo *I. densiflora*, lo que trajo como consecuencia un aumento del porcentaje de saturación de acidez. Por otro lado, cuando se utilizaron niveles altos de cobertura de *I. edulis* (24 t ha⁻¹) se produjo una reducción en la absorción de P, Ca y Mg por el café, si bien no se alteraron los valores de los parámetros de crecimiento. Es probable que el tipo de materia orgánica producida por *I. edulis* genere una mayor acidificación y reduzca la absorción de estos nutrientes. De hecho, si bien no se encontraron diferencias significativas en la saturación de acidez según niveles de cobertura muerta con las especies, bajo *I. edulis* la saturación de acidez aumentó de 23,9 a 25,1 por ciento, cuando se pasó de 8 a 24 t ha⁻¹ de cobertura, mientras que bajo *I. densiflora* los valores respectivos fueron 22,6 a 23 por ciento.

En el caso del maíz, si bien no se encontraron diferencias significativas entre las variables medidas en el suelo, las tendencias respecto a Ca, acidez extraíble y

saturación de acidez fueron similares, es decir, la fertilidad del suelo fué menor bajo *I. edulis*. Por otro lado, la cantidad de nutrimentos en la raíz fueron menores que bajo *I. densiflora*, especialmente para los macronutrientes y el Zn.

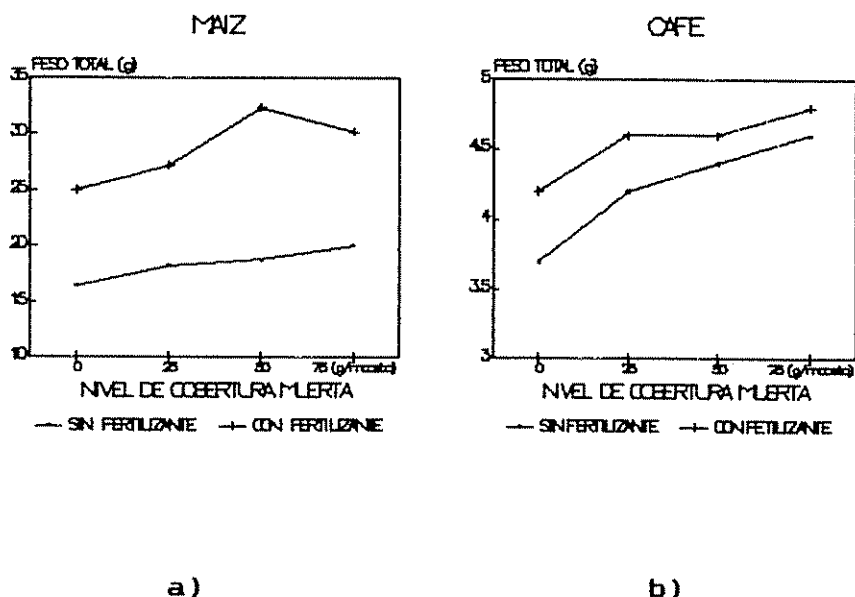
Resulta evidente, por lo tanto, que si bien las dos especies no difieren en su efecto sobre los parámetros de crecimiento, *I. densiflora* resulta más adecuada para mantener las condiciones de fertilidad de suelos y la absorción de nutrimentos, tanto de cultivos perennes como anuales. Palm (1988) ha encontrado que los niveles de polifenoles solubles en hojarasca de *I. edulis* son muy altos y determinan una reducción de la tasa de descomposición y consecuentemente de liberación de nutrimentos, así como también una reducción en la cantidad de C y N retenidos en la biomasa microbiana respecto a otras leguminosas como *Erythrina* sp. También destaca que no solo la cantidad de polifenoles sino la composición de los mismos puede afectar las tasas de descomposición y que el tipo de polifenoles difiere entre géneros de leguminosas. Dados los resultados del presente estudio, es posible que tales diferencias se den también a nivel de especies dentro de un mismo género.

5.1.2 Niveles de cobertura muerta.

Los pesos de ambos cultivos analizados aumentó con los niveles de cobertura en porcentajes similares (aproximadamente 20%). En el caso del cafeto el aumento fué progresivo, es decir, que los mayores valores se obtuvieron con el nivel más alto de cobertura muerta (24 t ha⁻¹), pero la tasa de incremento fué mayor entre el tratamiento sin cobertura muerta y el primer nivel (8 t ha⁻¹).

En el caso del maíz los mayores valores y la tasa mas alta se obtuvieron para el segundo nivel (16 t ha⁻¹).

Sin embargo, si se comparan las curvas de los pesos totales de maíz con y sin fertilizante (Fig. 15a y b) se observa que, sin fertilizante el aumento también fué progresivo, mientras que la aplicación de fertilizante produjo inflexiones en la curva que son las que determinan el valor más alto para el segundo nivel arriba mencionado. El descenso observado para el nivel más alto de cobertura muerta para maíz estaría indicando una tendencia a que los máximos rendimientos de peso -en el tiempo considerado- se alcanzan para el nivel intermedio de cobertura muerta más fertilizante y que mayores aplicaciones no determinarían mayor producción; es posible que en el caso de la aplicación del nivel más alto de cobertura muerta en combinación con el fertilizante en el maíz, el cultivo ya no dé mayor rendimiento por haber completado sus requerimientos nutricionales con el nivel precedente con fertilizante. Sin embargo, esta tendencia no fué estadísticamente significativa, ya que los contrastes ortogonales indicaron tendencia lineal significativa para la curva de pesos y no se detectaron interacciones significativas entre fertilizante y niveles de cobertura.



Figuras 15a y 15b. Efecto de los niveles de cobertura muerta sobre el peso total de las plántulas de: a) maíz y b) cafeto con y sin fertilizante.

Tanto en el caso del cafeto como del maíz, se observó un comportamiento más regular de las curvas de peso sin fertilizante que con fertilizante. Por otro lado, también resulta evidente que el rendimiento del cultivo anual en su fase inicial de crecimiento está más limitado por la liberación rápida de nutrimentos disponibles que el cultivo perenne.

El efecto de los niveles de cobertura muerta en las características de fertilidad del suelo indicaron diferencias significativas para casi todas las variables medidas en el caso del cafeto y solo para K y N inorgánico en el caso del maíz. El único aspecto en común fué un aumento de la cantidad de K (15-18%), es posible que esto se deba a que el cafeto permaneció más tiempo y tuvo por ende un período de descomposición mayor; en el caso del maíz éste aparentemente extrajo más nutrimentos desde el comienzo pues requiere de

elementos para la formación de un mayor peso en menor tiempo. La rápida liberación de K cuando se utilizan residuos de poda es hasta el momento el aspecto más destacado del efecto de sistemas agroforestales sobre la fertilidad del suelo (Juo y Lal, 1977; Kang, 1984; Kass et al., 1989; Vilas, 1990), y evidentemente, se corrobora en el caso de *Inga*. En el caso del cafeto, se encontraron disminuciones significativas de Ca, Mg y de la capacidad de intercambio catiónico y un aumento significativo del porcentaje de saturación ácida, que no aparecieron en el caso del maíz. Esto, sin embargo, no indica un mayor empobrecimiento del suelo bajo cafeto. Lo que en realidad pudo suceder una mayor extracción de nutrimentos por el maíz, incluso en el testigo sin cobertura, impidiendo una diferenciación notoria entre los niveles, como puede observarse en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Nutrimientos en el suelo en el café y en el maíz con los niveles 0 y 3 (mas alto) de cobertura muerta.

Nivel de cobertura (1)	M.O.	N %	P ppm	K	Ca cmol(+)/L	Mg cmol(+)/L	Ac.ext. (2)	CiCe cmol(-)/L	Sat. ac. (3) %
MAIZ									
0	5,59	0,31	18,91	0,24	4,05	1,76	1,71	7,76	22,29
3	5,60	0,32	18,81	0,30	3,95	1,71	1,61	7,57	21,33
CAFETO									
0	5,8	0,32	19,33	0,28	4,55	2,02	1,91	8,76	22,01
3	5,9	0,32	20,59	0,33	4,09	1,75	1,97	8,14	24,02

(1): nivel 0 = testigo; nivel 3 = 75 g de cobertura/maceta; (2): Ac. ext. = Acidez extraíble; (3): Sat. ac. = Saturación de acidez.

Este hecho se confirma cuando se analizan las cantidades de nutrimentos en la vegetación. Si bien los nutrimentos N, P, Ca, K y Mn aumentaron en la sección aérea con los niveles de cobertura para ambos cultivos, la cantidad absoluta de nutrimentos extraídos fué muy diferente desde el nivel 0, y esto afectó desde la etapa inicial a la fertilidad del suelo; así, por ejemplo, para este nivel la cantidad de Ca en el tejido de la sección del cafeto fué de aproximadamente 22 mg mientras que para maíz fué de 50 mg.

Usualmente se considera que el aporte más importante de la cobertura muerta de leguminosas es el aumento de materia orgánica del suelo (Kang et al., 1985; Kass et al., 1989). Sin embargo, tal aumento se produce en períodos largos. En experimentos de 22 meses, Palm (1988) no encuentra diferencias de materia orgánica trabajando con *I. edulis*. En el presente trabajo, en el caso del cafeto se encontró un aumento significativo de materia orgánica en relación a los niveles de cobertura. En el caso del maíz la tendencia fué similar pero no significativa. Sin embargo, en ambos casos, el aumento fué muy leve (Cuadro 10).

Los nutrimentos aumentaron en ambos cultivos en proporciones similares en el caso de P (15-22%), N (22-32%) y Ca (22%). El K aumentó más en el maíz: 40% vs. 25 por ciento en el cafeto. Sin embargo, los aumentos en el cafeto fueron progresivos, mientras que en el maíz los mayores aumentos correspondieron al nivel intermedio de cobertura, lo que está relacionado fundamentalmente con la mayor producción de peso que se produjo con este nivel, como se discutió más arriba.

Salazar (1990) realizó un balance de nutrimentos entre adiciones de 20 t ha⁻¹ de *I. edulis* y extracciones por cultivo de arroz, obteniendo que P y Mg resultan en un balance negativo, mientras que N, Ca y K son claramente positivos. En el presente trabajo (Cuadro 11) el balance resultó negativo para maíz en el caso del K y apenas

suficiente en el caso del P para el nivel más bajo de cobertura, mientras que para los demás nutrimentos el balance fué positivo para todos los niveles considerados. En el caso del cafeto, en esta primera fase de desarrollo vegetativo, el balance fué siempre positivo incluso para el nivel más bajo de cobertura. Los valores del cuadro 11 corresponden a los tratamientos sin fertilizante.

Cuadro 11. Contenido total de macronutrientos en el cafeto y maíz sin fertilizante en relación a la descomposición potencial de los niveles de cobertura muerta (tercer muestreo en el tiempo).

Compartimento	Nutrientos				
	N	P	K	Ca	Mg
miligramos					
nivel 1 de cobertura muerta (1)					
cafeto	225,2	12,5	188,0	53,2	28,5
maíz	276,4	41,6	386,8	57,6	49,6
cobertura	692,5	45,0	237,5	230,0	52,5
nivel 2 de cobertura muerta					
cafeto	246,3	13,8	206,5	57,4	29,2
maíz	278,9	42,8	403,3	57,4	45,4
cobertura	1385,0	90,0	475,0	460,0	105,0
nivel 3 de cobertura muerta					
cafeto	268,6	15,0	228,7	62,9	33,2
maíz	266,6	38,9	379,4	48,1	41,7
cobertura	2077,0	135,0	712,5	690,0	157,5

(1): los niveles de cobertura muerta equivalen a 25, 50 y 75 g por maceta respectivamente.

Se intentó comparar el destino de los nutrimentos en los compartimentos suelo y cultivos por nivel de cobertura muerta en el tiempo. Para ello se asumió una densidad aparente del suelo de 1 t m^{-3} y, para evitar el efecto del fertilizante, solo se utilizaron los datos de suelo y vegetación de los tratamientos sin fertilizante. Dado que los valores absolutos de N, Ca y Mg en el suelo eran muy altos respecto a la vegetación se limitó el análisis a P y K. Los datos de K que se presentan en la Fig. 16a y 16b indican que en el tiempo en ambos cultivos se produjo un aumento de K en la vegetación y una disminución en el suelo, pero que la disminución en el suelo fué menos marcada cuando se utilizaron los niveles más altos de cobertura. Evidentemente la conservación de nutrimentos, en este caso K, se debió al aporte de la cobertura muerta. Los valores de P en el suelo fueron en general altos para el primer muestreo en el tiempo y a continuación fueron bajos y variables. Considerando que estos valores corresponden a los tratamientos sin fertilizantes, los valores altos iniciales deberían provenir de la descomposición de la cobertura, siendo posible que en el tiempo se haya producido retención de P en el suelo. Sin embargo, también en el caso del tratamiento sin cobertura los valores iniciales son altos; es posible, por lo tanto, que los valores iniciales estén afectados por errores analíticos o por contaminación.

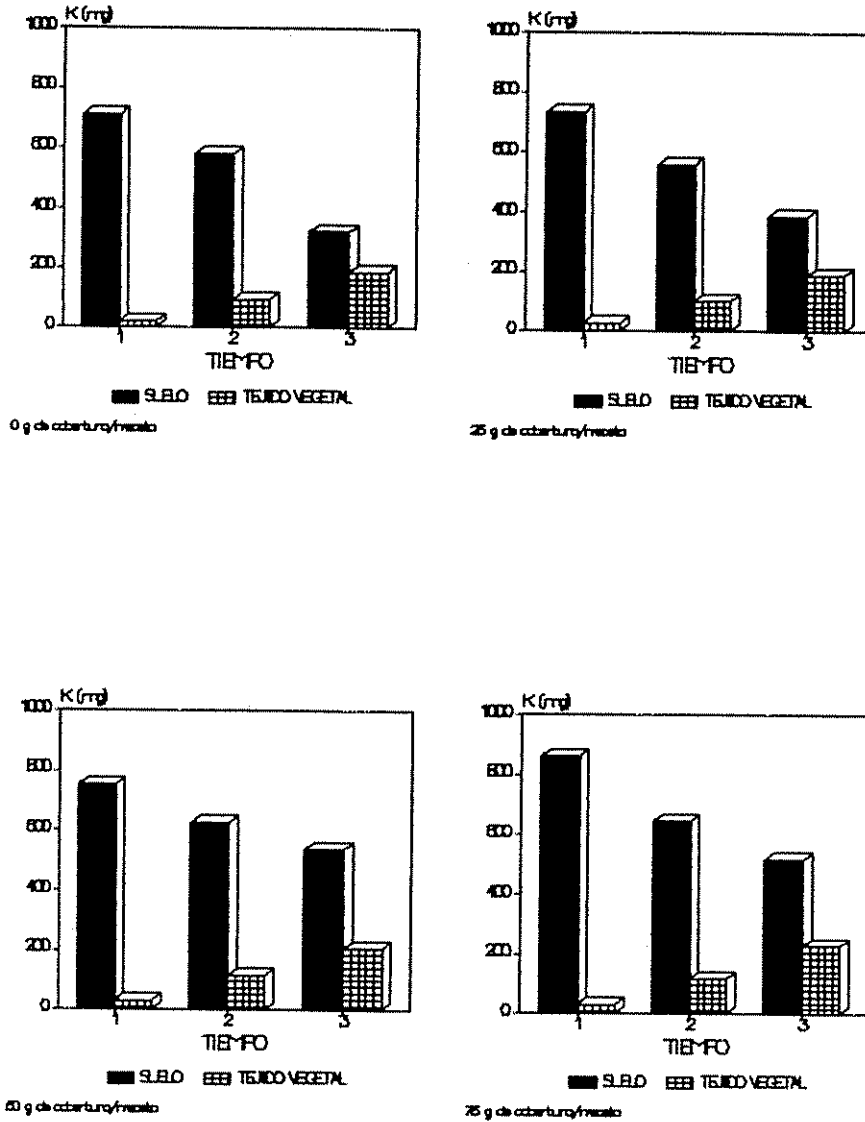


Figura 16a. Contenido de potasio en el suelo y en el tejido vegetal de las plántulas de café con los distintos niveles de cobertura muerta a través del tiempo.

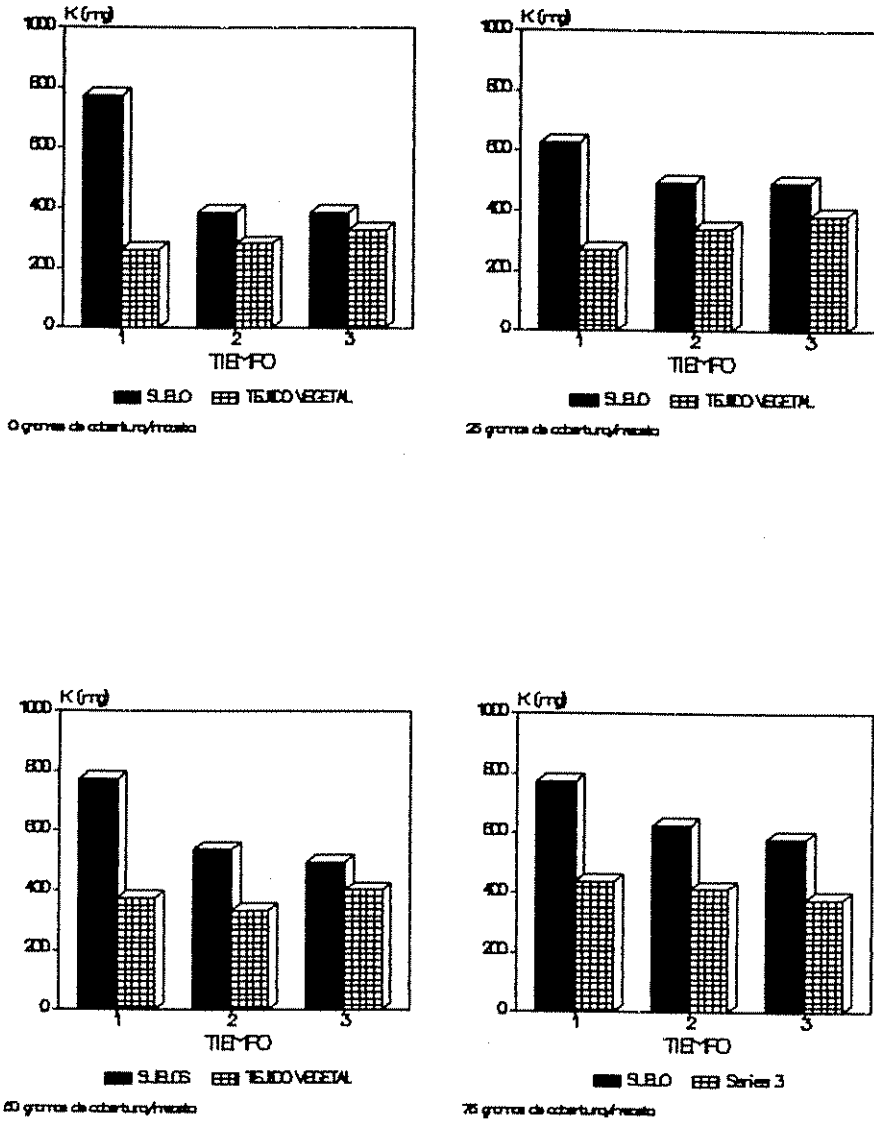


Figura 16b. Contenido de potasio en el suelo y en el tejido vegetal de las plántulas de maíz con los distintos niveles de cobertura muerta a través del tiempo.

Los datos de la bibliografía sobre la relación N:P:K en cultivos de maíz y cafeto son muy variables. En el presente trabajo se encontraron valores de 10:0.5:8.5 para cafeto y 10:1:13 para maíz con el nivel más alto de cobertura muerta. Carvajal (1984) señala valores de 10:1:11 para plántulas de cafeto de 3 años de edad y Grüneberg (1966) de 10:3.8:11.9 para el maíz. La relación de P respecto al N y K en el presente estudio es baja en ambos cultivos. Es posible que esto se deba a que son las exigencias del maíz especialmente altas después de la floración y madurez del fruto. Según Gruneberg (1966) sólo 15% del P es consumido antes de la floración. En el caso del cafeto se considera que las exigencias de P son altas en plantas jóvenes desde el vivero a 2-3 años de edad después del trasplante (Carvajal, 1984). Sin embargo, no se encontraron datos de plántulas tan jóvenes como las del presente estudio (6 meses) en este aspecto.

Por otra parte Carvajal (1984), da un promedio de absorción anual para *Coffea arábica* var. bourbon, como planta adulta, de 4,8:1:2,8. Este equilibrio se torna significativo durante los meses de mayor inversión de energía por la planta en crecimiento activo, tanto de órganos vegetativos como de frutos. En este periodo la relación N:P:K presenta valores de 4:1:6,5. Un equilibrio similar, ocurre aparentemente, de nuevo, justamente antes de la maduración de los frutos y de la época de cosecha. Por el contrario, durante el periodo de maduración, el equilibrio se desplaza en favor de la absorción de nitratos y en detrimento de la absorción de potasio, esto ocurre también antes de la primera floración, sin embargo, señala que la relación N:P:K no indica mucho acerca de la absorción individual de nutrimentos durante la época de floración, en este estado fisiológico la absorción es muy baja.

5.1.3 Cambios en el tiempo.

Entre el primer muestreo en el tiempo (al mes de

instalado el maíz y a los 2 meses de instalado el café) y el último muestreo (a los tres meses de instalado el maíz y a los 6 meses de instalado el café) se observó en el suelo una disminución marcada de P y K (40-50%), una disminución leve de materia orgánica y N (2-12%) y un ligero aumento de la capacidad de intercambio catiónica efectiva (4-14%).

En el caso del cafeto se observó una leve disminución de Ca y Mg (4-9%), pero un aumento marcado de la acidez extraíble (53%), lo que trajo como consecuencia un aumento del porcentaje de saturación de acidez (46%). En el caso del maíz, se observó, por el contrario, aumento de Mg y Ca (12-21%) y si bien la acidez extraíble aumentó, dicho aumento fue muy leve (9%) en comparación con el cafeto. Como consecuencia, se produjo una ligera disminución del porcentaje de saturación de acidez.

El marcado aumento de la acidez extraíble en el caso del cafeto está posiblemente ligado al tiempo de descomposición de la cobertura muerta y no a la extracción del cultivo. Los valores comparativos para ambos cultivos de nutrimentos en el suelo se presentan en el Cuadro 12. Como puede observarse, en el primer muestreo en el tiempo el maíz había empobrecido más al suelo que el cafeto, sin embargo, en el tercer muestreo, el suelo del maíz presenta menos acidez extraíble que el cafeto. En realidad, en valores absolutos el maíz extrajo más nutrimentos que el cafeto (Fig.17), pero el tiempo de descomposición de la cobertura en el caso del cafeto fue de 6 meses y en el de maíz de 3 meses.

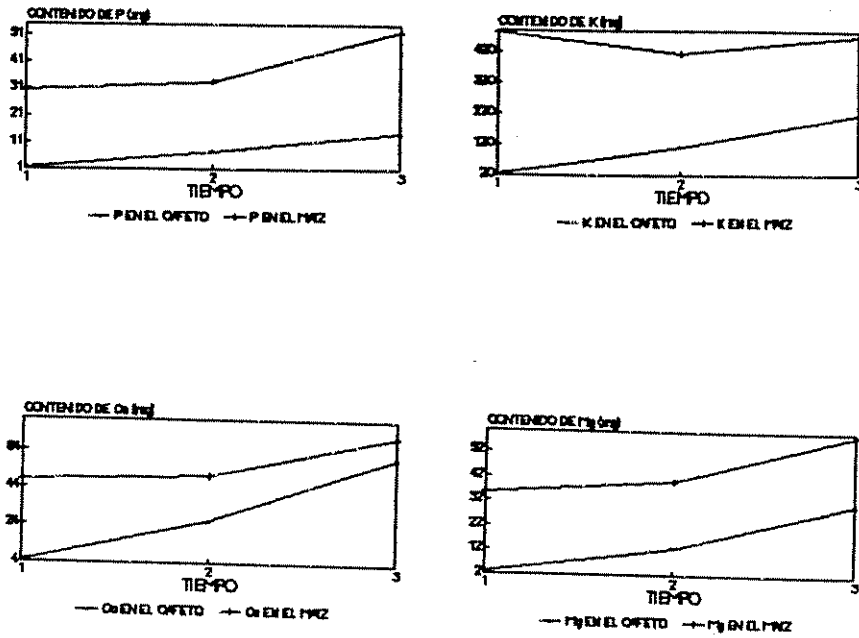


Figura 17. Contenido de P, K, Ca y Mg en el tejido vegetal de las plántulas de maíz y el café a través del tiempo.

Los residuos vegetales pueden reducir temporalmente la cantidad de Al soluble en el suelo por formación de complejos con ácidos orgánicos, polisacáridos y otros productos iniciales de la descomposición; sin embargo, este efecto puede ser temporario debido a que estos productos son posteriormente descompuestos y el Al puede ser liberado nuevamente a la solución del suelo (Sánchez et al., 1989).

Si bien en general se observó un aumento del contenido de nutrimentos en el tejido vegetal en el tiempo, esto se debió al aumento del peso, pues la concentración de nutrimentos disminuyó en el tiempo. En la revisión de literatura de Munson y Nelson (1973) se señala que en hojas de maíz la concentración de N y K disminuye con la madurez, P cambia poco y Ca y Mg tienden a aumentar. En el presente trabajo se observó una clara disminución de todos los nutrimentos considerados para la sección aérea (que incluye tallo y hojas) y radical del maíz (Cuadro 7). En el caso del cafeto sucedió lo mismo, salvo en el caso del Ca donde se observó un aumento especialmente en el segundo muestreo en el tiempo (Cuadro 4).

Cuadro 12. Concentración de nutrimentos en el suelo de los cultivos para el primer y tercer muestreo en el tiempo de los cultivos.

edad cultivo (meses)	pH	M.O. %	N. %	P ppm	K	Ca cmol(+)/L	Mg	Ac.ex (1)	CiCe cmol(-)/L	Sat.ac. (2) %
CAFETO										
2	5,07	6,02	0,34	28,0	0,36	4,11	1,86	1,54	7,87	19,6
6	4,50	5,90	0,29	14,4	0,22	3,95	1,69	2,35	8,20	28,6
MAIZ										
1	5,40	5,8	0,32	23,9	0,35	3,79	1,72	1,65	7,51	21,92
3	5,83	5,2	0,31	13,5	0,21	4,64	1,94	1,80	8,59	20,94

(1): Ac.ext.= Acidez extraíble; (2): Sat. Ac.= Saturación de acidez.

En general, todos los efectos observados en el contenido de nutrimentos y producción de peso reflejan lo que sucede en la sección aérea de los cultivos, ya que la sección radical solo representó 18 por ciento del peso total en el caso del cafeto y 7 por ciento en el caso del maíz al finalizar el experimento, en que el maíz tenía 3 meses y el cafeto 6, sin contar la etapa de vivero de este último. (Cuadro 13).

Cuadro 13. Peso promedio (gramos) de la sección aérea, radical y total de los cultivos en la evaluación final (cafeto de seis meses de edad y maíz de tres meses).

sección aérea	sección radical	total
Cafeto		
3,58 (82,11%)	0,78 (17,89%)	4,36 (100%)
Maíz		
21,71 (92,54%)	1,75 (7,46%)	23,46 (100%)

5.1.4 Efectos del fertilizante.

Se incluyó en el presente trabajo una fertilización equivalente a 150 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P y 133 kg ha⁻¹ de K y se la comparó con los tratamientos sin fertilizante y dado que: 1) la cobertura muerta de especies de *Inga* al liberar muy lentamente nutrimentos (Palm, 1988) podría ser incapaz de proveer la cantidad necesaria para el crecimiento inicial de los cultivos estudiados y 2) a que, incluso en el caso de leguminosas de descomposición rápida como *Erythrina poeppigiana*, se recomienda utilizar una fertilización mínima

de P (Kass et al., 1989; Sánchez, 1989), ya que la capacidad de retención de los suelos tropicales es probablemente mas alta que la capacidad de liberación de enmiendas orgánicas. El fertilizante aumentó significativamente el peso de ambos cultivos, pero como se mencionara mas arriba (Fig.15) el efecto fué mayor en el maíz (50% versus 8% en cafeto), ya que por tratarse de un cultivo anual tiene una tasa de crecimiento y requerimientos más altos que el cafeto en las etapas iniciales de crecimiento. Igualmente la toma de nutrimentos es más alta para el maíz lo cual se confirmó en el análisis de nutrimentos en el tejido vegetal. En el caso del maíz, la fertilización produjo aumentos notables (60-100%) de todos los nutrimentos, mientras que en el caso del cafeto los macronutrimentos solo aumentaron alrededor de un 10 por ciento, y únicamente se observaron aumentos altos (25-45%) para los micronutrimentos Cu y Mn.

En el suelo, el fertilizante aumentó en un 30 por ciento la cantidad de P extraible para ambos cultivos. El N inorgánico aumentó en un 74 por ciento en el caso del suelo del cafeto y un 47 por ciento en el del maíz. A pesar de usarse fertilización potásica, el K solo aumentó significativamente (10%) en el caso del cafeto.

5.1.5 Utilización de la radiación solar por los cultivos.

En estudios realizados en cafetales bajo sombra y expuestos al sol se ha determinado que el metabolismo de la planta al sol es más intenso y rápido por lo cual está asimilando más rápidamente los nutrimentos; Nutman citado por Suárez de Castro et al. (1961) señala que el cafeto aumenta su actividad fotosintética al aumentar la intensidad lumínica cuando esta fluctúa en niveles bajos, a intensidades muy altas el efecto es contrario.

El cafeto es un cultivo originario de Etiopía donde

crece en forma natural bajo el dosel de otros árboles por lo cual en términos generales, aunque esto difiere entre las variedades, es un cultivo más adaptado a las bajas intensidades lumínicas. Aunque Bierhuizem *et al* (1971) señalan que la fotosíntesis a temperaturas inferiores a 24°C está en función de la luz. En otro artículo los mismos autores señalan que la saturación de luz en el cafeto ocurre a $0,11 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, ya que la intensidad de la fotosíntesis disminuye con el aumento de la temperatura por encima de 20°C.

El maíz es una planta C_4 , la tasa de fotosíntesis de este tipo de planta es 2-3 veces mayor que las gramíneas de zonas templadas y las leguminosas tropicales (Mott y Peepoe, 1977).

La alta tasa de fijación de CO_2 de las planta C_4 , se debe a un proceso fotosintético más complejo, y también debido a la aparente ausencia de fotorespiración (Monteith, 1977). La producción del cultivo está determinada por la eficiencia de este proceso y también por el consumo de los asimilados en él (Larcher, 1983).

Las plantas C_4 poseen una mayor eficiencia fotosintética, especialmente en condiciones óptimas de crecimiento y a plena exposición de radiación (Tieszen, 1983). Ludlow y Wilson (1971) señalan que las plantas C_4 disminuyen sus capacidades cuando crecen bajo condiciones de poca luz.

Por los motivos anteriores es posible que el maíz se haya visto afectado por la baja radiación dentro del invernadero que tuvo un valor promedio de 9,13 veces inferior al exterior que el cafeto.

5.2. Efecto de la cobertura muerta en la germinación y crecimiento inicial de los cultivos.

La diferencia entre este experimento y el de fertilidad radica fundamentalmente en que: 1) en el maíz, las macetas estaban a la intemperie (casa de mallas) por lo que las condiciones de humedad y temperatura fueron las del ambiente exterior. 2) El tiempo de análisis fué de 1 mes y medio en el caso del maíz y 2 meses y medio en el cafeto, pero a su vez, las plantas se dejaron germinar en las macetas, mientras que en el ensayo de fertilidad las plántulas de cafeto se trasladaron después de 3 meses en vivero, y el maíz se transplantó a los 3-4 días de germinado en cámara fría y húmeda. Esto quiere decir que, al finalizar el periodo de medición, las plántulas de cafeto tenían 7 meses en el ensayo de fertilidad y 2 meses y medio en el presente ensayo y el maíz tenía tres meses en el ensayo de fertilidad y 1 mes y medio en el presente ensayo. 3) Todos los tratamientos fueron fertilizados y no se empleó ningún pesticida. 4) La cantidad de suelo era menor (3,7 kg vs. 5,5 kg en el experimento de fertilidad).

En este experimento se encontraron diferencias entre especies de *Inga* en el peso del cafeto, que no fueron detectadas en el experimento de fertilidad. Bajo *I. edulis* el peso del cafeto fué 10 por ciento más alto que bajo *I. densiflora*. En el caso del maíz los resultados fueron similares al experimento de fertilidad, es decir, que las especies no afectaron los parámetros de crecimiento.

Los niveles de cobertura muerta disminuyeron levemente (3%) el porcentaje de germinación del cafeto, pero no afectaron el maíz. Esto se debe probablemente a que la cobertura había descompuesto muy poco cuando se produjo la mayor germinación de maíz, siendo esta muy rápida (8-10 días), mientras que el café tardó 5-7 semanas en germinar y estaba en un ambiente de invernadero.

Por otro lado, los niveles de cobertura muerta no afectaron los parámetros de crecimiento del cafeto, pero sí los de maíz, que aumentaron 35 por ciento con el nivel más alto de cobertura muerta. Resulta evidente que los resultados sobre cafeto están afectados por el tiempo de muestreo. El cafeto es una planta de crecimiento lento, a los 2 meses la producción promedio de materia seca fué de 1,5 g en este experimento, y posiblemente en este período no sea capaz de tomar suficientes nutrimentos liberados por la cobertura que afecten esta producción, mientras que en el experimento de fertilidad que finalizó con plántulas de 9 meses sí se obtuvieron respuestas a los niveles de cobertura.

Respecto a la localización de la cobertura muerta, se observó que, mezclado con el suelo produjo mayor longitud y peso de raíces en café (10%) y mayor porcentaje de germinación en maíz (6%) que cuando se colocó superficialmente. En general, se considera que la descomposición de enmiendas orgánicas es mayor cuando se incorporan al suelo (Sánchez et al., 1989), pero aceptar esta afirmación implicaría que también hay mayor liberación de sustancias alelopáticas y, por lo tanto, el efecto debería ser negativo sobre el crecimiento de raíces, si las hubiese aunque, probablemente el mayor efecto haya sido en las condiciones físicas del suelo: disminución de la compactación (estructura más suelta) y carencia de una barrera física creada por la cobertura superficial lo que puede haber favorecido, el crecimiento de las raíces de cafeto.

El efecto negativo de la cobertura muerta superficial sobre la emergencia del maíz fué más marcado a mayor nivel de cobertura muerta (Fig.13), porque lógicamente la barrera física era mayor (aunque no se descarta mayor producción de sustancias alelopáticas). Cuando la cobertura muerta se incorporó, y pudo ser su efecto sobre la densidad aparente (mayor porosidad) en la zonas de germinación y crecimiento de

las raíces lo cual favoreció dichas condiciones.

Por otro lado, el efecto positivo de los niveles de cobertura muerta en los parámetros de crecimiento del maíz fué mayor cuando el material estaba mezclado, porque pudiese haber habido una mayor liberación de nutrimentos (Fig.14).

6. CONCLUSIONES

1. En el experimento de fertilidad ninguna de las dos especies de *Inga* consideradas, tuvieron efecto distinto en los parámetros de crecimiento de ninguno de los cultivos (maíz y cafeto). Sin embargo, los resultados de fertilidad de suelos y de contenido de nutrimentos en los cultivos indican que la calidad de biomasa aportada por *I. edulis* sería inferior a la de *I. densiflora*, debido a mayor acidificación del suelo y reducción de la absorción de nutrimentos con el niveles más alto de cobertura muerta en el cafeto; en el maíz las tendencias son similares.
2. La aplicación de los niveles de cobertura (8, 16 y 24 t ha⁻¹) produjo un incremento en los parámetros de crecimiento de los cultivos. En el caso del cafeto los mejores resultados se obtuvieron con el nivel más alto y en el caso del maíz con el nivel intermedio de cobertura (con fertilizante).
3. El efecto más importante de los niveles de cobertura en el suelo fué el aumento de la cantidad de K bajo ambos cultivos (15-18%), y de N inorgánico en el maíz. También se observó un aumento muy leve de materia orgánica (3%). Sin embargo, en el caso del cafeto se observó disminución de Ca, Mg y CICE y aumento del porcentaje de saturación ácida. En el maíz no se apreciaron grandes variaciones en el contenido de nutrimentos pues su extracción desde el comienzo fué alta.
4. Los nutrimentos N, P y Ca aumentaron en ambos cultivos con la aplicación de los niveles de cobertura

en el orden de 25 por ciento. El K aumentó 40 por ciento en maíz y 25 por ciento en cafeto. Los aumentos en el cafeto fueron progresivos, mientras que en el maíz los mayores aumentos correspondieron al segundo nivel de cobertura.

5. Con el incremento de los niveles hubo un aumento leve de la materia orgánica, lo que corrobora la lenta descomposición de las especies, y trabajos precedentes con *I. edulis* en los cuales luego de 22 meses no se ha encontrado variación en su contenido.
6. Los resultados indican que la liberación de nutrimentos con los niveles más altos de cobertura alcanzan para cubrir las necesidades del cafeto en la fase de crecimiento considerada en el presente experimento (plántulas de 9 meses). Sin embargo, en el caso de un cultivo anual de altos requerimientos como es el maíz, la cantidad de nutrimentos es insuficiente.
7. Con fertilizante se obtuvo un peso 50 por ciento más alta que sin fertilizante (en comparación, los aumentos en cafeto con fertilizante fueron solo 8 por ciento más altos). Coincidentemente la fertilización produjo aumentos notables (60-100%) de todos los nutrimentos en el tejido vegetal del maíz, mientras que en el caso del cafeto los macronutrimentos solo aumentaron alrededor de un 10 por ciento.
8. Con fertilizante se obtuvo un peso mayor que con la aplicación de la cobertura muerta pero a su vez más fluctuante, aunque ambos efectos fueron ascendentes en relación a las cantidades aplicadas, el cultivo más influido por el efecto del fertilizante fué el maíz, en

este se produjo un aumento de todos los nutrimentos, en el cafeto los aumentos fueron leves.

9. Considerando la descomposición total de la cobertura la cantidad potencial de nutrimentos en ella es mayor que la cantidad de nutrimentos extraídos por el cafeto para todos los niveles de cobertura. En el caso del maíz, el nivel más bajo de cobertura muerta (equivalente a 8 t ha^{-1}) no sería suficiente para suplir las necesidades de K y se encuentra en el límite en el caso del P y Mg.
10. En el tiempo se observó una marcada disminución de P y K (40-50%) en el suelo, sin embargo, la disminución de K fué menos marcada para los niveles más altos de cobertura muerta, sin embargo debe considerarse que el P es un elemento que se fija y el K es un elemento móvil. En el caso del cafeto se observó un aumento marcado del porcentaje de saturación de acidez y de la acidez extraíble (50%) que se atribuye a la diferente capacidad de complejamiento de Al de la materia orgánica en el tiempo.
11. Los nutrimentos aumentaron en el tiempo en el tejido vegetal de ambos cultivos. Esto se debió fundamentalmente al aumento de biomasa, pues salvo en el caso del Ca en cafeto, la concentración de todos los nutrimentos disminuyó en el tiempo.
12. Se encontró una relación N:P:K (con el nivel más alto de cobertura) más baja en P que la citada por la literatura, esto se atribuye a que requerimientos más altos son demandados en etapas fenológicas posteriores como la formación del fruto.

13. Es necesario recalcar que las condiciones experimentales determinaron un flujo total de fotones fotosintéticamente activo 9,13 veces menor que en el exterior del invernadero, para el período de experimentación, lo cual atenuaría los procesos biológicos, microbiológicos y bioquímicos, en relación a las condiciones de campo, sobretodo en el caso del maíz, que por ser una planta C_4 es más eficiente en el aprovechamiento de la luz para la realización de fotosíntesis y por ende para la utilización de los nutrimentos.

14. Los resultados obtenidos en el experimento sobre posibles efectos alelopáticos de la cobertura muerta de *Inga*, indican que no se apreciaron efectos alelopáticos, en el cafeto, el efecto más notable fué que se obtuvieron resultados positivos con la cobertura muerta incorporada al suelo ya que esto facilita el crecimiento de las raíces, en vez de colocarla en superficie donde no muestra un efecto positivo. El efecto positivo de la incorporación se atribuye a un mejoramiento de las condiciones físicas del suelo. En el maíz el uso de la cobertura muerta demostró ser también más adecuado localizado en profundidad que en superficie.

7. RECOMENDACIONES

1. Los futuros estudios con *Inga* podrían concentrarse en *Inga densiflora* que aparece como una especie más promisorio que *I. edulis* desde el punto de vista de fertilidad de suelos y nutrición vegetal.
2. En futuras experiencias de aplicación de cobertura muerta es posible considerar los niveles utilizados en este caso sobretodo en el maíz, donde el nivel mínimo fué insuficiente para el aporte potencial de algunos nutrimentos.
3. Es importante analizar químicamente la cobertura muerta previo al inicio del experimento y en los sucesivos muestreos en el tiempo.
4. Se recomienda en futuras experiencias de invernadero hacer pruebas con el tiempo de colocación de la cobertura muerta.
5. Es importante profundizar la experiencia con diversos niveles de fertilizantes en el caso de cultivos anuales, y especialmente en relación a la necesidad de K, sobretodo en cultivos anuales, que es el elemento que aparentemente se libera con mayor facilidad.
6. Se sugiere la realización del experimento en condiciones de campo con un período de evaluación que corresponda a un ciclo completo de los cultivos. Bajo tal condición, se estimularía por una parte la descomposición más rápida de la cobertura muerta debido a la actividad biológica y microbiológica normal del suelo, y el efecto global de la intemperie (si bien en

este experimento el material fué triturado, lo que debe haber facilitado su descomposición). Por otra parte, se acelerarían los procesos de asimilación de las plantas debido a una mayor longitud e intensidad fotoactivadora, ya que la luminosidad ambiental es globalmente unas diez veces mayor que en las condiciones experimentales utilizadas en este estudio.

7. Los fungicidas y bactericidas podrían afectar la actividad microbiológica del suelo o afectar algún resultado de los análisis como en el caso del Volatón que es un producto fosforado. Al repetirse la experiencia se recomienda que en lo posible, no debería aplicarse ningún producto químico en el suelo ni en plantas, para así obtener análisis sin contaminación, para ello se recomienda trabajar con un número mayor de plantas y así reponer posibles pérdidas por este concepto.
8. En experiencias de invernadero se recomienda trabajar bajo condiciones de luz, humedad, humedad relativa y temperatura lo mas similares posibles a las condiciones de campo para interpretar los resultados de la forma más cercana posible a las condiciones reales.

B. BIBLIOGRAFIA

- ABRUÑA, F. 1965. Effects of liming and fertilization on yields and the foliar composition of high yielding sun-grown coffee in Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* (P.R.) 49(4):413-428.
- ALVIM, T. 1960. Recientes progresos en nuestro conocimiento del árbol de café. 1. Fisiología. IICA. *Materiales de Enseñanza de Café y Cacao* no.7 p. 11-23.
- ARAYA, J. F. 1987. Efecto del madero negro (*Gliricidia sepium* (Jacq. Stend)) como abono verde en un sistema de maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relevo en Acosta, Puriscal, San José, Costa Rica. Tesis Mag Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 108 p.
- ARAYA V. M. 1989. Uso y manejo de sombra en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.). *In* Curso Regional sobre Fundamentos de Caficultura Moderna (7, 1989, Antigua, Guat.). Memorias, Guatemala, IICA/PROMECAFE/AID-ROCAP/ANACAFE. 56 p.
- ARANGUREN, J.; ESCALANTE, G.; HERRERA, R. 1982. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. 1. *Coffe. Plant and Soil* (Holanda) 67:247-258.
- ARKCOLL, D. 1984. A comparison of some fast growing species suitable for woodlots in the wet tropics. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* (Brasil) 19(sn):61-68.
- ARKCOLL, D. 1984,. Some leguminous trees provided use ful formlts in north of Brasil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* (Brasil) 19(sn):235-239.
- BEER, J. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* (Holanda) 7:103-114.
- BERTSCH, F. 1988. Potasio, calcio y magnesio en el sistema suelo-café. *In* Curso Regional sobre Nutrición Mineral del Café (1988, San José, C.R.). Memorias. San José, Costa Rica, IICA-PROMECAFE. p. 83-98.
- _____; CHAVARRIA, A. C.; HENRIQUEZ, C. R. 1990. Fertilidad e interpretación de análisis de suelos y plantas para café. *In* Curso de Fundamentos de Caficultura Moderna, (8, 1990, Turrialba, Costa Rica). Memorias. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 47 p.

- BIERHUIZEM, J. F.; NUNES, M. A.; PLOEGMAN, C. 1971 Estudos sobre a produtividade do cafeeiro, 1: Efeito da luz, temperatura e concentração do CO₂ na fotossíntese de *Coffea arabica*. CENICAFE, boletín técnico no. 5:440.
- _____; NUNES, M. A.; PLOEGMAN, C. 1971 Estudos sobre a produtividade do cafeeiro; 3: Diferenças na fotossíntese de quatro variedades de cafeeiro. CENICAFE, boletín técnico no. 5:441.
- BORNEMISZA, E. 1988. Oligoelementos en la nutrición del cafeto. In Curso Regional sobre Nutrición Mineral del Café (1988, San José, C.R.). Memorias. San José, Costa Rica, IICA-PROMECAFE. p. 135-140.
- BUDOWSKI, G.; KASS, D.; RUSSO, R. O. 1984. Leguminous trees for shade. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. (Bra.) 19 (5):205-222.
- CAMARGO DE LEON, S. 1978. La sombra del cafeto. Mazatenango, Guatemala, Federación de Cooperativas Agrícolas de Productores de Café de Guatemala. 30 p.
- CARVAJAL, J. F. 1984. Cafeto-Cultivo y fertilización. 2 ed. Berna, Suiza, Instituto Internacional de la Potasa. 254 p.
- COSTE, R. 1974. El sombreado del café. Tierra (Mex.) 29(6):278-280, 300-301.
- CONTRERAS, M.; MAZZARINO, M.J.; JIMENEZ, M.; MERAYO, A. 1990. Estudio del efecto de mulch de *Inga densiflora* sobre el control de malezas y conservación de la humedad del suelo. Informe Técnico. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Proyecto Arboles Fijadores de Nitrogeno (AFN) 159 p.
- DEBACKER, M.; OPENSHAW, K. 1972-1973. Thailand: present and future forest policy goals: a timber trends study. s.l., FAO. p. 1-13. (FAO. Series UNDP/TA, 3156)
- FASSBENDER, H. W. 1987. Modelos edafológicos de los sistemas de producción agroforestales. CATIE. Serie Materiales de Enseñanza No. 29. 475 p.
- FISCHER, R. F. 1980. Allelopathy: A potential cause of regeneration failure. Journal of Forestry (EE.UU.) 78(6):346-350.
- GRUNEBERG, F.H. 1966. Nutrición y fertilización del maíz. Boletín Verde. Alemania (maíz) no.9: 1-46.
- HENRIQUEZ CH.; N. 1976. Manual técnico del cultivo del café en El Salvador. Santa Tecla, Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. 223 p.

- _____; POVEDA L., J. 1975. Arboles de Costa Rica v. 1. San José, Costa Rica, Centro Científico Tropical. 546 p.
- INSTITUTO NICARAGUENSE DEL CAFE. 1965. Sombra de cafetales. Café de Nicaragua (Nic.) 249(173):29-31.
- JIMENEZ A., E.; MARTINEZ, P. 1979. Estudios ecológicos de agroecosistema cafetalero. 2. Producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura. Biótica (Mex.) 4(3): 109-126.
- JORDAN, C. F. 1985. Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. Chichester, U.K., John Wiley. 190 p.
- KANG, B. T.; GRIMME, H.; LAWSON, T. L. 1985. Alley cropping sequentially cropped maize and cowpea with *Leucaena* on a sandy soil in Southern Nigeria. IITA . Plant and Soil (Holanda) 85:267-277.
- KASS, D.; BARRANTES, A.; BERMUDEZ, W.; CAMPOS, W.; JIMENEZ, M.; SANCHEZ, J. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivo en callejones (alley cropping) en "La Montaña", Turrialba, Costa Rica. EL Chasqui. Boletín Informativo sobre Recursos Naturales (C. R.) no. 19:5-24.
- KOSS, J.; CARVAJAL, J. F.; SOLAND J. A. 1973. Nutrición por cobre en algunos suelos cafetaleros y cafetos de Costa Rica. Turrialba (C.R.) 23:208-215.
- KUPPER, A. 1981. Factores climaticos e edaficos na cultura cafeeira . In Nutricao e adubacao do cafeeiro. Ed. T. Yamada. Berna, Suíça, Internacional da Potasa. p 27-54.
- LARCHER, W. 1983. Physiological plant ecology. Trad. by M.A. Biederman Thorson 2 ed. Berlín, Springer-Verlag. 157 p.
- LEONARD, H.J. 1987. Recursos naturales y desarrollo económico en América Central. Un perfil ambiental regional. Trad. del inglés por Gerardo Budowski y Tirso Maldonado. San José, Costa Rica, CATIE. 268 p. (Serie Técnica. Informe Técnico CATIE no 127).
- LUDLOW, M. M.; WILSON, G. L. 1970. Photosynthesis of tropical pasture plants. 1. Illuminance, carbon dioxide concentration, leaf temperature, and leaf-air vapour pressure difference. Australian Journal of Biological Sciences (Australia). 24: 449-470.
- MONTEITH, J. L. 1977. Climate. In Ecophysiology of tropical crops. Eds. Paulo de T. Alvim y T. T. Kozlowski. New York, Academic Press p.125.

- MOTT, G. O.; POPENOE, H. L. 1977. Grasslands. The tropical environment and grasslands. In Ecophysiology of tropical crops. Eds. Paulo de T. Alvim y T. T. Kozlowski. New York, Academic Press. p. 162-186.
- MUNSON, R.D.; NELSON, W.L. 1973. Principles and practices in plant analysis. In Soil testing and plant analysis. Eds. L. M. Walch y J. D. Beaton. Madison, WI, Soil Science Society of America. p223248.
- ORTIZ, M. O. 1978. Fertilidad del suelo y fertilización del cafeto en Guatemala. Guatemala, Federación de Cooperativas Agrícolas de Productores de Café In Curso de Caficultura para FEDECOCAGUA 1978, Mazatenango, Guatemala. Informe. Mazatenango FEDECOCAGUA p.1-40.
- PARENT, G. 1989. Guía de reforestación Bucaramanga, Colombia, CRMB/ACDI. 214 p.
- PATRICK, Z. A. 1971. Phytotoxic substances associated with the decomposition in soil of plants residues. Soil Science (EE.UU.) 3(1):13-18.
- PEREGRINA, R. P. 1954. Teoría y práctica del uso de fertilizantes para el maíz. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Presentado en: Reunión Centroamericana sobre el Mejoramiento del Maíz (1, 1954, Turrialba, C.R.) Iv.
- PUTNAM, A. R. 1978. Allelopathy in agroecosystems. Annual Review of Phytopathology (EE.UU.) 16:431-451.
- PUTNAM, A. R.; DUKE, W. B. 1974. Biological suppression of weeds: Evidence for allelopathy in accessions of cucumber. Science (EE.UU.) 185:370-372.
- RICE, E. 1984. Allelopathy, Orlando, Fla. 2 ed. Academic Press. 422 p.
- _____. 1979. Allelopathy-An update. Botanical Review (EE.UU.) 45(1):15-109.
- ROSKOSKI, J. P. 1982. Nitrogen fixation in a Mexican coffee plantation. Plant and Soil (Holanda) 67:283-297.
- RUSSO, R. O. 1983. Mediciones de biomasa en sistemas agroforestales. In Curso Corto sobre Metodologías de Investigación Agroforestal en el Trópico Húmedo. (1983, Cali, Colombia). Turrialba, Costa Rica, CATIE. 27 p.
- SALAZAR, A. 1990 Cultivo en callejones. Algunos avances de investigación en Yurimaguas - Cuenca Amazónica del Perú. (Mimeografiado). Presentado en: Taller RISTROP. Red Internacional de Suelos Tropicales, 9-13 julio 1990.

- _____; PALM, CH. 1987. Screening of leguminous trees for alley cropping on acid soils of the humid tropics. In *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.: management and improvement; (1987, Turrialba, C.R.). proceedings. Ed. D. Withington; N. Glover; J. L. Brewbaker. Honolulu, Hawaii, EE. UU., NFTA-CATIE p. 61-67.
- SALAZAR, R. 1985. Producción de leña y biomasa de *Inga densiflora* Benth en San Ramón, Costa Rica. *Silvoenergía* (C.R.) no. 3:1-4.
- SANCHEZ, P.A.; UEHARA G. 1980. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In *The role of phosphorus in agriculture*. Eds. F.E. Khasawneh; E.C. Sample and E. J. Kamprath. Madison, Wisconsin, ASA-CSSASSSA, p.471-514.
- _____. 1987. Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. In *Agroforestry: a decade of development*. Eds. H. A. Steppler and P. K. R. Nair. Nairobi, Kenia, ICRAF. p. 205-223.
- _____; PALM, CH.; SZOTT, L.; CUEVAS, E.; LAL, R. 1989. Organic input management in tropical agroecosystems. p 125-152. In: *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. eds. C. Coleman, J. M. Dades and G. Uehara Niftal Proyect. University of Hawaii, 249 p.
- SANCHEZ, O.J. 1989. Análisis de la estabilidad y dinámica de sistemas de producción de cultivo en callejones. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 174 p.
- SINGH, K.P. 1969. Studies in decomposition of leaf litter of important trees in tropical deciduous forests at Varanasi. *Tropical Ecology (India)* 10(2):292-311.
- SUAREZ DE CASTRO, F.; MONTENEGRO L.; AVILES C.; MORENO M.; BOLAÑOS M. 1961. Efecto del sombrio en los primeros años de vida de un cafetal. *Café (C.R.)* 3(10):81-102.
- SZOTT, L.; PALM, C.; SANCHEZ, P.; PEREZ, J.; FERNANDES, E.; SALAZAR, A.; SCHOLLES, R.; PASHANASI, B.; DAVEY, C.B. 1991. Agroforestry systems for acid soils in the humid tropic 26 p. *Advances in Agronomy* (en prensa).
- TIESZEN, L. L. 1983. Photosynthetic systems: Implications for agroforestry. In *Plant research and agroforestry*. Ed. P. A. Huxley. Nairobi, Kenya, ICRAF. 323-346.

- VALENCIA A., G. 1988. Interpretación de análisis de suelos para café. In Simposium Avances Científicos y Tecnológicos en Caficultura.(1988, Guatemala). Memoria. Guatemala, Asociación Nacional del Café. p. 21-28.
- VILAS B., O. 1990. Descomposición de hojarasca y mineralización de nitrógeno de la materia orgánica del suelo bajo cuatro sistemas agroforestales, en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 152 p.
- WHITTAKER, R.; FEENY, P. P. 1971. Allelochemicals: chemical interactions between species. *Science* (EE.UU.) 171:757-770.
- WITKAMP, M. 1966. Decomposition of leaf litter in relation to environment microflora, and microbial respiration. *Ecology* (EE.UU.) 47(2):194-201.

9. ANEXOS

Cuadro 1aA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento en las plántulas de cafeto.

Fuente de variación	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Muestreo (tiempo)	**	**	**	**	**
Bloque	**	**	**	**	**
Especie	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x especie	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	NS	**	**	NS	**
Muestreo x nivel	*	NS	NS	NS	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	NS	NS	*	*	*
Muestreo x fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x nivel x fert.	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x especie x fert.	NS	NS	*	NS	NS
Especie x nivel x fert.	NS	NS	**	NS	**
Muest. x esp. x niv. x fert.	NS	NS	**	NS	*

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta					
Nivel	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Lineal	NS	*	**	NS	**
Cuadrático	NS	*	NS	NS	NS
Cúbico	NS	*	NS	NS	NS

(1): LSA= largo de la sección aérea; LRA= largo de la raíz; PSSA= peso seco de la sección aérea; PSR= peso seco de la raíz; PT= peso total.

Cuadro 1bA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento de las plántulas de cafeto.

tiempo 1

Fuente de variación	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Bloque	NS	NS	**	NS	**
Especie	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	**	NS	**
Especie x Nivel	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel x Fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x Fertilizante	NS	NS	*	NS	*
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Lineal	NS	NS	**	*	**
Cuadrático	NS	*	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS

(1): LSA= Largo de la sección aérea; LRA= largo de la raíz; PSSA= peso seco de la sección aérea; PT= peso total.

Cuadro 1cA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento de las plántulas de cafeto.

tiempo 2

Fuente de variación	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Bloque	NS	**	**	**	**
Especie	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	**	NS	**	NS	**
Especie x Nivel	NS	NS	*	*	*
Fertilizante	NS	NS	**	**	**
Nivel x Fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x Fertilizante	NS	*	*	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Lineal	*	NS	**	NS	**
Cuadrático	*	NS	*	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS

(1): LSA= Largo de la sección aérea; LRA= largo de la raíz; PSSA= peso seco de la sección aérea; PT= peso total

Cuadro 1dA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento de las plántulas de cafeto.

tiempo 3

Fuente de variación	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Bloque	**	**	**	**	**
Especie	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x Nivel	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel x Fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x Fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Lineal	NS	NS	NS	NS	NS
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS

(1): LSA= Largo de la sección aérea; LRA= largo de la raíz; PSSA= peso seco de la sección aérea; PT= peso total

Cuadro 2aA. AMDEVA del efecto de los tratamientos sobre los nutrimentos en el suelo en el cafeto

Fuente de variación	Variables (1)										
	pH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex.	Cice	Sat.ac.	
Muestreo (tiempo)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	
Bloque	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	**	NS	**	
Especie	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	**	NS	**	
Muestreo x especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	*	
Nivel	**	**	NS	NS	**	**	**	NS	**	**	
Muestreo x nivel	**	NS	NS	NS	NS	**	**	NS	**	**	
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Muest. x esp. x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	*	NS	
Fertilizante	**	NS	NS	**	**	**	**	*	**	NS	
Muestreo x fertilizante	*	NS	*	**	*	*	*	**	NS	**	
Nivel x fertilizante	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Muestreo x nivel x fert.	NS	NS	NS	**	NS	*	*	NS	**	NS	
Especie x fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Muest. x especie x fert.	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	*	NS	
Especie x nivel x fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Muest. x esp x niv. x fert.	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	*	NS	*	

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)										
	pH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex.	Cice	Sat.ac.	
Lineal	NS	**	NS	NS	**	**	**	NS	**	**	
Cuadrático	**	*	NS	NS	NS	**	**	NS	**	NS	
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	

(1): M.O.: Materia orgánica; Ac.ex.: acidez extraíble; Cice: capacidad de intercambio efectivo; Sat.Ac: Saturación de acidez.

Cuadro 2ba. ANDEVA del efecto de los tratamientos en los nutrimentos del suelo en el tiempo 1

Fuente de variación	Variables (1)										
	pH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex	CICE	Sat.	ac.
Bloque	NS	NS	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
Especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	**
Nivel	**	NS	NS	NS	NS	**	**	NS	**	**	**
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	**	NS	**	**	NS	**	**	NS	**	**	**
Nivel x Fert.	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)										
	pH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex	CICE	Sat.	ac.
Lineal	**	NS	NS	NS	NS	**	**	NS	**	**	**
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS	*	**	NS	*	*	*
Cúbico	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

(1) M.O.= Materia orgánica; Ac. ex.= Acidez extraíble; Cice= Capacidad de intercambio efectiva; Sat. ac.= Porcentaje de saturación ácida

Cuadro 2cR. ANDEVA del efecto de los tratamientos en los nutrimentos en el suelo en tiempo 2

Fuente de variación	Variables (1)										
	PH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex.	CICE	Sat.	ac.
Bloque	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	**	NS	NS	**
Especie	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	**	NS	NS	**
Nivel	*	**	NS	*	*	**	**	NS	**	**	**
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	*	**	NS	NS
Fertilizante	**	NS	NS	**	**	NS	NS	**	**	NS	NS
Nivel x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	NS	*	NS	NS
Especie x Fert.	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)										
	PH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex.	CICE	Sat.	ac.
Lineal	NS	**	NS	**	**	**	**	NS	**	**	**
Cuadrático	**	NS	NS	NS	NS	**	**	NS	**	**	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

(1) M.O.= Materia orgánica; Ac. ex.= Acidez extrafible; Cice= Capacidad de intercambio efectiva; Sat. ac.= Porcentaje de saturación ácida

Cuadro 2da. ANDEVA del efecto de los tratamientos en los nutrimentos en el suelo en el café.

tiempo 3

Fuente de variación	Variables (1)										
	PH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex.	CICE	Sat.	ac.
Bloque.	NS	*	NS	NS	**	NS	NS	**	**	**	**
Especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	**	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	**	**	**	NS
Nivel x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*
Especie x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)										
	PH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex.	CICE	Sat.	ac.
Lineal	NS	**	*	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cuadrático	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

(1) M.O.= Materia orgánica; Ac. ex.= Acidez extraíble; Cice= Capacidad de intercambio efectiva; Sat. ac.= Porcentaje de saturación ácida

Cuadro 3aA. ANDEVA de los efectos de los tratamientos en los nitratos amonio y nitrógeno inorgánico en el suelo en el café.

Fuentes de variación	Variables		
	Nitratos	Amonio	Nitrógeno inorgánico
Muestreo (tiempo)	**	**	**
Bloque	NS	*	*
Especie	NS	NS	NS
Muestreo x especie	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	NS
Muestreo x nivel	NS	NS	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS
Muest. x esp. x nivel	NS	NS	NS
Fertilizante	NS	**	**
Muestreo x fertilizante	NS	**	**
Nivel x fertilizante	NS	NS	NS
Muestreo x nivel x fert.	NS	NS	NS
Especie x fertilizante	NS	NS	NS
Muest. x especie x fert.	NS	NS	NS
Especie x nivel x fert.	*	NS	NS
Muest.x esp x niv.x fert.	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables		
	Nitrato	Amonio	Nitrógeno inorgánico
Lineal	NS	NS	NS
Cuadrático	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS

Cuadro 3bA. ANDEVA de los efectos de los tratamientos en los nitratos amonio y nitrógeno inorgánico en el suelo en el cafeto.

tiempo 2

Fuentes de variación	Variables		
	Nitratos	Amonio	Nitrógeno inorgánico
Bloque	NS	NS	NS
Especie	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS
Fertilizante	NS	**	**
Nivel x Fert.	NS	NS	NS
Especie x Fert.	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables		
	Nitratos	Amonio	Nitrógeno inorgánico
Lineal	NS	NS	NS
Cuadrático	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS

Cuadro 3cA. ANDEVA de los efectos de los tratamientos en los nitratos amonio y nitrógeno inorgánico en el suelo en el cafeto.

tiempo 3

Fuentes de variación	Variables		
	Nitratos	Amonio	Nitrógeno inorgánico
Bloque	NS	NS	NS
Especie	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS
Fertilizante	NS	**	**
Nivel x Fert.	NS	NS	NS
Especie x Fert.	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	*	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables		
	Nitratos	Amonio	Nitrógeno inorgánico
Lineal	NS	NS	NS
Cuadrático	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS

Cuadro 4aA. ANDEVA del efecto de los tratamientos en los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del cafeto.

Fuente de variación	Variables						
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn
Muestreo (tiempo)	**	**	**	**	**	**	**
Bloque	**	**	**	**	**	**	**
Especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	**	*	**	*	NS	NS	**
Muestreo x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	**	**
Especie x nivel	NS	*	NS	*	*	NS	NS
Muestreo x especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS
Fertilizante	**	**	**	**	NS	**	**
Muestreo x fertilizante	NS	NS	*	NS	NS	NS	**
Nivel x fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
Muest. x nivel x fert.	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
Especie x fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muest. x esp. x fert.	NS	*	NS	*	NS	**	NS
Esp. x nivel. x fert.	**	**	**	*	**	NS	NS
Muest x esp x niv x fert	**	**	**	*	**	*	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables						
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn
Lineal	**	**	**	**	*	NS	**
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Cuadro 4bA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del cafeto.

tiempo 1

Fuentes de variación	Variables						
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn
Bloque	**	**	**	**	**	**	**
Especie	*	NS	NS	NS	NS	NS	*
Nivel	**	**	**	**	**	**	**
Especie x nivel	NS	NS	NS	*	NS	**	NS
Fertilizante	NS	*	NS	NS	NS	**	**
Nivel x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	**	*
Especie x Fert.	*	**	**	NS	NS	**	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables						
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn
Lineal	**	**	**	**	**	**	**
Cuadrático	NS	**	*	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS

Cuadro 4cA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del cafeto.

tiempo 2

Fuentes de variación	Variables						
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn
Bloque	**	**	**	**	**	**	**
Especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	**	**	**	**	**	NS	**
Especie x nivel	**	**	NS	*	**	**	NS
Fertilizante	**	**	**	**	**	**	**
Nivel x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**
Especie x Fert.	*	*	*	NS	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables						
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn
Lineal	**	**	**	**	**	*	**
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Cuadro 4dA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del cafeto.

tiempo 3

Fuentes de variación	Variables						
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn
Bloque	**	**	**	**	**	**	**
Especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS	*	**
Nivel x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables						
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn
Lineal	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Cuadro 5aA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la raíz del maíz.

Fuente de variación	Variables						
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn
Muestreo (tiempo)	**	**	**	**	**	**	**
Bloque	**	**	**	**	**	**	**
Especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	*	NS	NS	**	**
Muestreo x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x especie x nivel	*	NS	NS	**	**	**	NS
Fertilizante	**	NS	**	**	NS	NS	**
Muestreo x fertilizante	*	NS	NS	**	NS	NS	**
Nivel x fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x nivel x fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muest. x especie x fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x nivel x fert.	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS
Muest x esp x niv x fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables						
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn
Lineal	NS	NS	*	NS	NS	*	*
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	*	**	*
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Cuadro 5bA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los nutrientes del tejido vegetal de la raíz del maíz.

tiempo 1

Fuentes de variación	Variables					
	N	P	K	Ca	Mg	Mn
Bloque	**	NS	NS	NS	NS	NS
Especie	*	*	NS	**	NS	NS
Nivel	**	**	**	**	NS	**
Especie x nivel	NS	**	NS	**	NS	NS
Fertilizante	NS	NS	NS	NS	**	NS
Nivel x Fert.	NS	**	NS	**	NS	**
Especie x Fert.	NS	NS	NS	**	NS	*
Esp. x Niv. x Fert.	NS	*	NS	**	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables					
	N	P	K	Ca	Mg	Mn
Lineal	**	NS	**	**	*	**
Cuadrático	NS	**	NS	*	NS	NS
Cúbico	NS	**	NS	**	NS	NS

Cuadro 6aA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento del maíz.

Fuente de variación	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Muestreo (tiempo)	**	NS	**	**	**
Bloque	**	**	**	NS	**
Especie	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x especie	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	**	NS	**
Muestreo x nivel	*	NS	*	NS	*
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	**	NS	**	**	**
Muestreo x fertilizante	**	NS	**	**	**
Nivel x fert.	NS	NS	NS	NS	NS
Muest. x Nivel x fert.	*	NS	NS	NS	NS
Especie x fertilizante	NS	*	NS	**	NS
Muestreo x especie x fert.	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x nivel x fert.	NS	NS	NS	NS	NS
Muest. x esp. x nivel x fert.	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Lineal	NS	NS	**	NS	**
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS

(1): LSA= largo de la sección aérea; LRA= largo de la raíz; PSSA= peso seco de la sección aérea; PSR= peso seco de la raíz; PT= peso total.

Cuadro 6bA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento del maíz.

tiempo 1

Fuente de variación	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Bloque	**	*	**	*	**
Especie	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	*	NS	**	NS	**
Especie x Nivel	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	*	NS	**	NS	**
Nivel x Fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x Fertilizante	NS	**	**	*	**
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Lineal	**	NS	**	NS	**
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS

(1): LSA= largo de la sección aérea; LRA= largo de la raíz; PSSA= peso seco de la sección aérea; PSR= peso seco de la raíz; PT= peso total.

Cuadro 6cA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento del maíz.

tiempo 2

Fuente de variación	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Bloque	*	NS	NS	NS	NS
Especie	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	**	NS	**
Especie x Nivel	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	**	NS	**	**	**
Nivel x Fertilizante	*	NS	NS	NS	NS
Especie x Fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Lineal	NS	NS	**	NS	**
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	*	NS	*

(1): LSA= largo de la sección aérea; LRA= largo de la raíz; PSSA= peso seco de la sección aérea; PSR= peso seco de la raíz; PT= peso total.

Cuadro 6dA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento del maíz.

tiempo 3

Fuente de variación	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Bloque	**	**	*	NS	*
Especie	NS	NS	NS	*	NS
Nivel	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x Nivel	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	**	NS	**	**	**
Nivel x Fertilizante	NS	NS	NS	**	NS
Especie x Fertilizante	NS	*	NS	**	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)				
	LSA	LRA	PSSA	PSR	PT
Lineal	NS	NS	NS	NS	NS
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS

(1): LSA= largo de la sección aérea; LRA= largo de la raíz; PSSA= peso seco de la sección aérea; PSR= peso seco de la raíz; PT= peso total.

Cuadro 7aA. AMDEVA del efecto de los tratamientos en los nutrimentos en el suelo en el maíz.

Fuente de variación	Variables (1)									
	PH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex.	Cice	Sat.ac.
Muestreo (tiempo)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Bloque	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS
Especie	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muest. x esp. x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	**	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x fertilizante	**	NS	NS	**	NS	NS	NS	**	*	*
Nivel x fertilizante	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x nivel x fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x fertilizante	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muest. x especie x fert.	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x nivel x fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muest.x esp x niv.x fert.	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)									
	PH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex.	Cice	Sat.ac.
Lineal	NS	NS	*	NS	**	NS	NS	*	NS	NS
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS
Cúbico	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

(1): M.O.: Materia orgánica; Ac.ex.: acidez extraíble; Cice: capacidad de intercambio efectivo; Sat. Ac: Porcentaje de saturación ácida.

Cuadro 7bA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los nutrimentos en el suelo en el maiz.

tiempo 1

Fuente de variación	Variables (1)									
	PH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex.	CICE	Sat.ac.
Bloque	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	**	NS	NS	**	NS	NS	NS	**	NS	NS
Nivel x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x Fert.	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)									
	PH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex.	CICE	Sat.ac.
Lineal	*	NS	**	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

(1) M.O.= Materia orgánica; Ac. ex.= Acidez extrafible; Cice= Capacidad de intercambio efectiva; Sat. ac.= Porcentaje de saturación acida

Cuadro 7cR. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los nutrimentos en el suelo en el maíz.

tiempo 2

Fuente de variación	Variables (1)									
	PH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex.	CICE	Sat.ac.
Bloque	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	**	NS	NS	**	NS	NS	NS	*	NS	*
Nivel x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x Fert.	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)									
	PH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex.	CICE	Sat.ac.
Lineal	NS	NS	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	NS
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

(1) M.O.= Materia orgánica; Ac. ex.= Acidez extraíble; Cice= Capacidad de intercambio efectiva; Sat. ac.= Porcentaje de saturación ácida

Cuadro 7dr. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los nutrimentos en el suelo en el maíz.

tiempo 3

Fuente de variación	Variables (1)										
	PH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex.	CICE	Sat.ac.	
Bloque	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	NS	*	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta											
Nivel	Variables (1)										
	PH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Ac.ex.	CICE	Sat.ac.	
Lineal	NS	**	NS	NS	**	NS	*	NS	NS	NS	NS
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

(1) M.O.= Materia orgánica; Ac. ex.= Acidez extraíble; Cice= Capacidad de intercambio efectiva; Sat. ac.= Porcentaje de saturación ácida

Cuadro 8aA. ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los contenidos de nitratos, amonio y nitrógeno inorgánico en el suelo en el maíz.

Fuente de variación	Variables		
	Nitratos	Amonio	Nitrógeno inorgánico
Muestreo (tiempo)	NS	**	**
Bloque	NS	NS	NS
Especie	NS	NS	NS
Muestreo x especie	NS	NS	NS
Nivel	*	*	**
Muestreo x nivel	NS	NS	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS
Muest. x esp. x nivel	NS	NS	NS
Fertilizante	NS	*	*
Muestreo x fertilizante	NS	NS	NS
Nivel x fertilizante	NS	NS	NS
Muestreo x nivel x fert.	NS	NS	NS
Especie x fertilizante	NS	NS	NS
Muest. x especie x fert.	NS	*	*
Especie x nivel x fert.	NS	NS	NS
Muest.x esp x niv.x fert.	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta			
Nivel	Variables		
	Nitrato	Amonio	Nitrógeno inorgánico
Lineal	**	**	**
Cuadrático	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS

Cuadro 8bA. ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los contenidos de nitratos, amonio y nitrógeno inorgánico en el suelo en el maíz.

tiempo 2

Fuente de variación	Variables		
	Nitratos	Amonio	Nitrógeno inorgánico
Bloque	NS	NS	NS
Especie	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	*
Especie x nivel	NS	NS	NS
Fertilizante	NS	*	*
Nivel x Fert.	NS	NS	NS
Especie x Fert.	NS	*	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables		
	Nitrato	Amonio	Nitrógeno inorgánico
Lineal	*	NS	*
Cuadrático	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS

Cuadro 8cA. ANDEVA de los efectos de los tratamientos sobre los contenidos de nitratos, amonio y nitrógeno inorgánico en el suelo en el maíz.

tiempo 3

Fuente de variación	Variables		
	Nitratos	Amonio	Nitrógeno inorgánico
Bloque	NS	NS	NS
Especie	NS	NS	NS
Nivel	NS	*	*
Especie x nivel	NS	NS	NS
Fertilizante	NS	NS	NS
Nivel x Fert.	NS	NS	NS
Especie x Fert.	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables		
	Nitrato	Amonio	Nitrógeno inorgánico
Lineal	NS	*	*
Cuadrático	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS

Cuadro 9aA. ANDEVA del efecto de los tratamientos en los nutrimentos del tejido vegetal en la sección aérea del maíz.

Fuentes de variación	Variables							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Muestreo (tiempo)	*	**	*	**	**	**	**	**
Bloque	**	**	**	**	**	NS	**	**
Especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muestreo x especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	**	**	**	**	*	NS	**	NS
Muestreo x nivel	*	**	**	**	**	**	**	*
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muest. x esp. x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS
Fertilizante	**	**	**	**	**	**	**	**
Muest. x fert.	**	**	**	NS	*	NS	*	*
Nivel x fertilizante	NS	NS	*	NS	NS	**	*	NS
Muest. x niv. x fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Esp. x fertilizante.	**	**	*	*	*	NS	NS	*
Muest. x esp. x fert.	*	*	*	*	*	*	NS	NS
Esp. x nivel x fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muest x esp x niv x fert	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

· Contrastes para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Lineal	**	**	**	**	**	NS	**	*
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	*	NS	*	NS	NS	NS	NS

Cuadro 9bA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del maíz.

tiempo 1

Fuentes de variación	Variables							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Bloque	**	**	**	**	**	**	**	**
Especie	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
Nivel	**	**	**	**	**	**	**	**
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
Fertilizante	**	**	**	**	**	**	**	**
Nivel x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS
Especie x Fert.	**	**	*	**	**	**	*	*
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Lineal	**	**	**	**	**	**	**	**
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	*	*	NS	*

Cuadro 9cA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la sección aérea del maíz.

tiempo 2

Fuentes de variación	Variables							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Bloque	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	**	**	**	**	*	**	**	**
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
Fertilizante	**	**	**	**	**	**	**	**
Nivel x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	NS
Especie x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Lineal	**	**	**	**	**	NS	**	**
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	*	NS	*	NS	NS

Cuadro 9dA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los nutrientes del tejido vegetal de la sección aérea del maíz.

tiempo 3

Fuentes de variación	Variables							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Bloque	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
Especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	*	NS	NS	*	NS	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fertilizante	**	**	**	**	**	*	**	**
Nivel x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Lineal	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cuadrático	NS	NS	**	*	*	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS

Cuadro 10aA. ANDEVA de los efectos de los tratamientos en los nutrimentos del tejido vegetal en la raíz del maíz.

Fuentes de variación	Variables							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Muestreo (tiempo)	NS	**	**	NS	*	**	NS	NS
Bloque (muestreo)	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS
Especie	*	**	*	**	**	NS	**	NS
Muestreo x especie	*	*	NS	NS	*	NS	NS	NS
Nivel	NS	*	NS	**	NS	NS	NS	NS
Muestreo x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	*
Muest. x esp. x nivel	NS	*	NS	NS	NS	NS	**	NS
Fertilizante	**	**	**	**	**	NS	NS	**
Muestreo x fert.	NS	*	NS	NS	NS	*	NS	NS
Nivel x fertilizante	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Muest. x niv. x fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS
Especie x fert.	**	**	**	**	**	**	NS	**
Muest. x esp. x fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Esp. x nivel x fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*
Mues x esp x niv x fert	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS

Contrastes para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Lineal	NS	*	NS	NS	NS	NS	*	NS
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cubico	NS	*	NS	**	NS	NS	NS	NS

Cuadro 10cA. ANDEVA del efecto de los tratamientos sobre los nutrimentos del tejido vegetal de la raíz del maíz.

tiempo 2

Fuentes de variación	Variables							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Bloque	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
Nivel	NS	*	NS	NS	NS	NS	*	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
Fertilizante	**	**	**	**	**	**	NS	**
Nivel x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x Fert.	*	*	NS	NS	NS	*	NS	NS
Esp. x Niv. x Fert.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Lineal	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	*
Cúbico	NS	**	NS	*	NS	NS	NS	NS

Cuadro 11A. ANDEVA de los efectos de la cobertura muerta en la germinación y el crecimiento inicial de caféto.

Fuente de variación	Variables (1)					
	% Ger	LSA	LR	PSSA	PSR	PT
Especie	NS	NS	NS	*	NS	*
Nivel	*	NS	NS	NS	NS	NS
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Localización	NS	NS	**	NS	**	NS
Especie x loc.	NS	*	NS	NS	NS	NS
Nivel x loc.	NS	NS	**	**	NS	*
Esp. x niv. x loc.	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)					
	% Ger	LSA	LR	PSSA	PSR	PT
Lineal	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cubico	*	NS	NS	*	NS	NS

(1): % Ger= Porcentaje de germinación; LSA= largo de la sección aérea; LRA= largo de la raíz; PSSA= peso seco de la sección aérea; PSR= peso seco de la raíz; PT= peso total.

Cuadro 12A. ANDEVA de los efectos de la cobertura muerta en la germinación y el crecimiento inicial del maíz.

Fuente de variación	Variables (1)				
	% Ger	LSA	PSSA	PSR	PT
Especie	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel	NS	NS	**	**	**
Especie x nivel	NS	NS	NS	NS	NS
Localización	*	NS	NS	NS	NS
Especie x loc.	NS	*	*	*	*
Nivel x loc.	NS	NS	NS	**	*
Esp. x nivel x loc.	NS	NS	NS	NS	NS

Contrastes ortogonales para nivel de cobertura muerta

Nivel	Variables (1)				
	% Ger	LSA	PSSA	PSR	PT
Lineal	NS	*	**	**	**
Cuadrático	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbico	NS	NS	NS	NS	NS

(1): % Ger= Porcentaje de germinación; LSA= largo de la sección aérea; LRA= largo de la raíz; PSSA= peso seco de la sección aérea; PSR= peso seco de la raíz; PT= peso total.