

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA

SUBDIRECCION GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA

ANALISIS DE LA ESTABILIDAD Y DINAMICA DE SISTEMAS DE  
PRODUCCION DE CULTIVOS EN CALLEJONES

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 el grado  
de

MAGISTER SCIENTIAE

Por:

JAIME FERNANDO SANCHEZ OVIEDO

Turrialba, Costa Rica.

1989

Aureliano le contestó que era martes.  
"Eso mismo pensaba yo -dijo José Arcadio Buendía-. Pero de pronto me he dado cuenta de que sigue siendo lunes, como ayer. Mira el cielo, mira las paredes, mira las begonias. También hoy es lunes".

José Arcadio Buendía antes de perder la razón en "Cien años de soledad" de Gabriel García Márquez.

## DEDICATORIA

A Margarita, por todo su amor.

A mis padres Julieta y Adán, siempre en mis pensamientos.

A mi hermano Germán por haber estimulado en mi el interés por los árboles fijadores de nitrógeno y por su inmensa colaboración.

A mis hermanos Jorge, Néstor, Carlos y Alvaro, por su apoyo.

A Pedro Ferreira, a quién deben tanto este trabajo y su autor.

Jaime Fernando

## AGRADECIMIENTOS

-Al Dr. Donald Kass, consejero principal por su permanente guía y colaboración.

-A los miembros del comité de tesis Carlos Burgos, Ph.D., Roberto Diaz-Romeu, M. Sc., y Pedro Ferreira, Ph.D. por sus consejos y recomendaciones.

-A mi colega y amigo Mario Jiménez por su paciente labor de campo y laboratorio, fundamental para la realización de este trabajo.

-Al Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID-Canadá) por el apoyo financiero para mis estudios de postgrado en CATIE.

-Al Proyecto Arboles Fijadores de Nitrógeno (CATIE/CIID) y especialmente a su coordinador Dr. Germán A. Sánchez por su cooperación permanente durante mi permanencia en CATIE.

-Al personal técnico, administrativo, asistentes de campo y obreros del proyecto AFN, sin quienes hubiera sido imposible la realización de esta tesis.

-A todas las personas que de una u otra manera colaboraron para la realización de este trabajo de tesis.

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 el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

COMITE ASESOR:

*Donald L. Kass*

---

Donald Kass, Ph.D.  
Profesor Consejero

*Carlos F. Burgos*

---

Carlos Burgos, Ph.D.  
Miembro del Comité

*Roberto Díaz Romeu*

---

Roberto Díaz Romeu, M.Sc.  
Miembro del Comité

---

Miembro del Comité

*Ramón Lastra Rodríguez*

---

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

*Dr. José Luis Parisí*

---

Dr. José Luis Parisí  
Subdirector General Adjunto de Enseñanza

*Jaime Fernando Sánchez Oviedo*

---

Jaime Fernando Sánchez Oviedo  
Candidato

## BIOGRAFIA

El autor nació el 24 de Febrero de 1960 en Bogotá, Colombia.

En 1978 obtuvo el título de Bachiller en el Seminario Apostólico Dominicano "Jordán de Sajonia".

En Noviembre de 1986 recibió el grado de Ingeniero Agrónomo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia en Palmira (Valle), presentando una tesis realizada en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) bajo la dirección del Dr. José G. Salinas.

Desde Enero de 1987 colabora como asistente de investigación con el Proyecto Arboles de Nitrógeno del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, (CATIE) en el manejo de bases de datos, suelos y biometría.

En Septiembre de 1987 ingresó al programa de postgrado del CATIE, recibiendo en Agosto de 1989, el grado de Magister Scientiae con énfasis en Suelos Tropicales.

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
HOJA DE APROBACION	v
BIOGRAFIA	vi
INDICE	vii
RESUMEN	ix
SUMMARY	x
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE ANEXOS	xviii
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Productividad de cultivos anuales en cultivos en callejones	6
2.2 Reciclaje de nutrimentos	10
2.2.1 Nitrógeno	10
2.2.2 Potasio	14
2.2.3 Calcio	16
2.2.4 Acidez	17
2.2.5 Fósforo	17
2.2.6 Acumulación en los tejidos de los árboles	18
2.3 Estabilidad	20

3.	MATERIALES Y METODOS	27
	3.1 Ensayo A	27
	3.2 Ensayo B	31
	3.3 Ajuste por variación climática	34
	3.4 Estabilidad y degradabilidad	37
	3.5 Reservas y transferencias de nutrimentos	46
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	50
	4.1 Corrección por variables climáticas en el ensayo de La Montaña	50
	4.2 Corrección por variables climáticas en el Experimento 170	61
	4.3 Estabilidad y degradación en el ensayo A	67
	4.4 Estabilidad y degradación en el ensayo B	81
	4.5 Densidad y contenidos de nutrimentos de las maderas	96
	4.6 Reserva y transferencia de nutrimentos en el Experimento 170	97
	4.7 Reserva y transferencia de nutrimentos en La Montaña	106
5.	CONCLUSIONES	118
6.	BIBLIOGRAFIA	120
7.	ANEXOS	128



## RESUMEN

Sánchez, J.F. 1989. Análisis de la estabilidad y dinámica de sistemas de producción de cultivos en callejones. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R. Programa de estudios de posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales - CATIE. 174 p.

Palabras claves: Cultivo en callejones, estabilidad de sistemas de producción, degradabilidad de rendimientos, reserva de nutrientes, recirculación de nutrientes, Erythrina poeppigiana, Gliricidia sepium, frijol, maíz, leguminosas arbóreas

El cultivo en callejones o "alley cropping" es un sistema de producción que asocia árboles de rápido crecimiento con cultivos alimenticios anuales como maíz y frijol, y que por sus características se ha señalado como una tecnología de bajos insumos (Sánchez y Salinas, 1983). En este sistema los cultivos anuales crecen entre hileras de arbustos leñosos o árboles de barbecho, siendo estos últimos periódicamente podados durante la época de cultivo para prevenir la sombra y suministrar abono verde para el cultivo acompañante (Kang, Wilson y Sipkens, 1981).

El presente trabajo de tesis tuvo como objetivos reconocer la estabilidad y la degradabilidad de sistemas de producción de cultivos en callejones, desarrollando una metodología cuantitativa y establecer sus reservas y reciclamiento de nutrientes, utilizando la investigación que sobre este sistema lleva a cabo el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE desde 1982.

Se encontró que en un sistema de cultivo en callejones la introducción de un mayor número de árboles contribuye a generar mayor estabilidad en los rendimientos de maíz. Sin embargo, otros factores diferentes al nivel de nutrientes en el suelo, hace que este mayor grado de estabilidad se encuentre asociado a bajos rendimientos.

En el tiempo, es posible encontrar un menor deterioro de los rendimientos de maíz, bajo cultivo en callejones que en cultivo puro. Además, bajo condiciones climáticas promedio, es posible obtener una evolución positiva de los rendimientos de maíz en cultivo en callejones, a través del tiempo. Un distanciamiento óptimo de Erythrina poeppigiana, bajo las condiciones de Turrialba es 6X2, pues muestra estabilidad y niveles medios en los rendimientos de poró y maíz, con evolución favorable.

Las reservas de fósforo en el componente arbóreo en el cultivo en callejones es de especial importancia, llegando a representar un 45% de las reservas totales en el sistema con E. poeppigiana y un 42% con G. sepium. Gliricidia sepium es una especie leguminosa que responde en cultivo en callejones a la aplicación de nitrógeno y que compete exitosamente con los cultivos, especialmente maíz por los nutrientes del suelo. Erythrina poeppigiana en cultivo en callejones no solamente no responde a la aplicación de fertilizante nitrogenado, si no que tiene un efecto detrimental sobre sus rendimientos y reservas.

A pesar de la tasa de recirculación, en condiciones de alto rendimiento como las que suceden en cultivo en callejones con G. sepium y fertilización nitrogenada, otros nutrientes como fósforo y potasio se convierten en limitantes de la producción.

## SUMMARY

Sanchez, J.F. 1989. Analysis of the stability and dynamics of alley cropping production systems. M.S. Thesis, Turrialba, Costa Rica. Program of graduate studies in agricultural sciences and natural resources.

Key words: alley cropping; stability of production systems; yield decline; nutrient reserves; nutrient cycling; *Erythrina poeppigiana*; *Gliricidia sepium*; beans; maize; N-fixing trees;

Alley cropping is a production system in which fast-growing trees are associated with annual crops such as maize and beans and which has been characterized as a low-input production alternative (Sanchez and Salinas, 1983). In this system, the annual crops are grown between rows of woody shrubs or fallow trees, which are pruned periodically during the cropping period to reduce shading and provide green manure to the associated crops (Kang, Wilson, and Sipkens, 1981).

The present thesis research had the objectives of 1) developing a quantitative methodology to determine the stability of and the degree of decline of yield and other factors associated with the alley cropping production systems and 2) establishing the amounts of nutrient reserve and recycling using two field experiments set up at the Tropical Agriculture Research and Training Center (CATIE) in Turrialba, Costa Rica, in 1982 and 1984.

It was found that the increasing the population of trees in an alley cropping system results in increased yield stability of maize. However, factors other than the level of soil nutrients cause the increased stability to be associated with lower average yields. However, over time the rate of decline of maize yields is lower under alley cropping than in pure stands. Furthermore, when a correction was made for climatic variation, maize yields were shown to increase over time under alley cropping. In Turrialba, the best spacing for *Erythrina poeppigiana*, in an alley cropping system with maize, was found to be 6m X 2m as this spacing resulted in greater yield stability, acceptable overall yield levels, and tendency for these yields to increase over time.

The reserves of Phosphorus in the tree component in the alley cropping system were shown to be of especial significance, accounting for 0.45 of the reserves in crops, tree, and soil in a system with *E. poeppigiana* and 0.45 of the reserves in a system with *G. sepium*. *G. sepium* was shown to be a woody legume species which responds markedly to the application of Nitrogen to the associated crops but which competes strongly with the crops for soil nutrients in an alley cropping system. The application of N to crops associated with *E. poeppigiana*, however, did not increase biomass production of this species but actually resulted in reduced biomass production and nutrient reserves in the tree component. Despite evidence for a rapid rate of nutrient recycling, some evidence was presented which would indicate that nutrients other than N, such as Phosphorus and Potassium, may become limiting in an alley cropping system in which productivity is high as when N was applied to crops associated with *G. sepium*.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro No.	Título	Página
1	Combinación de especies arbóreas con cultivos en callejones	3
2	Contenido de nutrimentos de la madera de <u>Erythrina poeppigiana</u> en un sistema agroforestal en Turrialba (Alpízar, et. al., 1985)	19
3	Fuentes de variación del análisis de varianza sugerido por Finlay y Wilkinson (1963)	23
4	Análisis de varianza cuando se estiman los parámetros de estabilidad	25
5	Métodos utilizados para la determinación de contenidos de nutrimentos, pH y MO de suelos y de contenidos de nutrimentos de tejidos vegetales	31
6	Análisis de varianza para estimación de la estabilidad	39
7	Análisis de varianza para estimación de la estabilidad descomponiendo los cuadrados medios en componente lineal y sus desviaciones	41
8	Análisis de varianza para estimación de la estabilidad descomponiendo los cuadrados medios entre épocas de precipitación en componentes lineales y su desviación	45
9	Factores de corrección para los rendimientos de frijol y maíz en el ensayo de La Montaña	54
10	Factores de corrección para los rendimientos de biomasa de los árboles en el ensayo de La Montaña	55

Cuadro No.	Título	Página
11	Factores de corrección para los rendimientos de maíz y biomasa de poró en el Experimento 170	67
12	Estabilidad de rendimientos de maíz en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica (Experimento 170 AFN/CIID)	68
13	Estabilidad de rendimientos de maíz por época de precipitación (seca y lluviosa) en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica (Experimento 170 AFN/CIID)	69
14	Degradación de rendimientos de maíz en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica (Experimento 170 AFN/CIID)	72
15	Degradación de rendimientos de maíz por época de precipitación (seca y lluviosa) en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica (Experimento 170 AFN/CIID)	73
16	Estabilidad de rendimientos de poró en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica (Experimento 170 AFN/CIID)	74
17	Estabilidad de rendimientos de poró por época de precipitación (seca y lluviosa) en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica (Experimento 170 AFN/CIID)	76
18	Degradación de rendimientos de poró en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica (Experimento 170 AFN/CIID)	77
19	Degradación de rendimientos de poró por época de precipitación (seca y lluviosa) en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica (Experimento 170 AFN/CIID)	78
20	Indices de degradabilidad de las diversas variables del suelo consideradas en el Experimento 170	79

Cuadro No.	Título	Página
21	Coefficientes de correlación lineal entre los rendimientos de maíz y poró y las variables del suelo consideradas en el Experimento 170	80
22	Estabilidad de rendimientos de frijol en el ensayo de La Montaña	82
23	Indices de degradación de rendimientos de frijol en el ensayo de La Montaña	83
24	Estabilidad de rendimientos de maíz en el ensayo de La Montaña	85
25	Indices de degradación de rendimientos de maíz en el ensayo de La Montaña	86
26	Estabilidad de rendimientos de árboles en el ensayo de La Montaña	87
27	Estabilidad de rendimientos de árboles por época en el ensayo de La Montaña	88
28	Indices de degradación de rendimientos de biomasa de árboles en el ensayo de La Montaña	89
29	Indices de degradación de rendimientos de biomasa de árboles por época de precipitación en el ensayo de La Montaña	89
30	Coefficientes de degradación de las variables del suelo (0 - 20 cm) en el experimento de La Montaña	91
31	Coefficientes de degradación de las variables del suelo (20 - 40 cm) en el experimento de La Montaña	92
32	Correlaciones lineales entre los rendimientos de frijol y las variables del suelo (0 - 20 cm) en el experimento de La Montaña	94
33	Correlaciones lineales entre los rendimientos de maíz y las variables del suelo (0 - 20 cm) en el experimento de La Montaña	95

Cuadro No.	Título	Página
34	Correlaciones lineales entre los rendimientos de árboles y las variables del suelo (20 - 40 cm) en el experimento de La Montaña	96
35	Densidad y contenido de nutrimentos del tocón de <u>Erythrina poeppigiana</u> en el Experimento 170	96
36	Densidad y contenido de nutrimentos de la madera del tocón de <u>Erythrina poeppigiana</u> y <u>Gliricidia sepium</u> en el experimento de La Montaña	97

## LISTA DE FIGURAS

Figura No.	Título	Página
1.	Interpretación generalizada del patrón de variedades obtenido cuando el coeficiente de regresión es graficado versus los rendimientos medios de las variedades (Finlay y Wilkinson, 1963)	26
2.	Experimento A	28
3.	Experimento B	33
4.	Comportamiento promedio de la precipitación y la radiación en Turrialba. (Estación CATIE)	35
5.	Modelo de reservas y transferencias de nutrimentos en el experimento de La Montaña	47
6.	Modelo de reservas y transferencias de nutrimentos en el experimento 170.	48
7.	Condiciones climatológicas durante la época de siembra a madurez fisiológica de maíz en el Experimento de La Montaña.	51
8.	Condiciones climatológicas durante la época de siembra a madurez fisiológica de frijol en el ensayo de La Montaña	52
9.	Condiciones climatológicas prevalecientes entre cosechas de árboles en el experimento de La Montaña	53
10A.	Rendimiento de frijol en el Experimento de La Montaña	56
10B.	Rendimiento de frijol en el Experimento de La Montaña	57
11A.	Rendimientos de maíz en el experimento de La Montaña	58
11B.	Rendimientos de maíz en el experimento de La Montaña	59

Figura No.	Título	Página
12.	Rendimiento de árboles en el Experimento de La Montaña	60
13.	Condiciones climatológicas durante la época de siembra a madurez fisiológica de maíz en el experimento 170	62
14.	Condiciones climatológicas entre épocas de cosecha de <u>E. poeppigiana</u> en el experimento 170	63
15.	Rendimientos de maíz en el experimento 170	65
16.	Biomasa de poró en el experimento 170	66
17.	Estabilidad de rendimientos de maíz en el experimento 170 por época	71
18.	Estabilidad de rendimientos de poró en el experimento de La Montaña	75
19.	Reserva y transferencias de MO en el experimento 170	98
20.	Reserva y transferencias de N en el experimento 170	100
21.	Reserva y transferencia de P en el experimento 170	102
22.	Reserva y transferencia de K en el experimento de 170	104
23.	Reserva y transferencia de Ca en el experimento 170	105
24.	Reserva y transferencia de Mg en el experimento 170	107
25.	Reserva y transferencia de materia orgánica en el experimento de La Montaña	108
26.	Reserva y transferencia de nitrógeno en el experimento de la Montaña	110



Figura No.	Título	Página
27.	Reserva y transferencia de fósforo en el experimento de la Montaña	112
28.	Reserva y transferencia de potasio en el experimento de la Montaña	114
29.	Reserva y transferencia de calcio en el experimento de la Montaña	115
30.	Reserva y transferencia de magnesio en el experimento de la Montaña	116

## LISTA DE ANEXOS

Figura No.	Título	Página
1A	Rendimiento corregido de frijol en el ensayo de La Montaña	129
1B	Rendimiento corregido de frijol en el ensayo de La Montaña	130
2A	Rendimiento corregido de maíz en el ensayo de La Montaña	131
2B	Rendimiento corregido de maíz en el ensayo de La Montaña	132
3	Rendimiento corregido de biomasa de árboles en el ensayo de La Montaña	133
4	Rendimiento corregido de maiz en el experimento 170	134
5	Rendimiento corregido de poró en el experimento 170	135
6A	Comportamiento del pH a través del tiempo en el experimento de la Montaña (0-20 cm)	136
6B	Comportamiento del pH a través del tiempo en el experimento de La Montaña (0-20 cm)	137
7A	Comportamiento de la materia orgánica a través del tiempo en el experimento de La Montaña (0-20 cm)	138
7B	Comportamiento de la materia orgánica a través del tiempo en el experimento de La Montaña (0-20 cm)	139
8A	Comportamiento del nitrógeno a través del tiempo en el experimento de La Montaña (0-20 cm)	140
8B	Comportamiento del nitrógeno a través del tiempo en el experimento de La Montaña (0-20 cm)	141

Figura No.	Título	Página
9A	Comportamiento del fósforo a través del tiempo en el experimento de La Montaña (0-20 cm)	142
9B	Comportamiento del fósforo a través del tiempo en el experimento de La Montaña (0-20 cm)	143
10A	Comportamiento del potasio a través del tiempo en el experimento de La Montaña (0-20 cm)	144
10B	Comportamiento del potasio a través del tiempo en el experimento de La Montaña (0-20 cm)	145
11A	Comportamiento del calcio a través del tiempo en el experimento de La Montaña (0-20 cm)	146
11B	Comportamiento del calcio a través del tiempo en el experimento de La Montaña (0-20 cm)	147
12A	Comportamiento del magnesio a través del tiempo en el experimento de La Montaña (0-20 cm)	148
12B	Comportamiento del magnesio a través del tiempo en el experimento de La Montaña (0-20 cm)	149
13	Comportamiento del pH a través del tiempo en el experimento 170	150
14	Comportamiento de la materia orgánica a través del tiempo en el experimento 170.	151
15	Comportamiento del nitrógeno a través del tiempo en el experimento 170	152
16	Comportamiento del fósforo a través del tiempo en el experimento 170	153
17	Comportamiento del potasio a través del tiempo en el experimento 170	154
18	Comportamiento del calcio a través del tiempo en el experimento 170	155

Figura No.	Título	Página
19	Comportamiento del magnesio a través del tiempo en el experimento 170	156
20A	Reserva y transferencia de materia orgánica en el experimento de La Montaña	157
20B	Reserva y transferencia de materia orgánica en el experimento de La Montaña	158
20C	Reserva y transferencia de materia orgánica en el experimento de La Montaña	159
21A	Reserva y transferencia de nitrógeno en el experimento de La Montaña	160
21B	Reserva y transferencia de nitrógeno en el experimento de La Montaña	161
21C	Reserva y transferencia de nitrógeno en el experimento de La Montaña	162
22A	Reserva y transferencia de fósforo en el experimento de La Montaña	163
22B	Reserva y transferencia de fósforo en el experimento de La Montaña	164
22C	Reserva y transferencia de fósforo en el experimento de La Montaña	165
23A	Reserva y transferencia de potasio en el experimento de La Montaña	166
23B	Reserva y transferencia de potasio en el experimento de La Montaña	167
23C	Reserva y transferencia de potasio en el experimento de La Montaña	168
24A	Reserva y transferencia de calcio en el experimento de La Montaña	169
24B	Reserva y transferencia de calcio en el experimento de La Montaña	170

Figura No.	Título	Página
24C	Reserva y transferencia de calcio en el experimento de La Montaña	171
25A	Reserva y transferencia de magnesio en el experimento de La Montaña	172
25B	Reserva y transferencia de magnesio en el experimento de La Montaña	173
25C	Reserva y transferencia de magnesio en el experimento de La Montaña	174

## 1. INTRODUCCION

Una población creciente que entre 1986 y 2000, duplicará su número, incrementará su presión sobre recursos naturales donde ya se percibe un gran deterioro (World Resources Institute, 1986). El reto de los investigadores agrícolas está en garantizar seguridad alimenticia a la nueva población, creando tecnología agrícola, de bajo impacto en ecosistemas frágiles y bajo potencial productivo.

El cultivo en callejones o "alley cropping" es un sistema de producción que asocia árboles de rápido crecimiento con cultivos alimenticios anuales como maíz y frijol, y que por sus características se ha señalado como una tecnología de bajos insumos (Sánchez y Salinas, 1983). En este sistema los cultivos anuales crecen entre hileras de arbustos leñosos o árboles de barbecho, siendo estos últimos periódicamente podados durante la época de cultivo para prevenir la sombra y suministrar abono verde para el cultivo acompañante (Kang, Wilson y Sipkens, 1981).

Han sido señaladas como ventajas de este sistema el suministro de N y materia orgánica al suelo (Yamoah, et. al., 1986), el control de malezas en el cultivo asociado (Aken'Ova y Atta-Krah, 1986; Seibert y Kuncoro, 1988), el control de la erosión en suelos de ladera (Vega, Van Eijk-Bos y Moreno, 1987; IITA, 1987) y el mantenimiento de la capacidad nutricional del suelo (Ssekabembe, 1985).

Así, el cultivo en callejones parece dar respuesta a dos problemas principales que tienen que ver con la seguridad alimentaria: producción de cultivos alimenticios con bajos insumos y bajo impacto sobre la degradación del suelo.

No obstante, productividad sin sostenibilidad es minería (Dover y Talbot, 1987). Es decir, si no podemos garantizar el mantenimiento de la base de recursos de la tierra, difícilmente daremos respuesta al reto antes señalado.

Dentro de este orden de ideas, esta tesis tuvo como objetivos reconocer la estabilidad y la degradabilidad de sistemas de producción de cultivos en callejones, desarrollar una metodología cuantitativa para ello y establecer sus reservas y reciclamiento de nutrimentos. Para esto se usó la investigación que sobre este sistema lleva a cabo el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE desde 1982.

## 2. REVISION DE LITERATURA

Diversas especies arbóreas de rápido crecimiento se han utilizado en cultivo en callejones, asociándose también con una gran variedad de cultivos anuales (Cuadro 1). Como se puede observar, han predominado los trabajos con leguminosas arbóreas como Leucaena leucocephala y Gliricidia sepium y entre los cultivos anuales, el maíz.

Cuadro 1. Combinación de especies arbóreas con cultivos anuales en cultivos en callejones.

Especie Arbórea	Especie Anual	Referencia
<u>Leucaena leucocephala</u> <u>Gliricidia sepium</u>	<u>Sorghum bicolor</u> <u>Capsicum sp.</u>	Atta-Krah y Kolawole, 1987
<u>Leucaena leucocephala</u> <u>Gliricidia sepium</u> <u>Sesbania grandiflora</u>	<u>Zea mays</u> <u>Vigna sinensis</u>	Duguma, Kang y Okali, 1988
<u>Leucaena leucocephala</u>	<u>Sorghum bicolor</u> <u>Sorghum sudanense</u> <u>Sorghum alnum</u> <u>Brassica sp.</u>	Gill y Patil, 1985
<u>Leucaena leucocephala</u>	<u>Hibiscus canabis</u>	Gutteridge, 1985
<u>Leucaena leucocephala</u>	<u>Sorghum bicolor</u> <u>Vigna sinensis</u>	ICRISAT, 1987 ICRISAT, 1988



Cuadro 1. Combinación de especies arbóreas con cultivos anuales en cultivos en callejones. (Cont.)

Especie	Especie	Referencia
Arbórea	Anual	
<u>Leucaena leucocephala</u>	<u>Zea mays</u>	IITA, 1980
<u>Tephrosia candida</u>		IITA, 1981
<u>Gliricidia sepium</u>		
<u>Cajanus cajan</u>		
<u>Leucaena leucocephala</u>	<u>Oryza sativa</u>	IITA, 1981
<u>Acioa barterii</u>	<u>Zea mays</u>	IITA, 1982
<u>Gliricidia sepium</u>	<u>Vigna sinensis</u>	IITA, 1983
<u>Leucaena leucocephala</u>		
<u>Alchornea cordifolia</u>		
<u>Calliandra calothyrsus</u>	<u>Zea mays</u>	IITA, 1987
	<u>Vigna sinensis</u>	
<u>Cassia spectabilis</u>	<u>Zea mays</u>	IITA, 1987
<u>Leucaena leucocephala</u>	<u>Phaseolus vulgaris</u>	
<u>Calliandra calothyrsus</u>	<u>Sorghum bicolor</u>	
<u>Sesbania sesban</u>		
<u>Leucaena leucocephala</u>	<u>Zea mays</u>	Kang, Wilson y Sipkens, 1981 IITA, 1980
<u>Erythrina poeppigiana</u>	<u>Zea mays</u>	Kass, 1986
<u>Gliricidia sepium</u>	<u>Phaseolus vulgaris</u>	
	<u>Manihot esculenta</u>	

Cuadro 1. Combinación de especies arbóreas con cultivos anuales en cultivos en callejones. (Cont.)

Especie Arbórea	Especie Anual	Referencia
<u>Erythrina poeppigiana</u>	<u>Zea mays</u>	Kass y Díaz-Romeu, 1986
<u>Gliricidia sepium</u>	<u>Phaseolus vulgaris</u>	
	<u>Manihot esculenta</u>	
<u>Gliricidia sepium</u>	<u>Zea mays</u>	Kass, Jiménez y Camacho,
	<u>Phaseolus vulgaris</u>	1987
<u>Calliandra calothyrsus</u>	<u>Colocasia esculenta</u>	Kidd y Taogaga, 1985
<u>Erythrina sp.</u>		
<u>Gliricidia sepium</u>		
<u>Leucaena leucocephala</u>		
<u>Samanea saman</u>		
<u>Sesbania grandiflora</u>		
<u>Leucaena leucocephala</u>	<u>Zea mays</u>	Macklin, et. al., 1988
<u>Leucaena leucocephala</u>	<u>Panicum maximum</u>	Rant y Gill, 1987
<u>Albizia lebbek</u>	<u>Avena sativa</u>	Tripathi y Hazra, 1986
	<u>Hordeum vulgare</u>	
<u>Gliricidia sepium</u>	<u>Zea mays</u>	Yamoah, Agboola y Wilson,
<u>Flemingia congesta</u>		1986
<u>Cassia siamea</u>		IITA, 1983

La mayor parte de los reportes se refieren a rendimientos de una o dos cosechas anuales a pesar de que desde 1977 se pensaba que era necesario adelantar estudios de largo plazo con cultivos en callejones para apreciar los beneficios y las limitaciones del sistema (Rachie, 1983). Solamente la serie de trabajos de Kass (Kass, 1986; Kass y Jiménez, 1986; Kass, Jiménez y Camacho, 1987) y los reportes de IITA (1980, 1981, 1982, 1983) presentan los resultados de más de dos años de cultivo.

### 2.1. Productividad de cultivos anuales en cultivos en callejones.

Uno de los problemas para establecer el beneficio del cultivo en callejones sobre los rendimientos lo constituye la falta de un control sin árboles en los ensayos reportados.

Por ejemplo en un ensayo realizado en el sur oeste de Nigeria sobre un Oxic Paleustalf (Duguma, Kang y Okali, 1988), se obtuvieron rendimientos alrededor de 7 ton/ha con Gliricidia sepium y Sesbania grandiflora, aplicándose adicionalmente una fertilización basal al cultivo de maíz, así es imposible atribuir los altos rendimientos solamente al cultivo en callejones. Lo mismo sucede con un ensayo donde se cultivó maíz entre callejones de Leucaena leucocephala (Kang, Wilson y Sipkens, 1981), donde el

control correspondía a una parcela con árboles, pero donde se retiraba la biomasa de la poda, evaluándose así, solamente el efecto negativo de la sombra.

Con frecuencia, los rendimientos de maíz en las parcelas control sin árboles son mayores que en las parcelas en cultivo en callejones. Los rendimientos de maíz se redujeron cerca del 50% en un ensayo con Leucaena leucocephala llevado a cabo en IITA (1981). Resultados similares reportan Kass, Jiménez y Camacho (1987) y Kass y Jiménez (1986) utilizando Gliricidia sepium; Kass (1986) utilizando Erythrina poeppigiana y Gliricidia sepium y Alavez (1987) utilizando Erythrina poeppigiana.

Sin embargo, este es un rasgo que está vinculado con gramíneas en general. El pasto guinea, Panicum maximum redujo su rendimiento en un 40% cuando se cultivó asociado a Samanea saman y un 25% cuando se asoció con Sesbania grandiflora, mientras que asociados con Leucaena leucocephala el pasto buffel, Cenchrus ciliaris redujo sus rendimientos en un 76% y el bermuda, Cynodon dactylon en un 83% con respecto al control sin árboles (Rant y Gill, 1987). Tres especies diferentes de sorgo Sorghum bicolor, S. sudanense y S. almun redujeron sus rendimientos de biomasa en un 14, 16 y 31% respectivamente, al asociarse con Leucaena leucocephala (Gill y Patil, 1985). La avena, Avena sativa y la cebada Hordeum vulgare también redujeron sus

rendimientos de biomasa en un 31 y un 16% respectivamente al asociarse con Albizia lebbek (Tripathi y Hazra, 1986).

En cuatro ensayos de los que se tuvo ocasión de revisar, los rendimientos de maíz en el cultivo en callejones aumentaron con respecto al control. En IITA (1981), la asociación con Tephrosia candida, Gliricidia sepium y Leucaena leucocephala, fué beneficiosa, pero sólo en el último caso sobrepasó las 2 Ton/ha. En la zona costera de Kenya (Macklin, et. al., 1988) los rendimientos de maíz en cultivo en callejones con Leucaena leucocephala fueron un 58% más altos que el control en el primer año y cinco veces y media en el segundo año, siendo un ejemplo valioso del uso de este sistema en situaciones de degradación de la producción por una disminución rápida de la base de recursos. Sobre vertisoles en Colombia (Rachie, 1983) los rendimientos de maíz fueron un 10% más altos utilizando Leucaena leucocephala que sin árboles. Por último, sobre un suelo oxic paleustalf, los rendimientos de maíz fueron 24% más altos el primer año y 63% el segundo año.

La evidencia disponible hace pensar que, debido a las características de las gramíneas como plantas C4 y probablemente debido a su arquitectura, los rendimientos de grano o de biomasa de estas plantas en cultivo en callejones, sólo es posible si la degradación del sistema es

tan grande que la falta de luz, el factor más importante que incide sobre su potencial de producción (Kass, et. al. 1989) pasa a segundo plano.

Otra situación completamente diferente se presenta cuando en el cultivo en callejones se trabaja con leguminosas anuales u otros cultivos. En Costa Rica los rendimientos de Phaseolus vulgaris han aumentado en un 35% con E. poeppigiana y un 30% con G. sepium en Turrialba (Kass, 1986) y en un 15% en San Carlos (Kass y Jiménez, 1986). Colocasia esculenta únicamente redujo un 13% sus rendimientos en cultivo en callejones con Calliandra calothyrsus, mientras que los aumentó 16% con Erythrina sp., 53% con G. sepium, 29% con L. leucocephala y 10% con Sesbania grandiflora ((Kidd y Taogaga, 1985).

La yuca, una planta que recientemente se ha descrito como intermedia entre C3 y C4 (CIAT, 1986) parece comportarse como las gramíneas al reducir su rendimiento un 14% con E. poeppigiana y un 20% con G. sepium (Kass, 1986).

## 2.2. Reciclaje de Nutrientes

### 2.2.1 Nitrógeno

La contribución del árbol asociado en el cultivo de franjas depende de la especie. En el IITA (1981), se ha podido determinar que Gliricidia sepium y Leucaena leucocephala son las especies de mejor comportamiento bajo este sistema. Su contribución de N alcanza 233 y 234 kg/ha/año, respectivamente.

Gliricidia sepium y Cassia siamea mostraron significativos aumentos de carbono orgánico en el suelo, pero C. siamea superó a G. sepium debido a la alta tasa de descomposición de la biomasa de esta especie (Yamoah et.al., 1986). Sin embargo, la producción de biomasa de C. siamea es irregular y el sistema de cultivo en franjas con maíz depende en buena parte de un suministro adecuado en el tiempo de nitrógeno (Yamoah, Agboola y Wilson, 1986). Estos mismos investigadores encontraron que luego de un cultivo de maíz G. sepium dejó en el suelo 140 kg/ha de N, Flemingia congesta -23 kg/ha de N y C. siamea 15 kg/ha de N.

L. leucocephala es capaz de proporcionar una fertilización de N equivalente a 50 kg/ha de urea asociada a un cultivo de Kenaf, pero la recuperación de ese N por parte del cultivo es menor que cuando se utiliza fertilizantes

minerales (Gutteridge, 1985). Ello se debe a que las podas deben hacerse antes de que la L. leucocephala forme sombra sobre el cultivo y a que la descomposición de la biomasa proveniente de este árbol es muy rápida por su baja relación C/N, obteniéndose por supuesto un efecto residual muy pequeño (Kang, Wilson y Sipkens 1981). No obstante, la vida media de la biomasa de las leguminosas arbóreas no es alta: 31 días para L. leucocephala, 22 días para G. sepium y 53 para F. macrophyla (Budelman, 1988).

En IITA (1980) sobre un suelo Psamentic Usthorthent la L. leucocephala aumentó el contenido de N en los cultivos asociados yuca y maíz, pero fué necesario aplicar dosis bajas de N del orden de los 40 kg/ha para que los rendimientos de maíz superaran las 4 t/ha. En este mismo ensayo, la remoción de la biomasa podada del árbol de L. leucocephala significó una disminución del 54% en el rendimiento de maíz lo que claramente señala la contribución del árbol al sistema. La incorporación del tallo del maíz junto a la incorporación de L. leucocephala al siguiente cultivo de maíz parece tener efectos detrimentales en el rendimiento (IITA, 1981).

En suelos de textura arcillo-areno-limosa L. leucocephala logró aumentar los rendimientos de maíz y trigo a niveles equivalentes a una aplicación de 200 kg/ha de N cuando el aporte de biomasa fué de 15 t/ha de materia seca



(Hussain, et.al., 1987). En el suelo se observó que en las parcelas que recibían la biomasa de L. leucocephala aumentaban los contenidos de N total y materia orgánica, pero había cambios significativos en el pH del suelo, disminuyendo a medida que aumentaba la aplicación de materia seca. Para que L. leucocephala pueda establecer un sistema estable es necesaria la fertilización mineral si se quiere mantener la producción de biomasa necesaria para reciclar por lo menos 180 kg/ha de N (IITA,1983).

En Ultisoles de Nigeria (IITA, 1982), Calliandra calothyrsus, Sesbania grandiflora y L. leucocephala respondieron significativamente a la aplicación de cal, lo que pone de manifiesto que a pesar de que un suelo tenga reservas altas de nutrimentos, el árbol no puede reciclarlos debido a limitaciones en el crecimiento de la raíz, como sucede en suelos con alta saturación de aluminio.

En experimentos llevados a cabo por el CATIE (Kass y Jiménez, 1986; Kass y Araya, 1987; Kass, Jiménez y Camacho, 1987) sobre Inceptisoles se encontró que los rendimientos de maíz fueron siempre más bajos cuando el sistema de producción fué de cultivo en franjas utilizando G. sepium. Al cabo de dos años y luego de cultivar dos veces frijol y dos veces maíz en rotación se pudo observar que la disminución en los rendimientos de maíz del segundo ciclo fueron del orden del 70% en las parcelas con N proveniente

de fuentes minerales mientras que en las parcelas con N proveniente de podas de G. sepium fue sólo del 50%. Sin embargo no se debe olvidar que estos suelos tienen reservas importantes de N y materia orgánica lo que supone que para probar el sistema, debe proseguirse en experimentos que consideren un lapso suficientemente amplio. El sistema de cultivo en franjas puede volverse más eficiente si se consideran especies con menores requerimientos de N como Alchornea cordifolia y Acioa barterii en el estrato arbóreo y Caupí, Vigna sinensis, como cultivo asociado (IITA, 1982). Este mismo caso es el de C. siamea que logró aumentar los contenidos de N total del suelo luego del segundo cultivo de maíz a pesar de que éste había extraído cantidades significativas de N y también se había perdido alguna cantidad por lavado y volatilización (Yamoah, et.al., 1986).

En grandes áreas de Africa donde prevalecen suelos con baja CIC y baja capacidad amortiguadora, G. sepium es capaz de suplementar 40 kg/ha de N a cultivos en franja lo que hace posible mantener niveles adecuados de materia orgánica en el suelo y productividad sostenida de los cultivos (Kang y Mulongoy, 1987).

\* Un sistema de cultivo en franjas entre L. leucocephala y coco, Cocos nucifera, implantado en un Oxisol de India permitió conocer que la leguminosa es capaz de entregar a la plantación asociada 5757 kg/ha de materia seca equivalente a

230 kg/ha de N (Vioayakumar, et.al., 1986). Si se considera la extrema baja fertilidad de estos suelos y su casi inutilidad para la siembra de cultivos comerciales, se puede observar que el cultivo en franjas en este caso, actúa como un sistema de recuperación de tierras. En un Typic Humitropept, Alavez (1987) encontró que luego de dos ciclos de cultivo de maíz, en un año, la E. poeppigiana dejaba un saldo positivo de 35 kg/ha de N en el suelo. La planta de maíz contribuía con 74 kg/ha de N mientras que el poró aportaba 116 kg/ha de N y el grano de maíz exportaba 81 kg/ha de N. Esto quiere decir que 74 kg/ha de N o se almacenaban en el tronco de los árboles o en la biomasa de las malezas o se perdían por escorrentía, lixiviación o volatilización. La conclusión de este trabajo es que la biomasa de podas de poró puede suplir los requerimientos de N y fertilizante mineral para el cultivo de maíz, ya que los rendimientos de maíz obtenidos están alrededor de las 5 T/h/año que es una cifra satisfactoria para los rendimientos promedio de la zona.

### 2.2.2 Potasio

Uno de los pocos aspectos negativos del cultivo en franjas aparentemente es la gran extracción por parte de los árboles de K y Mg. Por ejemplo, luego de dos podas de poró y una cosecha de maíz en un sistema de cultivo en franjas en el IITA (Yamoah, Agboola y Wilson, 1986) se encontró que la

reserva del suelo había perdido 28 kg/ha de K cuando se había utilizado G. sepium, 94 con F. congesta y 68 con C. siamea, a pesar de que G. sepium había contribuido con 312 kg/ha de K, F. congesta con 121 y C. siamea con 239.

\* En el IITA (1980) luego de 4 años de cultivo en franjas, con L. leucocephala, en un Entisol los contenidos de K disminuyeron de 0,25 a 0,16 cmol (+)/l y los de Mg bajaron de 1,02 a 0,35 cmol (+)/l. Este problema de extracción exhaustiva de nutrimentos puede volverse crítica en suelos de fertilidad natural baja donde el K y el Ca tienen valores muy bajos.

El balance de K en el Inceptisol de CATIE es negativo, pues de 0,80 cmol (+)/l en el primer cultivo pasa a 0,63 cmol (+)/l en el segundo, a pesar de que la biomasa de poró está entregando 62 kg/ha y el grano de maíz está exportando 12 kg/ha fuera del sistema. Esta situación sólo es explicable si consideramos un alto almacenamiento de K en la madera de E. poeppigiana (Alavez, 1987). El caso del Mg en el mismo sitio es completamente diferente pues mientras que el poró entrega 5,8 kg/ha, el grano de maíz exporta 7,5 fuera del sistema. La situación con respecto a este nutrimento es pues más difícil y la continuación del sistema a través del tiempo llevará las reservas del suelo a niveles muy bajos.

No obstante, en un Typic Humitropept de Costa Rica (Kass y Díaz-Romeu, 1986) se encontró que el mulch de leguminosas arbóreas, como Gliricidia sepium y Erythrina poeppigiana provenientes de cultivo en callejones o de material de traslado, eran una fuente más eficiente de K que el KCl, al aumentar significativamente las reservas de K del suelo luego de tres años de cultivo continuo de frijol y maíz en rotación. En este caso el K entregado por el mulch fue de 450 kg/ha y los niveles de K del suelo fueron 0,3 cmol (+)/L más altos que en las parcelas testigo que sólo recibieron KCl.

### 2.2.3. Calcio

El comportamiento de Ca es menos claro en el cultivo en franjas. El uso de formas nitrogenadas de fertilizantes minerales con Ca en el IITA, no permiten desglosar el origen del Ca presente en la reserva del suelo. En la mayoría de los experimentos llevados allí se observa un aumento de Ca extraíble del suelo, proveniente en parte del fertilizante y en parte seguramente de la biomasa del árbol. En qué proporción contribuye cada una, es imposible determinar con los datos existentes. Sin embargo, en el Inceptisol de CATIE (Alavez, 1987), las reservas de Ca disminuyen en el tiempo de cultivo de maíz a cultivo de maíz. Sobre el particular falta mucha información.

#### 2.2.4. Acidez

La aplicación de mulch de leguminosas arbóreas como Gliricidia sepium y Erythrina poeppigiana, a un suelo ácido Typic Humitropept en Costa Rica, disminuyó el aluminio y el manganeso intercambiables en parcelas que no recibieron  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (Kass y Diaz-Romeu, 1986), evitando la acidificación del suelo cuando se utilizan fuentes nitrogenadas como el  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

#### 2.2.5. Fósforo

En cultivos en franjas en Ibadán, Nigeria (IITA, 1980) se observó una tendencia a disminuir contenidos de P del suelo luego de cuatro cultivos continuos de maíz asociado, pero los cambios no fueron significativamente diferentes a los valores originales (de 24,7 a 21 ppm). Sin embargo, luego de cuatro años de cultivo, el mulch de Erythrina poeppigiana, en un Typic Humitropept de Costa Rica (Campos, Kass y Jiménez, 1987), fué una fuente adecuada de fósforo, al obtener rendimientos de frijol superiores al obtenido en parcelas a las que se les aplicó 88 kg/ha/año de  $\text{P}_2\text{O}_5$  en forma de superfosfato triple.

En un suelo Oxic Paleustalf de Nigeria (Yamoah, Agboola y Wilson, 1986) a pesar de que G. sepium, F. congesta y C. siamea habían entregado 30,9, 20,8 y 52,2 kg/ha de P

respectivamente, luego de dos cultivos asociados de maíz, el balance arrojaba valores negativos en todas las especies: 6,8, 25,7 y 21,1 kg/ha, respectivamente. En la medida en que el cultivo asociado al árbol sea más susceptible a niveles bajos de P en el suelo, éste se verá a la larga afectado por la extracción si no hay suplementación del nutrimento.

En el experimento del CATIE (Alavez, 1987) la biomasa del poró aportó 7,0 kg/ha de P. De por sí estos problemas del P son complejos, no sólo porque hay bajo contenido natural (6 ppm) sino también porque las aplicaciones en fertilizantes fácilmente se convierten en formas no disponibles.

#### 2.2.6 Acumulación en los tejidos de los árboles.

Existe la teoría de que en los bosques tropicales uno de los mecanismos de conservación de nutrimentos del sistema, es la capacidad que muestran los árboles para mantener reservas importantes, especialmente de potasio y calcio, en la biomasa (Jordan, 1985). Los patrones de acumulación de nutrimentos no cambian apreciablemente con la edad del árbol. Teóricamente, el almacenamiento de nutrimentos en la vegetación alcanza un valor asintótico o cíclico-asintótico en bosques de crecimiento viejo, que han

alcanzado un estado estable en la acumulación de biomasa (Waring y Schlesinger, 1985).

Alpizar, et. al. (1985) encontraron que los menores contenidos de nutrimentos en la biomasa aérea de un sistema agroforestal café-poró corresponden a los de la madera, como se indica en el Cuadro 2. Estos mismos autores reportan una densidad aparente de  $0,24 \text{ g/cm}^3$ , pero bajo condiciones de la zona cafetalera colombiana se ha reportado  $0,37 \text{ gs/cc}$  (Acero, 1985).

Cuadro 2. Contenido de nutrimentos de la madera de Erythrina poeppigiana en un sistema agroforestal en Turrialba (Alpizar, et.al., 1985).

Contenido	N	P	K	Ca	Mg
%	0,70	0,07	0,38	0,82	0,12
kg/ha	54,3	5,4	29,4	63,5	9,3

No obstante, debe tenerse en cuenta que en este sistema se está considerando una asociación de especies arbóreas exclusivamente, café y poró, lo que hace preveer que en un sistema donde la única forma arbórea es la E. poeppigiana, su importancia como reservorio de nutrimentos se debe incrementar al representar mayor porcentaje con relación a las reservas del suelo.



G. sepium es una madera considerada como dura (Little, Wadsworth y Marrero, 1964) y bajo condiciones de libre crecimiento se han reportado densidades aparentes de 0,855 gs/cm<sup>3</sup> (Witsberger, Current y Archer, 1982). No obstante, valores más comúnmente encontrados son reportados alrededor de 0,67 g/cm<sup>3</sup> (Benítez y Montesinos, 1988).

### 2.3. Estabilidad

Estabilidad y sostenibilidad son dos términos estrechamente relacionados y con frecuencia confundidos. Desde el punto de vista de la productividad, sostenibilidad significa el suministro de productos alimenticios a todo el que lo solicite (Dover y Talbot, 1987). Entonces sostenibilidad es mantenimiento de una oferta adecuada de alimentos, lo que nos llevaría al concepto más general de la "seguridad alimentaria", un término utilizado más generalmente por el Banco Mundial (World Bank, 1986).

En consecuencia, sostenibilidad por lo general denota no solamente las posibilidades técnicas del mantenimiento de la productividad, sino que también implica condiciones socio-económicas a nivel regional. Por ello los analistas de agro-ecosistemas (Conway, 1987) definen la sostenibilidad a ese nivel como la capacidad que tiene un agroecosistema para mantener la productividad cuando es sujeto a una "fuerza mayor de alteración". Estas fuerzas pueden ser

"instantáneas" como un abrupto cambio en los precios del mercado o una plaga nueva o de "stress intensivo" como la toxicidad por salinidad, la erosión o la declinación paulatina de los precios en el mercado.

Estabilidad es en cambio un término más utilizado por los ecólogos (Schultz, 1984). La hipótesis de que es opuesta a la diversidad es una vieja idea que ahora parece no solamente no ser la mejor, si no también errada (Dover y Talbot, 1987). Hoy, la estabilidad es generalmente más aceptada como la capacidad de un sistema para retornar al estado de equilibrio después de ser sometido a un disturbio temporal (Holling, 1973).

Entre estos disturbios temporales están por ejemplo la variación de épocas en el cultivo o en la demanda del producto en el mercado (Conway, 1987). Además algunos extienden su significado a las variaciones espaciales en los rendimientos (de parcela a parcela o de finca a finca), a la reducción del riesgo o las posibilidades de rendimiento o retorno luego de un umbral intolerable (Schultz, 1984). La estabilidad entonces, puede ser medida estableciendo la resiliencia y la diversidad (Holling, 1973).

La principal medida de la estabilidad en la agricultura, es la variabilidad relativa de los rendimientos a través del tiempo (Loomis, 1984). Así, las medidas de

estabilidad deben concentrarse sobre el equilibrio más que sobre los límites del dominio de la función de rendimiento y puede ser representada por la distribución de frecuencias de las pendientes de el campo potencial y por la velocidad de la órbita neutral alrededor del equilibrio (Holling, 1973).

Es entonces fácil relacionar el mantenimiento de la estabilidad de un agro-ecosistema con la introducción de nuevos cultivares (Loomis, 1984). En ese sentido la búsqueda de genotipos que tienen mayor adaptación sobre diferentes ambientes, es exactamente buscar genotipos estables (Muñoz, 1986).

Finlay y Wilkinson (1963) desarrollaron una técnica estadística, para establecer la adaptación de diferentes materiales a diversos ambientes, consistente en hacer una regresión del rendimiento individual sobre la media total de rendimiento de todas las variedades en cada sitio y en cada estación, definiendo esta última estadística como "índice de sitio". Este índice suministra una manera numérica de clasificar los sitios y las estaciones y por ello, lo proponen como un evaluador del ambiente. En este sentido el índice describe el medio ambiente natural complejo sin las dificultades que conlleva definir o analizar los factores estacionales o edáficos que interactúan. En consecuencia, proponen las fuentes de variación especificadas en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Fuentes de variación del análisis de varianza sugerido por Finlay y Wilkinson (1963)

---

Genotipos
Ambientes
Genotipos x Ambientes
Regresiones
Desviaciones de las regresiones
Réplicas dentro de ambientes
Residuo

---

Al graficar las medias de los rendimientos versus los coeficientes de regresión (Figura 1) se puede identificar por la tendencia de la curva la adaptación del material a ambientes diversos y su estabilidad.

Eberhart y Russell (1966) explican más claramente el modelo de regresión anterior:

$$Y_{ij} = \mu_i + B_i I_j + \delta_{ij}$$

donde  $Y_{ij}$  es la media de la variedad  $i$  en el ambiente  $j$  ( $i = 1, 2, \dots, v$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ ),  $\mu_i$  es la media de la variedad  $i$  sobre todos los ambientes,  $B_i$  es el coeficiente de regresión que mide la respuesta de la variedad  $i$  que varía de ambiente a ambiente,  $\delta_{ij}$  es la desviación de la regresión de la variedad  $i$  en el ambiente  $j$  e  $I_j$  es el índice ambiental,

obtenido como la media de todas las variedades en el ambiente  $j$  menos la media total:

$$I_j = (\sum Y_{ij}/v) - (\sum \sum Y_{ij}/vn), \sum I_j = 0$$

El primer parámetro de estabilidad es el coeficiente de regresión  $\beta$  estimado de la manera usual:

$$\beta_i = Y_{ij} I_j / \sum I_j^2$$

Sin embargo proponen un segundo parámetro,  $\sigma_i^2$ , el cuadrado medio del residuo, o las desviaciones inexplicables de la regresión sobre el índice ambiental, para probar la estabilidad de los materiales. El análisis de varianza considerado se puede observar en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Análisis de varianza cuando se estiman los parámetros de estabilidad.

Fuente de Variación	GL	SC
Total	$nv-1$	$\sum \sum Y_{ij}^2 - FC$
Variedades (V)	$v-1$	$1/n \sum Y_{.j}^2 - FC$
Ambientes (A)	$n-1$	
V x A	$(v-1)(n-1)$	$\sum \sum Y_{ij}^2 - \sum Y_{i.}^2/n$
A(lineal)	1	$1/v (\sum Y_{.j} I_j)^2$
VxA	$v-1$	$\sum [(\sum Y_{ij} I_j^2)^2 / \sum I_j^2] - SC$
A(lineal)		
Conjunto de Desviaciones	$v(n-2)$	$\sum \sum \sigma_{ij}^2$
$\sum I_j^2$	$n-2$	$(\sum Y_{ij}^2 - (Y_{1.})^2/n) - (\sum Y_{1j} I_j)^2 /$
.		
.		
.		
$\sum I_j^2$	$n-2$	$(\sum Y_{ij}^2 - (Y_{v.})^2/n) - (\sum Y_{vj} I_j)^2 /$
Error	$n(r-1)(v-1)$	

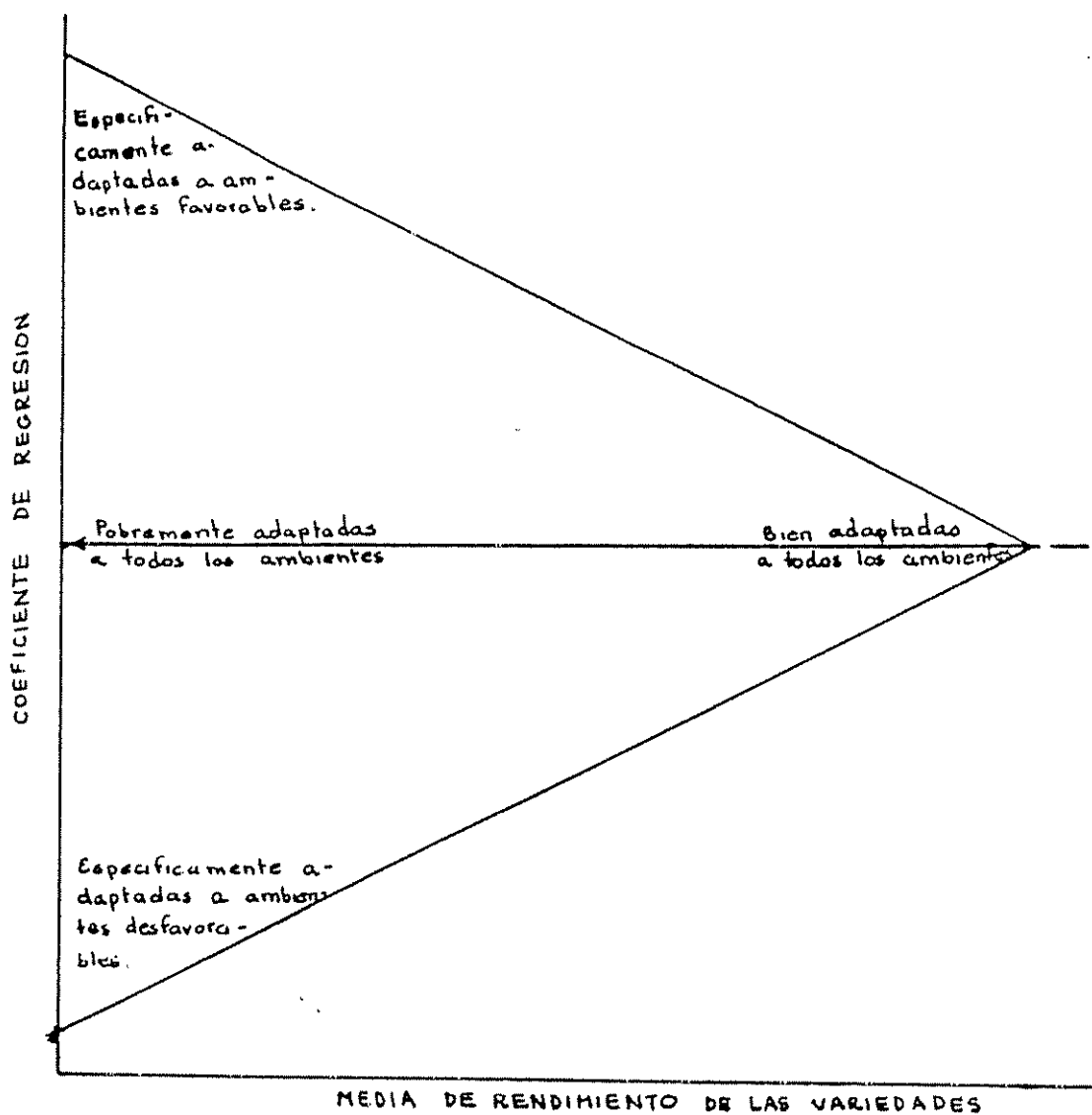


Figura 1. Interpretación generalizada del patrón de variedades obtenido cuando el coeficiente de regresión es graficado versus los rendimientos medios de las variedades (Finlay y Wilkinson, 1963).

### 3. MATERIALES Y METODOS

Desde 1982, el CATIE estableció ensayos con parcelas de cultivos en callejones y desde 1985 el proyecto Arboles Fijadores de Nitrógeno, también estableció un nuevo ensayo con el mismo sistema.

#### 3.1 Ensayo A.

En el primer ensayo que en este trabajo se llamará ensayo A, localizado en la estación experimental La Montaña de CATIE, el objetivo principal era conocer la respuesta de una rotación maíz-frijol a diferentes tipos de enmiendas orgánicas. El ensayo establecido en 1982, cuenta con siete tratamientos (Figura 2):

C. Control	
M. Estiércol de vaca	20000 kg/ha de materia fresca
MGM. Mulch de <u>Gmelina</u>	20000 kg/ha de materia fresca
MP. Mulch de <u>Erythrina</u>	20000 kg/ha de materia fresca
MGL. Mulch de <u>Gliricidia</u>	20000 kg/ha de materia fresca
GCC. Cultivo en Callejones con <u>Gliricidia</u>	3 X 0,5 m
PCC. Cultivo en callejones con <u>Erythrina</u>	3 X 6,0 m

Todas las parcelas recibieron 88 kg/ha/año de  $P_2O_5$  como superfosfato triple y 130 kg/ha/año de  $K_2O$  como KCL.

Adicionalmente se establecieron seis parcelas extras. La mitad recibió ramas de Erythrina poeppigiana y la otra mitad estiércol de vaca. Durante la historia del ensayo nunca han recibido fertilizante mineral y la dosis de



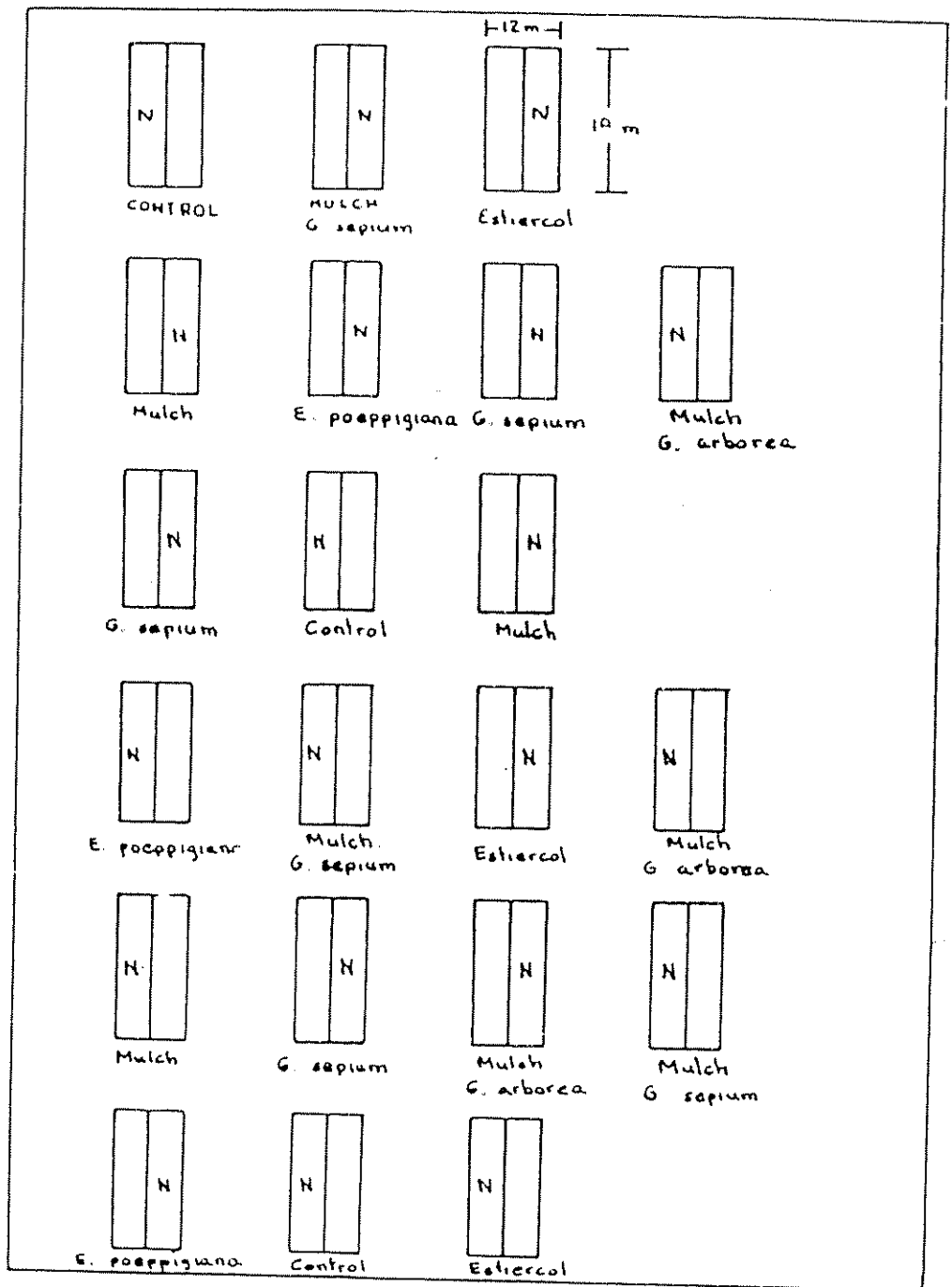


Figura 2 Experimento A

materia fresca fué igual al de los tratamientos 20000 kg/ha/año. Las parcelas principales fueron divididas en dos subparcelas iguales, aplicándosele a una de ellas 150 kg/ha de N como  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , a los cuarenta días de siembra.

En los tres primeros años se sembró yuca, Manihot sculenta cv. Valencia y en todas las épocas de siembra maíz, Zea mays L. cv. Tuxpeño C-7 y frijol Phaseolus vulgaris L. cv. Turrialba 4. Los cultivos fueron sembrados para obtener una población de 30.000 plantas/ha en maíz y 100.000 plantas/ha de frijol. Luego del tercer año no se volvió a sembrar yuca y los cultivos se sembraron a densidades de 40.000 plantas/ha de maíz y 133.333 plantas/ha de frijol. Siempre se sembró maíz en mayo y frijol en noviembre y cuando se sembró yuca, se hizo en mayo.

La aplicación de enmiendas y el corte de los árboles se realizó dos veces por año, en mayo y octubre, antes de la siembra de maíz y de frijol, respectivamente.

En cada caso, se tomaron muestras de la biomasa de los árboles para determinar su producción y el contenido de nutrimentos: N, P, K, Ca, Mg, Cu Zn y Mn. Se tomaron en cada cosecha muestras de suelo cada 20 cm hasta 60 cm de profundidad. Al momento de la madurez fisiológica del

cultivo se muestreó cada semestre para determinar la producción de biomasa y los contenidos de nutrimentos por componente: raíz, tallo, hojas, flor y grano de maíz; y raíz, hojas y vainas de frijol. Los métodos empleados para la determinación del contenido de nutrimentos en suelos y tejidos, así como pH y materia orgánica en suelos están presentados en la tabla 5.

Durante la cosecha de mayo de 1988 se hizo un muestreo de las maderas de los árboles de Gliricidia sepium y de Erythrina poeppigiana con un barrenador presler de 5,15 mm. La densidad aparente se determinó siguiendo la metodología de CATIE (1984). Para cubicar los volúmenes de madera en pie, se utilizó la fórmula de Smalian descrita por Bruce y Schumacher (1950). La determinación de contenido de nutrimentos fue la misma seguida con los tejidos de árboles (Cuadro 5).

En este trabajo no se utilizaron las primeras cosechas de frijol y maíz, manejando así, seis cosechas de maíz, cinco cosechas de frijol y tres cosechas de yuca. En cuanto a árboles se dispuso de 10 cosechas de biomasa y en muestreos de suelos, se contó con 11 observaciones.

Cuadro 5. Métodos utilizados para la determinación de contenidos de nutrimentos, pH y MO de Suelos y de contenidos de nutrimentos de tejidos vegetales.

SUELOS			
Parámetro	Método	Lectura	Referencia
pH 1:2,5	H <sub>2</sub> O	Potenciómetro	Díaz-Romeu y Hunter, 1978
MO	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Sal de Mohr	Titulación	Saiz del Río y Bornemisza, 1962
N	Semi - micro Kjeldahl	Titulación	Díaz-Romeu, 1977
P	Olsen modificado	Colorimetría	Díaz-Romeu y Hunter, 1978
K Cu Zn Mn	Olsen modificado	Absorción Atómica	Díaz-Romeu y Hunter, 1978
Ca y Mg	KCl 1N	Absorción Atómica	Díaz-Romeu y Hunter, 1978
TEJIDO VEGETAL			
N	Micro Kjeldahl	Titulación	Muller, 1961
P	Digestión Nítrico Perclórica	Colorimetría	Johnson y Ulrich, 1967
K Ca Mg Cu Mn Zn	Digestión Nítrico Perclórica	Absorción Atómica	Johnson y Ulrich, 1967

### 3.2 Ensayo B.

En el segundo ensayo, que en este trabajo se llamará ensayo B, localizado en el Valle de San Lucas, el objetivo principal fué determinar el mejor distanciamiento entre árboles de Erythrina poeppigiana dentro de las líneas de un cultivo en callejones, en un sistema de producción maíz/maíz.

El ensayo constó de cinco tratamientos (Figura 3):

- |                        |  |
|------------------------|--|
| 1. Distanciamiento     | 6m X 1m                                  |
| 2. Distanciamiento     | 6m X 2m                                  |
| 3. Distanciamiento     | 6m X 3m                                  |
| 4. Distanciamiento     | 6m X 4m                                  |
| 5. Control Fertilizado | (100 kg/ha/año de 10-30-10) <sup>1</sup> |

Las parcelas constaron siempre de el mismo número de árboles, lo que significó tener siempre áreas diferentes en cada tratamiento.

Todas las parcelas recibieron una fertilización de 100 kg/ha/año de superfosfato triple, en aplicación basal al cultivo de maíz.

Durante 1985, se realizaron trabajos para corregir problemas de encharcamiento observados durante la primera cosecha. Se hicieron drenajes de 50 cm de profundidad que al final de año fueron aumentados a 75 cm.

Los árboles fueron plantados en junio de 1984 y en Julio se sembró sorgo, Sorghum bicolor. Desde el segundo semestre de 1984, se comenzó a sembrar maíz, Zea mays cv. Tuxpeño C7, con una densidad de plantación de 40000 pl/ha.

---

1. 10 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>  
 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>  
 10 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>  
 Aplicado a los 45 días de siembra.

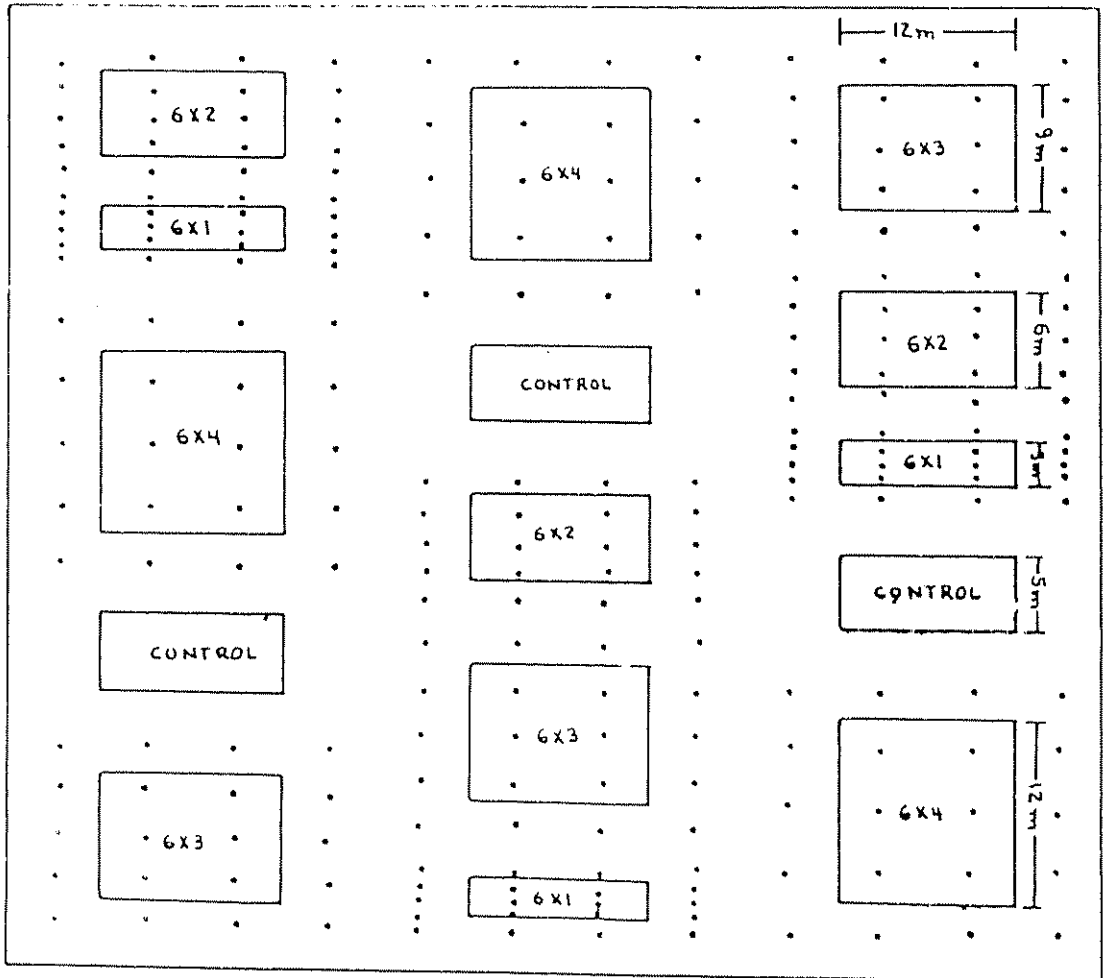


Figura 3 Experimento B

Al final de cada cosecha, se muestreó el cultivo para determinar su biomasa y su contenido de nutrimentos, sin separar los componentes de la planta. Los árboles también fueron muestreados, separándose las hojas y tallos verdes de los tallos leñosos. Los suelos se muestrearon en cada cosecha a dos profundidades: 0-30 cm y 30-60 cm. Todas las determinaciones de laboratorio fueron las mismas señaladas en el ensayo A. En mayo de 1988 se realizó un muestreo de maderas en siete árboles por parcela, siguiendo el mismo procedimiento señalado para el ensayo A.

Para los propósitos de este trabajo, no se contó ni con el cultivo de sorgo ni con la primera cosecha de maíz. Así, la información utilizada consistió de siete cosechas de maíz, ocho cosechas de biomasa de poró y siete muestreos de suelos.

### 3.3 Ajuste por variación climática.

Como en Turrialba se observa un clima con dos épocas con una gran diferencia en la precipitación (Figura 4), para los trabajos de estabilidad y degradabilidad, se consideró necesario realizar una corrección sobre la información de los cultivos (granos de cultivos y biomasa de los árboles) con base en la información climatológica prevaleciente. Debido a la limitación que imponía la cantidad de

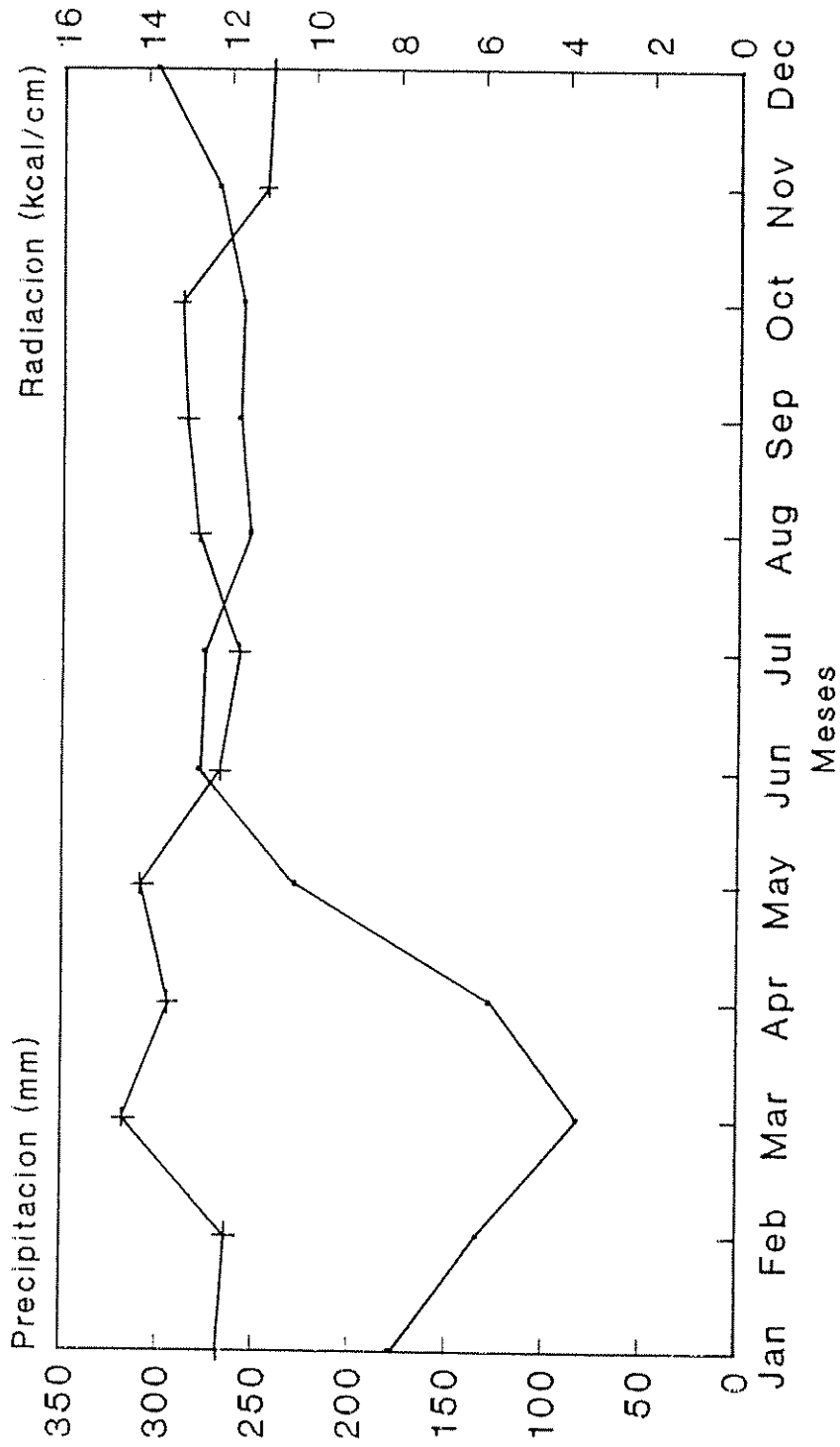


Figura 4. Comportamiento promedio de la precipitación y la radiación en Turrialba. (Estación CATIE).



información, se decidió realizar esta corrección con base en las variables de clima, precipitación y radiación.

Para los árboles, la precipitación y la radiación se calculó como la suma de la ocurrencia diaria entre fechas consecutivas. Para el cultivo, aún cuando se ha señalado que la precipitación a floración correlaciona mejor con los rendimientos de maíz (Escobar, Muñoz y De La Cruz, 1976) no se poseía la información para ninguno de los dos ensayos. En cambio era posible aproximar una cantidad de días fijos para cada cultivo, alrededor de el estado de madurez de los cultivos. En consecuencia, se tomaron 90 días después de la siembra de maíz y 70 días después de la siembra de frijol.

La información climatológica provino para los dos casos de la estación metereológica del CATIE.

Para realizar la corrección, las variables climatológicas fueron introducidas como covariables en un análisis de varianza, para estimar los parámetros de cada factor. Como era posible introducir no solamente los efectos lineales de lluvia y radiación, en todos los análisis se incluyeron los efectos cuadráticos y la interacción radiación x lluvia, independientemente de su grado de significación, excepto en frijol del ensayo A donde no fué posible tener en cuenta la interacción lluvia x radiación debido a falta de grados de libertad.

Para encontrar el valor de la variable corregida (Steel y Torrie, 1985) por ejemplo el rendimiento corregido se hizo:

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} &= \text{Rendimiento} - \lambda_1 * (\text{lluvia} - \text{lluvia}) \\ \text{Corregido} & \quad \text{Observado} \\ & - \lambda_2 * (\text{radiación} - \text{radiación}) \\ & - \lambda_3 * (\text{radiación} \times \text{lluvia} - \text{radiación} \times \text{lluvia}) \\ & - \lambda_4 * (\text{radiación}^2 \times \text{radiación}^2) \\ & - \lambda_5 * (\text{lluvia}^2 \times \text{lluvia}^2) \end{aligned}$$

La corrección se realizó independientemente para la época de menor lluvia y para la época de mayor lluvia.

### 3.4 Estabilidad y Degradabilidad.

La metodología señalada en adelante, para establecer la estabilidad de los sistemas de producción bajo estudio, sigue en un todo la descrita por Ferreira (1989), haciendo la adaptación necesaria para los diseños experimentales utilizados en cada uno de los ensayos. En consecuencia se propuso el análisis de varianza de el Cuadro 6. Como en los dos ensayos se han considerado diferentes sistemas de producción, cada tratamiento se ha designado como un sistema. Como se ve es una extensión del trabajo de Finlay y Wilkinson (1963) señalado anteriormente sólo que no se usan índices de estabilidad sobre la media de los sistemas en el tiempo y que la estructura probabilística de los datos es diferente, pues aquí se consideran series de

observaciones en el tiempo (correlacionadas). La probabilidad  $P$  de obtener una estadística  $F$  mayor a la observada, es un índice de estabilidad absoluta que será conjunto o específico, si está asociado a la fuente y/o a alguna de las fuentes.

Estas medidas de estabilidad pueden particionarse en paralelismo de acuerdo a Eberhart y Russell (1966) en medidas de horizontalidad de la tendencia y medidas de desviación u oscilaciones alrededor de la tendencia (Cuadro 7). En este caso, también las probabilidades  $P$  asociadas a las diferentes fuentes de variación son cuantificadores de la estabilidad de los sistemas. Mientras que la estabilidad debida a la regresión es una medida de degradación o evolución del sistema  $D$ , la desviación de la regresión mide la estabilidad absoluta  $E$ .

Como la estabilidad en ambos casos puede ser una medición muy conservadora, debido a que es difícil obtener valores altos de  $F$  cuando los grados de libertad son bajos, entonces se utilizaron los cuadrados medios de las estadísticas  $F$  asociadas a las fuentes. Para expresarlos en términos comparables, sistemas de producción alta y producción baja, la estabilidad es posible definirla como:

$$E = \sqrt{CMF}/X$$

Cuadro 6. Análisis de varianza para estimación de la estabilidad.

ENSAYO A				
Fuentes de Variación	GL (maíz)	GL (frijol)	GL Arboles	GL Suelos
Bloques	2	2	2	2
Tratamientos	6	6	1	6
Bloques * Tratamientos	12	12	2	12
Nitrógeno	1	1	2	1
Tratamiento * Nitrógeno	6	6	1	6
Bloque * Tratamiento (Nitrógeno)	14	14	4	14
Tiempo (C * -N)	5	4	.	10
Tiempo (C * +N)	5	4	.	10
Tiempo (GCC -N)	5	4	9	10
Tiempo (GCC +N)	5	4	9	10
Tiempo (M -N)	5	4	.	10
Tiempo (M +N)	5	4	.	10
Tiempo (MGL -N)	5	4	.	10
Tiempo (MGL +N)	5	4	.	10
Tiempo (MGM -N)	5	4	.	10
Tiempo (MGM +N)	5	4	.	10
Tiempo (MP -N)	5	4	.	10
Tiempo (MP +N)	5	4	.	10
Tiempo (PCC -N)	5	4	9	10
Tiempo (PCC +N)	5	4	9	10
Error	140	112	72	223
Total	252	209	119	376

Cuadro 6. Análisis de varianza para estimación de la estabilidad.  
(Cont.)

ENSAYO B	MAIZ	PORO	SUELOS
Bloques	2	2	2
Tratamientos	4	3	4
Bloques x Tratamiento	8	6	8
Tiempo (6 x 1)	6	7	6
Tiempo (6 x 2)	6	7	6
Tiempo (6 x 3)	6	7	6
Tiempo (6 x 4)	6	7	6
+ Fert.	6	.	6
Error	60	56	60
Total	104	95	104

Cuadro 7. Análisis de varianza para estimación de la estabilidad descomponiendo los cuadrados medios en componente lineal y sus desviaciones.

ENSAYO A				
Fuentes de Variación	GL (maíz)	GL (frijol)	GL Arboles	GL Suelos
Bloques	2	2	2	2
Tratamientos	6	6	1	6
Bloques * Tratamientos	12	12	2	12
Nitrógeno	1	1	2	1
Tratamiento * Nitrógeno	6	6	1	6
Bloque * Tratamiento (Nitrógeno)	14	14	4	14
Tiempo				
Lineal (C * -N)	1	1	.	-1
Desviaciones (C * -N)	4	3	.	-9
.				
.				
.				
Tiempo				
Lineal (PCC +N)	1	1	1	1
Desviaciones (C * +N)	4	3	8	9
Error	140	112	72	233
Total	252	209	119	376

Cuadro 7. Análisis de varianza para estimación de la estabilidad descomponiendo los cuadrados medios en componente lineal y sus desviaciones. (Cont.)

ENSAYO B	MAIZ	PORO	SUELOS
Bloques	2	2	2
Tratamientos	4	3	4
Bloques x Tratamiento	8	6	8
Tiempo			
Línea (6 x 1)	1	1	1
Desviaciones (6 x 1)	5	6	5
Error	60	56	60
Total	105	95	104

En la anterior formula, E es al estabilidad absoluta, CMF es el cuadrado medio asociado a la fuente, en nuestro caso el sistema de producción y X la media del sistema de producción asociado a la fuente. Como se ve, este coeficientes de estabilidad porcentual E, es similar al coeficiente de variación utilizado normalmente.

Los valores corregidos de los rendimientos de los cultivos y los árboles, fueron también probados mediante este análisis de varianza, para conocer la tendencia real del sistema, sin la interferencia de los factores climáticos. Esta estabilidad relativa E', obtenida del

mismo modo que la anterior la llamaremos "evolución pura del sistema", ya que la información que la genera puede considerarse "descontaminada" de los factores ambientales considerados.

Si los coeficientes de regresión estimados son iguales a cero, el sistema es de evolución estable, si es mayor de cero es de evolución favorable y si es menor de cero es de evolución desfavorable; es decir, se degrada. Para la estimación de estos coeficientes se utilizaron contrastes ortogonales (Little y Hills, 1984; Steel y Torrie, 1985; Beyer, 1976).

Valores más altos de E, significan menor estabilidad y valores mas bajos mayor estabilidad. Para clarificar los resultados es posible expresar esta estabilidad como:

$$E^* = (1 - E)$$

El valor máximo de E es cero, cuando el CMF es cero, y el valor máximo es  $+\infty$  ya que el coeficiente de variación puede ser mayor del 100%. En consecuencia,  $E^*$  puede presentar valores de máxima estabilidad cuando es igual a 1 y mínimos cuando es  $-\infty$ . El signo del valor de  $E^*$ , no tiene más sentido que el de una escala de números naturales y no tiene ninguna connotación parecida a los coeficientes de regresión.



Una partición adicional de los grados de libertad de los sistemas fué posible para la producción de biomasa de las parcelas con cultivos en callejones y en el ensayo B, para considerar las épocas de mayor y menor lluvia (Cuadro 8). En el ensayo A no tenía sentido tal descomposición ya que cada cultivo coincide con una época de precipitación.

Los suelos también fueron sometidos al mismo análisis para conocer la tendencia de los contenidos de nutrimentos, a través del tiempo, pero no se calcularon "degradabilidades puras" debido a que se supone que la mayoría de las variables no presentaban gran variación entre épocas de lluvia.

Se hicieron correlaciones entre los rendimientos y los contenidos iniciales para cada época de cultivo para conocer cual variable del suelo estaba más asociada a la producción del cultivo.

Cuadro 8. Análisis de varianza para estimación de la estabilidad descomponiendo los cuadrados medios entre épocas de precipitación en componentes lineales y su desviación.

Fuentes de Variación	GL (maíz)	GL (frijol)	GL Arboles	GL Suelos
Bloque	2		2	
Tratamiento	4		4	
Bloque * Tratamiento	8		8	
Tiempo				
Lluvia vs Seca	1		1	
Lineal en seca	1		1	
Desv. en seca	2		2	
Lineal en lluviosa	1		1	
Desv. en lluviosa	1		2	
.				
.				
.				
.				
.				
Error	60		56	
Total	105		95	

### 3.5 Reservas y transferencias de Nutrimentos

Se utilizó el modelo de Fassbender (1987) para establecer las reservas de nutrimentos, así como su recirculación en cada sistema estudiado. Con el muestreo de maderas, fué posible conocer la densidad de las maderas y con las medidas se estableció su volumen. La recirculación de cultivos y árboles, fué obtenida como la media de todas las cosechas consideradas. En las Figuras 5 y 6 se puede observar el modelo. Los valores de ganancia de nutrimentos por lluvia provienen de Imbach et. al (1989). Como se observa, no se establecieron pérdidas por lixiviación ni por denitrificación o volatilización, los principales procesos de pérdida de N (Myers, 1982) y otros nutrimentos.

En el caso de la materia orgánica, se trabaja con un modelo de reservas, pues se sabe que ni los árboles ni las plantas son capaces de asimilar la materia orgánica como tal. Las transferencias, que en realidad son ganancias del sistema, como resultado de la fotosíntesis de árboles y plantas, fueron calculadas como el promedio de fitomasa seca aportada por cada uno de los componentes al suelo por año. En el suelo las reservas correspondieron a la cantidad de materia orgánica determinada en el laboratorio, a la fecha del balance (Cuadro 5), teniendo en cuenta una densidad aparente de suelos de  $1,01 \text{ g/cm}^3$ .

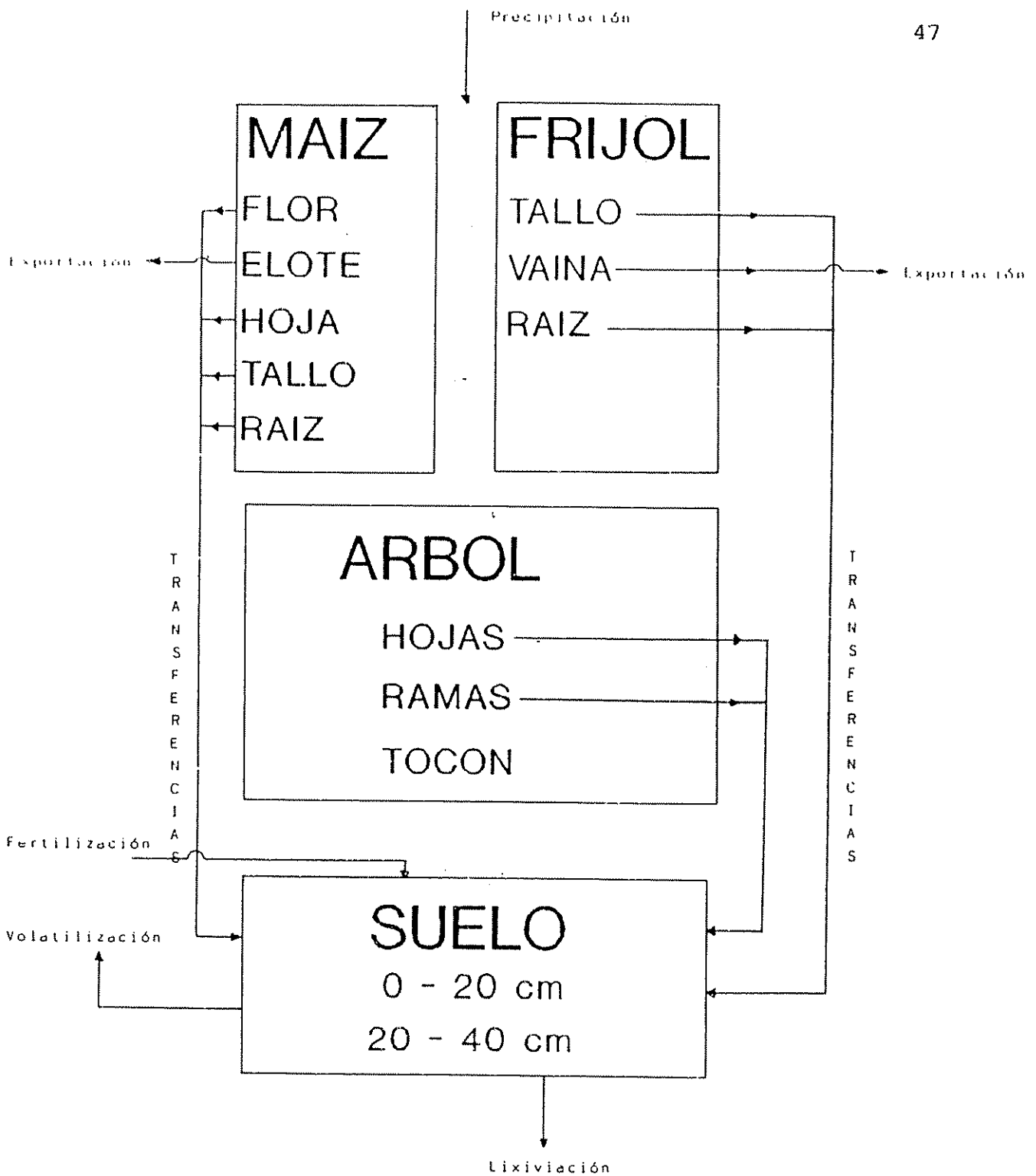


Figura 5. Modelo de reservas y transferencias de nutrimentos en el experimento de la Montaña.

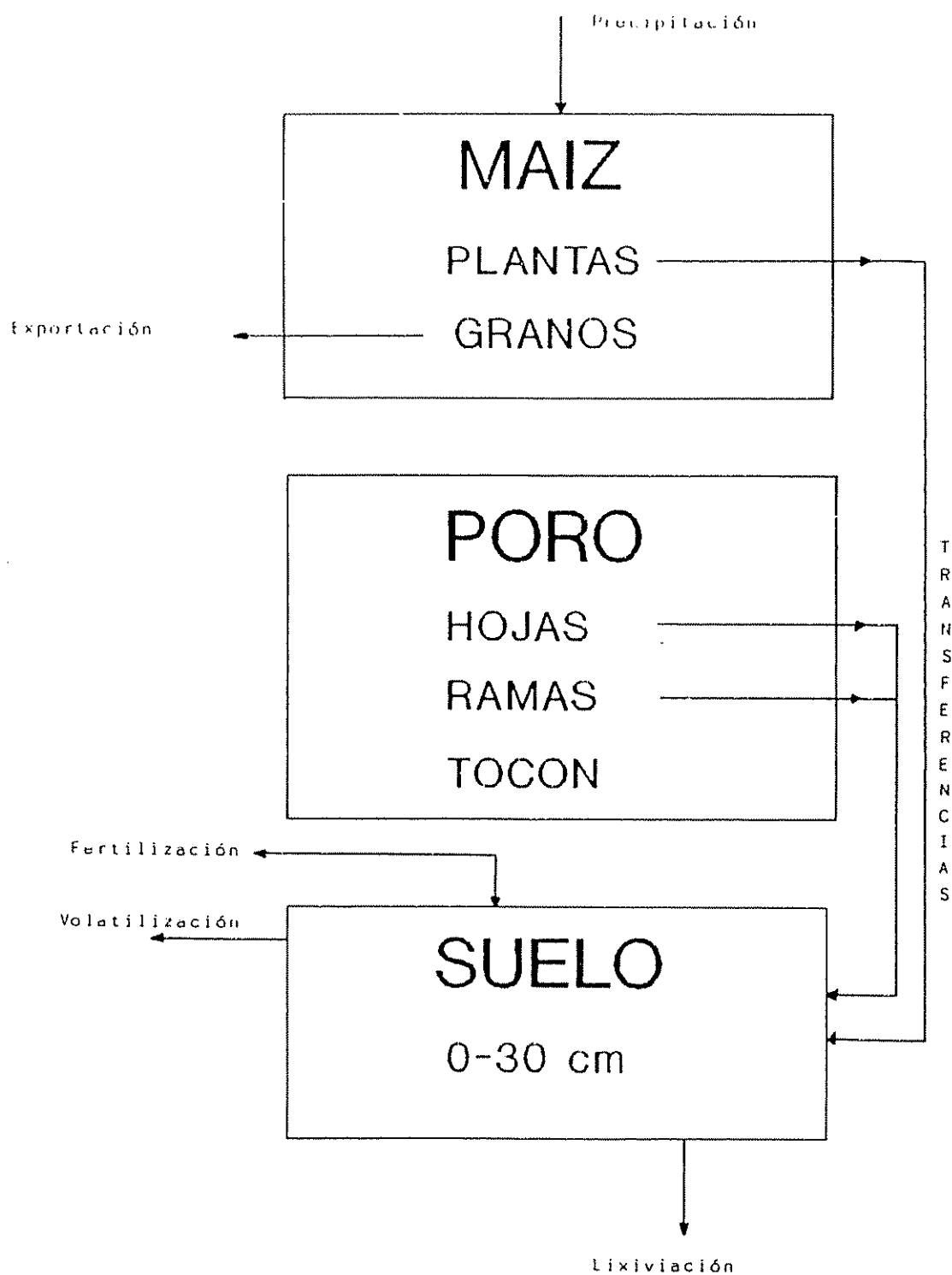


Figura 6. Modelo de reservas y transferencias de nutrimentos en el experimento 170.

Del mismo modo que para la materia orgánica, la reserva de los otros nutrimentos, N, P, K, Ca, y Mg, en el suelo fué determinada en el laboratorio, a la fecha del balance (Cuadro 5). En el caso del fósforo, no se siguió por completo el modelo de Fassbender (1987), pues hemos considerado las reservas en el suelo, como la cantidad de P disponible por el método de Olsen modificado (Diaz-Romeu y Hunter, ) y no el P total. Por un lado, no se poseía tal información en ninguno de los ensayos, y por otro, en realidad el P total sobreestima las reservas reales de P disponibles para las plantas en los suelos (Sánchez, 1986). Sin embargo, se ha demostrado que las mycorrhizas en el caso de los árboles pueden tener alguna importancia en la transferencia de fósforo, principalmente de materiales que han muerto, como raíces luego de una poda, hacia plantas vivas con unión mycorrhizal (Newman, 1988). Entonces es posible que en el modelo utilizado se sub-estime, las reservas de P en suelos, por lo menos para los árboles.

Toda la información fue procesada desde archivos ASCII, mediante el paquete SAS (SAS, 1987).

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

##### 4.1 Corrección por variables climáticas en el ensayo de La Montaña.

En las Figuras 7 y 8, se presentan la precipitación y la radiación durante el período de crecimiento de maíz y frijol, respectivamente. Obsérvese que a pesar de que el maíz coincidió con la época de mayor lluvia de baja radiación, la radiación total recibida fué mayor que en el cultivo de frijol debido a que el período de siembra a madurez fisiológica en maíz fué mayor. A excepción de marzo/88, la diferencia entre la época de menor lluvia (frijol) y la época de mayor lluvia (maíz) fué de por lo menos 300 mm, lo que confirma la necesidad de analizar independientemente cada época de cultivo en Turrialba.

En la Figura 9, se puede observar con mucha claridad las dos estaciones de precipitación en Turrialba. Obsérvese que generalmente en épocas de alta lluviosidad, la radiación es menor, pero en mayo/86 no sucedió así. Ahora, la radiación parece estar presentando una disminución con el tiempo, lo que debe ser un proceso cíclico del que sólo se está observando un corto transecto.

En el Cuadro 9 se pueden observar los estimados del análisis de varianza. De la observación de los cuadrados

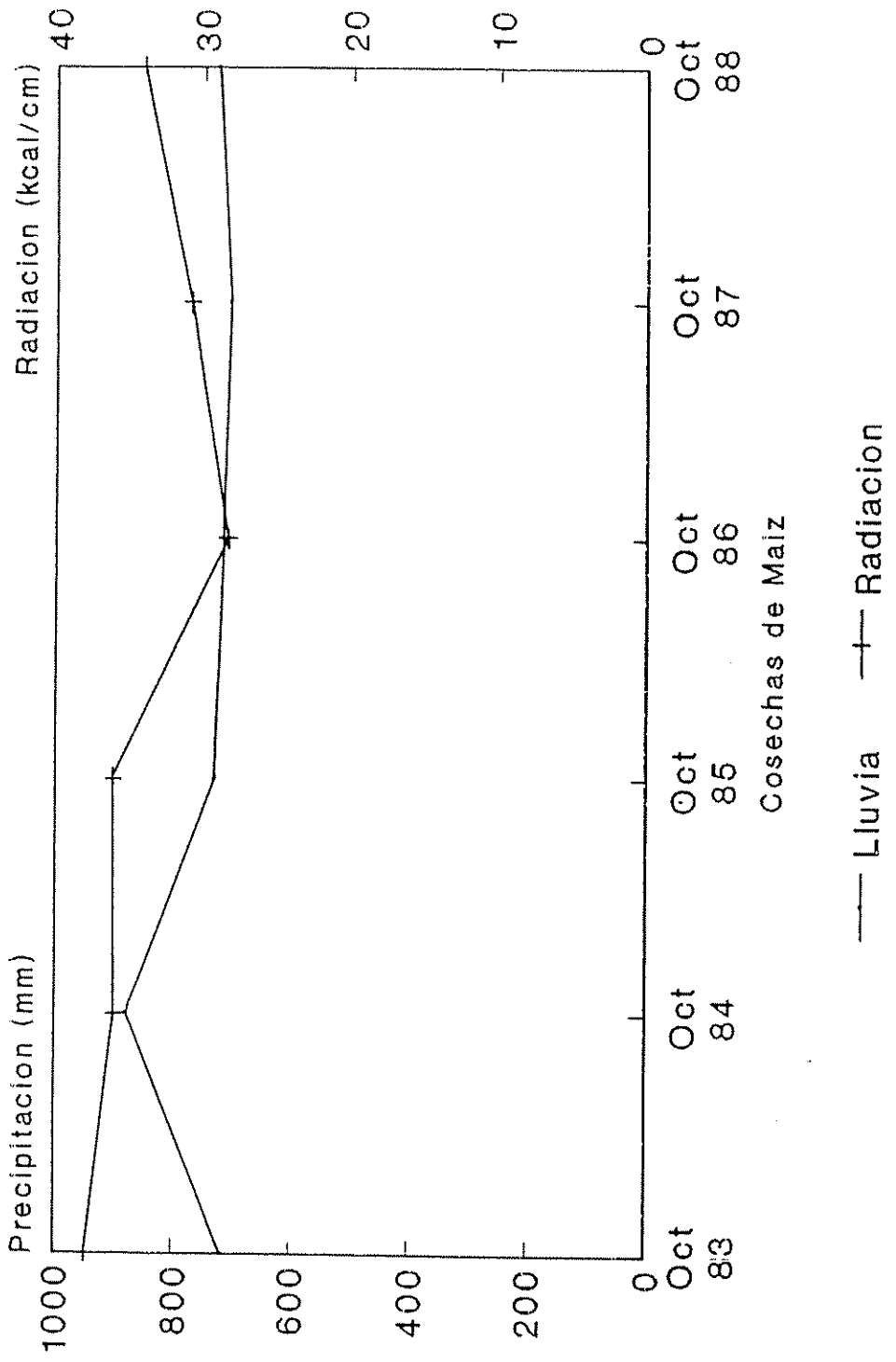


Figura 7. Condiciones climatologicas durante la epoca de siembra a madurez fisiologica de maiz en el Experimento de La Montana.



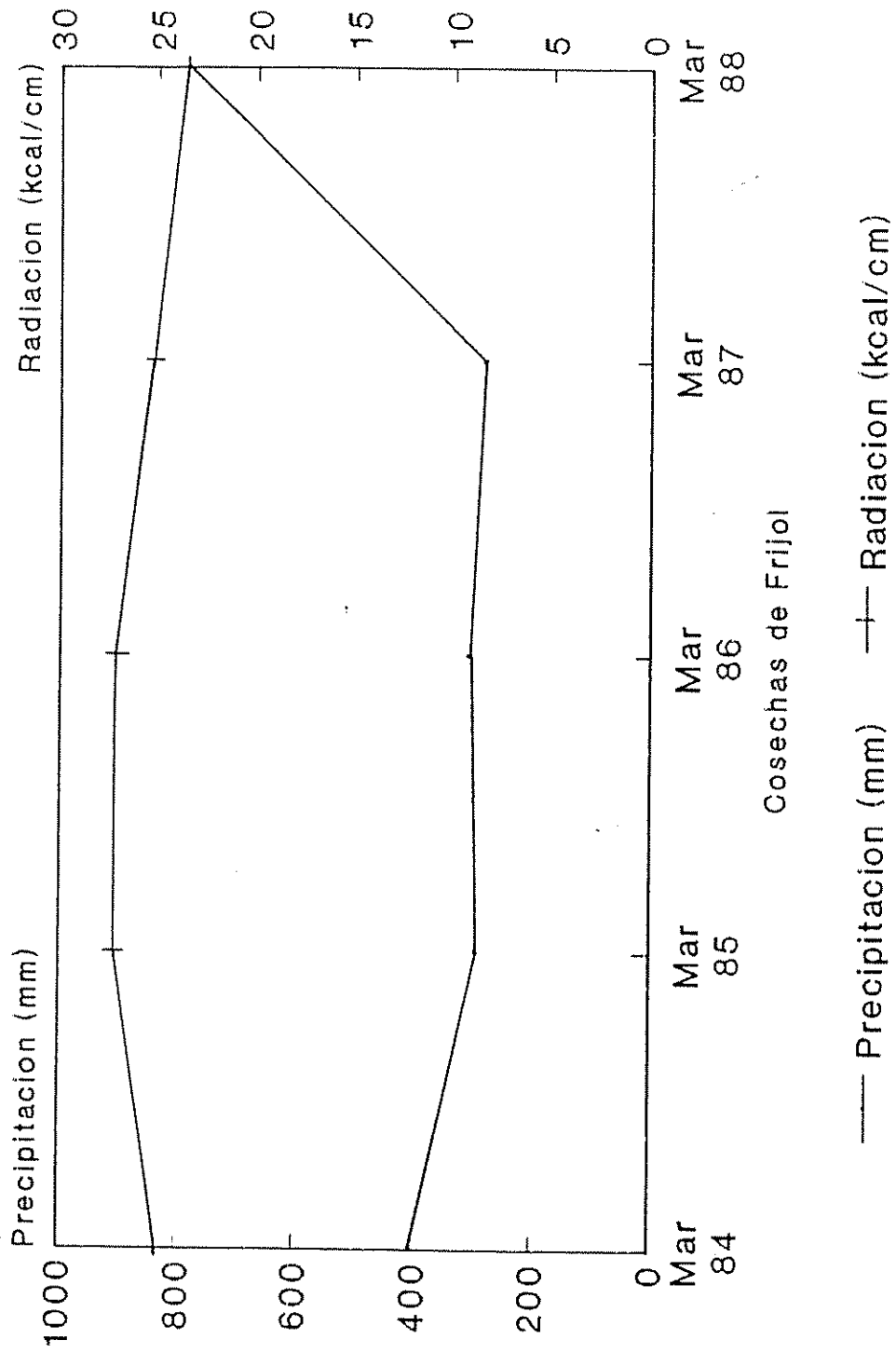


Figura 8. Condiciones climatológicas durante la época de siembra a madurez fisiológica de frijol en el ensayo de La Montana.

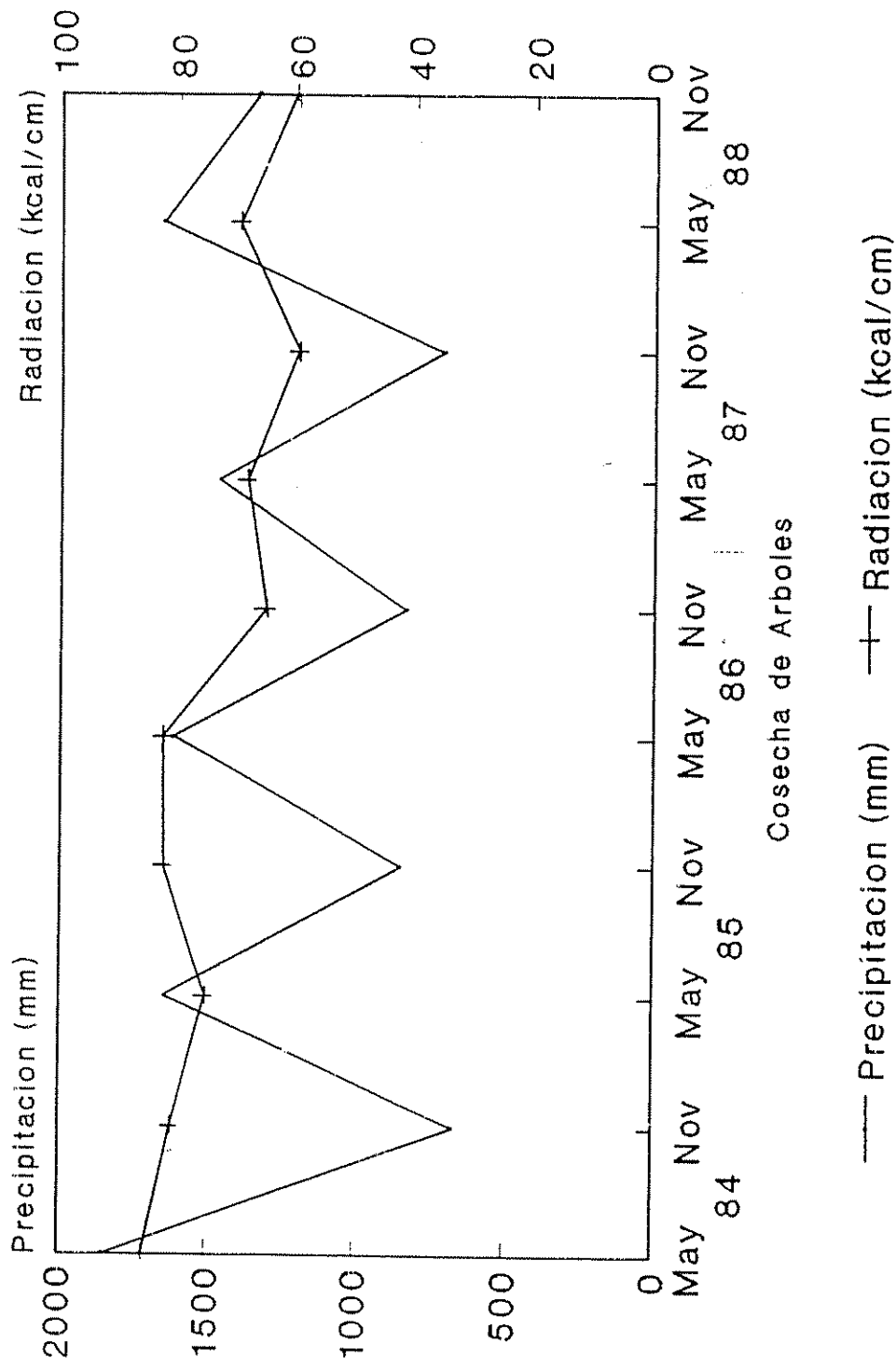


Figura 9. Condiciones climatologicas prevalecientes entre cosechas de arboles en el experimento de La Montana.

medios, es posible detectar que los factores de lluvia se correlacionan más con los rendimientos que los de radiación, es decir, la precipitación o la disponibilidad de agua es el factor clave de la producción de frijol, lo que se espera en una época de menor lluvia. La importancia relativa de la radiación es mayor en el cultivo de maíz, ya que la consecución de agua por el cultivo deja de ser crítica.

Cuadro 9. Factores de corrección para los rendimientos de frijol y maíz en el ensayo de La Montaña.

Factor	CM	Frijol	CM	Maiz
LLuvia	11272346	-49,59	32867924	-664,35
Radiación	7351059	249258,86	5938365	-4771,31
Lluvia * Radiación	.	.	68742918	10,13
Lluvia <sup>2</sup>	8712124	0,10	175048	0,18
Radiación <sup>2</sup>	7366220	-4765,38	15215858	-37,38

Para la producción de biomasa de los árboles (Cuadro 10), la lluvia fué el factor que más influyó sobre los rendimientos, pero el efecto de la radiación no fué menos importante. Es interesante notar que el efecto de la interacción fué bajo lo que señala que los períodos de cosecha a cosecha son lo suficientemente altos como para que el impacto de las deficiencias, por ejemplo de agua, sean superadas por el aumento en la radiación.

Cuadro 10. Factores de corrección para los rendimientos de biomasa de los árboles en el ensayo de La Montaña.

Factor	CM	Arboles
LLuvia	34276715	3,45
Radiación	26315418	1286,13
Lluvia * Radiación	46080	0,24
Lluvia <sup>2</sup>	35120554	-0,01
Radiación <sup>2</sup>	30804299	-10,77

En las Figuras 10A y 10B, se muestran los rendimientos de frijol y en las Figuras 11A y 11B los rendimientos de maíz obtenidos en el ensayo de La Montaña. El frijol, a pesar de ser una leguminosa fijadora de nitrógeno, ha demostrado responder a las aplicaciones de N mineral (CIAT, 1988), como se puede apreciar en todos los tratamientos del ensayo de La Montaña. Los rendimientos de maíz, por el contrario, mostraron menor respuesta a la aplicación de N mineral, lo que no era de esperarse, pues es conocida la respuesta de esta planta a la fertilización.

La fertilización tuvo un efecto diferente para cada una de las especies arbóreas, consideradas en el ensayo de La Montaña (Figura 12). G. sepium respondió positivamente a la aplicación, lo cual sugiere que es un competidor por nitrógeno y tal vez por otros nutrimentos del suelo con el cultivo. Por el contrario E. poeppigiana no solamente no respondió, sino que el efecto de la fertilización sobre los rendimientos de biomasa fué detrimental. Hay dos aspectos,

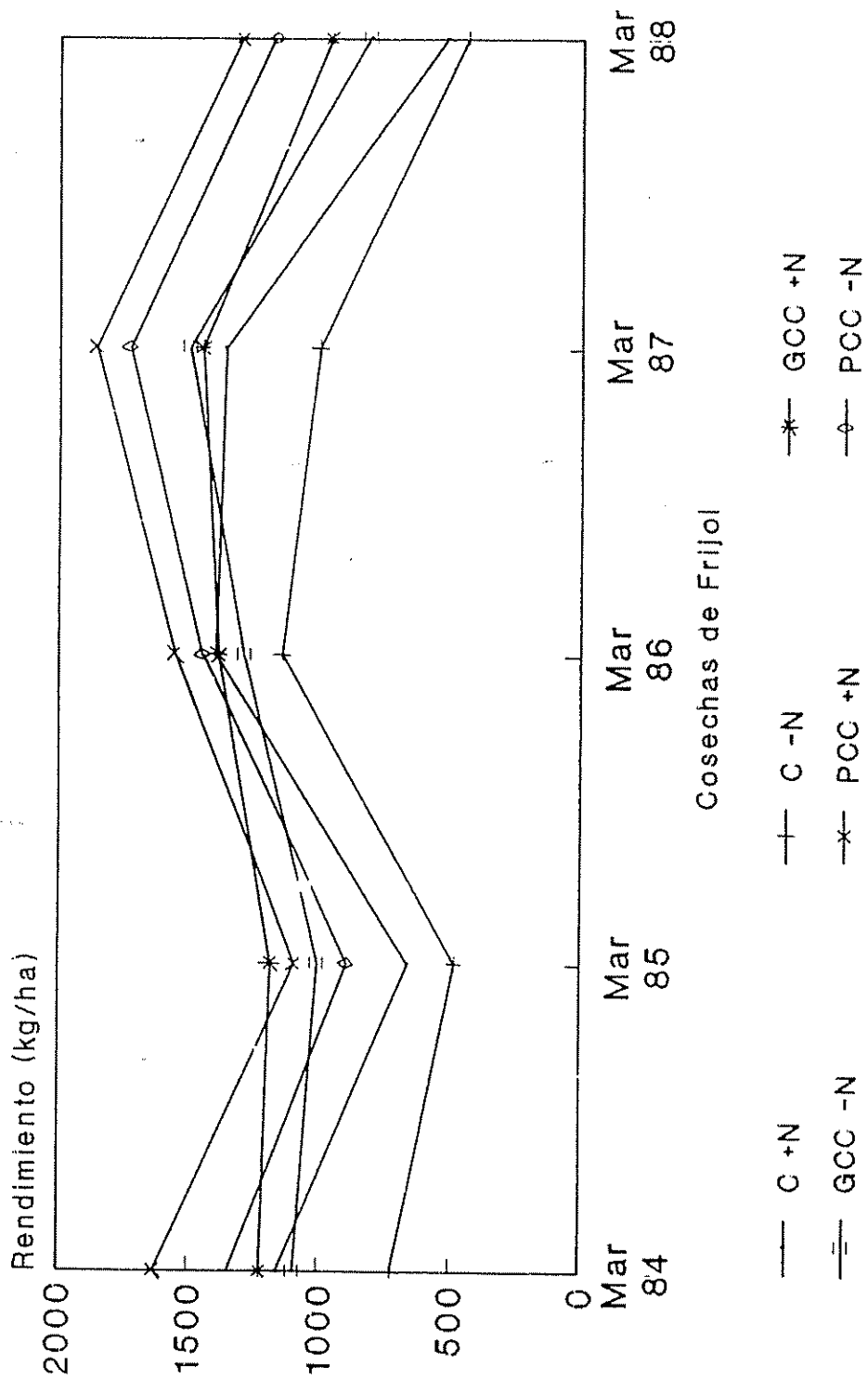


Figura 10A. Rendimiento de frijol en el Experimento de la Montana

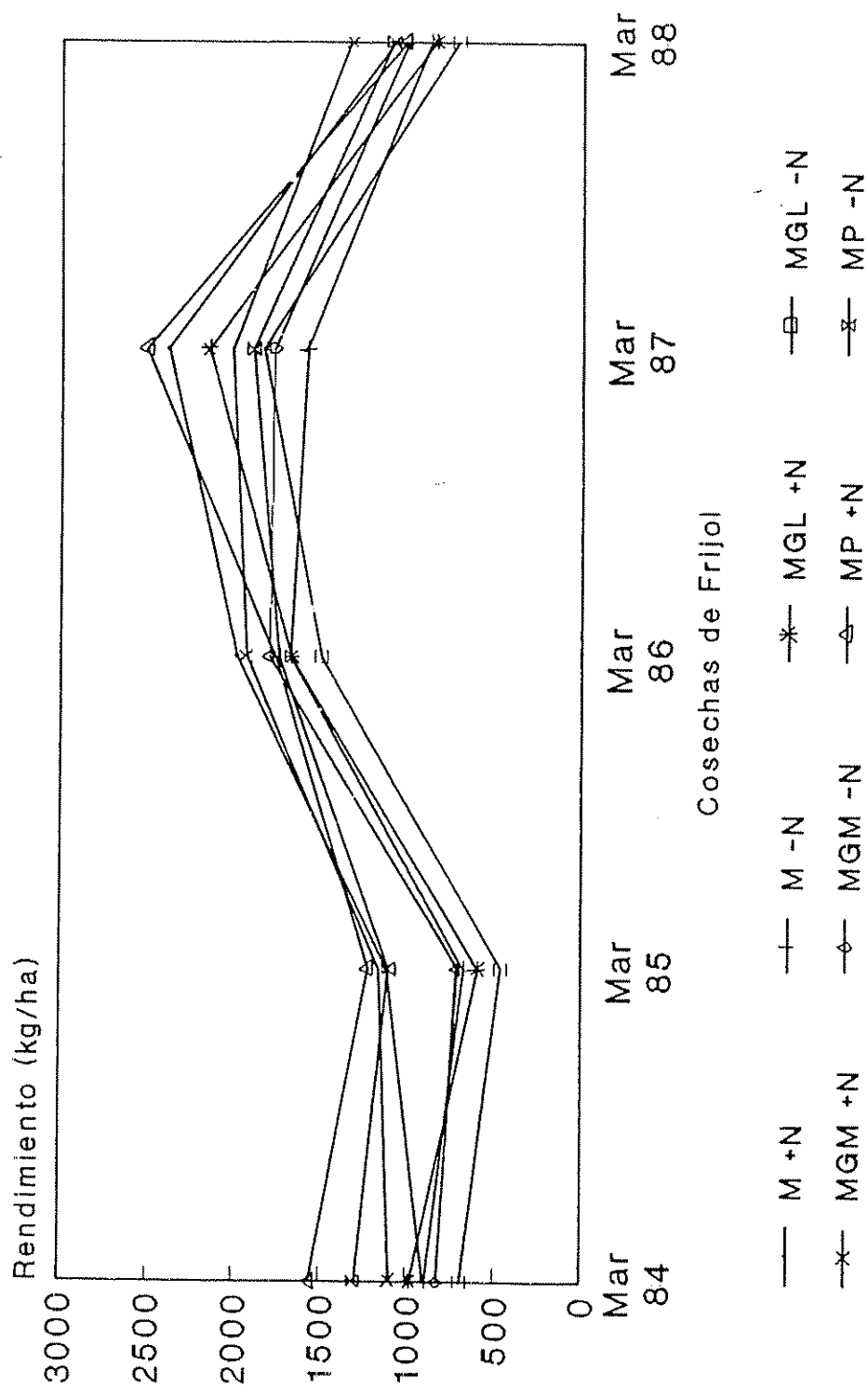


Figura 10B. Rendimiento de frijol en el Experimento de la Montana

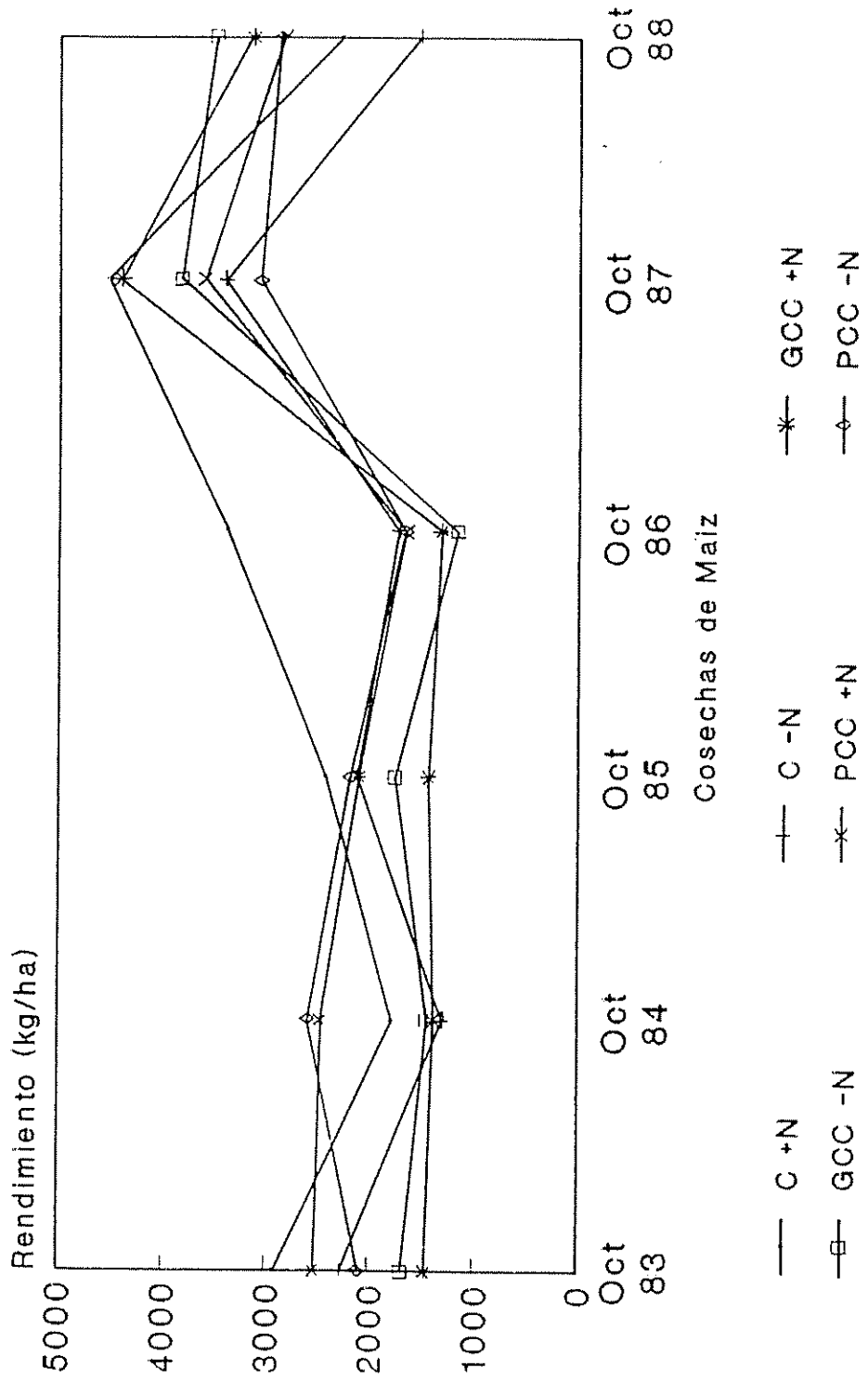


Figura 11A. Rendimientos de maiz en el Experimento de La Montana

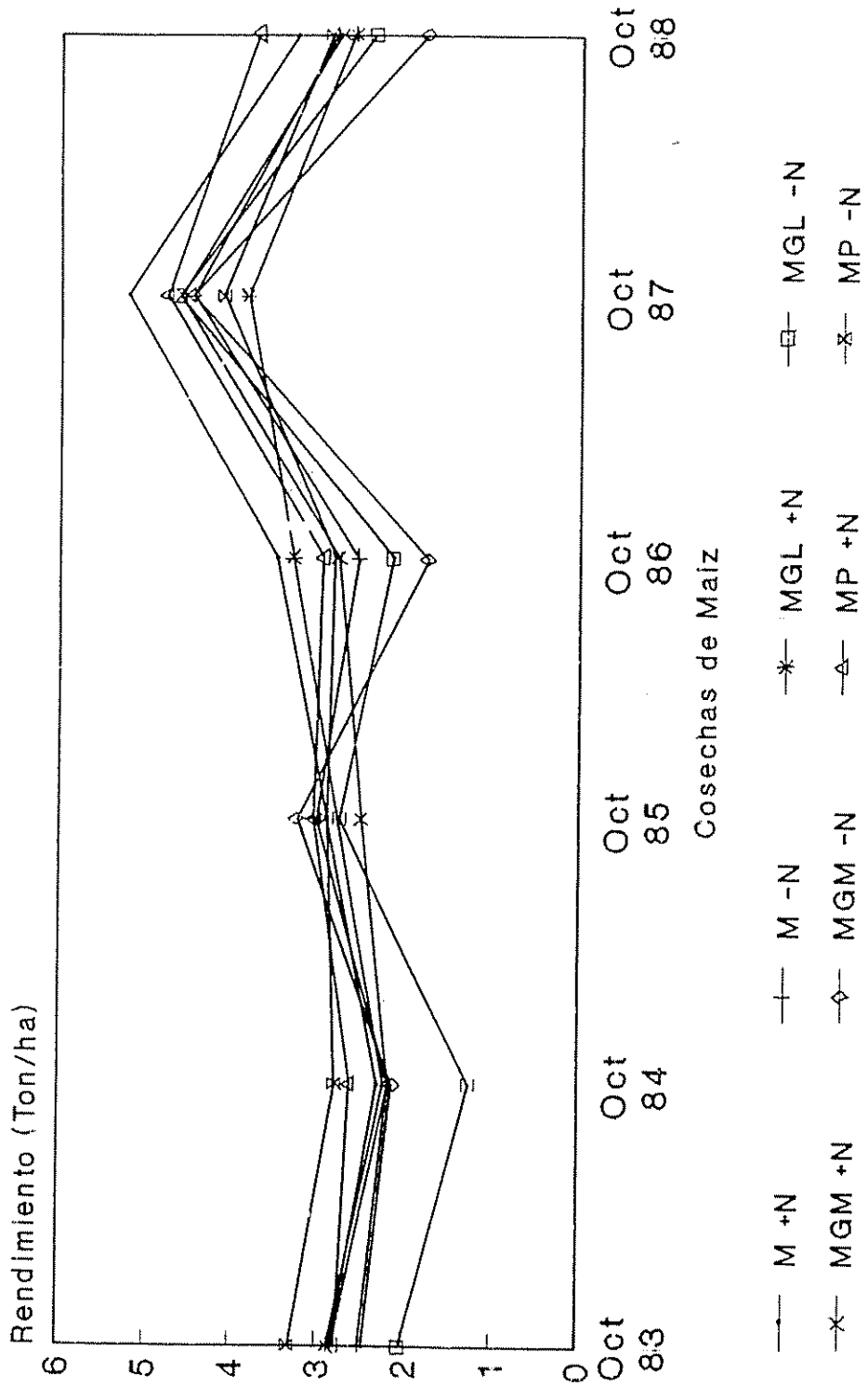


Figura 11B. Rendimientos de maiz en el Experimento de La Montana



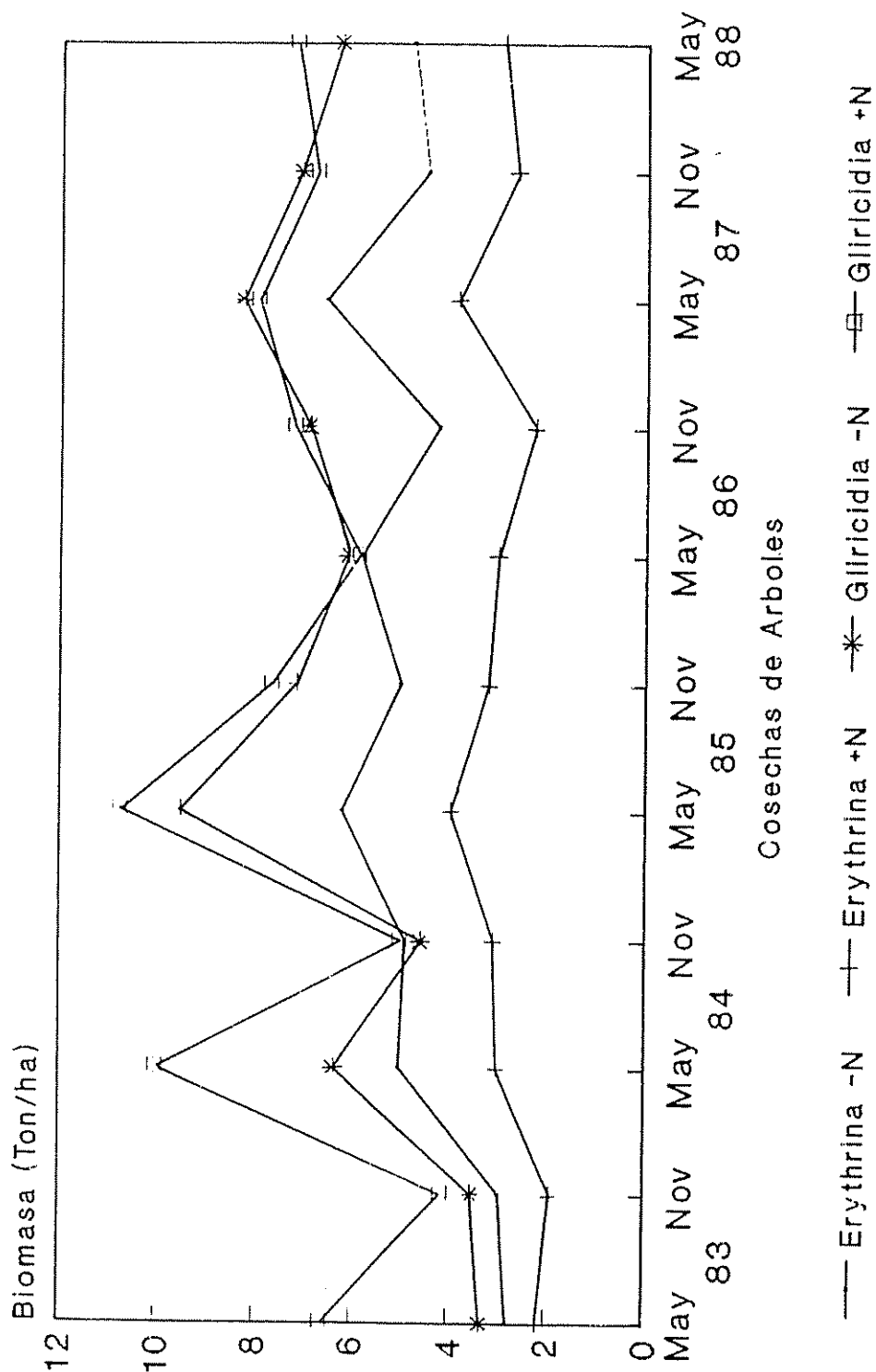
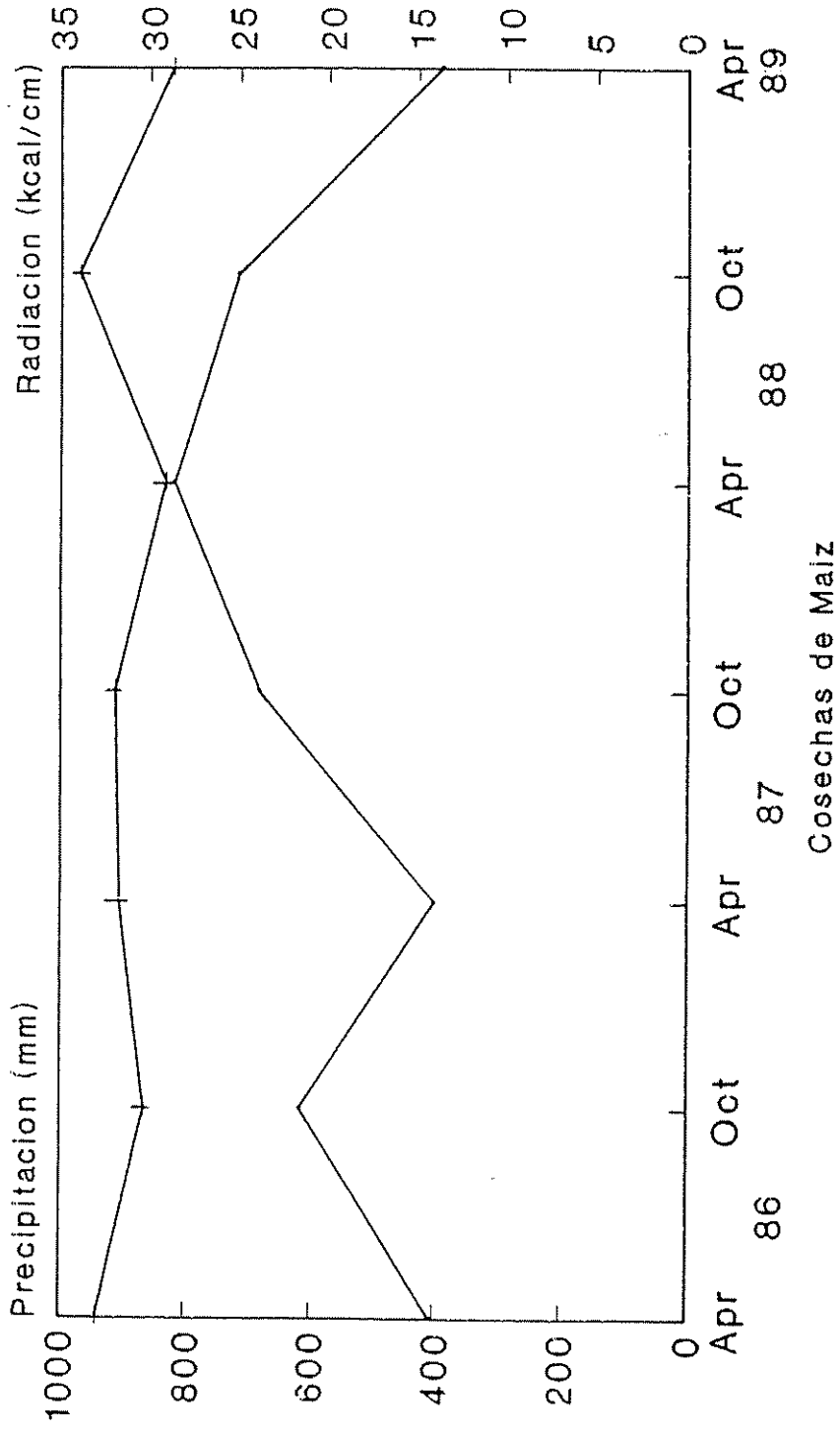


Figura 12. Rendimiento de arboles en el Experimento de La Montana

que se deben tener en cuenta: por un lado los rendimientos de madero negro son mayores que los de E. poeppigiana, lo que supone una mayor búsqueda de recursos nutritivos en el suelo y por otro lado, la dependencia del nitrógeno fijado puede ser diferencial aún cuando en las dos especies se haya demostrado la fijación de N atmosférico (Van Kessel et. al., 1983; Lindblad y Russo, 1986). No obstante el desarrollo de cualquier hipótesis necesita pruebas adicionales en este ensayo.

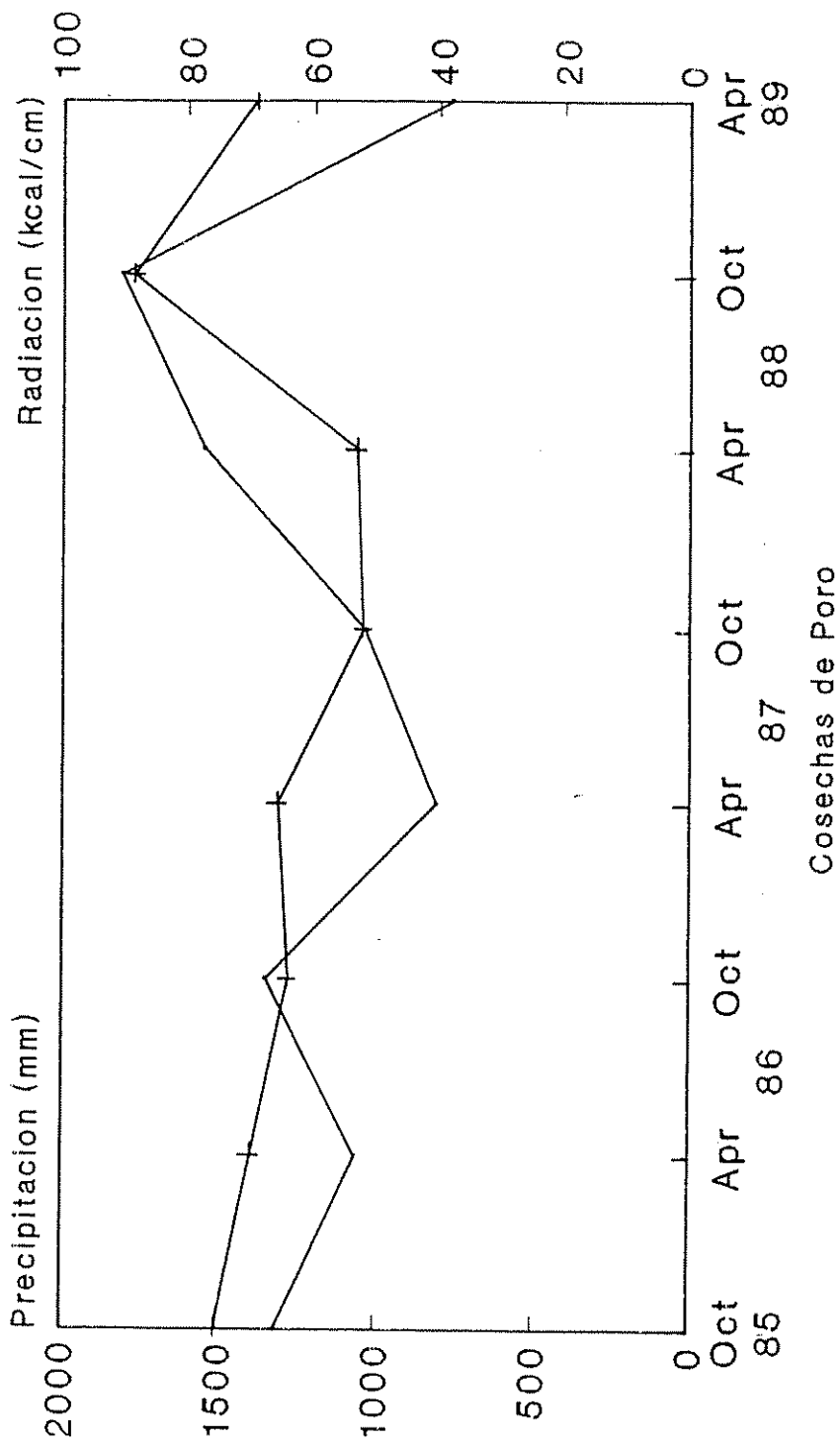
#### 4.2 Corrección por variables climáticas en el Experimento 170.

El comportamiento de la radiación y la precipitación durante el período de siembra a madurez fisiológica del maíz se puede observar en el Figura 13. En general se observa que la radiación disminuye con el aumento de la precipitación. Es importante señalar que en abril/88, una época tradicionalmente seca, las precipitaciones superaron los valores obtenidos durante las épocas lluviosas, un aspecto que ya había sido señalado en el ensayo de La Montaña. Este mismo comportamiento atípico se observa con los árboles (Figura 14). La radiación también presenta una disminución con el tiempo, mostrando el mismo ciclo anotado en el ensayo de La Montaña.



— Precipitación (mm)    —+— Radiación (kcal/cm)

Figura 13. Condiciones climatológicas durante la época de siembra a madurez fisiológica de maíz en el experimento 170.



— Precipitation (mm)    + Radiation (kcal/cm)  
 Cosechas de Poro

Figura 14. Condiciones climatológicas entre épocas de cosecha de E. poeppigiana en el experimento 170.

Con mucha claridad se observa la ciclicidad de los rendimientos de maíz de acuerdo al ciclo de precipitación (Figura 15), así mismo en los rendimientos de biomasa de los árboles (Figura 16).

En general, se observa que las diferencias entre los tratamientos de maíz tienden a disminuir a medida que transcurre el tiempo, lo que parece señalar que las fuentes de variación están perdiendo control sobre la variación observada. Lo mismo se puede observar con los árboles. Esto probablemente se encuentre relacionado con una disminución general de la base de recursos, a pesar de la fertilización básica aplicada.

Los mayores rendimientos de maíz fueron obtenidos en la parcela sin árboles hasta la quinta cosecha, luego de la cual, empezó a presentar los rendimientos más bajos, lo que viene a señalar que la tasa de fertilización es insuficiente para mantener los rendimientos. Los rendimientos de poró, por el contrario, siempre han sido superiores en las parcelas con más árboles, como era de esperarse.

La lluvia parece influir más sobre los rendimientos de maíz, en su efecto cuadrático, pero existe un efecto lineal de la radiación tan importante como el anterior (Cuadro 11). El hecho de que la interacción sea el tercer factor en importancia, sólo confirma lo observado en el diagrama de

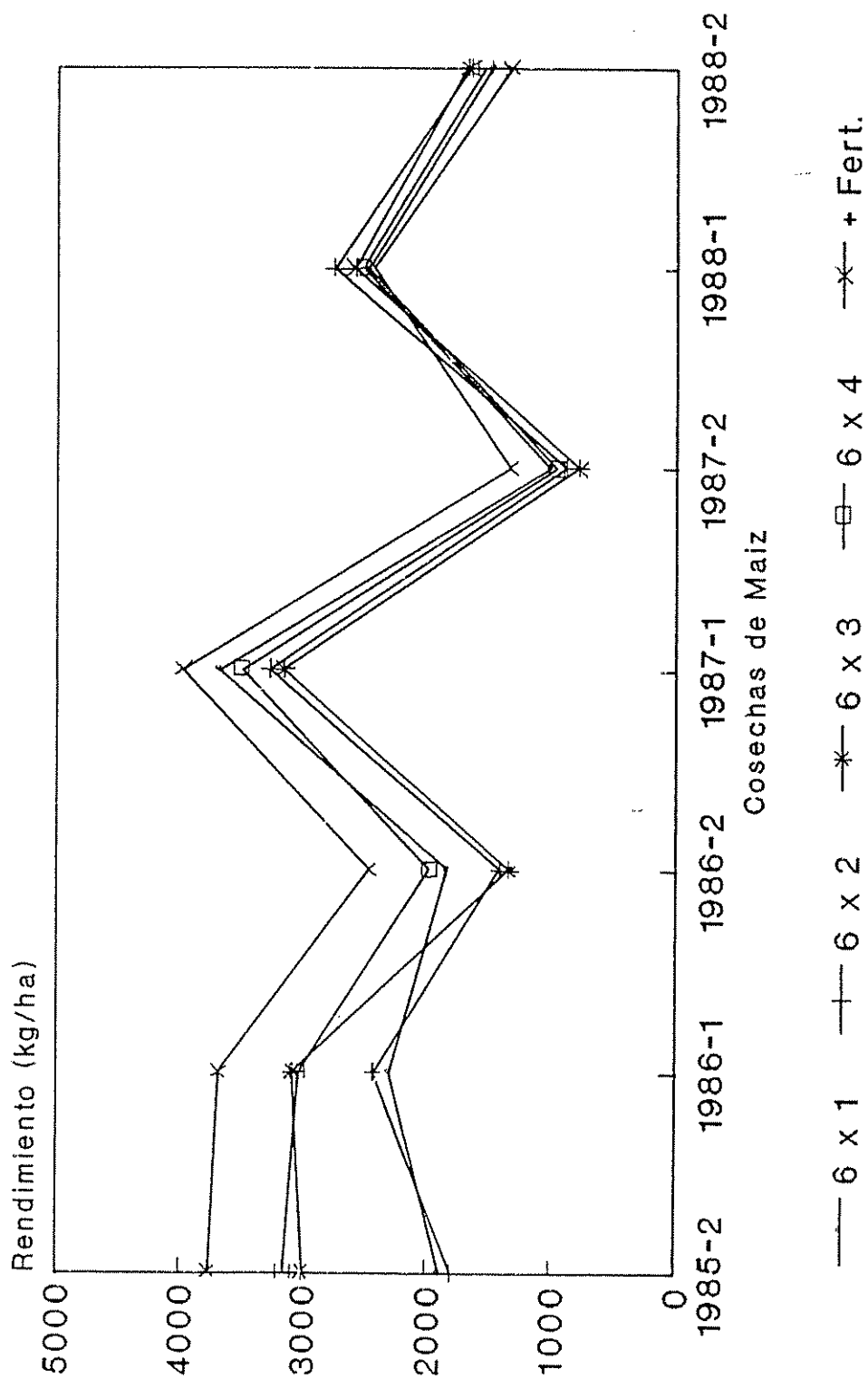


Figura 15. Rendimientos de maiz en el Experimento 170

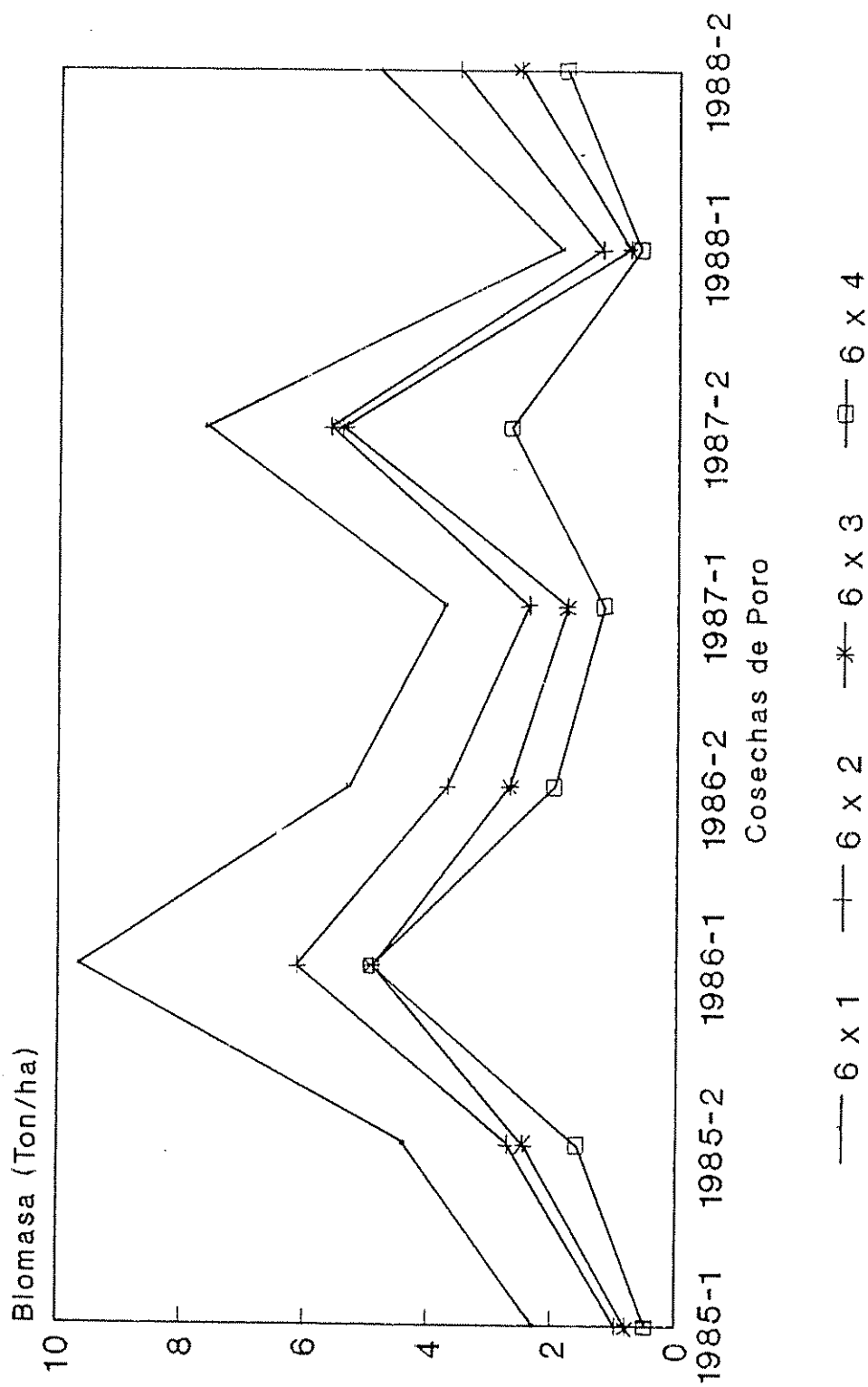


Figura 16. Biomasa de poro en el Experimento 170.

clima donde se podía observar una correspondencia entre altas lluvias y baja radiación.

Cuadro 11. Factores de corrección para los rendimientos de maíz y biomasa de poró en el Experimento 170.

Factor	CM	Maiz	CM	Poró
LLuvia	66916	68,80	409870	-55,49
Radiación	613009276	-523,97	105854063	2935,62
Lluvia * Radiación	33865207	-0,63	42388866	0,37
Lluvia <sup>2</sup>	774949353	-0,04	11529062	0,02
Radiación <sup>2</sup>	1382049	16,24	117022583	-27,18

Para ambos ensayos, los rendimientos corregidos de cultivos y árboles se encuentran en el apéndice.

#### 4.3 Estabilidad y degradación en el ensayo B

Los índices E de estabilidad (Cuadro 12) muestran una tendencia muy clara a disminuir en la medida en que se reduce el número de árboles por unidad de área. Es decir, la introducción de los árboles conlleva menor variación en los rendimientos, mientras que la fertilización es la responsable de el mejor comportamiento de la estabilidad en la parcela sin árboles. Ahora bien, este resultado se encuentra asociado como se esperaba, con los menores rendimientos de maíz, excepto en la parcela sin árboles (Ferreira, 1989).



Cuadro 12. Estabilidad de rendimientos de maíz en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica. (Experimento 170 AFN/CIID).

TRATAMIENTO	CM	X	E
6x1	25700821,0	2098,50	-1,42
6x2	49410970,1	2031,97	-2,46
6x3	78967748,5	2235,25	-2,98
6x4	84214195,7	2386,35	-2,85
+Fertilización	29803415,7	2711,36	-1,01

Los rendimientos de maíz son sensiblemente más bajos en la época de menor lluvia (Cuadro 13), a pesar de que la luz, el factor considerado decisivo por algunos investigadores en el cultivo en callejones (Kass, et. al. 1989), no debe ser limitante. Esto podría ser explicado por el hecho de que el cultivo recibe una menor cantidad de abono verde como consecuencia de la disminución de la producción de follaje de los árboles, durante la época de mayor lluvia anterior. Si hay menor producción de follaje hay menor cobertura y más pérdidas por agua y en consecuencia se abre una mayor posibilidad de que árboles y cultivo compitan por agua, el factor climático crítico durante esta época. Esta hipótesis se ve reforzada con la observación de menor estabilidad con la disminución de árboles de el tratamiento 6X1 al 6X3. La menor cobertura de la superficie del suelo, hacen más escasas las oportunidades en que el cultivo obtiene el agua necesaria para crecer, de ahí la inestabilidad creciente.

Esa competencia, disminuye obviamente con la reducción del número de árboles y debe existir un punto en el cual no exista tal competencia; eso explica la estabilidad intermedia observada en el tratamiento de 6X4. Si no existe otro factor limitante, por ejemplo el nivel de nutrimentos en el suelo, espaciamientos más grandes 6X6 o 6X8 deben tender a comportarse durante la época de menor lluvia como áreas sin árboles.

CUADRO 13. Estabilidad de rendimientos de maíz por época de precipitación (Mayor y Menor) en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica. (Experimento 170 APN/CIID).

TRATAMIENTO	PRECIPITACION	CM	X	E
6x1	Menor	4155061,5	1555,70	-0,31
	Mayor	33951682,9	2822,44	-1,06
6x2	Menor	13024012,7	1440,44	-1,51
	Mayor	18833163,7	2820,67	-0,54
6x3	Menor	73473261,3	1704,81	-4,03
	Mayor	6093820,1	2942,49	0,16
6x4	Menor	52221649,8	1908,46	-2,79
	Mayor	42319147,9	3023,53	-1,15
+Fertilización	Menor	10615450,9	2223,20	-0,47
	Mayor	24827678,4	3362,24	-0,48

Esta misma idea aplica al aumento de estabilidad del tratamiento 6X1 al de 6X3, observado durante la época de mayor lluvia, sólo que en este caso el factor limitante es la luz. Como hay menor sombra con árboles más espaciados,

el cultivo utiliza más eficientemente el mayor suministro de biomasa luego de la época de menor lluvia. También debe existir un punto de equilibrio entre el beneficio de obtener mayor radiación solar con menos árboles y la correspondiente disminución de biomasa arbórea. Probablemente la inestabilidad del tratamiento 6X4 se deba al gran potencial de producción en términos energéticos, acompañado de cantidades limitadas de nutrimentos, como consecuencia de una menor recirculación de nutrimentos por el componente arbóreo.

La mayor dispersión de la estabilidad de los tratamientos (Figura 17), hace pensar que las limitaciones establecidas durante la época de menor lluvia son de mayor impacto sobre el sistema que las limitaciones por luz durante la época de mayor lluvia.

Con base en la información de los rendimientos sin corregir, todos los tratamientos están experimentando un proceso de degradación (Cuadro 14). Sin embargo, el índice de degradación  $D'$ , muestra que en realidad se está observando un crecimiento de los rendimientos en los tratamientos con árboles, excepto en el distanciamiento 6X4. Es decir, la disminución de los rendimientos observada como consecuencia de años "malos" sucedidos en las últimas cosechas deben ser eventos pasajeros y es de esperarse que en conjunto, el clima se comporte alrededor de la media.

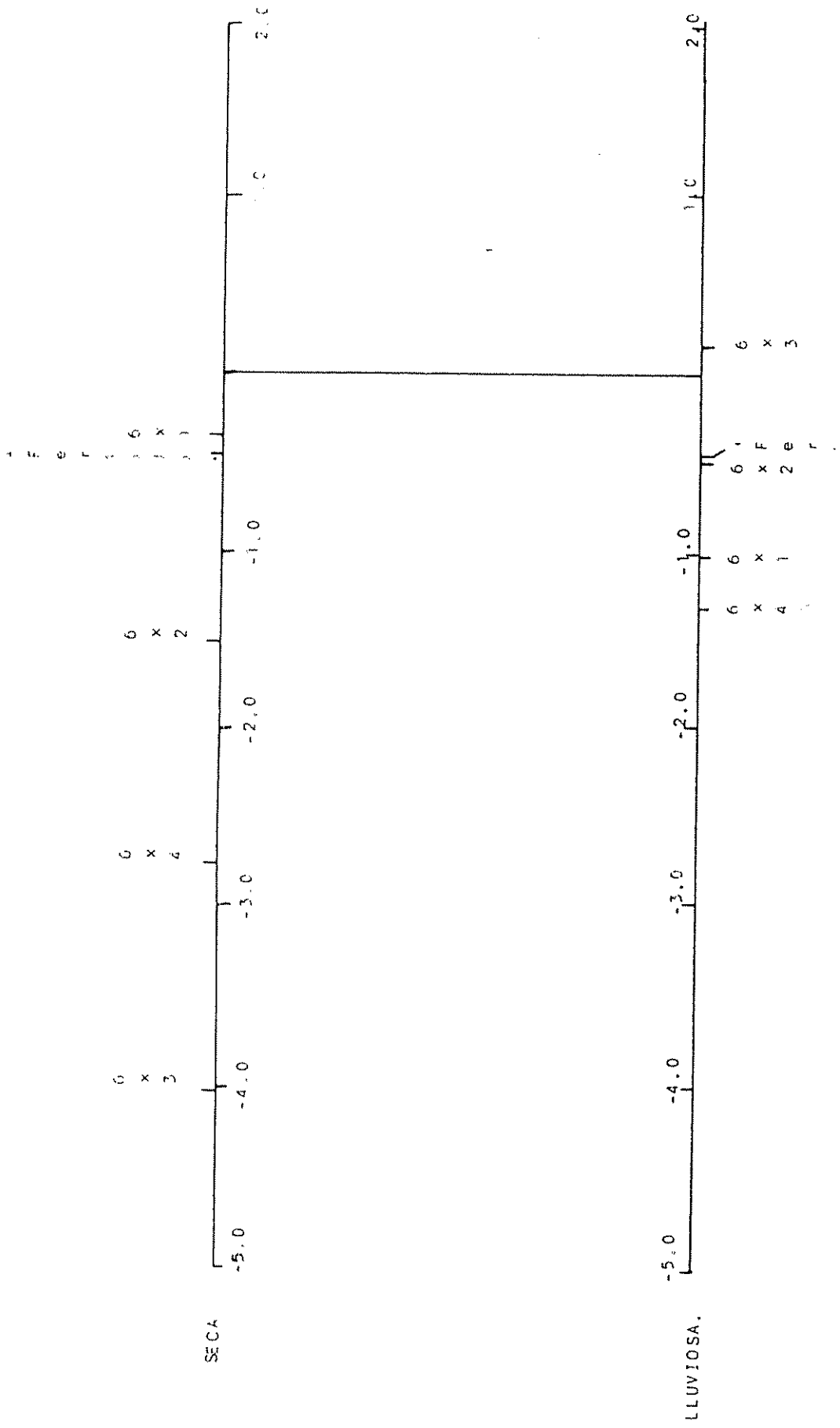


Figura 17. Estabilidad de rendimientos de maíz en el experimento 170 por época.

Por ello los rendimientos en las parcelas con índice D' positivo presentarán con el tiempo aumentos de rendimiento.

CUADRO 14. Degradación de rendimientos de maíz en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica. (Experimento 170 AFN/CIID).

TRATAMIENTO	(D')	(D)
6x1	4136,86	-1686,23
6x2	5529,47	-293,62
6x3	304,97	-5518,11
6x4	-1035,04	-6858,12
+Fertilización	-5099,67	-10922,75

La degradación observada en la parcela fertilizada está señalando que la dosis no está reintegrando los nutrimentos exportados como consecuencia de la cosecha, y otros procesos de pérdida en el tratamiento 6X4, que la recirculación de nutrimentos y los otros beneficios de los árboles no son suficientes para mantener los rendimientos.

La mayor degradación observada de los tratamientos durante la época de menor lluvia (Cuadro 15) sólo refuerza la idea expuesta anteriormente sobre el impacto de las limitaciones impuestas a la producción en cada época. Nótese que el tratamiento más estable en la época de menor lluvia, 6X1, no presenta el mayor índice D', lo que sugiere

que en el tratamiento 6X2 existe un mayor equilibrio en la competencia por agua, obteniéndose mayor éxito al enfrentar las limitaciones del régimen climático prevaleciente. Lo mismo sucede para la época de mayor lluvia, pero menos dramáticamente.

CUADRO 15. Degradación de rendimientos de maíz por época de precipitación (Menor y Mayor) en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica. (Experimento 170 AFN/CIID).

TRATAMIENTO	EPOCA	(D')	(D)
6x1	Menor	260,29	-204,91
	Mayor	313,24	90,72
6x2	Menor	367,21	-97,99
	Mayor	394,09	171,66
6x3	Menor	12,12	-453,00
	Mayor	-24,49	-247,02
6x4	Menor	-118,60	-583,79
	Mayor	-32,53	-255,06
+Fertilización	Menor	-375,40	-840,60
	Mayor	-406,67	629,19

Al contrario de lo observado con el rendimiento de maíz, los rendimientos más altos de poró están asociados con mayor estabilidad (Cuadro 16). Este rasgo de la producción de biomasa de los árboles está necesariamente relacionado con su exitosa competencia con el cultivo por los factores

limitantes en cada época. Las características que deben pesar más en ello, son el mayor volumen de suelo explorado con una biomasa más grande de raíces y la mayor área foliar con más árboles por unidad de superficie.

CUADRO 16. Estabilidad de rendimientos de poró en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica. (Experimento 170 AFN/CIID).

TRATAMIENTO	CM	X	E
6x1	23688473,1	4965,48	0,02
6x2	11977888,2	3320,92	-0,04
6x3	10167534,7	2685,54	-0,19
6x4	7014827,1	1918,04	-0,38

Se presenta una mayor estabilidad del rendimiento de biomasa arbórea durante la época de menor lluvia que durante la Mayor (Cuadro 17). Esto puede estar relacionado con que el mantenimiento de la base de nutrimentos en el suelo durante esta última época no es óptima, y es de preveer que justamente con las lluvias las pérdidas de nutrimentos sean mayores por lixiviación y por volatilización y los procesos de descomposición más rápidos.

El comportamiento extraño del tratamiento 6X4 (Figura 18) durante la época de menor lluvia, más bien parece reforzar la idea de la inexistencia de competencia con el

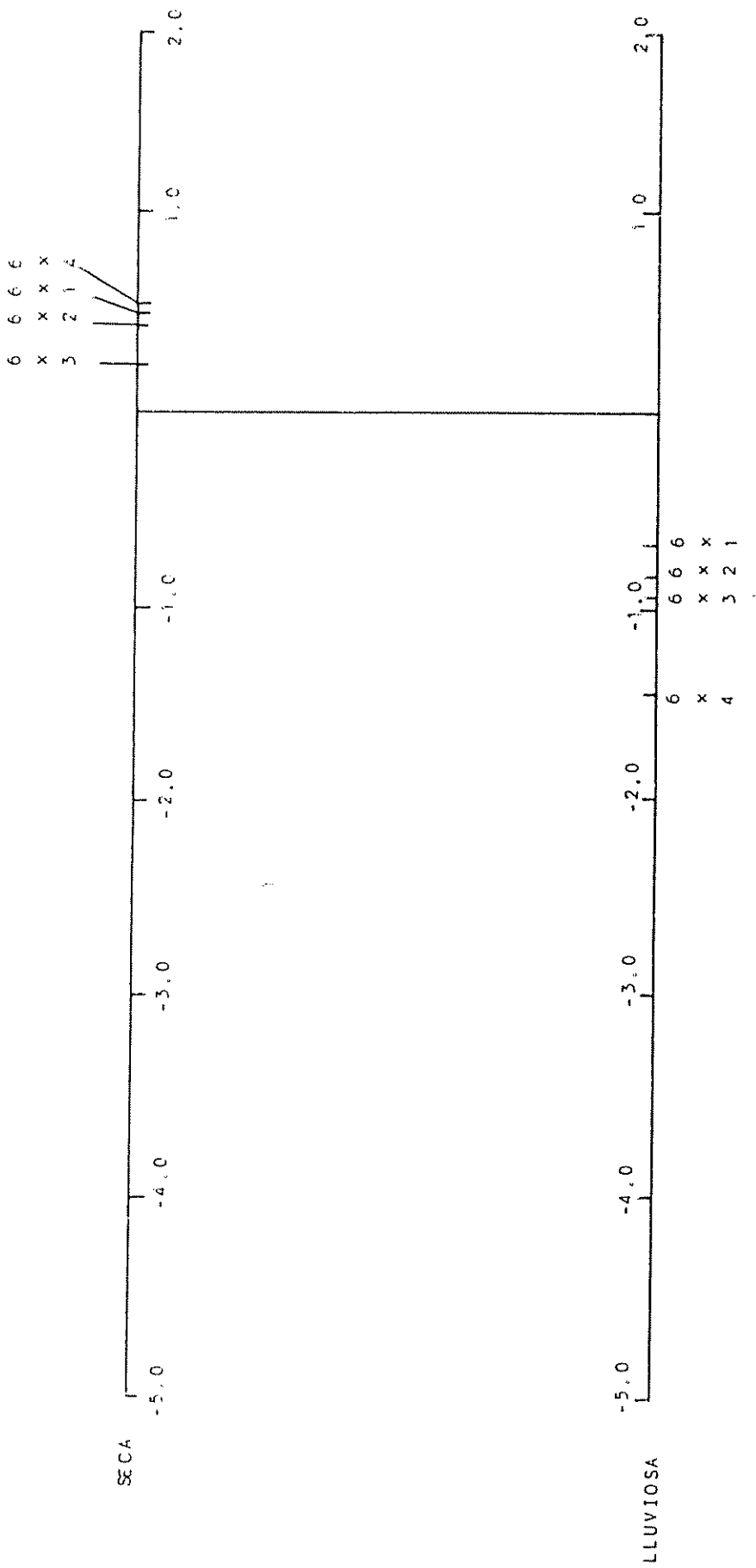


Figura 18. Estabilidad de rendimientos de poro Jr el experimento 170 por época.



cultivo por agua y por ello muestra un patrón más parecido a una parcela sin árboles.

El hecho de que la corrección por variables ambientales aumente los índices de degradación (Cuadro 18) resalta la contradicción entre el árbol y el cultivo. Lo que para uno es beneficioso, para el otro es perjudicial.

CUADRO 17. Estabilidad de rendimientos de poró por época de precipitación (Menor y Mayor) en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica. (Experimento 170 AFN/CIID).

TRATAMIENTO	EPOCA	CM	X	E
6x1	Menor	8110897,4	5533,43	0,49
	Mayor	54366951,2	4397,53	-0,68
6x2	Menor	4689376,2	3947,21	0,45
	Mayor	24837920,4	2694,64	-0,85
6x3	Menor	8503223,2	3297,46	0,12
	Mayor	16274109,1	2073,62	-0,95
6x4	Menor	864322,5	2036,37	0,54
	Mayor	19126258,8	1799,72	-1,43

CUADRO 18. Degradación de rendimientos de poró en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica. (Experimento 170 AFN/CIID).

TRATAMIENTO	(D')	(D)
6x1	-56,71	26,28
6x2	81,41	111,84
6x3	26,47	56,90
6x4	-61,91	-31,48

Se debe subrayar que la mayor degradación esperada del tratamiento 6X4 (Cuadro 19) obedece precisamente a que su degradación coincide en la época de mayores limitaciones, mientras que en el tratamiento 6X1 ocurre en la época de mayor lluvia.

CUADRO 19. Degradación de rendimientos de poró por época de precipitación (Menor y Mayor) en un cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica. (Experimento 170 AFN/CIID).

TRATAMIENTO	EPOCA	(D')	(D)
6x1	Menor	100,20	368,69
	Mayor	-144,53	-706,23
6x2	Menor	233,32	501,82
	Mayor	279,11	-282,60
6x3	Menor	37,98	306,48
	Mayor	294,42	-312,28
6x4	Menor	-123,39	145,10
	Mayor	237,07	-324,64

El análisis de degradabilidad de los nutrimentos en el suelo, mostró que, en general, los cambios en todas las variables son bastante pequeños, a pesar de los tratamientos y las enmiendas aplicadas (Cuadro 20). Esto se debe fundamentalmente a que estas últimas no representan cantidades grandes, capaces de vencer la capacidad buffer del suelo para resistir los cambios.

Cuadro 20. Índices de degradabilidad de las diversas variables del suelo consideradas en el Experimento 170.

Tratamiento	Variable del suelo						
	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg
6 x 1	-0,046*	-0,243*	-0,020*	2,175*	-0,026	-0,078	0,070
6 x 2	-0,036*	-0,164*	-0,016*	2,552*	-0,016	-0,206	0,018
6 x 3	-0,033*	-0,230*	-0,013*	2,751*	-0,036*	-0,236	0,185
6 x 4	-0,045*	-0,220*	-0,010	2,635*	-0,018	0,240	0,210
+ Fert.	-0,008	-0,429*	-0,025*	1,468*	-0,035*	0,024	0,077

No obstante, se puede apreciar que la disminución de la materia orgánica en el tratamiento con fertilizante es mayor que en los otros tratamientos. Y lo que es más importante, esta disminución de materia orgánica está relacionada (Cuadro 21) con la disminución de rendimiento de este tratamiento a través del tiempo. Fuera de la materia orgánica, el K y el N fueron las otras variables que correlacionaron mejor con el rendimiento de maíz, variables que observaron mayor deterioro en este tratamiento que en los demás.

CUADRO 21. Coeficientes de correlación lineal entre los rendimientos de maíz y poró y las variables del suelo consideradas en el Experimento 170.

Tratamiento	Cultivo	Variable del suelo						
		pH	MO	N	P	K	Ca	Mg
6 x 1	Maíz	0,16	0,24	0,02	0,24	0,67	0,10	0,35
	Poró	-0,31	-0,37	-0,18	-0,37	-0,26	-0,33	-0,87*
6 x 2	Maíz	0,28	0,03	-0,39	0,16	0,50	-0,02	0,11
	Poró	-0,46	-0,57	-0,13	-0,27	-0,43	-0,46	-0,81*
6 x 3	Maíz	0,42	0,17	-0,41	-0,30	0,16	-0,27	-0,22
	Poró	-0,35	-0,15	0,16	-0,20	-0,20	-0,42	-0,41
6 x 4	Maíz	0,38	0,34	-0,19	-0,16	0,56	-0,21	-0,22
	Poró	-0,30	-0,01	-0,25	-0,45	-0,50	-0,39	-0,41
+ Fert,	Maíz	0,09	0,49	0,38	0,04	0,62	-0,21	-0,25

La aplicación de P, aumentó la disponibilidad de este nutrimento en todos los tratamientos, pero fué menor en el tratamiento con fertilizante, debido probablemente a su recirculación por los árboles. La disminución de Ca es mayor en los tratamientos con más árboles, lo que no es en realidad una sorpresa, ya que las especies arbóreas en general presentan un requerimiento mayor que el de las plantas anuales (Waring y Schlesinger, 1985).

Como consecuencia de que los rendimientos de maíz y poró estén estrechamente relacionados con otros factores diferentes a las fuentes de variación, como competencia por agua en el primero y condiciones de inundación en el segundo, las correlaciones con las variables del suelo fueron bajas y en sólo dos oportunidades significativas.

#### 4.4 Estabilidad y degradación en el ensayo A

En el ensayo A, los rendimientos de frijol observaron mayor estabilidad en los tratamientos con árboles, acentuándose cuando se aplicó nitrógeno (Cuadro 22). Esto quiere decir por un lado, que los árboles no implican competencia alguna para la planta de frijol y que por el contrario, la recirculación de nutrimentos que efectúa el componente arbóreo, hace disponible una cantidad suficiente de estos para superar los rendimientos del control. Sin embargo, los beneficios del árbol no se limitan a la recirculación de nutrimentos, ya que las parcelas con mulch tienen estabilidades menores. Aunque los rendimientos aumenten al eliminar los árboles, el hecho de que las estabilidades disminuyan, parece sugerir que las oportunidades por conseguir condiciones óptimas para el cultivo de frijol disminuyen.

CUADRO 22. Estabilidad de rendimientos de frijol en el ensayo de La Montaña.

TRATAMIENTO		CM	X	E
C	-N	622,14	757,20	0,18
	+N	793,42	1018,25	0,22
M	-N	865,01	1141,08	0,24
	+N	1193,78	1493,27	0,20
MGM	-N	948,17	1221,95	0,22
	+N	760,14	1506,35	0,50
MGL	-N	1090,64	1039,16	-0,05
	+N	1212,56	1248,19	0,03
MP	-N	734,30	1426,47	0,49
	+N	1145,77	1612,51	0,29
GCC	-N	528,60	1141,35	0,54
	+N	375,92	1241,74	0,70
PCC	-N	601,76	1318,35	0,54
	+N	590,29	1487,37	0,60

La Gliricidia sepium tanto en cultivo en callejones como mulch, es menos beneficiosa en todo sentido que la Erythrina poeppigiana, aún menos efectiva que el mulch de Gmelina arborea. Por un lado genera mayor sombra que el poró ya que está sembrado a sólo medio metro en las hileras, el material tarda más en descomponerse y tiene mayor relación tallo leñoso/biomasa. Esta observación parece ser confirmada al observarse que el cultivo en callejones con Gliricidia sepium es el único tratamiento donde los rendimientos de frijol están disminuyendo con el tiempo, junto al control. Por el contrario, el mulch de G. sepium

está observando una de las mayores tasas de aumento de rendimiento ya que el efecto residual está aumentando con el tiempo (Cuadro 23).

CUADRO 23. Indices de degradación de rendimientos de frijol en el ensayo de La Montaña.

TRATAMIENTO		D'	D
C	-N	-27,10	-3,23
	+N	-81,57	-57,70
M	-N	65,65	89,53
	+N	138,93	162,80
MGM	-N	119,28	143,16
	+N	109,36	133,23
MGL	-N	120,77	144,64
	+N	107,64	131,51
MP	-N	15,61	39,48
	+N	-2,62	21,25
GCC	-N	-31,60	-7,73
	+N	-50,52	-26,25
PCC	-N	26,30	50,17
	+N	12,62	11,26

*D' - relativa o corregida*

En todos los casos se observó mayor degradación o menor crecimiento en los rendimientos de frijol cuando se aplicó N, excepto en el tratamiento con mulch Gmelina.

Como la "evolución pura" (D') de los sistemas es menor que la evolución observada, se puede decir que las últimas cosechas han gozado de buenas condiciones climatológicas, que no prevalecerán.



Las mayores estabilidades en el cultivo de maíz se encontraron con el mulch de poró, coincidiendo con los mayores rendimientos del cultivo (Cuadro 24). Este es un comportamiento esperado en sistemas de altos insumos, donde las ganancias (inputs) superan a las pérdidas (outputs) y todo parece sugerir que el N aportado en realidad es un valor alto. Es importante señalar que también es alta la estabilidad con árboles de poró, lo que sugiere que esta especie combina mejor con maíz que con G. sepium que mostró menores rendimientos tanto en mulch como en cultivo en callejones.

CUADRO 24. Estabilidad de rendimientos de maíz en el ensayo de La Montaña.

TRATAMIENTO		CM	X	E
C	-N	1432,04	2060,55	0,31
	+N	1776,19	2885,04	0,38
M	-N	1324,63	2920,70	0,55
	+N	1544,92	3328,90	0,54
MGM	-N	2027,68	2640,03	0,23
	+N	1461,30	2938,38	0,50
MGL	-N	1883,25	2534,87	0,26
	+N	995,44	2935,04	0,66
MP	-N	977,74	3136,51	0,69
	+N	1053,59	3317,20	0,68
GCC	-N	1483,02	2228,54	0,33
	+N	1736,89	2193,13	0,21
PCC	-N	888,08	2411,91	0,63
	+N	1199,25	2533,40	0,53

Como el control también está aumentando los rendimientos (Cuadro 25) es fácil concluir que las condiciones de suelo todavía se presentan, bajo condiciones naturales, favorables para el cultivo de maíz. No obstante, si las condiciones climáticas varían, los rendimientos de maíz pueden empezar a deteriorarse rápidamente, como lo demuestran los valores D'. Es interesante observar que en tal caso, solamente la aplicación de N puede contener la degradación de los rendimientos de maíz en las parcelas donde se utiliza poró como mulch o en cultivo en callejones. El mulch de Gmelina parece no ser capaz de mantener los

rendimientos bajo condiciones promedio de clima (Cuadro 25) toda vez que como el maíz no es fijador de N, rápidamente este nutrimento debe convertirse en limitante de la producción en un sistema que no está recibiendo ganancias netas de él.

CUADRO 25. Indices de degradación de rendimientos de maíz en el ensayo de La Montaña.

TRATAMIENTO		D'	D
C	-N	-155,55	63,09
	+N	-47,61	171,03
M	-N	10,02	228,67
	+N	109,70	328,34
MGM	-N	-153,71	64,93
	+N	-6,33	212,31
MGL	-N	102,51	321,15
	+N	-101,56	117,08
MP	-N	-170,54	48,10
	+N	96,84	315,48
GCC	-N	226,76	445,40
	+N	278,98	497,62
PCC	-N	-81,19	137,46
	+N	-89,62	129,02

Como se señala antes, la naturaleza del material de G. sepium puede ser el responsable de presentar mejores tasas de aumento de rendimiento de maíz bajo condiciones climáticas promedio, al diferir el suministro de nutrimentos en el tiempo.

En cuanto a rendimiento de árboles, el poró muestra mayor estabilidad que el madero negro (Cuadro 19). Obsérvese que el cultivo en callejones con G. sepium supera los rendimientos de biomasa en más de un 50% a los de E. poeppigiana.

CUADRO 26. Estabilidad de rendimiento de árboles en el ensayo de La Montaña.

TRATAMIENTO	CM	X	E
GCC			
-N	2771,09	6250,79	0,56
+N	3733,09	7180,59	0,48
PCC			
-N	1898,01	4790,23	0,60
+N	1181,86	2911,48	0,59

El hecho de que la estabilidad del madero negro disminuya dramáticamente en la época de menor lluvia, puede indicar que debido al número de árboles, éste tiene que competir con el cultivo por el recurso escaso en esa época, el agua (Cuadro 27). Esto explicaría también la reducción en sus rendimientos durante esta época.

CUADRO 27. Estabilidad de rendimiento de árboles por época en el ensayo de La Montaña.

TRATAMIENTO		EPOCA	CM	X	E
GCC	-N	Menor	4196,18	5792,27	0,28
	+N		1890,41	6141,35	0,69
	-N	Lluvia	3601,04	6709,30	0,46
	+N		1643,82	8219,84	0,80
PCC	-N	Menor	1020,37	4307,97	0,76
	+N		1072,66	2617,42	0,59
	-N	Lluvia	1442,91	5272,48	0,73
	+N		1429,65	3205,54	0,55

La aplicación de N con las dos especies, representa mayor degradación de los sistemas debido a causas diferentes: en la E. poeppigiana porque la aplicación de N es claramente detrimental y en G. sepium porque la mayor producción de biomasa debe crear desbalances y agotamiento de nutrientes en el suelo (Cuadro 28). Esto se ve reforzado en el Cuadro 29 donde se puede observar que durante la época de mayor lluvia con aplicación de N, el deterioro del sistema con G. sepium es mayor.

CUADRO 28. Indices de degradación de rendimientos de biomasa de árboles en el ensayo de La Montaña.

TRATAMIENTO		D'	D
GCC	-N	404,33	641,75
	+N	-116,38	121,73
PCC	-N	93,16	331,26
	+N	-122,90	115,21

El deterioro del cultivo en callejones con E. poeppigiana bajo condiciones promedio de menor precipitación, sugiere que este árbol es bastante sensible a estas condiciones y que no toleraría periodos continuos de poca agua, aún con aplicaciones de N.

CUADRO 29. Indices de degradación de rendimientos de biomasa de árboles por época de precipitación en el ensayo de La Montaña.

TRATAMIENTO		Epoca	D'	D
GCC	-N	Menor	535,27	997,32
	+N		285,29	747,34
	-N	Lluvia	741,83	964,33
	+N		-360,08	-137,57
PCC	-N	Menor	-225,29	236,76
	+N		-397,74	64,32
	-N	Lluvia	613,68	836,19
	+N		117,92	340,42

Como en el caso del experimento 170, el cambio en las variables del suelo ha sido muy pequeño (Cuadros 30 y 31). Solamente el tratamiento con estiércol de vaca presentó un aumento de materia orgánica durante el transcurso del experimento, a pesar de la aplicación del mulch. La disminución de P, por otra parte, hace pensar que los mecanismos de retención (Fassbender y Bornemisza, 1987) son capaces no solamente de atrapar el P aplicado sino el recirculado. A pesar de la aplicación de K como KCl en todas las parcelas, el suelo está aumentando su contenido en valores exiguos, lo que quiere decir que las plantas o el árbol están haciendo uso de él; en la profundidad 20-40 cm, es el árbol el responsable de su disminución, ya que no debe ser zona de control del cultivo (Cuadro 31). Así mismo la reducción acelerada del P a esa profundidad debe estar relacionada con la exploración del recurso por parte del árbol.

CUADRO 30. Coeficientes de degradación de las variables del suelo (0 - 20 cm) en el experimento de La Montaña.

		pH	MO	N	P	K	Ca	Mg
C	-N	0,0179*	-0,0241	-0,0018	-0,1251	-0,0094	-0,0267	0,0041
	+N	0,0054	-0,0482	-0,0015	-0,3431	-0,0022	-0,0315	-0,0033
M	-N	0,0387*	0,0310	-0,0022	-0,5133*	0,0057	0,1510*	0,0406*
	+N	0,0286*	0,0921*	-0,0015	-0,0518	0,0138	0,0828*	0,0293*
MP	-N	0,0122	0,0389	-0,0030*	0,0655	0,0128	-0,0080	0,0004
	+N	0,0115	-0,0113	-0,0018	-0,1180	0,0128	-0,0796*	0,0054
GCC	-N	0,0096	-0,0477	-0,0015	-0,5128*	0,0065	-0,0251	0,0050
	+N	-0,0036	-0,0112	-0,0005	-0,2698	0,0175*	-0,0064	0,0114
MGL	-N	0,0220*	-0,0448	-0,0009	-0,6785*	0,0111	0,0153	0,0087
	+N	0,0110	-0,1361*	-0,0069*	-0,7482*	0,0068	0,0243	0,0116
MGM	-N	0,0378*	-0,0134	-0,0012	-0,3073	0,0259*	0,0716*	0,0194*
	+N	0,0237*	-0,0617	-0,0013	-0,3270	0,0069	0,0190	-0,0027
PCC	-N	0,0058	-0,0022	-0,0014	-0,1247	0,0157*	-0,0650*	0,0055
	+N	0,0031	0,0625	0,0005	-0,3511	0,0137	-0,1076*	-0,0055



CUADRO 31. Coeficientes de degradación de las variables del suelo (20 - 40 cm) en el experimento de La Montaña.

		pH	MO	N	P	K	Ca	Mg
C	-N	0,062*	-0,129*	-0,013*	-0,611*	-0,037*	0,103*	0,036*
	+N	0,064*	-0,149*	-0,011*	-0,565*	-0,031*	0,088*	0,026*
M	-N	0,027	-0,263*	-0,015*	-0,898*	-0,015*	0,118*	0,018
	+N	0,034	-0,135*	-0,014*	-0,781*	-0,004	0,105*	0,019
MP	-N	0,016	-0,195*	-0,020*	-0,725*	-0,035*	0,058	0,010
	+N	0,019	-0,178*	-0,013*	-0,641*	-0,020*	0,053	0,013
GCC	-N	0,013	-0,170*	-0,012*	-0,499	-0,031*	0,120*	0,029*
	+N	0,025	-0,268*	-0,014*	-0,478	-0,021*	0,165*	0,037*
MGL	-N	0,030	-0,257*	-0,012*	-1,202*	-0,024*	0,014	0,002
	+N	0,028	-0,338*	-0,019*	-1,435*	-0,022*	0,032	0,030*
MGM	-N	0,028	-0,250*	-0,013*	-1,338*	-0,024*	0,121*	0,013
	+N	0,039*	-0,235*	-0,014*	-0,771*	-0,016*	0,085*	0,007
PCC	-N	0,004	-0,084	-0,014*	-1,074*	-0,019*	0,041	0,010
	+N	0,045*	-0,144*	-0,010*	-0,586*	-0,016*	0,010	0,007

A excepción del tratamiento con estiércol de vaca que presenta un aumento mayor de Ca y Mg, dos cationes de relativa movilidad a través del perfil (Sánchez y Salinas, 1983), en los demás tratamientos el aumento es insignificante.

Un análisis de correlación lineal, mostró que los aumentos de los rendimientos de los cultivos están estrechamente relacionados con el aumento de la materia orgánica y el Ca (Cuadro 32 y 33), a pesar de que los contenidos en los suelos no son bajos. Esto está relacionado básicamente con el hecho de que esta materia orgánica está estrechamente ligada al suministro de nutrimentos que por un lado pueden no ser detectados en los análisis químicos y que por otro empiezan a convertirse en claves de la producción luego de que la extracción por cultivos y árboles ha disminuído las formas minerales de más fácil obtención.

CUADRO 32. Correlaciones lineales entre los rendimientos de frijol y las variables del suelo (0 - 20 cm) en el experimento de La Montaña.

		pH	MO	N	P	K	Ca	Mg
C	-N	-0,89*	0,09	0,06	0,51	0,62	-0,43	-0,16
	+N	-0,86*	0,90*	0,22	0,24	0,11	-0,52	-0,72
M	-N	-0,28	0,46	0,20	-0,29	0,17	0,61	0,40
	+N	-0,48	0,36	0,22	-0,55	0,33	-0,01	-0,21
MP	-N	-0,66	0,38	-0,15	0,46	-0,45	-0,58	0,19
	+N	-0,67	0,93*	-0,35	-0,06	0,07	0,87*	0,09
GCC	-N	-0,78	0,98*	0,40	0,83*	0,26	-0,21	0,30
	+N	-0,77	0,73	-0,27	0,62	0,46	-0,65	0,09
MGL	-N	-0,53	0,71	0,06	0,04	-0,60	-0,05	-0,12
	+N	-0,62	0,63	0,19	0,41	0,09	0,06	0,07
MGM	-N	-0,23	0,94*	-0,10	0,44	0,19	0,22	0,14
	+N	-0,45	0,90*	0,36	-0,06	0,45	0,53	-0,15
PCC	-N	-0,63	0,60	-0,31	-0,21	-0,35	0,72	0,38
	+N	-0,47	0,90*	-0,37	0,00	0,01	-0,43	0,12

CUADRO 33. Correlaciones lineales entre los rendimientos de maíz y las variables del suelo (0 - 20 cm) en el experimento de La Montaña.

		pH	MO	N	P	K	Ca	Mg
C	-N	0,01	0,66	-0,14	-0,24	-0,23	0,32	0,54
	+N	-0,38	0,45	0,34	-0,86*	-0,64	0,01	-0,59
M	-N	-0,26	0,24	-0,13	0,06	-0,59	-0,20	-0,40
	+N	-0,42	0,46	0,16	-0,49	0,06	0,58	-0,01
MP	-N	-0,30	-0,28	-0,21	-0,68	-0,71	0,14	-0,48
	+N	-0,26	0,55*	-0,66	0,29	0,49	-0,13*	-0,84*
GCC	-N	0,08	0,40	0,70	0,19	-0,44	0,09	-0,48
	+N	-0,15	-0,18	-0,16	-0,53	-0,35	-0,09	0,40
MGL	-N	-0,34	-0,07	-0,29	-0,28	-0,44	0,70	-0,31
	+N	-0,56	0,32	0,14	-0,34	-0,43	0,11	-0,76
MGM	-N	-0,29	-0,12*	-0,14	-0,03	-0,16	-0,04	-0,42
	+N	-0,63	0,65	-0,33	-0,63	-0,05	-0,06	-0,69
PCC	-N	-0,42	0,65	-0,06	-0,38	-0,27	0,16	-0,19
	+N	-0,57	0,66	0,86*	0,29	-0,12	0,05	-0,29

CUADRO 34. Correlaciones lineales entre los rendimientos de árboles y las variables del suelo (20 - 40 cm) en el experimento de La Montaña.

		pH	MO	N	P	K	Ca	Mg
GCC	-N	-0,23	-0,14	0,31	-0,06	0,38	0,45	-0,10
	+N	-0,32	0,04	0,77*	-0,11	0,21	0,62*	0,10
PCC	-N	-0,06	0,35	0,52	-0,17	0,17	0,02	-0,08
	+N	-0,12	-0,19	0,63*	-0,22	0,25	0,44	-0,35

#### 4.5 Densidad y contenidos de nutrimentos de las maderas.

En los Cuadros 35 y 36 se encuentran la densidad de madera y los contenidos de nutrimentos de las maderas de los Experimentos 170 y de La Montaña.

CUADRO 35. Densidad y contenido de nutrimentos del tocón de Erythrina poeppigiana en el Experimento 170.

Tratamiento	Densidad g/cm <sup>3</sup>	N	P	K	Ca	Mg
6x1	0,24	0,40	0,05	0,63	0,32	0,53
6x2	0,25	0,38	0,06	0,90	0,30	0,45
6x3	0,24	0,39	0,07	0,72	0,21	0,44
6x4	0,24	0,38	0,05	0,60	0,35	0,47

CUADRO 36. Densidad y contenido de nutrimentos de la madera del tocón de Erythrina poeppigiana y Gliricidia sepium en el experimento de La Montaña.

Tratamiento	Nit.	Densidad g/cm <sup>3</sup>	N	P	K	Ca	Mg
PCC	-N	0,25	0,51	0,09	1,02	0,15	0,81
PCC	+N	0,26	0,60	0,10	0,98	0,14	0,57
GCC	-N	0,39	0,56	0,04	0,28	0,13	0,51
GCC	+N	0,39	0,77	0,04	0,55	0,15	0,70

A continuación se discute el modelo de reciclaje y reserva de nutrimentos propuesto en la metodología, en los tratamientos de cultivos en callejones. El modelo para los otros tratamientos se puede observar en los anexos (Figuras 20A a 25C).

#### 4.6 Reserva y transferencia de nutrimentos en el Experimento 170.

La mayor parte de las reservas de materia orgánica del sistema se encuentran en el suelo, donde siempre se encontraron más del 0,85 del total de de la reservas en todos los tratamientos (Figura 19).

La importancia relativa de las reservas de materia orgánica en el cultivo en callejones será mayor en la medida en que el sistema tenga bajas reservas en el suelo, dado que

%		
4.85	MAIZ	11.33
	PLANTAS	6.99
	GRANOS	4.34
7.70		
	PORO	17.98
	HOJAS	4.66
	RAMAS	5.24
	TOCON	8.08
87.45		
	SUELO	204.32
	0-30 cm	204.32

%		
4.58	MAIZ	11.61
	PLANTAS	7.61
	GRANOS	4.10
4.61		
	PORO	11.69
	HOJAS	3.16
	RAMAS	3.51
	TOCON	5.02
90.80		
	SUELO	230.08
	0-30 cm	230.08

### MATERIA ORGANICA (ton/ha)

6 x 3

%		
5.65	MAIZ	11.34
	PLANTAS	7.16
	GRANOS	4.18
4.63		
	PORO	9.28
	HOJAS	2.48
	RAMAS	2.95
	TOCON	3.85
89.72		
	SUELO	179.98
	0-30 cm	179.98

6 x 4

%		
5.32	MAIZ	11.61
	PLANTAS	7.10
	GRANOS	4.51
2.95		
	PORO	6.43
	HOJAS	1.75
	RAMAS	2.16
	TOCON	2.52
91.74		
	SUELO	200.28
	0-30 cm	200.28

Figura 19. Reserva y transferencia de MO en el experimento 170.

los contenidos en los suelos de Turrialba mantienen niveles superiores al 4% (Figura 14, Apéndice).

En todos los casos, se encontró más del 0,95 del nitrógeno del sistema en el suelo (Figura 20). La cantidad de nitrógeno recirculado por el componente arbóreo es más de dos veces la cantidad del nitrógeno extraído por el grano de maíz, en todos los tratamientos; pero hemos notado que no hubo acumulación de este nutrimento en el suelo (Cuadro 20). En el proceso de descomposición del material arbóreo depositado sobre el suelo, pueden ocurrir pérdidas de N de varias formas: inmovilización, desnitrificación y lixiviación. Como la vida media de estos materiales está entre 26 días para E. poeppigiana (Quinlan, 1984. Cálculos realizados por el autor) y 22 días para G. sepium (Budelman, 1985), un muestreo de suelos realizado seis meses después de la depositación del material, difícilmente indica el estado real de disponibilidad del nutrimento para el cultivo acompañante. Por otro lado, como los requerimientos de N del maíz son bajos en los primeros estados de desarrollo, cuando hay mayor liberación de N, por la descomposición de la biomasa arbórea, las posibilidades de que éste sea usado por el cultivo son menores que si fuera aplicado en la época de mayor absorción (Hanway, 1971). No obstante, la mayor recirculación de N que alcanzan un mayor número de árboles, se refleja también en una mayor recuperación de N en esas parcelas por parte del cultivo. Esto indica que estas



%		
1.55	MAIZ	135.86
	PLANTAS	77.96
	GRANOS	57.90
3.51	PORO	306.91
	HOJAS	194.04
	RAMAS	79.93
	TOCON	32.94
94.94	SUELO	8302.20
	0-30 cm	8302.20

%		
1.13	MAIZ	127.22
	PLANTAS	71.50
	GRANOS	55.72
1.72	PORO	193.62
	HOJAS	125.19
	RAMAS	49.10
	TOCON	19.33
97.15	SUELO	10918.10
	0-30 cm	10918.10

### NITROGENO (Kg/ha)

6 x 3

%		
1.36	MAIZ	121.62
	PLANTAS	65.17
	GRANOS	66.45
1.86	PORO	165.96
	HOJAS	109.39
	RAMAS	41.68
	TOCON	14.89
96.78	SUELO	8655.70
	0-30 cm	8655.70

6 x 4

%		
1.36	MAIZ	120.83
	PLANTAS	57.13
	GRANOS	63.70
1.26	PORO	111.78
	HOJAS	71.89
	RAMAS	30.17
	TOCON	9.72
97.38	SUELO	9857.60
	0-30 cm	9857.60

Figura 20. Reserva y transferencia de N en el experimento 170.

plantas están teniendo mayor disponibilidad de este nutrimento, que las parcelas que tienen menos árboles; que como se pudo ver antes, no correlaciona con el rendimiento porque otros factores diferentes interfieren en la producción de grano (Cuadro 21).

En general, se acepta que una de las más grandes limitaciones de la producción en los trópicos es la disponibilidad de P (Sánchez, 1981). En particular, suelos derivados de cenizas volcánicas o con algún grado de influencia volcánica (Sánchez y Uehara, 1980) han mostrado poseer una alta capacidad para retener en forma poco disponible el P a las plantas a través de diversos mecanismos. Por ello no es sorprendente que más del 50% del fósforo del sistema se encuentre en la parte aérea de árboles y plantas (Figura 21). Se debe observar no obstante, que la recirculación del nutrimento lo realiza básicamente el cultivo y no el árbol. Adicionalmente, el fósforo parece acumularse en la madera mucho menos que otros nutrimentos y a pesar de su baja movilidad en plantas (Mengel y Kirby, 1982), la mayor parte del fósforo es recirculado en hojas y ramas.

Nótese que la extracción en grano de maíz de P, supera en todos los casos, la recirculación por el componente arbóreo, excepto en el tratamiento 6X1. En la fertilización fosfórica, se están aplicando 9,94 ug/g/año, lo cual nos

%		
36.15	MAIZ	33.93
	PLANTAS	12.89
	GRANOS	21.04
33.10	PORO	31.06
	HOJAS	15.70
	RAMAS	11.47
	TOCON	3.89
30.75	SUELO	28.86
	0-30 cm	28.86

%		
37.71	MAIZ	31.12
	PLANTAS	12.32
	GRANOS	18.80
25.82	PORO	21.31
	HOJAS	10.49
	RAMAS	7.76
	TOCON	3.06
36.46	SUELO	30.09
	0-30 cm	30.09

## FOSFORO (Kg/ha)

6 x 3

%		
33.57	MAIZ	30.62
	PLANTAS	11.75
	GRANOS	18.87
21.50	PORO	19.61
	HOJAS	9.33
	RAMAS	7.53
	TOCON	2.75
44.82	SUELO	40.97
	0-30 cm	40.97

6 x 4

%		
35.92	MAIZ	31.23
	PLANTAS	10.07
	GRANOS	21.16
15.59	PORO	13.56
	HOJAS	6.18
	RAMAS	6.07
	TOCON	1.30
48.49	SUELO	42.16
	0-30 cm	42.16

Figura 21. Reserva y transferencia de P en el experimento 170.

demuestra que debe estar sucediendo algún tipo de retención, ya que si se cuenta la recirculación de las plantas, el balance debería ser positivo aún sin la fertilización.

La cantidad del potasio recirculado por el componente arbóreo es superior a la recirculación y extracción del cultivo de maíz (Figura 22), excepto para el tratamiento 6X4. La recirculación por la planta de maíz es también superior a la extracción por el grano y en el árbol se observa mayor recirculación que reserva. No obstante, las reservas en el suelo que representan siempre más del 0,7 del total, están experimentando una leve caída. En suelos se ha encontrado que existe un equilibrio dinámico entre las diversas fracciones de potasio lo que garantiza un suministro adecuado del nutrimento a través del tiempo (Guerrero, 1984). Por ello, es de esperar que las reservas del suelo en este caso sean un sólido soporte para una intensa tasa de reciclaje, que supera los 200 Kg/ha/año de este nutrimento.

En todos los tratamientos, las reservas de calcio en el suelo son superiores al 0,95 del total. El alto nivel del nutrimento en el suelo ( $>4$  cmol (+)/l) hace suponer que no hay deficiencias de este catión en estos suelos (Figura 23). Se nota que una mayor proporción del calcio es acumulado en el tocón que en el caso de potasio.

%		
9.74	MAIZ	122.72
	PLANTAS	102.93
	GRANOS	19.79
20.49	PORO	258.24
	HOJAS	110.17
	RAMAS	100.41
	TOCON	47.66
69.77	SUELO	879.21
	0-30 cm	879.21

%		
11.60	MAIZ	131.72
	PLANTAS	11.78
	GRANOS	19.94
16.54	PORO	187.86
	HOJAS	73.62
	RAMAS	70.07
	TOCON	44.17
71.86	SUELO	816.13
	0-30 cm	816.13

### POTASIO (Kg/ha)

6 x 3

%		
9.67	MAIZ	118.55
	PLANTAS	99.51
	GRANOS	19.04
12.50	PORO	153.18
	HOJAS	63.46
	RAMAS	61.87
	TOCON	27.85
77.83	SUELO	954.12
	0-30 cm	954.12

6 x 4

%		
9.49	MAIZ	117.61
	PLANTAS	95.43
	GRANOS	22.18
8.43	PORO	104.48
	HOJAS	42.70
	RAMAS	47.53
	TOCON	14.25
82.08	SUELO	1017.20
	0-30 cm	1017.20

Figura 22. Reserva y transferencia de K en el experimento 170.

%		
0.44	MAIZ	17.83
	PLANTAS	15.04
	GRANOS	2.79
2.04	PORO	83.08
	HOJAS	39.44
	RAMAS	23.06
	TOCON	20.58
97.52	SUELO	3965.09
	0-30 cm	3965.09

%		
0.51	MAIZ	20.16
	PLANTAS	18.12
	GRANOS	2.04
1.46	PORO	57.39
	HOJAS	28.66
	RAMAS	13.66
	TOCON	16.08
98.03	SUELO	3859.84
	0-30 cm	3859.84

### CALCIO (Kg/ha)

6 x 3

%		
0.35	MAIZ	14.30
	PLANTAS	12.11
	GRANOS	2.19
1.10	PORO	44.67
	HOJAS	25.22
	RAMAS	11.20
	TOCON	8.25
98.55	SUELO	3989.38
	0-30 cm	3989.38

6 x 4

%		
0.37	MAIZ	12.49
	PLANTAS	10.31
	GRANOS	2.18
0.96	PORO	32.73
	HOJAS	17.55
	RAMAS	7.15
	TOCON	8.03
98.68	SUELO	3370.03
	0-30 cm	3370.03

Figura 23. Reserva y transferencia de Ca en el experimento 170.

Los niveles de magnesio en el suelo, son suficientemente altos ( $>1 \text{ cmol (+)/l}$ ) para representar al menos el 0,9 de las reservas del sistema (Figura 24). Se debe subrayar sin embargo, en todavía mayor grado que el calcio, el hecho de que las reservas del catión en el árbol se concentran en las maderas.

#### 4.7 Reserva y transferencia de nutrimentos en La Montaña.

Los mayores volúmenes de madera alcanzados en E. poeppigiana y G. sepium, son los responsables de que en este sistema las reservas fitomasa en el componente arbóreo alcancen siempre más del 0,1 del total del sistema (Figura 25). El aumento sustancial de las reservas de fitomasa en el madero negro, al aplicársele N al sistema, se logra con detrimento de la producción de biomasa por parte del cultivo, lo que refuerza la idea de que G. sepium compite exitosamente con el maíz por el fertilizante aplicado. Por el contrario, la aplicación de N, disminuye la acumulación de biomasa en el tocón de E. poeppigiana, mientras que en el maíz se observa el aumento en la producción de biomasa. Obsérvese que si bien es cierto, la producción de biomasa de G. sepium es mayor que la de E. poeppigiana, esta diferencia se debe principalmente a la producción de ramas, es decir la recirculación de nutrimentos en G. sepium. debe ser más lenta, toda vez que la mayoría de ellos deben encontrarse

%									
3.88	<table border="1"> <tr> <td>MAIZ</td> <td>32.37</td> </tr> <tr> <td>PLANTAS</td> <td>16.80</td> </tr> <tr> <td>GRANOS</td> <td>15.57</td> </tr> </table>	MAIZ	32.37	PLANTAS	16.80	GRANOS	15.57		
MAIZ	32.37								
PLANTAS	16.80								
GRANOS	15.57								
9.67	<table border="1"> <tr> <td>PORO</td> <td>80.73</td> </tr> <tr> <td>HOJAS</td> <td>23.06</td> </tr> <tr> <td>RAMAS</td> <td>17.09</td> </tr> <tr> <td>TOCON</td> <td>40.58</td> </tr> </table>	PORO	80.73	HOJAS	23.06	RAMAS	17.09	TOCON	40.58
PORO	80.73								
HOJAS	23.06								
RAMAS	17.09								
TOCON	40.58								
86.46	<table border="1"> <tr> <td>SUELO</td> <td>722.16</td> </tr> <tr> <td>0-30 cm</td> <td>722.16</td> </tr> </table>	SUELO	722.16	0-30 cm	722.16				
SUELO	722.16								
0-30 cm	722.16								

%									
3.71	<table border="1"> <tr> <td>MAIZ</td> <td>28.53</td> </tr> <tr> <td>PLANTAS</td> <td>16.06</td> </tr> <tr> <td>GRANOS</td> <td>12.47</td> </tr> </table>	MAIZ	28.53	PLANTAS	16.06	GRANOS	12.47		
MAIZ	28.53								
PLANTAS	16.06								
GRANOS	12.47								
6.00	<table border="1"> <tr> <td>PORO</td> <td>46.12</td> </tr> <tr> <td>HOJAS</td> <td>13.66</td> </tr> <tr> <td>RAMAS</td> <td>10.06</td> </tr> <tr> <td>TOCON</td> <td>22.41</td> </tr> </table>	PORO	46.12	HOJAS	13.66	RAMAS	10.06	TOCON	22.41
PORO	46.12								
HOJAS	13.66								
RAMAS	10.06								
TOCON	22.41								
90.29	<table border="1"> <tr> <td>SUELO</td> <td>693.21</td> </tr> <tr> <td>0-30 cm</td> <td>693.91</td> </tr> </table>	SUELO	693.21	0-30 cm	693.91				
SUELO	693.21								
0-30 cm	693.91								

## MAGNESIO (Kg/ha)

6 x 3

%									
3.74	<table border="1"> <tr> <td>MAIZ</td> <td>28.95</td> </tr> <tr> <td>PLANTAS</td> <td>18.82</td> </tr> <tr> <td>GRANOS</td> <td>10.13</td> </tr> </table>	MAIZ	28.95	PLANTAS	18.82	GRANOS	10.13		
MAIZ	28.95								
PLANTAS	18.82								
GRANOS	10.13								
4.81	<table border="1"> <tr> <td>PORO</td> <td>37.23</td> </tr> <tr> <td>HOJAS</td> <td>11.20</td> </tr> <tr> <td>RAMAS</td> <td>8.72</td> </tr> <tr> <td>TOCON</td> <td>17.31</td> </tr> </table>	PORO	37.23	HOJAS	11.20	RAMAS	8.72	TOCON	17.31
PORO	37.23								
HOJAS	11.20								
RAMAS	8.72								
TOCON	17.31								
91.45	<table border="1"> <tr> <td>SUELO</td> <td>707.42</td> </tr> <tr> <td>0-30 cm</td> <td>707.42</td> </tr> </table>	SUELO	707.42	0-30 cm	707.42				
SUELO	707.42								
0-30 cm	707.42								

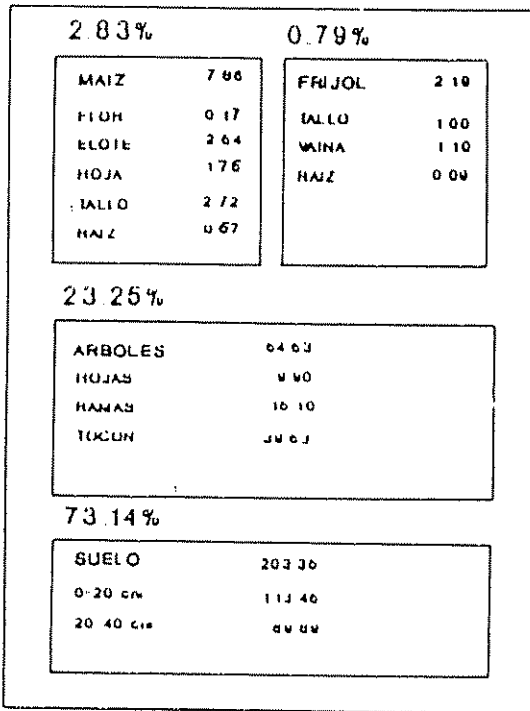
6 x 4

%									
3.97	<table border="1"> <tr> <td>MAIZ</td> <td>26.14</td> </tr> <tr> <td>PLANTAS</td> <td>15.24</td> </tr> <tr> <td>GRANOS</td> <td>10.90</td> </tr> </table>	MAIZ	26.14	PLANTAS	15.24	GRANOS	10.90		
MAIZ	26.14								
PLANTAS	15.24								
GRANOS	10.90								
4.37	<table border="1"> <tr> <td>PORO</td> <td>28.78</td> </tr> <tr> <td>HOJAS</td> <td>7.15</td> </tr> <tr> <td>RAMAS</td> <td>9.98</td> </tr> <tr> <td>TOCON</td> <td>11.65</td> </tr> </table>	PORO	28.78	HOJAS	7.15	RAMAS	9.98	TOCON	11.65
PORO	28.78								
HOJAS	7.15								
RAMAS	9.98								
TOCON	11.65								
91.67	<table border="1"> <tr> <td>SUELO</td> <td>604.26</td> </tr> <tr> <td>0-30 cm</td> <td>604.26</td> </tr> </table>	SUELO	604.26	0-30 cm	604.26				
SUELO	604.26								
0-30 cm	604.26								

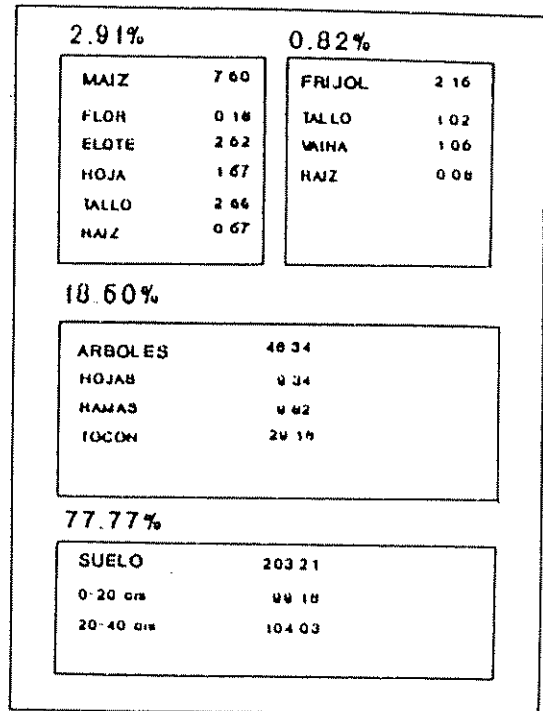
Figura 24. Reserva y transferencia de Mg en el experimento 170.



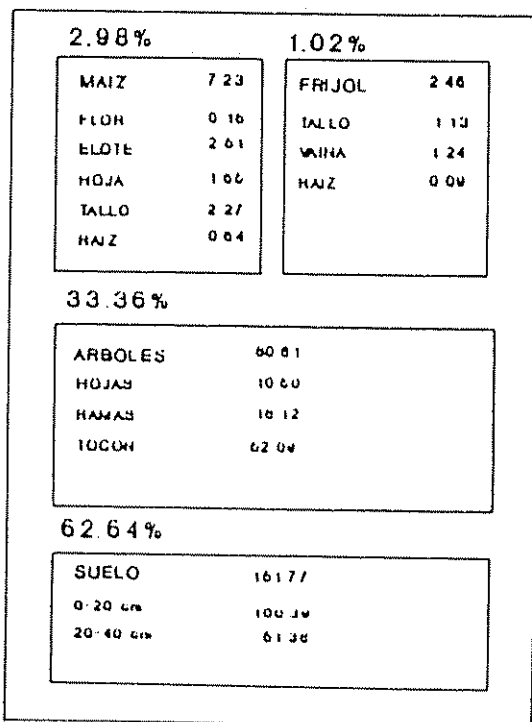
GCC -N



PCC -N



GCC +N



PCC +N

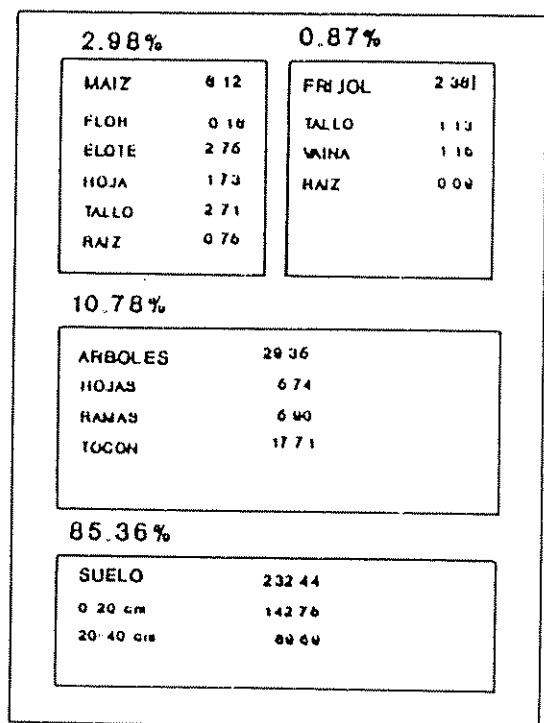


Figura 25. Reserva y transferencia de materia orgánica en el experimento de la Montaña.

ligados a especies bioquímicas como la lignina, que son de lenta descomposición (Zeikus, 1981).

Obsérvese que las reservas de materia orgánica en el suelo en el ensayo de La Montaña son más bajas que en el Experimento 170, a pesar de estar considerando en el último una capa de suelo de 30 cm de profundidad.

Como se detectó en el Experimento 170, más del 0,9 de las reservas de N en el sistema se encuentran en el suelo (Figura 26). Como las reservas en el suelo no están variando a una tasa alta (Cuadro 30), entonces el sistema debe ser muy estable en este sentido. Es interesante señalar que G. sepium duplicó sus reservas de N en el tocón cuando se aplicó nitrógeno, mientras que la recirculación del nutrimento en hojas y ramas no alcanzó un 0,1 del total. En realidad lo que está sucediendo es que la madera en pie está funcionando como un verdadero reservorio de este nutrimento en el sistema. Sería muy interesante saber qué pasaría con ese nitrógeno, si se suspende la fertilización.

En E. poeppigiana se observa que la aplicación de N, sí está aumentando las reservas en el suelo, pero está disminuyendo tanto la recirculación como la reserva en el árbol, lo que parece señalar que su respuesta está directamente vinculada con el mecanismo de absorción de N por el árbol. Una hipótesis puede ser que la aplicación de

## GCC -N

0.86%		0.46%	
MAIZ	91.01	FRIJOL	46.32
FLOR	2.26	TALLO	21.66
ELOTE	33.22	VAINA	26.83
HOJA	34.63	RAIZ	0.64
TALLO	16.60		
RAIZ			
5.44%			
ARBOLES	673.24		
HOJAS	230.76		
RAMAS	122.32		
TOCON	220.16		
93.24%			
SUELO	9830.66		
0-20 cm	6723.33		
20-40 cm	4107.33		

## PCC -N

0.83%		0.49%	
MAIZ	84.73	FRIJOL	60.30
FLOR	2.40	TALLO	22.91
ELOTE	32.04	VAINA	26.64
HOJA	29.32	RAIZ	0.66
TALLO	16.66		
RAIZ	4.42		
4.14%			
ARBOLES	424.68		
HOJAS	210.36		
RAMAS	64.60		
TOCON	160.02		
94.54%			
SUELO	9696.00		
0-20 cm	6666.00		
20-40 cm	4040.00		

## GCC +N

0.94%		0.58%	
MAIZ	94.77	FRIJOL	68.81
FLOR	2.19	TALLO	26.79
ELOTE	33.47	VAINA	32.13
HOJA	36.68	RAIZ	0.69
TALLO	18.23		
RAIZ	6.20		
7.74%			
ARBOLES	781.36		
HOJAS	246.62		
RAMAS	130.80		
TOCON	404.03		
90.73%			
SUELO	9167.33		
0-20 cm	6621.33		
20-40 cm	3636.00		

## PCC +N

0.95%		0.51%	
MAIZ	104.84	FRIJOL	66.69
FLOR	2.63	TALLO	26.26
ELOTE	37.27	VAINA	29.46
HOJA	36.70	RAIZ	0.98
TALLO	21.87		
RAIZ	6.37		
2.50%			
ARBOLES	276.21		
HOJAS	129.88		
RAMAS	38.02		
TOCON	107.31		
96.03%			
SUELO	10671.34		
0-20 cm	6992.67		
20-40 cm	4678.67		

Figura 26. Reserva y transferencia de nitrógeno en el experimento de la Montaña.

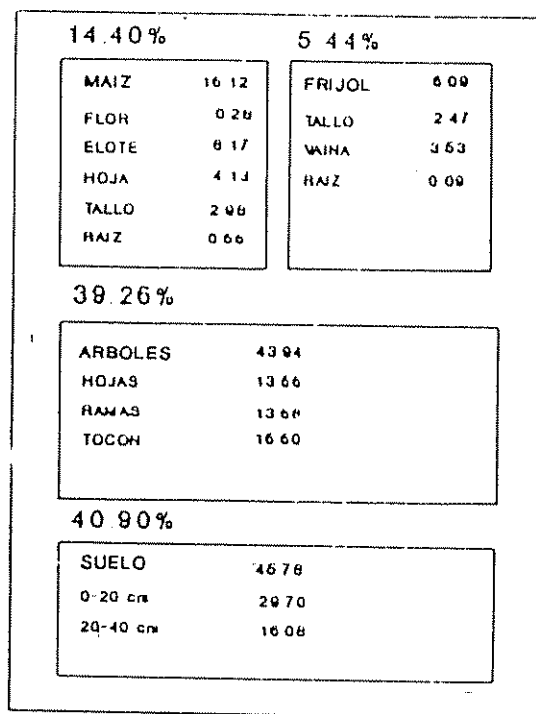
N, está disminuyendo la fijación simbiótica, de la cual depende básicamente la nutrición de N de E. poeppigiana, mientras que G. sepium parece depender en menor grado de ese mecanismo. Es también posible que la aplicación de N a los cultivos aumente su capacidad para competir con los árboles. Sería necesario en todo caso corroborar cualquier explicación con ensayos específicos.

La aplicación de nitrógeno, aumentó las reservas de fósforo en las maderas en pie tanto en G. sepium como en E. poppigiana (Figura 27). Sin embargo presenta el mismo rasgo observado en el Experimento 170, de recircular mucho más de lo que reserva en pie.

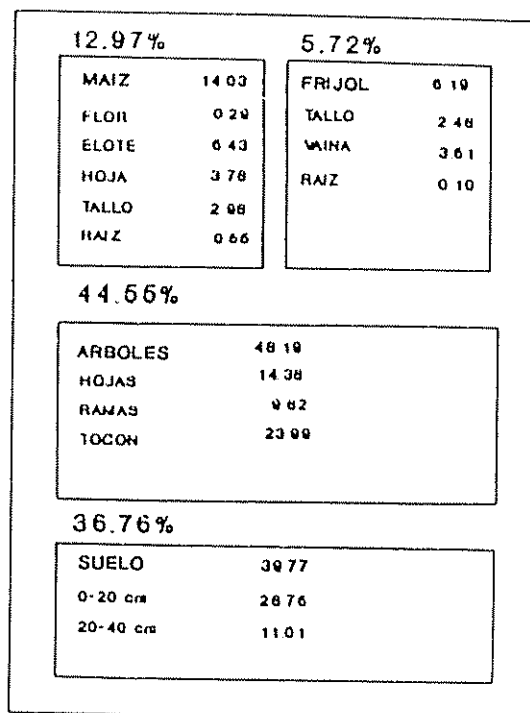
En el caso de G. sepium, se observa que la extracción de P por el maíz disminuye cuando se aplica N, lo que sugiere que el P es un factor limitante para lograr mejores rendimientos en este tratamiento. Es un caso muy claro de competencia entre el árbol y la planta, para conseguir fósforo. La situación inversa se presenta en E. poppigiana, ya que la extracción de fósforo aumenta con la aplicación de N.

A pesar de que el frijol presenta generalmente niveles críticos altos de P y mayor susceptibilidad a la deficiencia de P en el suelo (CIAT, 1977), en ninguno de los

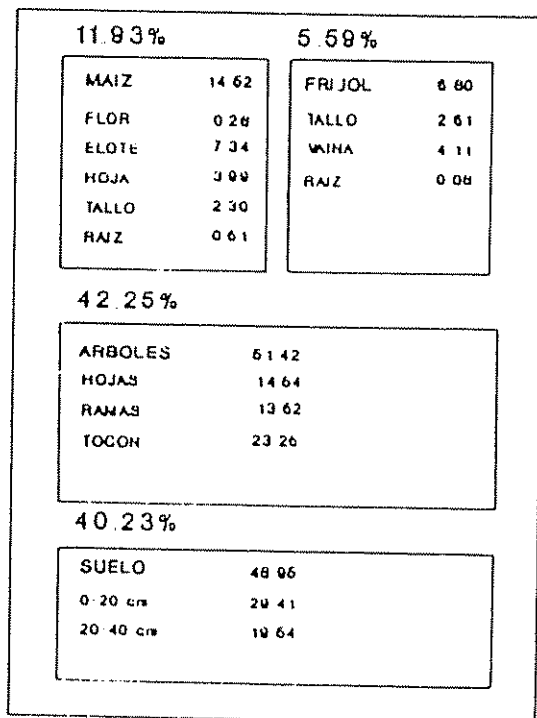
## GCC -N



## PCC -N



## GCC +N



## PCC +N

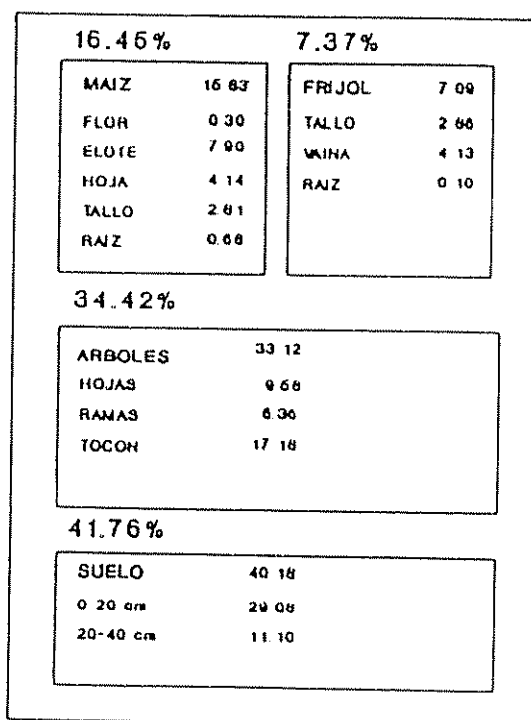


Figura 27. Reserva y transferencia de fósforo en el experimento de la Montaña.

tratamientos de cultivo en callejones parece ser deficitario.

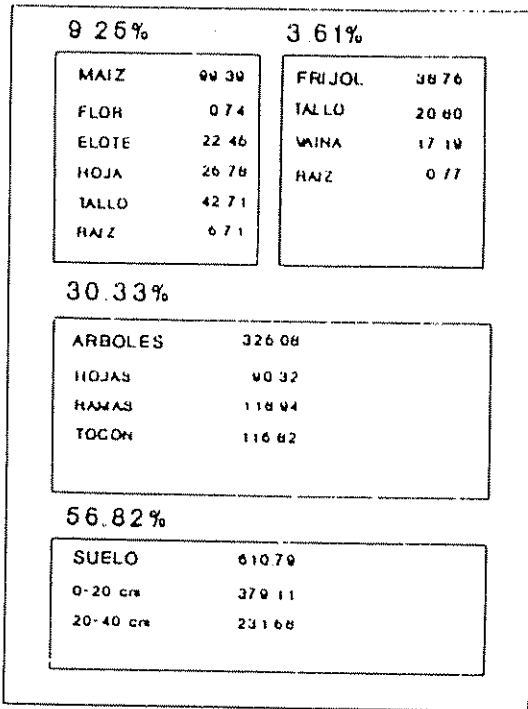
Menos del 0,6 de las reservas de potasio del sistema se encuentran en el suelo y más del 0,25 en el árbol (Figura 28). Esto pone en evidencia la importancia del árbol en la recirculación y las reservas de K en el cultivo en callejones.

Tanto las reservas netas como la recirculación de K de E. poppigiana son mayores que las de G. sepium. La aplicación de nitrógeno favorece la extracción del K para el árbol en el caso del madero negro, pero con el poró la disminuye drásticamente.

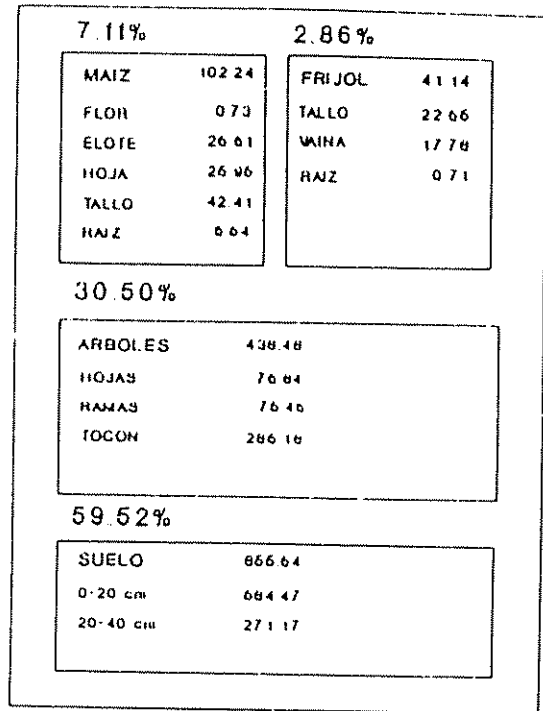
La aplicación de N a los cultivos tuvo un efecto semejante en el contenido de Ca en las dos especies que el K. Sin embargo en el caso del Ca, los árboles representaron una reserva mucho menos importante ya que más del 0,9 del total del Ca en el sistema se encontraba en el suelo.

Las reservas de magnesio en las maderas alcanza niveles muy importantes en el cultivo en callejones (Figura 30). Lo mismo sucedió cuando se aplicó N a los cultivos en el caso de E. poeppigiana donde más del 0,15 del Mg en el sistema se encontró en los tocones de los arboles. Con la aplicación de N al sistema con G. sepium esta proporción subió al 0,34.

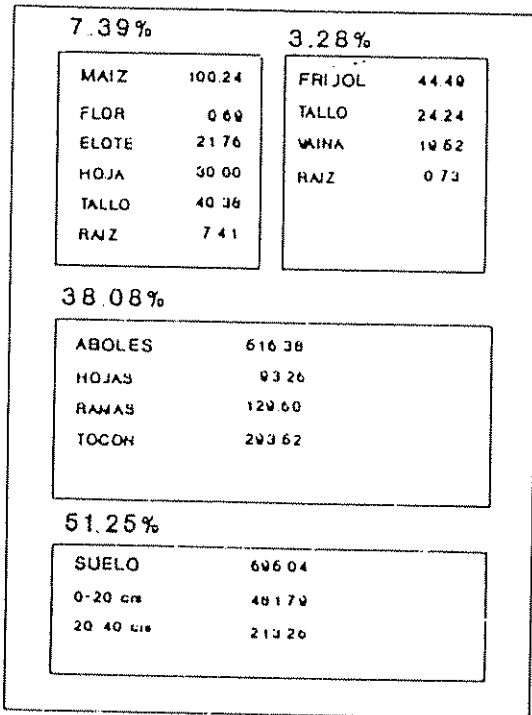
GCC -N



PCC -N



GCC +I



PCC +N

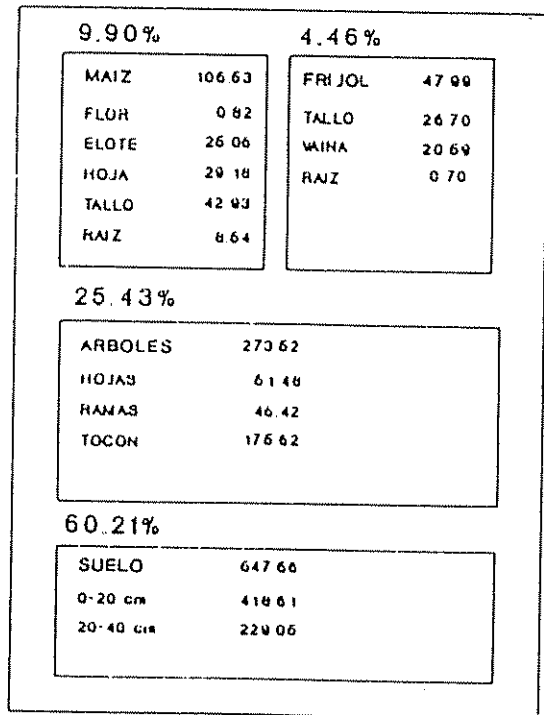


Figura 28. Reserva y transferencia de potasio en el experimento de la Montaña.

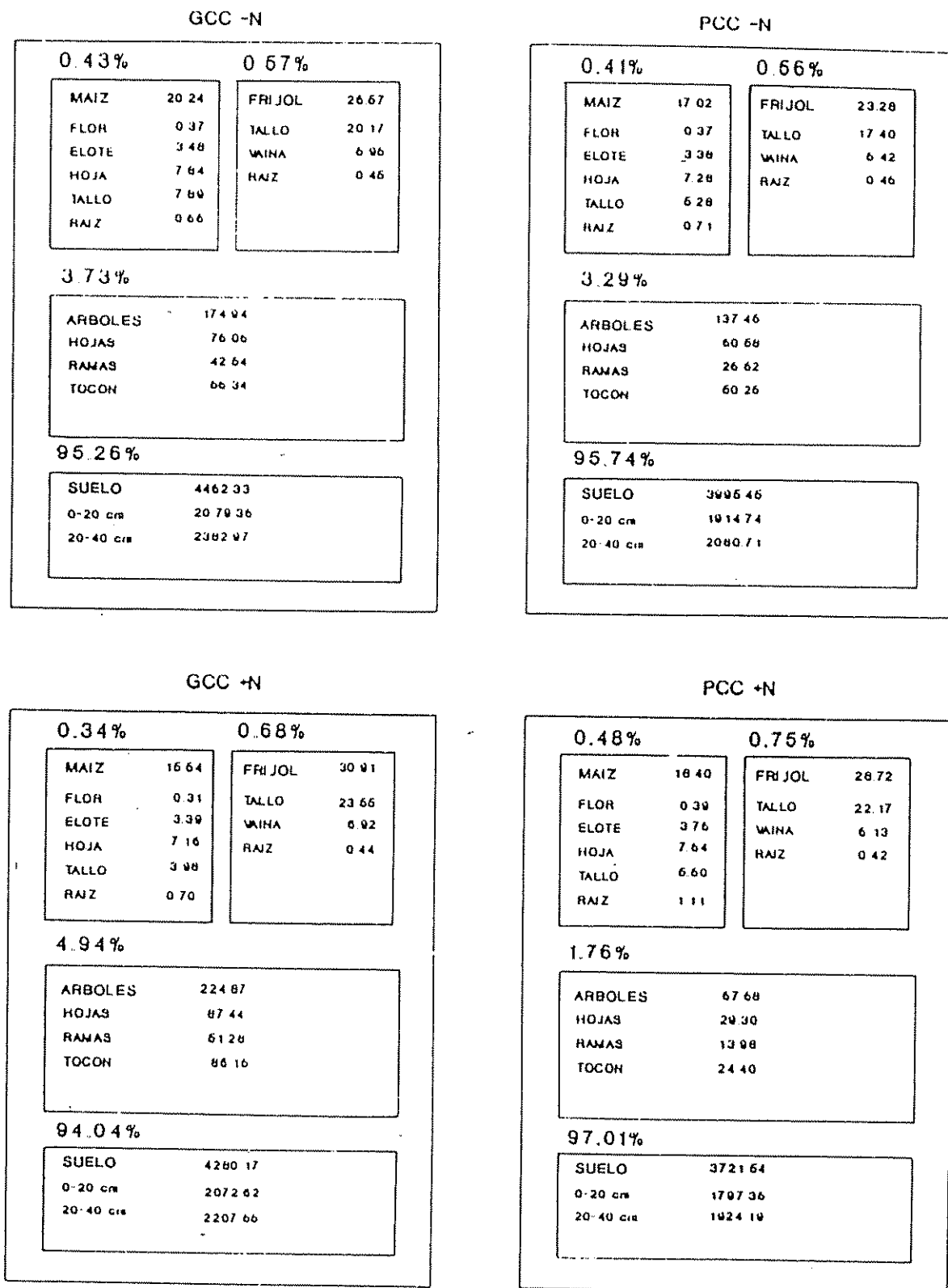
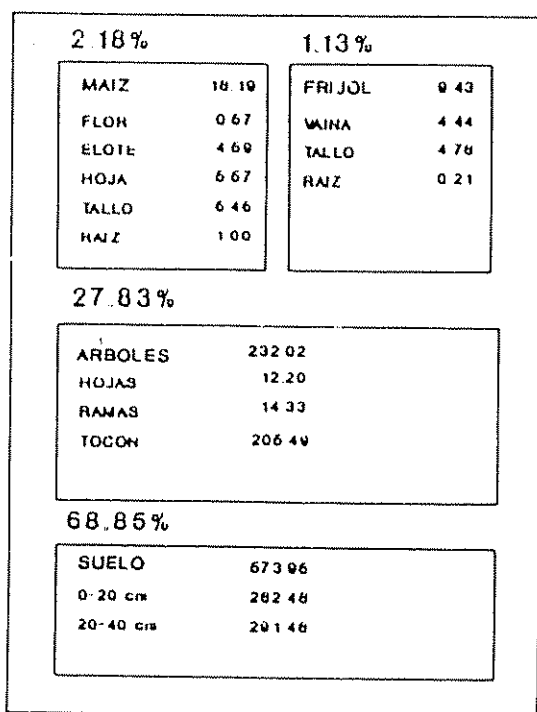


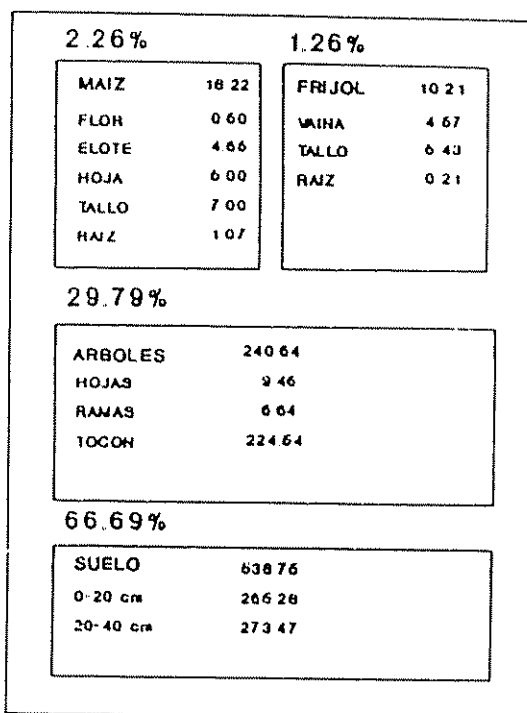
Figura 29. Reserva y transferencia de calcio en el experimento de la Montaña.



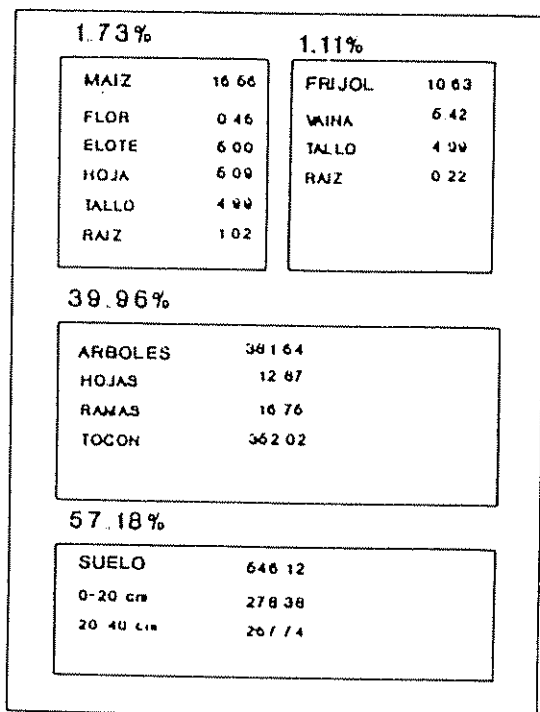
## GCC -N



## PCC -N



## GCC +N



## PCC +N

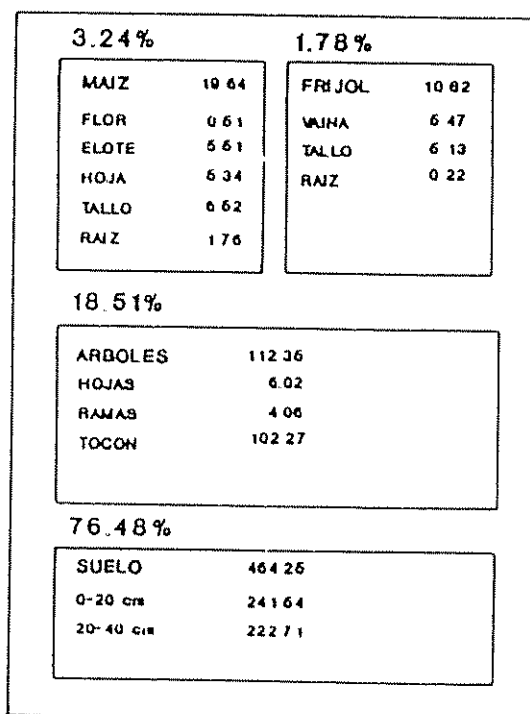


Figura 3). Reserva y transferencia de magnesio en el experimento de la Montaña.

Debe recalcar que, no obstante esa baja recirculación, en el suelo se está observando un leve incremento del magnesio. Como no hay otra fuente importante (la lluvia sólo ingresa 3,5 Kg/ha/año) y el balance de los cultivos es positivo, es decir recirculan más de lo que extraen, entonces se le debe atribuir al componente arbóreo. Sin embargo, debe señalarse que los niveles de magnesio de este suelo son altos.

## 5. CONCLUSIONES

1. En un sistema de cultivo en callejones la introducción de un mayor número de árboles contribuye a generar mayor estabilidad en los rendimientos de frijol. Sin embargo, otros factores diferentes al nivel de nutrimentos en el suelo, hace que este mayor grado de estabilidad se encuentre asociado a bajos rendimientos.
2. En el tiempo, es posible encontrar un menor deterioro de los rendimientos de maíz, bajo cultivo en callejones que en cultivo puro. Además, bajo condiciones climáticas promedio, es posible obtener una evolución positiva de los rendimientos de maíz en cultivo en callejones.
3. Un distanciamiento óptimo de E. poeppigiana, bajo las condiciones de Turrialba es 6X2, pues muestra estabilidad, niveles medios y evolución favorable de los rendimientos del árbol y del maíz, a través del tiempo.
4. A pesar de la recirculación de nutrimentos por el componente arbóreo, las variables del suelo cambian muy poco en el transcurso de tiempo estudiado y en los horizontes muestreados.

5. Las reservas de fósforo en el componente arbóreo en el cultivo en callejones es de especial importancia, ya que llega a representar un 45% con E. poeppigiana y un 42% con G. sepium.
6. Gliricidia sepium es una especie leguminosa que responde en cultivo en callejones a la aplicación de nitrógeno y que compete exitosamente con los cultivos, especialmente maíz por los nutrimentos del suelo.
7. Erythrina poeppigiana en cultivo en callejones no solamente no responde a la aplicación de fertilizante nitrogenado, si no que tiene un efecto detrimental sobre sus rendimientos y reservas.
8. A pesar de la tasa de recirculación de nutrimentos en el sistema, en condiciones de alto rendimiento como las que suceden en cultivo en callejones con G. sepium y fertilización nitrogenada, otros nutrimentos como fósforo y potasio se convierten en limitantes de la producción.
9. Los rastrojos de G. sepium, a pesar de obtener rendimientos de cultivos altos, tienen baja estabilidad.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Acero, L.E. 1985. Arboles de la zona cafetera Colombiana. Ediciones Fondo Cultural Cafetero, Bogotá. 312 p.
- Aken'Ova, M.E.; Atta-Krah, A.N. 1986. Control of spear grass (Imperata cylindrica (L.) Beauv.) in an alley cropping fallow. Nitrogen Fixing Tree Research Reports. 4: 27-28.
- Alavez, S. 1987. Efecto del poró Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook plantado a cuatro espaciamentos, sobre la producción de maíz Zea mays L. en sistemas de cultivo en franjas. Tesis de M. Sc. CATIE - UCR. 87 p.
- Alpizar, L.; Fassbender, H.W.; Heuvelop, J.; Enríquez, G.; Folster, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (Coffea arabica) con laurel (Cordia alliodora) y con poró (Erythrina poeppigiana) en Turrialba, Costa Rica. I. Biomasa y reservas nutritivas. Turrialba 35 (2): 233-242.
- Atta-Krah, A.N.; Kolawole, G.D. 1987. Establishment and growth of Leucaena and Gliricidia alley cropped with pepper and sorghum. Leucaena Research Reports. 8: 46-47.
- Benítez, R.F.; Montesinos, J.L. 1988. Catálogo de cien especies forestales de Honduras. Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Siguatepeque. 216 p.
- Beyer, W. H., editor. 1976. Handbook of table for probability and statistics. The Chemical Rubber, Co., Cleveland. p 505-518.
- Bruce, D.; Schumacher, F. X. 1950. Forest mensuration. New York, McGraw-Hill. 483 p.
- Budelman, A. 1988. The decomposition of the leaf mulches of Leucaena leucocephala, Gliricidia sepium and Flemingia macrophylla under humid tropical conditions. Agroforestry Systems 7: 33-45.
- Campos, W.; Kass, D.; Jiménez, M. 1987. Opciones para la fertilización fosfórica del frijol común en suelos de América Central. XXXIII Reunión Anual del PCCMCA, Guatemala. 13 p.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1984. Normas para la investigación silvicultural de especies para leña. CATIE, Turrialba. 115 p.

- Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1977. Programa de Frijol 1977. CIAT, Cali. Paginación variada.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1988. Informe Anual 1987. Programa de Frijol. CIAT, Cali. 381 p.
- Conway, G.R. 1987. The properties of Agroecosystems. *Agricultural Systems*. 24(2): 95-117.
- Díaz-Romeu, R. 1977. Determinación de nitrógeno total en suelos por el método semi-micro-Kjeldahl. CATIE, Turrialba. 2 p. mimeografiado.
- Díaz-Romeu, R.; Hunter, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. CATIE, Turrialba, 68 p.
- Dover, M.J.; Talbot, L.M. 1987. To feed the earth: Agro-Ecology for sustainable development. World Resources Institute, Washington. 88 p.
- Duguma, B.; Kang, B.T.; Okali, D.U.U. 1988. Effect of pruning intensities of three woody leguminous species grown in alley cropping with maize and cowpea on an alfisol. *Agroforestry Systems* 6: 19-35.
- Eberhart, S.A.; Russell, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 6(1): 36-39.
- Escobar, G.; Muñoz, J. E.; De La Cruz, G. 1976. Intento metodológico para la cuantificación de la estabilidad en genotipos de maíz (*Zea mays*, L.) y del efecto de la precipitación durante el período de floración. *Acta Agronómica*.
- Fassbender, H.W. 1987. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba. 475 p.
- Ferreira, P. 1989. Estabilidad y degradabilidad de sistemas. Una visión cuantitativa. Actas 3a. reunión de la red de metodologías de investigación en sistemas de finca. CIID, Bogotá. En prensa.
- Finlay, K.W.; Wilkinson, G.N. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*. 14: 742-754.
- Gill, A.S.; Patil, B.D. 1985. Intercropping studies with Leucaena under intensive fodder production programme. *Leucaena Research Reports* 6: 36-37.

- Guerrero, R. 1984. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. En Fertilidad de Suelos. Diagnóstico y Control. Silva, F., editor. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá. p. 141-200.
- Gutteridge, R.C. 1985. Alley cropping leucaena with Kenaf (Hibiscus cannabifolius). Leucaena Research Reports 6:1-2.
- Hanway, J.J. 1971. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Services. Ames, Iowa. 18 p.
- Holling, C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics.
- Hussain, A.; Hussain, A.; Chughtai, F.A.; Butt, M.B. 1987. Effect of Leucaena and Sesbania leaf manuring on crop growth and physico-chemical properties of soil. Nitrogen Fixing Tree Research Reports 5:6-7.
- International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 1987. Annual Report 1986. Resource Management. ICRISAT, Patancheru. p 305-310.
- International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 1988. Annual Report 1987. Resource Management. ICRISAT, Patancheru. p 309-312
- Imbach, A.C.; Fassbender, H.W.; Borel, R.; Beer, J.; Bonnemann, A. 1989. Modelling agroforestry systems of cacao (Theobroma cacao) with laurel (Cordia alliodora) and cacao with poro (Erythrina poeppigiana) in Costa Rica. IV. Water balances, nutrient inputs and leaching. Agroforestry Systems. In press.
- International Institute of Tropical Agriculture. 1980. Annual Report. Alley cropping. IITA, Ibadan. p. 27-33.
- International Institute of Tropical Agriculture. 1981. Annual Report. Alley cropping. IITA, Ibadan. p. 27-33.
- International Institute of Tropical Agriculture. 1982. Annual Report. Agroforestry. IITA, Ibadan. p. 153-154.
- International Institute of Tropical Agriculture. 1983. Annual Report. Alley cropping. IITA, Ibadan. p. 176-184.
- International Institute of Tropical Agriculture. 1987. Annual Report and Research Highlights 1986. Resource and Crop Management. IITA, Ibadán. p 23-37.

- Johnson, C.M.; Ulrich, A. 1967. Analytical methods for use in plant analysis. California Experimental Station Bulletin no. 4. 22 p.
- Jordan, C.F. 1985. Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems. Principles and their application in management and conservation. John Wiley & Sons. New York, 190 p.
- Kang, B.T., Mulongoy, K. 1987. Gliricidia sepium as a source of green manure in an alley cropping system. En: Gliricidia sepium (Jacq) Walp: Management and Improvement. Proceedings of a work-shop sponsored by the Nitrogen Fixation Tree Association and Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Withington, D.; Glover, N.; Brewbaker, J.L., editores. Nitrogen Fixing Tree Association Special publication. 87-01. p. 44-49.
- Kang, A.T.; Wilson, G.F.; Sipkens, L. 1981. Alley cropping maize (Zea mays L.) and Leucaena (Leucaena leucocephala (Lam)) in Southern Nigeria. Plant and Soil 63 (2): 165-179. ✓
- Kass, D.C.L. 1986. Alley cropping of annual food crops with woody legumes in Costa Rica. En Advances in Agroforestry Research. Beer, J.W.; Fassbender, H.W.; Heuvelodp, J., editores. CATIE-GTZ, Turrialba. p. 197-208. ✓
- Kass, D.L.; Barrantes, A.; Bermúdez, W.; Campos, W.; Jiménez, M.; Sánchez, J. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivos en callejones (Alley Cropping) en La Montaña, Turrialba. El Chasqui. 9(19): En prensa.
- Kass, C. L.; Díaz-Romeu, R. 1986. Effect of prunnings of woody legumes on nutrient losses in sustained crop production on a Typic Humitropept (Humic Cambisol). XIII Congress of the International Soil Science Society. Hamburgo, Alemania. Vol 3: 801-802.
- Kass, D.L., Jiménez, M. 1986. Effect of applying prunnings of Gliricidia sepium to maize and beans on an Oxic Dystropept in San Carlos, Costa Rica. Nitrogen Fixing Tree Research Reports 4: 11-12.
- Kass, D.L.; Jiménez, M.; Camacho, Y. 1987. Second year results of alley cropping with Gliricidia sepium (Jacq.) Steud on an Oxic Dystropept in San Carlos, Costa Rica. Nitrogen Fixing Tree Research Reports 5: 42-43.



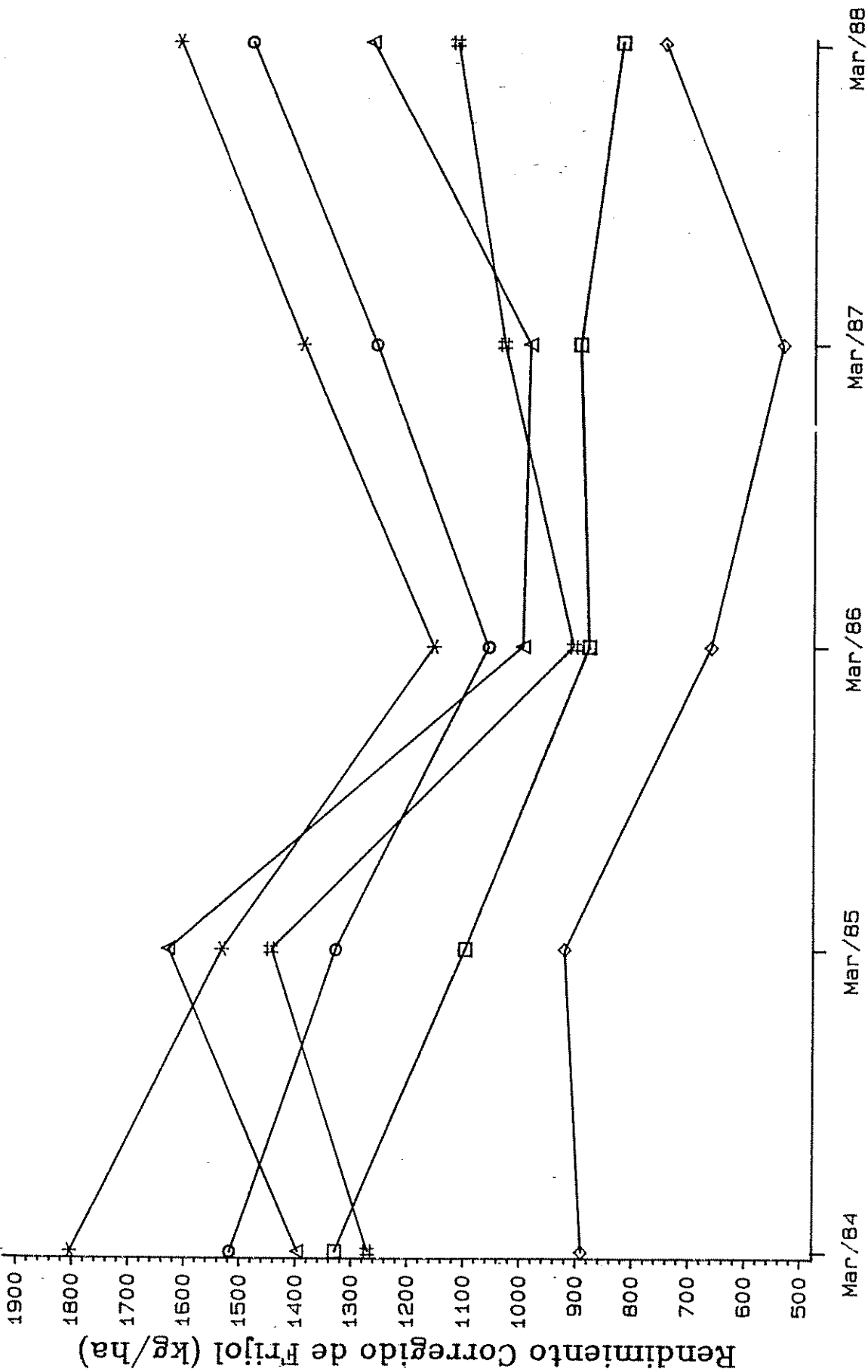
- Kass, D.L.; Araya, J.F. 1987. Alley cropping with Gliricidia sepium (Jacq.) Walp. on farmer's fields in Costa Rica. En: Gliricidia sepium (Jacq) Walp: Management and Improvement. Proceedings of a work-shop sponsored by the Nitrogen Fixation Tree Association and Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Withington, D.; Glover, N.; Brewbaker, J.L., editores. Nitrogen Fixation Tree Association Special publication 87-01. p 50-58
- Kidd, T.J.; Taogaga, T. 1985. Nitrogen fixing trees as a green manure for upland taro in Western Samoa. Nitrogen Fixing Tree Research Reports 3: 67-68.
- Lindblad, P.; Russo, R.O. 1986. C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> reduction by Erythrina poeppigiana in a Costa Rican coffee plantation. Agroforestry Systems 4 (1): 33-38.
- Little, E.L.; Wadsworth, F.H.; Marrero, J. 1964. Arboles comunes de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Universidad de Puerto Rico, Río Piedras. 827 p.
- Little, T.M.; Hills, F.J. 1984. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Editorial Trillas, México. 270.
- Loomis, R.S. 1984. Traditional agriculture in America. Annual Review of Ecology and Systematics 15: 449-478.
- Macklin, B.; Bashir, J.; Reshid, K.; Getahum, A. 1988. Results of alley cropping experiments with Leucaena leucocephala and Zea mays at the Kenya coast. Leucaena Research Reports 9: 61-64.
- Muller, L. 1961. Un aparato micro-Kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materia vegetales. Turrialba 11(1): 17-25.
- Mengel, K.; Kirby, E. 1982. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Berna. 655 p.
- Muñoz, J.E. 1986. Metodologías para determinar la estabilidad de genotipos en frijol y yuca. Boletín Técnico. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira. 1(2): 25-52.
- Myers, R.J.K. 1982. Nitrogen cycling. En Nitrogen Fixation in Legumes. Vincent, J.M., editor. Academic Press, North Ryde. p 239-252.
- Newman, E.I. 1988. Mycorrhizal links between plants: their functioning and ecological significance. Advances in Ecological Research. 18: 243-270.

- Obando, L. 1987. Potencial alelopático de G. sepium (Jacq.) Walp. sobre los cultivos de maíz y frijol y las malezas predominantes. En: Gliricidia sepium (Jacq.) Walp: Management and Improvement. Proceedings of a work-shop sponsored by the Nitrogen Fixation Tree Association and Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Withington, D.; Glover, N.; Brewbaker, J.L., editores. Nitrogen Fixation Tree Association Special publication. p 59-60.
- Quinlan, M.M. 1984. Mulches from two tropical tree species Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook and Gmelina arborea Rox as nitrogen sources in the production of maize (Zea mays L.). Tesis de M. Sc. Universidad de Costa Rica/CATIE, Turrialba. 74 p.
- Rachie, K.O. 1983. Intercropping legumes with annual crops. En Plant Research and Agroforestry. Proceedings of a consultative meeting held in Nairobi, 8 to 15 April 1981. Huxley, P.A., editor. International Council for Research in Agroforestry, Nairobi. 103-114.
- Rant, M.S.; Gill, A.S. 1987. I. Intercropping studies in green panic with forage shrubs. II. Forage production in a Leucaena-grass intercrop. Leucaena Research Report 8: 34-35.
- Saiz del Rio, J.F.; Bornemisza, E. 1962. Análisis químico de suelos. Métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. IICA/CTEI, Turrialba 107 p.
- Sánchez, P.A. 1981. Suelos del Trópico. Características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San Jose. 634 p.
- Sánchez, P.A.; Salinas, J.G. 1983. Suelos Acidos. Estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá. 93 p.
- Sánchez, P.A.; Uehara, G. 1980. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: The Role of Phosphorus in Agriculture. Khasawneh, F.E.; Sample, E.C.; Kamprath, E.J., editors. American Society of Agronomy, Wisconsin. p 471-514.
- SAS. 1987. PC DOS SAS/STAT Release 6.03. Copyright 1987 by SAS Institute Inc, Cary, NC 27512-800, USA.
- Schultz, B.B. 1984. Ecological aspects of stability in polycultures versus sets of monocultures of annual crops. Ph.D. Thesis, University of Michigan. 215 p.

- Seibert, B.; Kuncoro, I. 1988. Intercropping trials with Leucaena leucocephala on former Imperata cylindrica (L) Beav. grassland. Leucaena Research Reports 9: 59-60.
- Ssekabembe, C. 1985. Perspectives in hedgerow intercropping. Agroforestry Systems 3: 339-356.
- Steel, R.; Torrie, J.H. 1985. Bioestadística: principios y procedimientos. McGraw-Hill, Bogotá. 618 p.
- Tripathi, S.B.; Hazra, C.R. 1986. Forage yields of oats and barley as influenced by nitrogen fertilization under agroforestry production system. Journal of the Indian Soil Science Society. 34: 774-779.
- Van Kessel, C.; Roskoski, P.; Wood, T.; Montano, J. 1983.  $^{15}\text{N}_2$  Fixation and  $\text{H}_2$  evolution by six species of tropical leguminous trees. Plant Physiology 72(3): 909-910.
- Vega, L.E.; van Eijk-Bos, C.; Moreno, L.A. 1987. Alley cropping with G. sepium (Jacq.) Walp (Mata Ratón) and its effect on the soil losses on hill slopes in Urabá, Colombia. En Gliricidia sepium (Jacq.) Walp.: Management and Improvement. Proceedings of a Workshop Sponsored by the Nitrogen Fixation Tree Association and Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Withington, D.; Glover, N.; Brewbaker, J.L., editores. Nitrogen Fixation Tree Association Special Publication 87-01. p. 68-69.
- Vioayakumar, K.R.; Mammen, G.; Pillai, G.; Vammadevan, V.K. 1986. Alley cropping of Leucaena in coconut gardens in western ghats of India: yields of dry matter and organic nitrogen. Leucaena Research Report 7: 72-74.
- Waring, R.H.; Schlesinger, W.H. 1985. Forest ecosystems concepts and management. Academic Press, Inc. London. 340 p.
- Witsberger, D.; Current, D.; Archer, E. 1982. Arboles del parque Deininger. Ministerio de Agricultura y Ganadería, San Salvador. 336 p.
- World Bank. 1986. World Development Report 1986. Oxford University Press, Washington. 256 p.
- World Resources Institute and International Institute for Environment and Development. 1986. World Resources 1986. An assesment of the resource base that supports the global economy. Basic Books, Inc., New York, 353 p.

- Yamoah, C.F.; Agboola, A.A.; Wilson, G.F. 1986. Nutrient contributions and maize performance in alley cropping systems. *Agroforestry Systems* 4 (3): 247-254.
- Yamoah, C.F.; Agboola, A.A.; Wilson, G.F.; Mulongoy, K. 1986. Soil properties as affected by the use of leguminous shrubs for alley cropping with maize. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 18 (2): 167-177.
- Zeikus, J.G. 1981. Lignin metabolism and the carbon cycle. *Advances in Microbiological Ecology*. 5:211-243.

## 7. ANEXOS



### Cosechas de Frijol

T □□□□ C ◇◇◇◇ -N ▲▲▲▲ GCC +N ■■■■ GCC -N \*-\*-\* PCC +N ○○○○ PCC -N

Figura 1A. Rendimiento corregido de frijol en el ensayo de la Montana

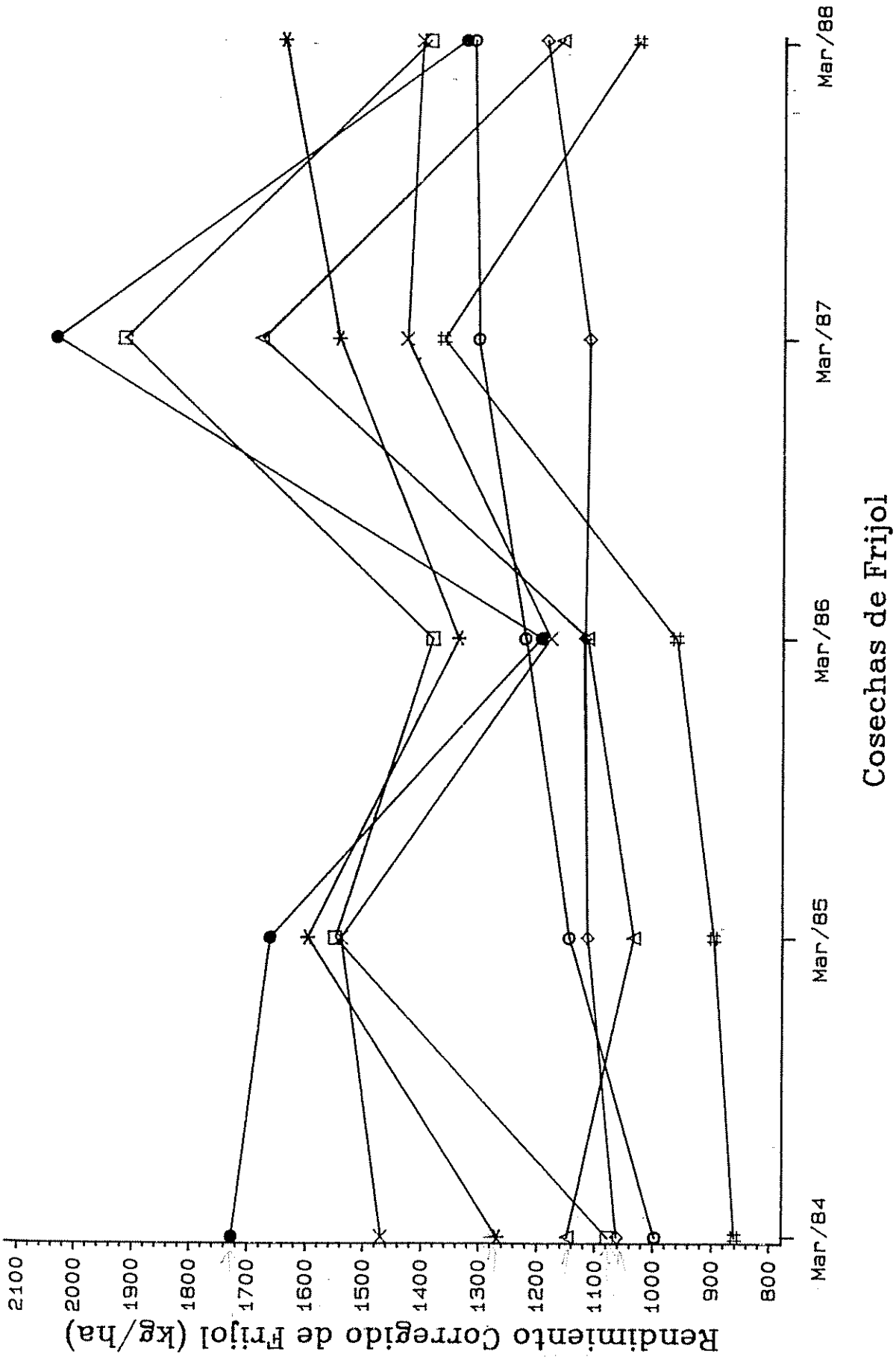


Figura 1B. Rendimiento corregido de frijol en el ensayo de la Montana

Cosechas de Maiz

Rendimiento Corregido de Maiz (kg/ha)

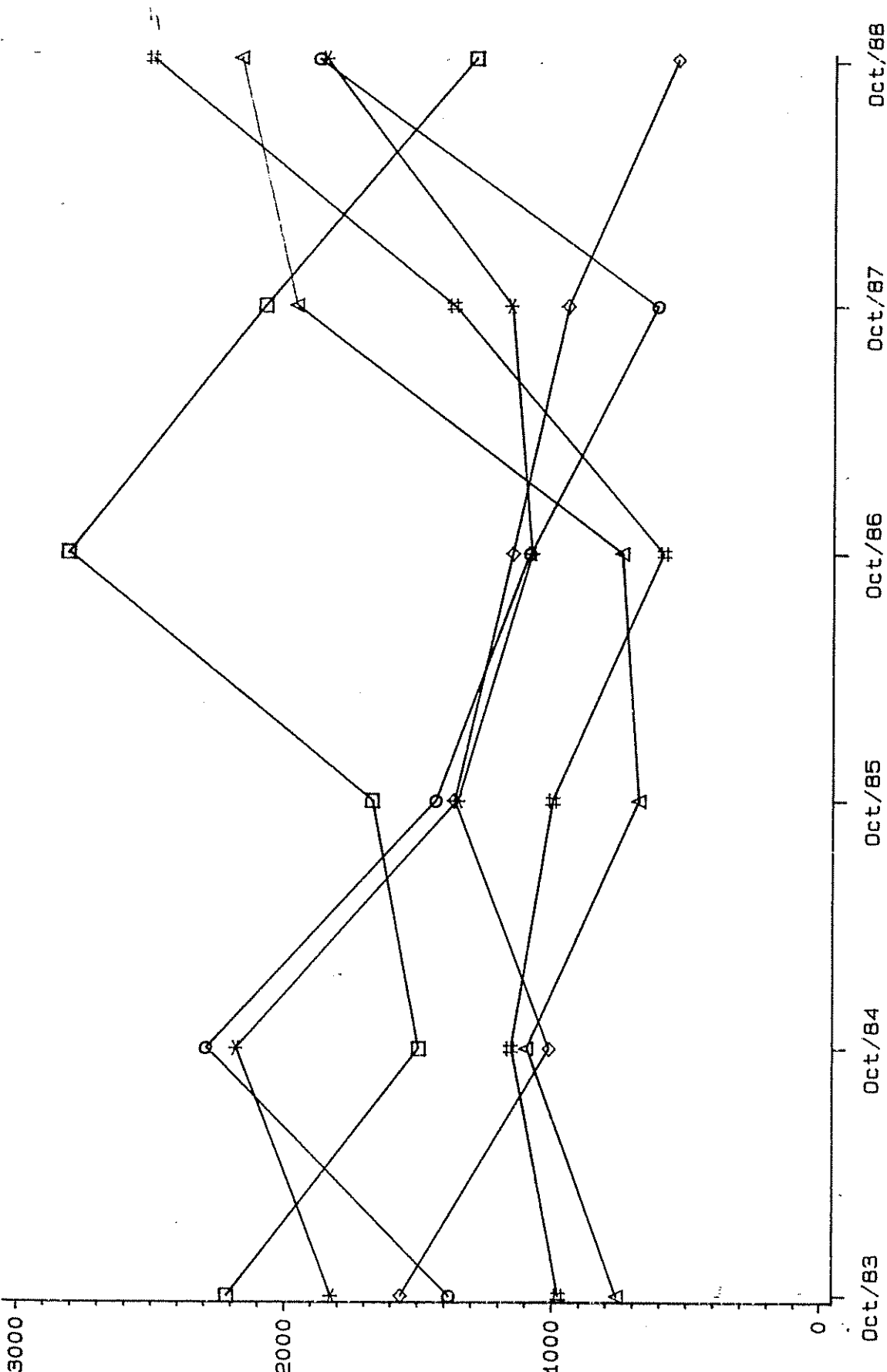


Figura 2A. Rendimiento corregido de maiz en el ensayo de la Montana

T □ □ □ □ C ◇ ◇ ◇ ◇ -N △ △ △ △ GCC ▲ ▲ ▲ ▲ PCC ☆ ☆ ☆ ☆ PCC +N × × × × PCC -N ◊ ◊ ◊ ◊



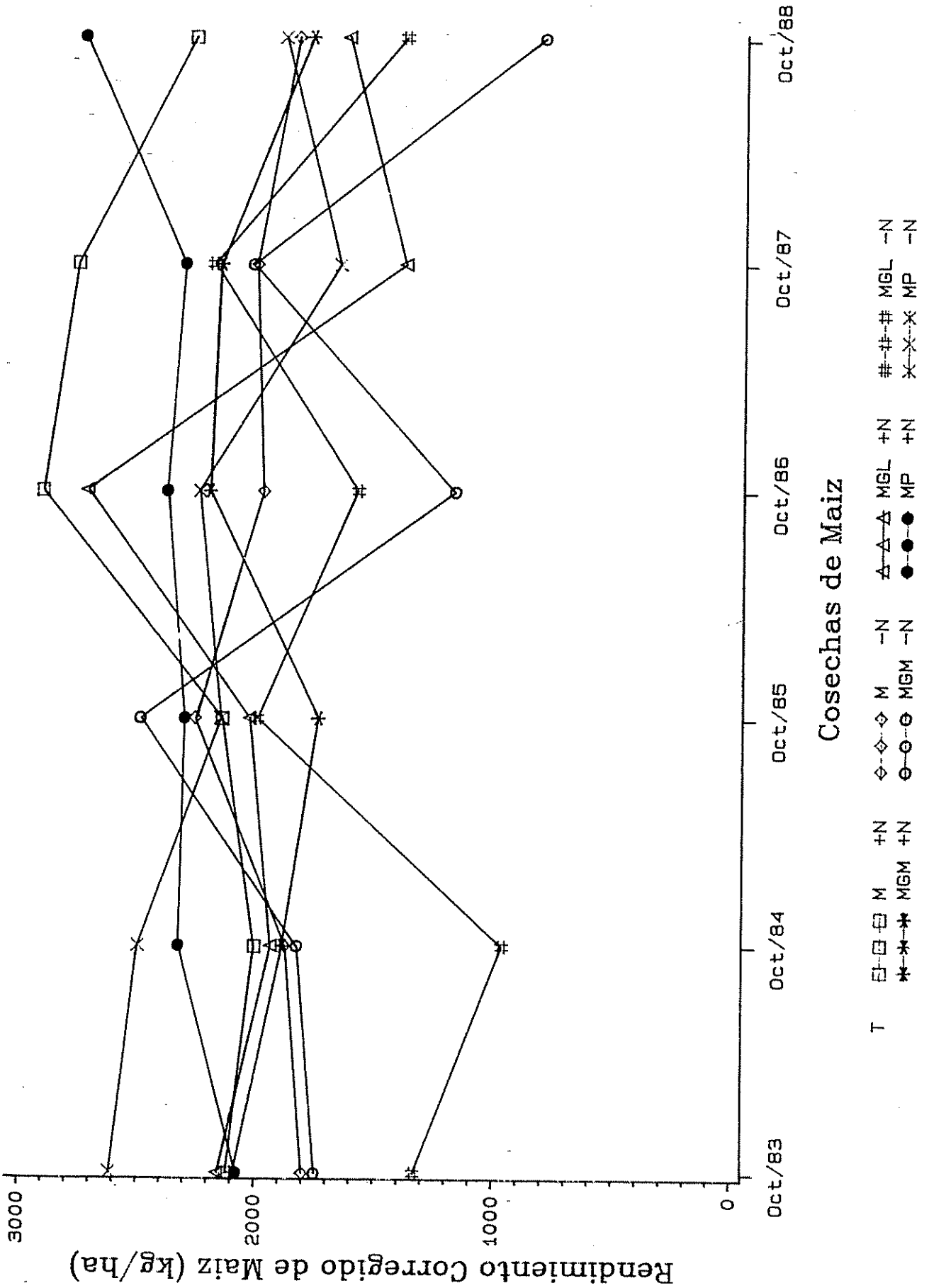


Figura 2B. Rendimiento corregido de maiz en el ensayo de la Montana

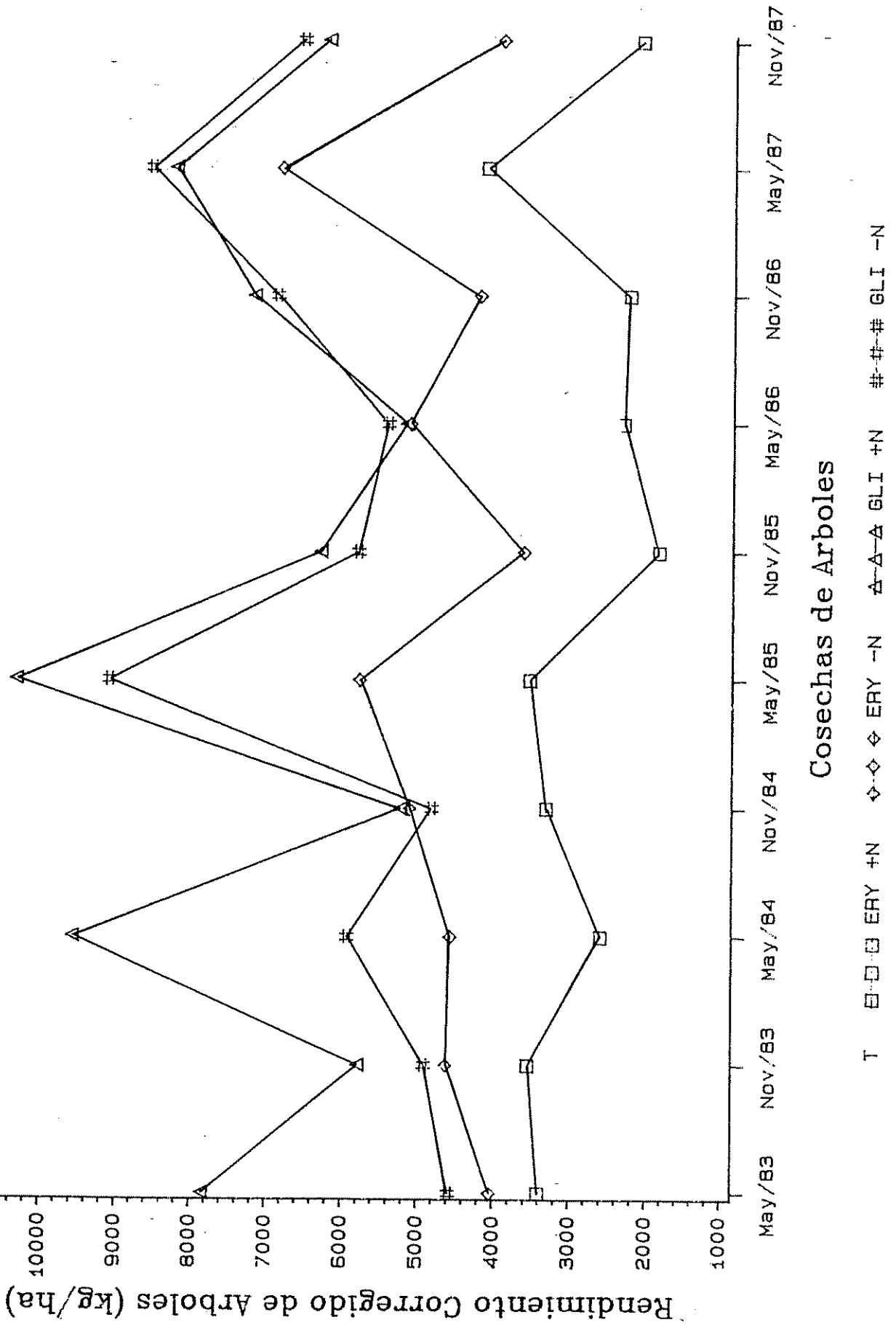


Figura 3. Rendimiento corregido de biomasa de arboles en el ensayo de la Montana

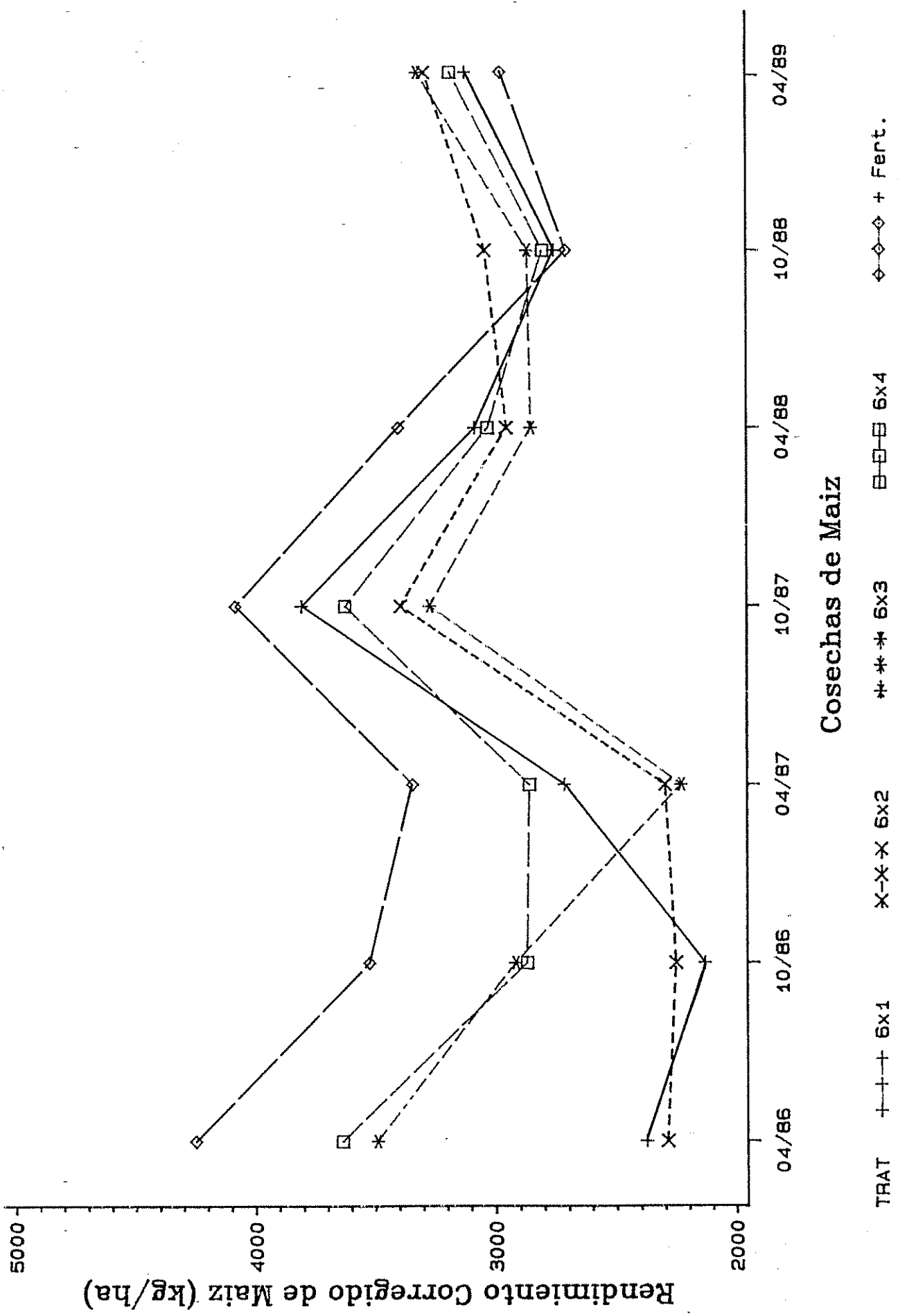


Figura 4. Rendimiento de maiz corregido en el experimento 170

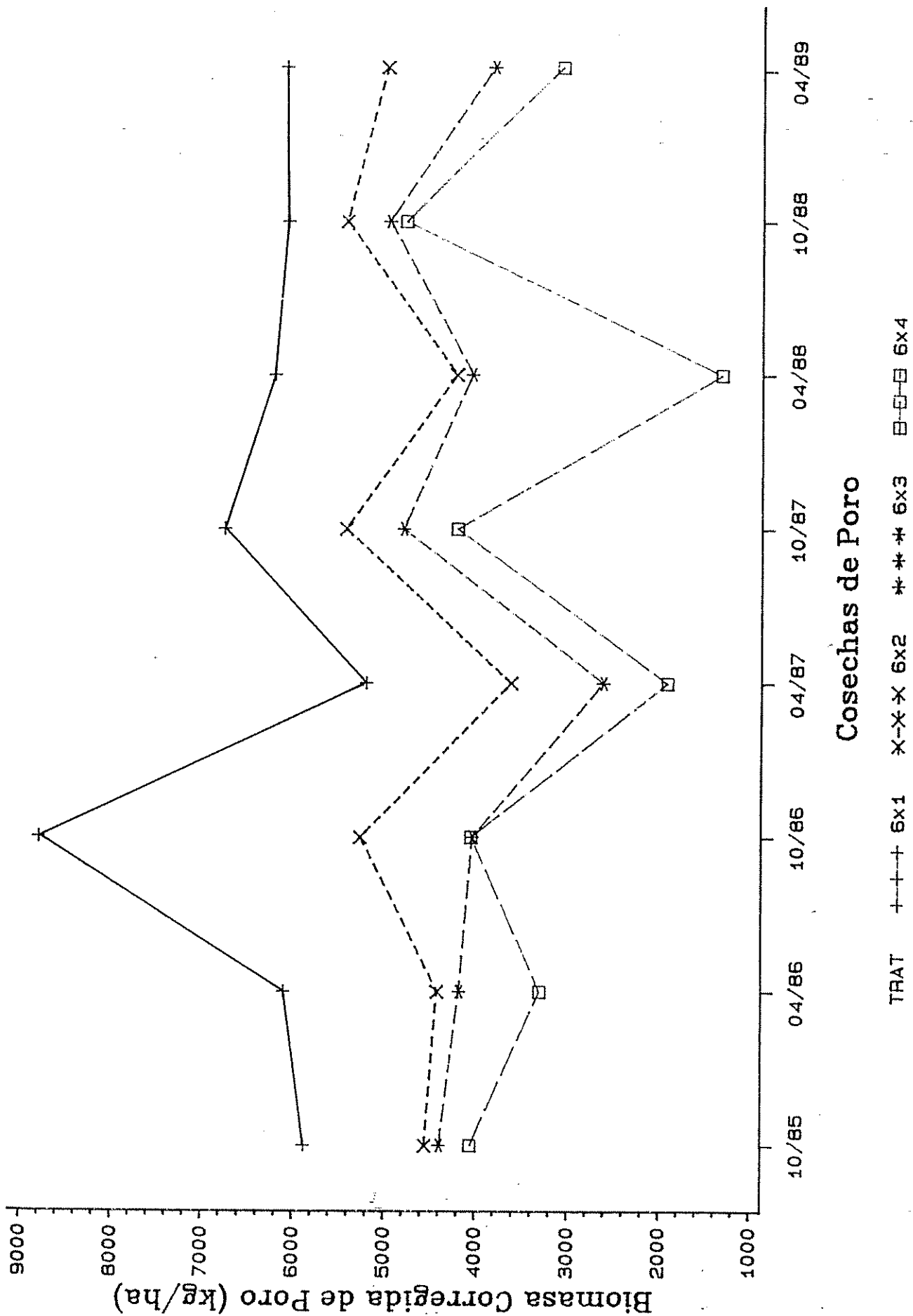
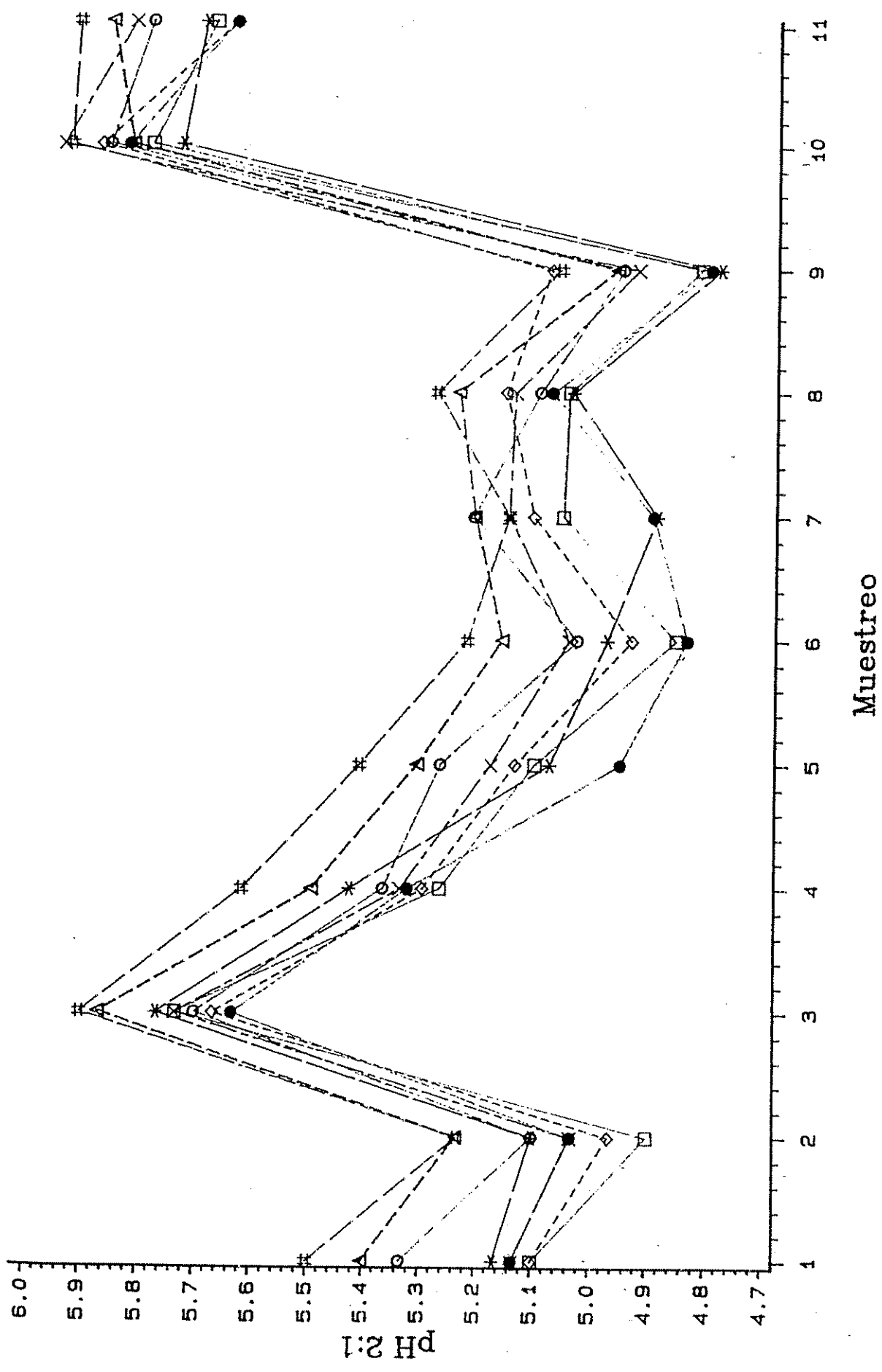
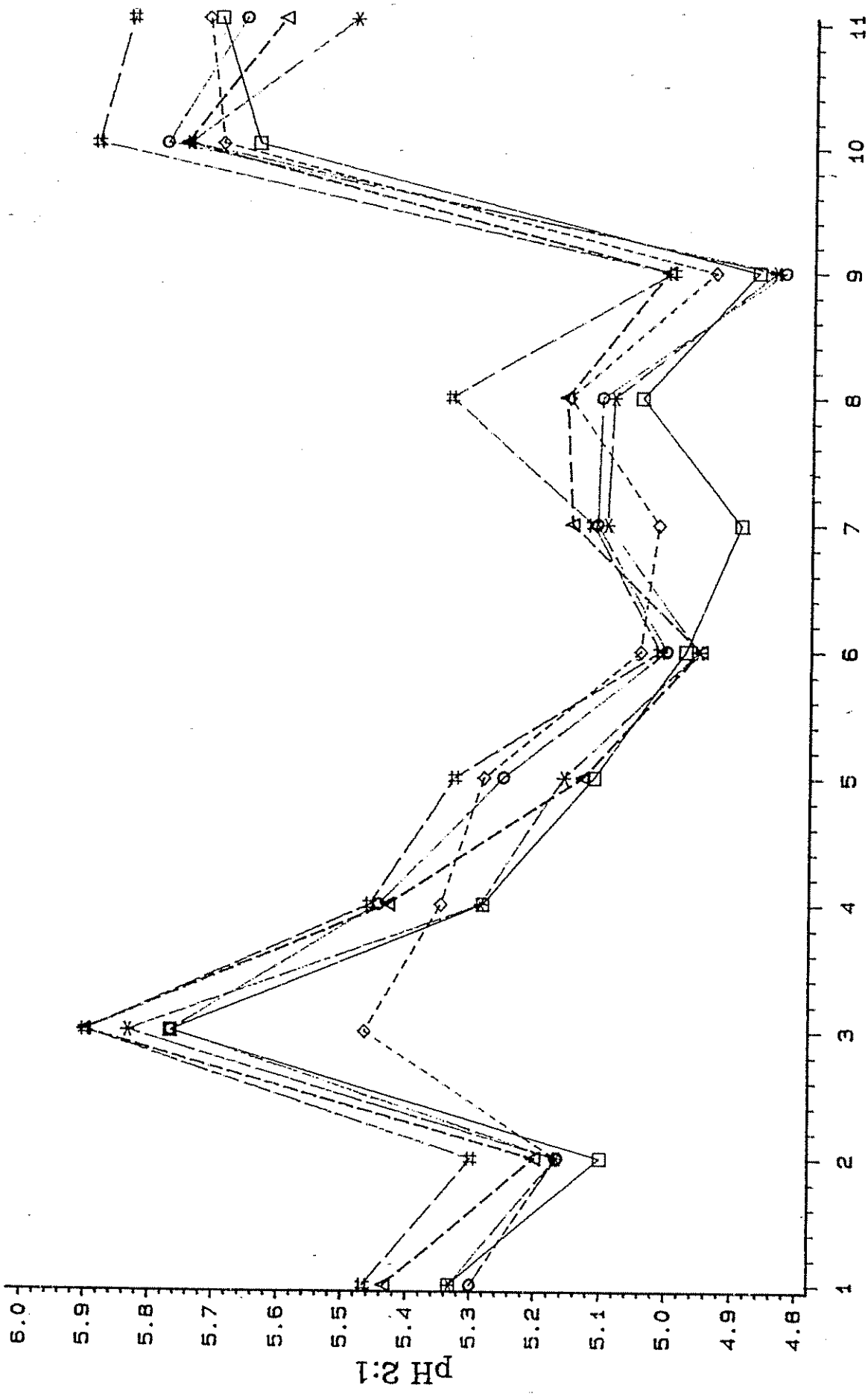


Figura 5. Biomasa corregida de poro en el experimento 170



TRAT    □-□-□ M +N    ◇-◇-◇ M -N    △-△-△ MP +N    #-#-# MP -N  
 \*-\*-\* MGL +N    ○-○-○ MGL -N    ●-●-● MGM +N    X-X-X MGM -N

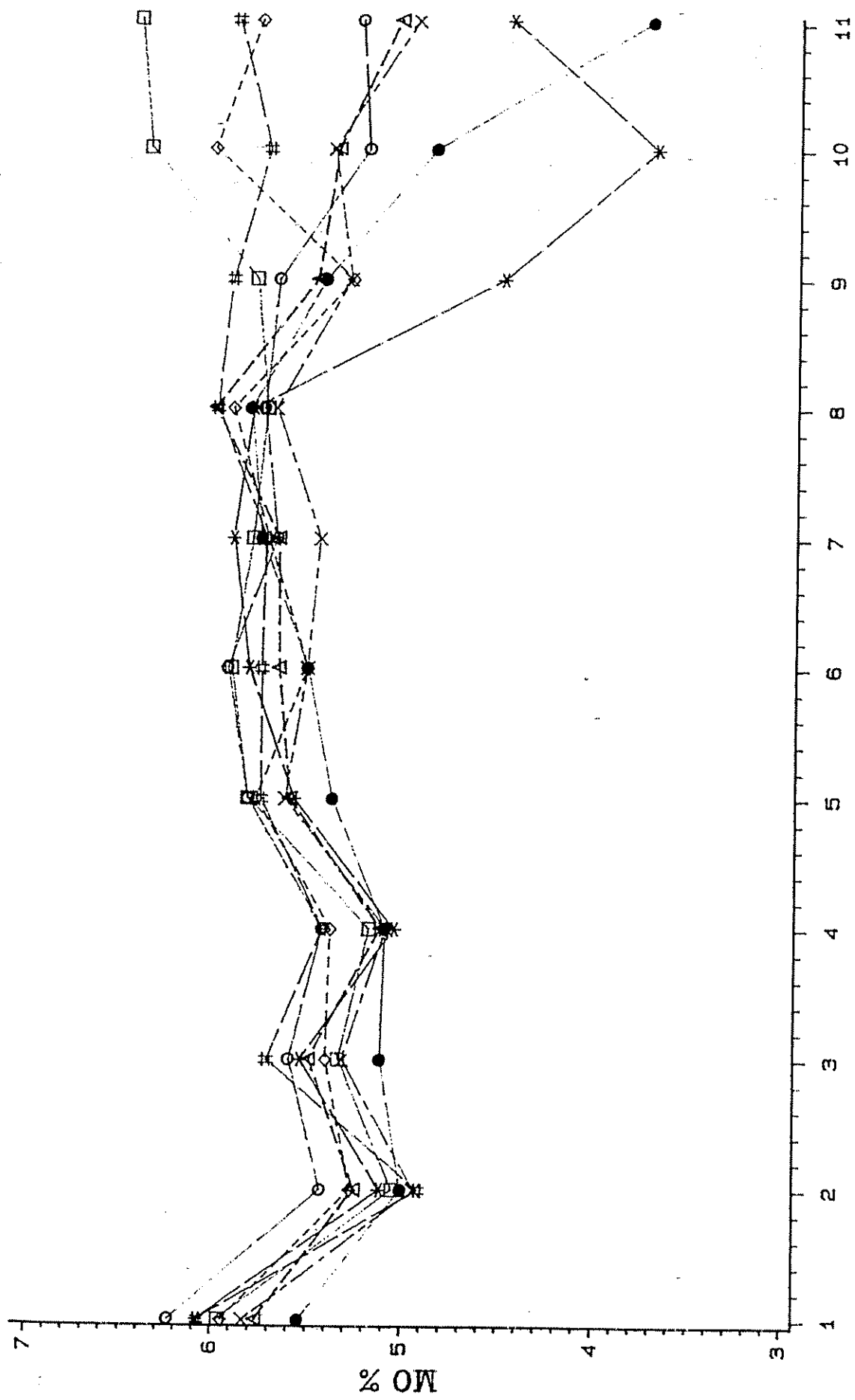
Figura 6A Comportamiento del pH a través del tiempo en el experimento de La Montana (0-20 cm)



Muestreo

TRAT    □-□-□ C +N    ◇-◇-◇ C -N    △-△-△ GCC +N    #-#-# GCC -N    \*-\*-\* PCC +N    ○-○-○ PCC -N

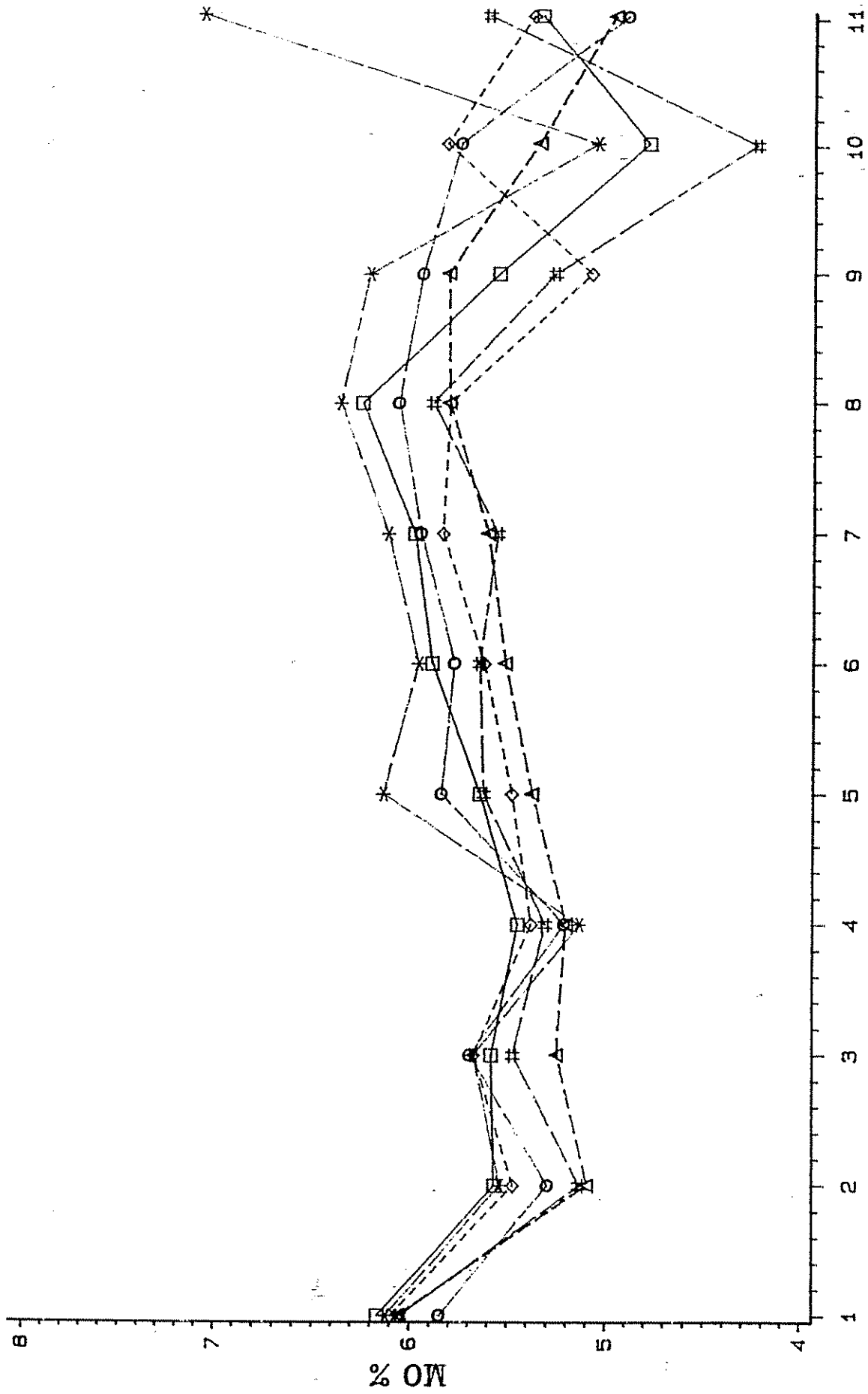
Figura 6B. Comportamiento del pH a través del tiempo en el experimento de La Montana (0-20 cm)



### Muestreo

TRAT    □-□-□ M +N    ◇-◇-◇ M -N    △-△-△ MP +N    #-#-# MP -N  
 \*-\*-\* MGL +N    ○-○-○ MGL -N    ●-●-● MGM +N    X-X-X MGM -N

Figure 7A-Comportamiento de la materia organica a traves del tiempo en el experimento de La Montana (0-20 cm)

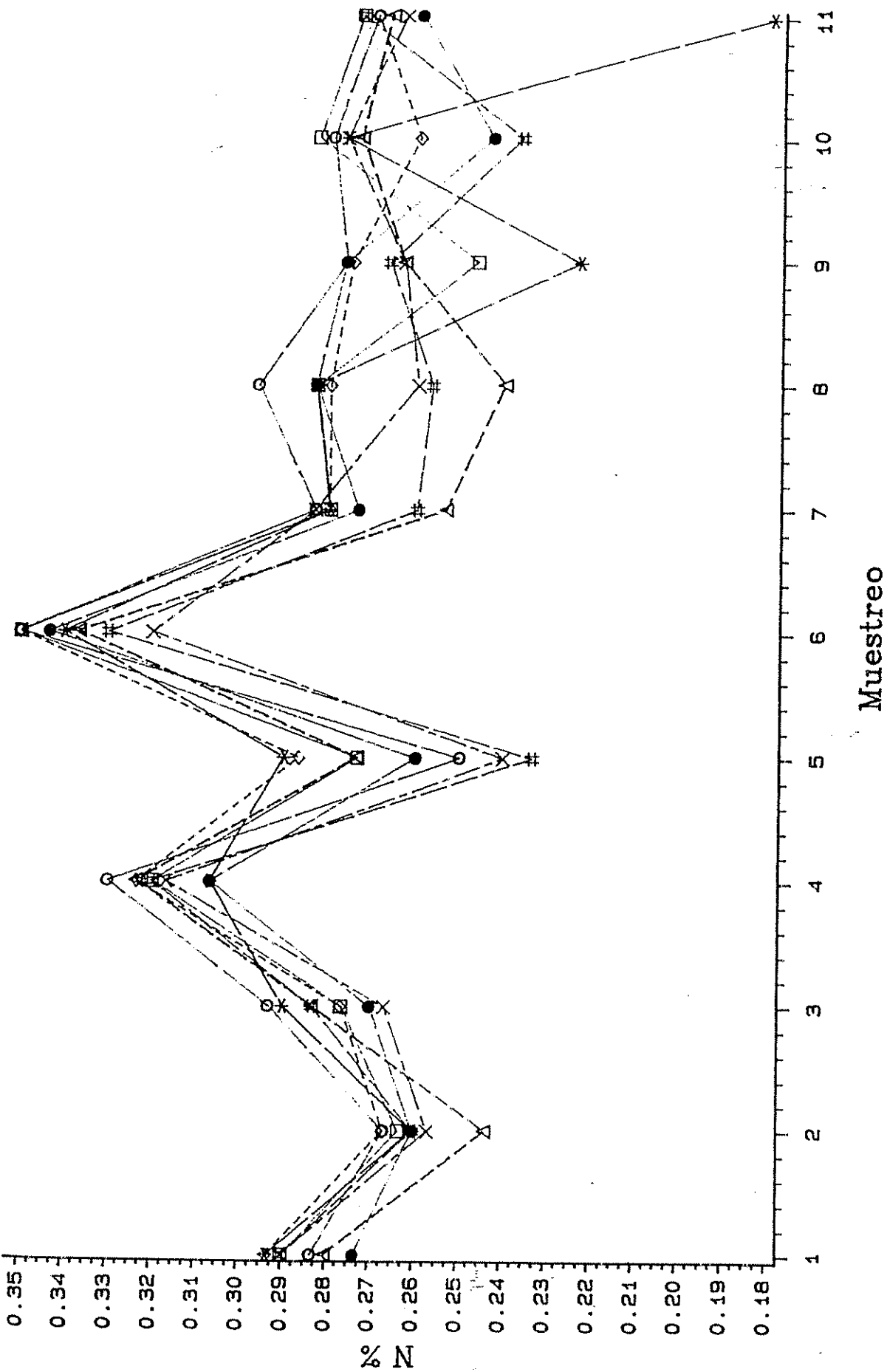


Muestreo

TRAT   □-□-□ C + N   ◇-◇-◇ C - N   △-△-△ GCC + N   ○-○-○ GCC - N   \*-\*- PCC + N   #-#-# PCC - N

Figura 7B. Comportamiento de la materia organica a traves del tiempo en el experimento de La Montana (0-20 cm)

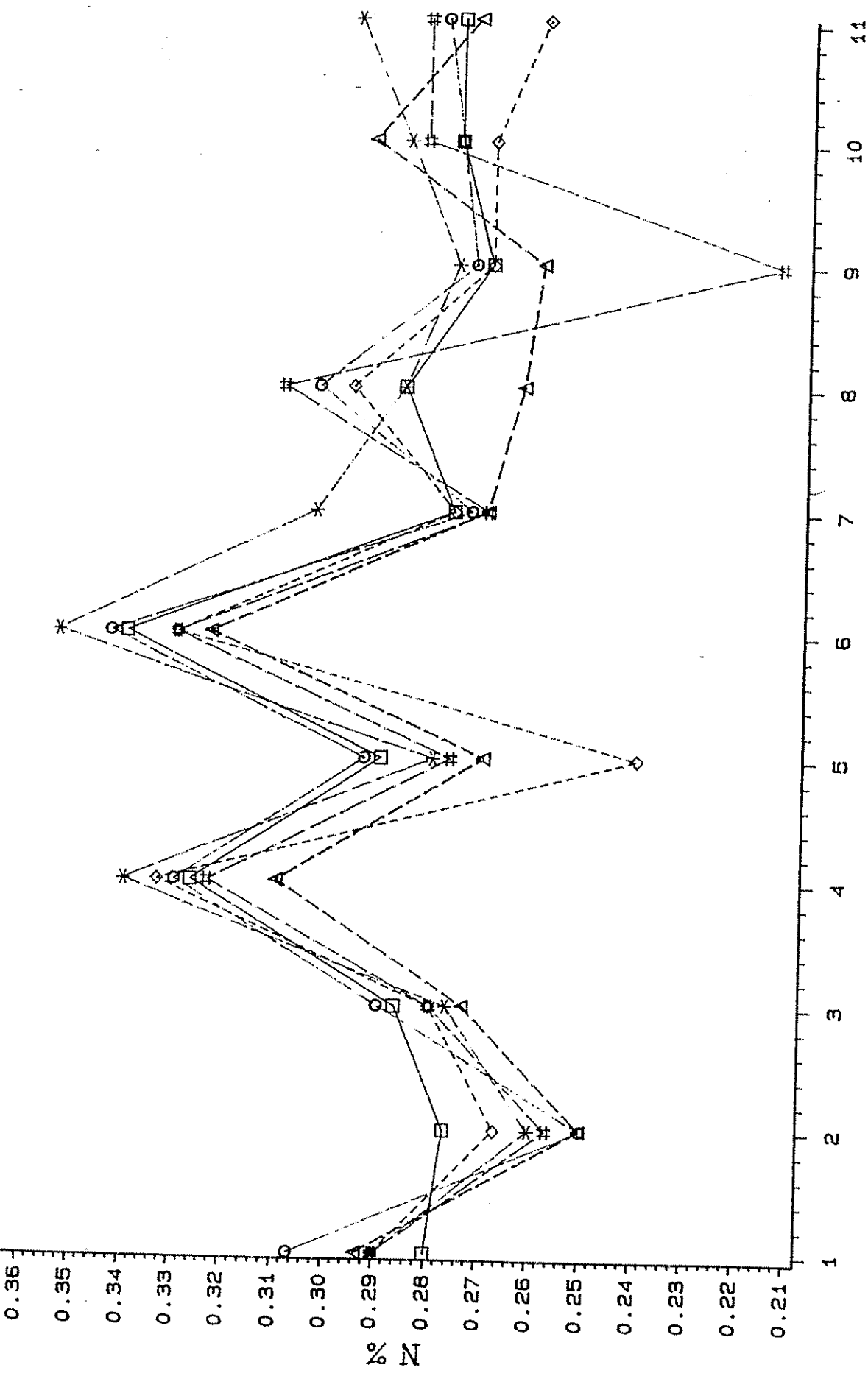




Muestreo

TRAT    □-□-□ M +N    ◇-◇ M -N    ○-○ MGL +N    ●-● MGL -N    △-△ MP +N    ▲-▲ MP -N  
 \*-\*-\* ✕-✕ MGM +N    ✕-✕-✕ MGM -N

Figura 8A-Comportamiento del nitrógeno a través del tiempo en el experimento de La Montana (0-20 cm)



Muestreo

TRAT   □ □ □ C + N   ◇ ◇ ◇ C - N   ☆ ☆ ☆ GCC + N   # # # GCC - N   \* \* \* PCC + N   ○ ○ ○ PCC - N

Figura 8B Comportamiento del nitrógeno a través del tiempo en el experimento de La Montana (0-20 cm)

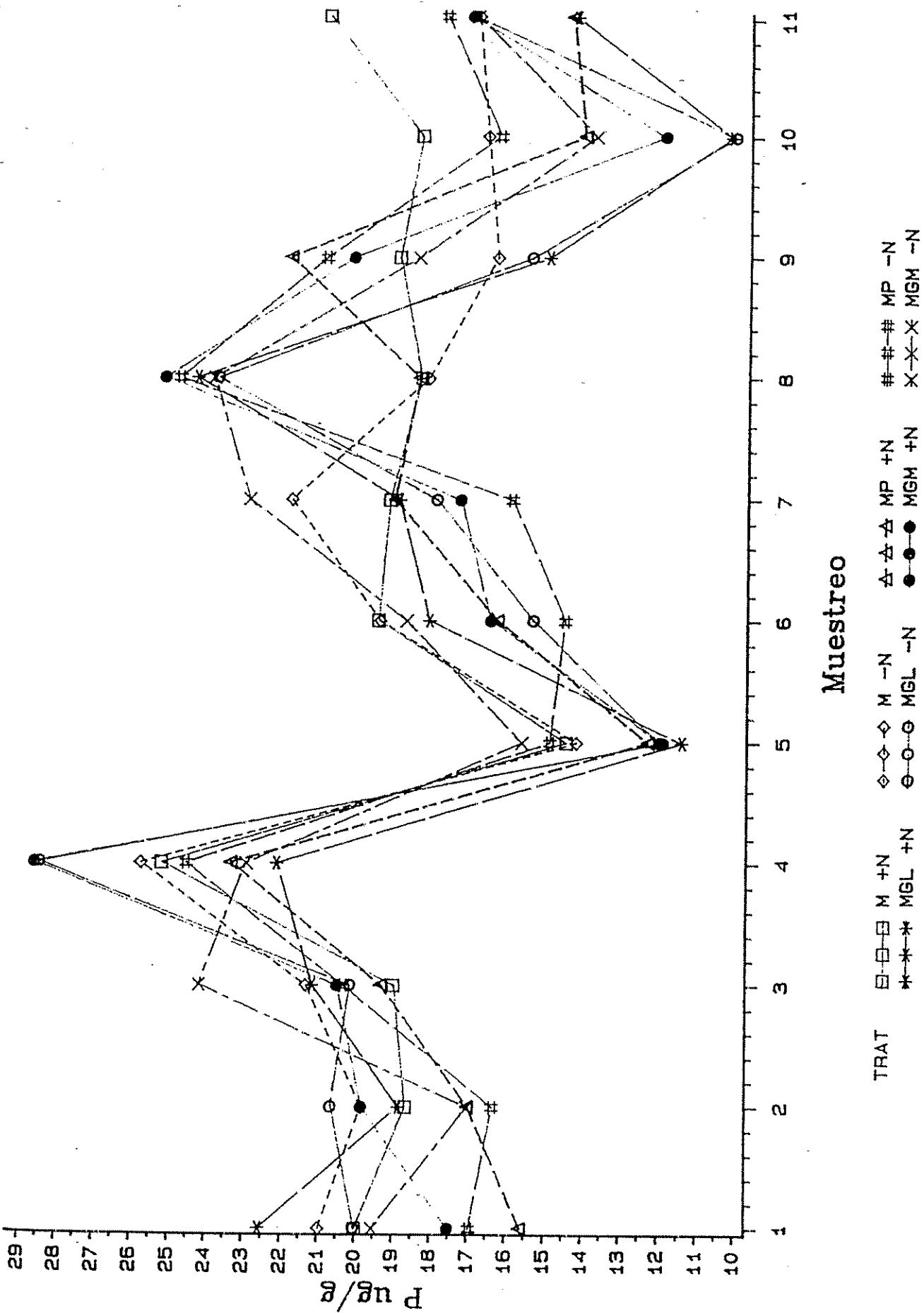
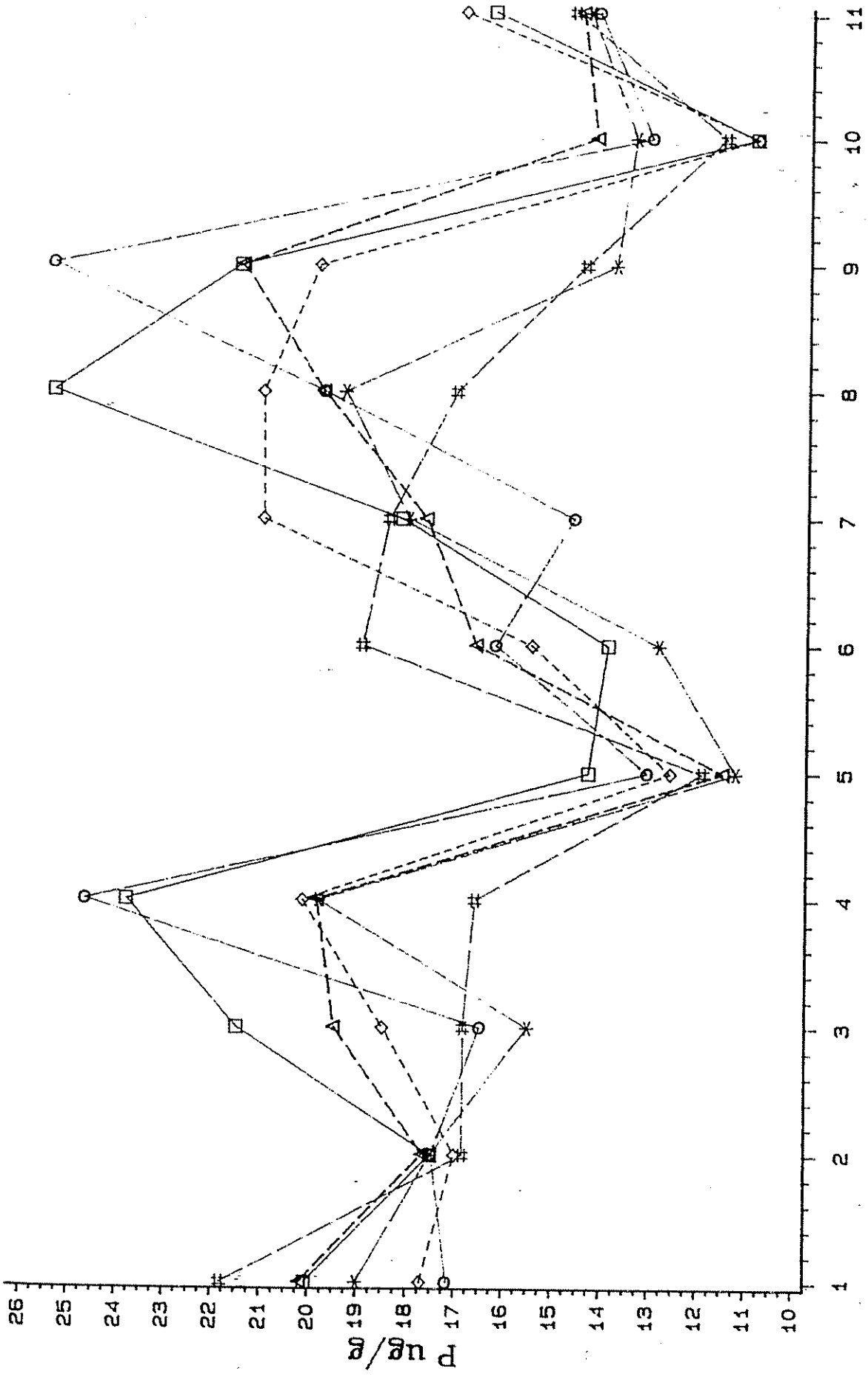


Figura 9A. Comportamiento del fosforo a traves del tiempo en el experimento de La Montana (0-20 cm)

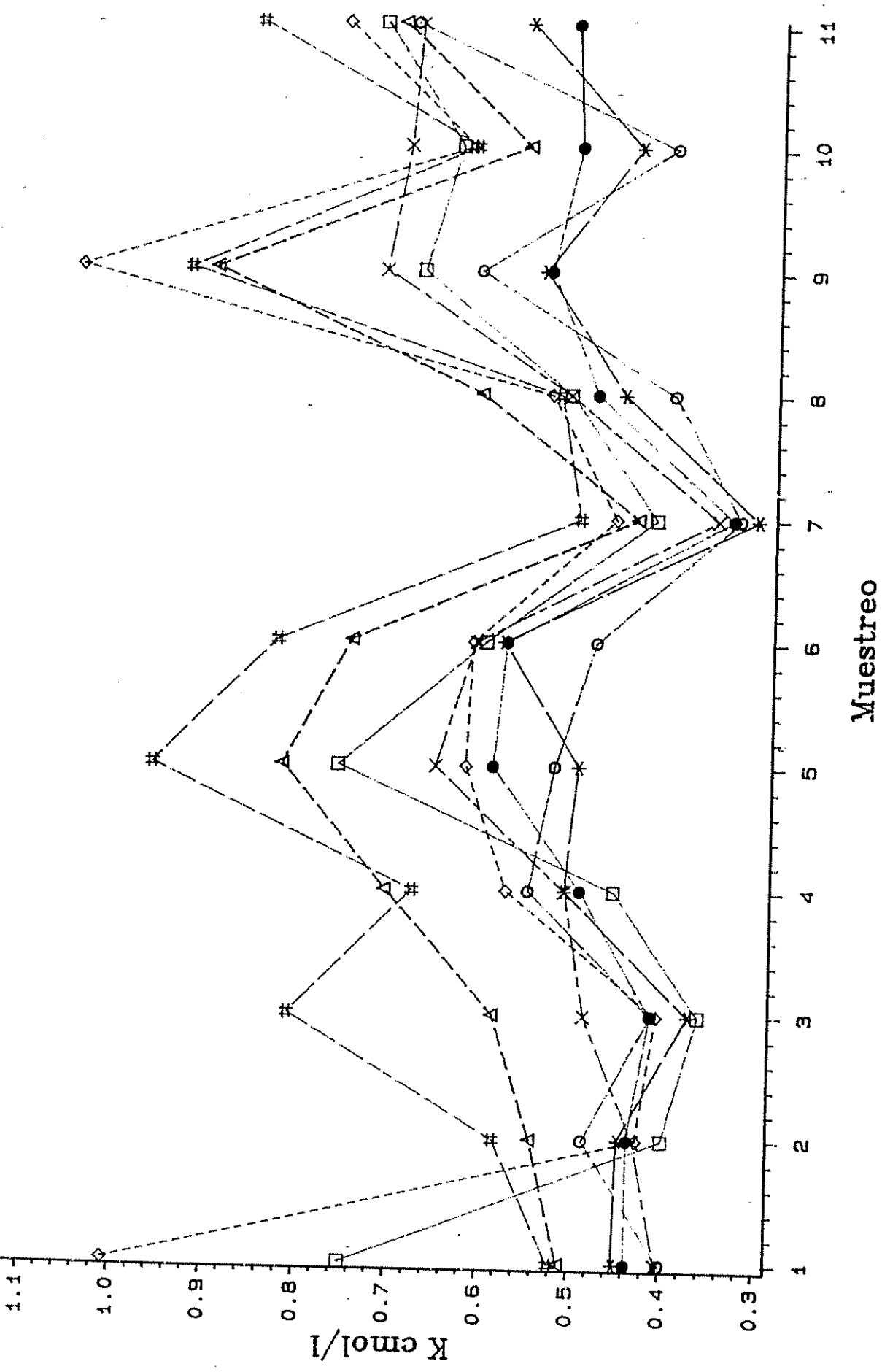


Muestreo

TRAT    □-□-□ C +N    ◇-◇-◇ C -N    ▲-▲-▲ GCC +N    #-#-# GCC -N    \*-\*-\* PCC +N    ○-○-○ PCC -N

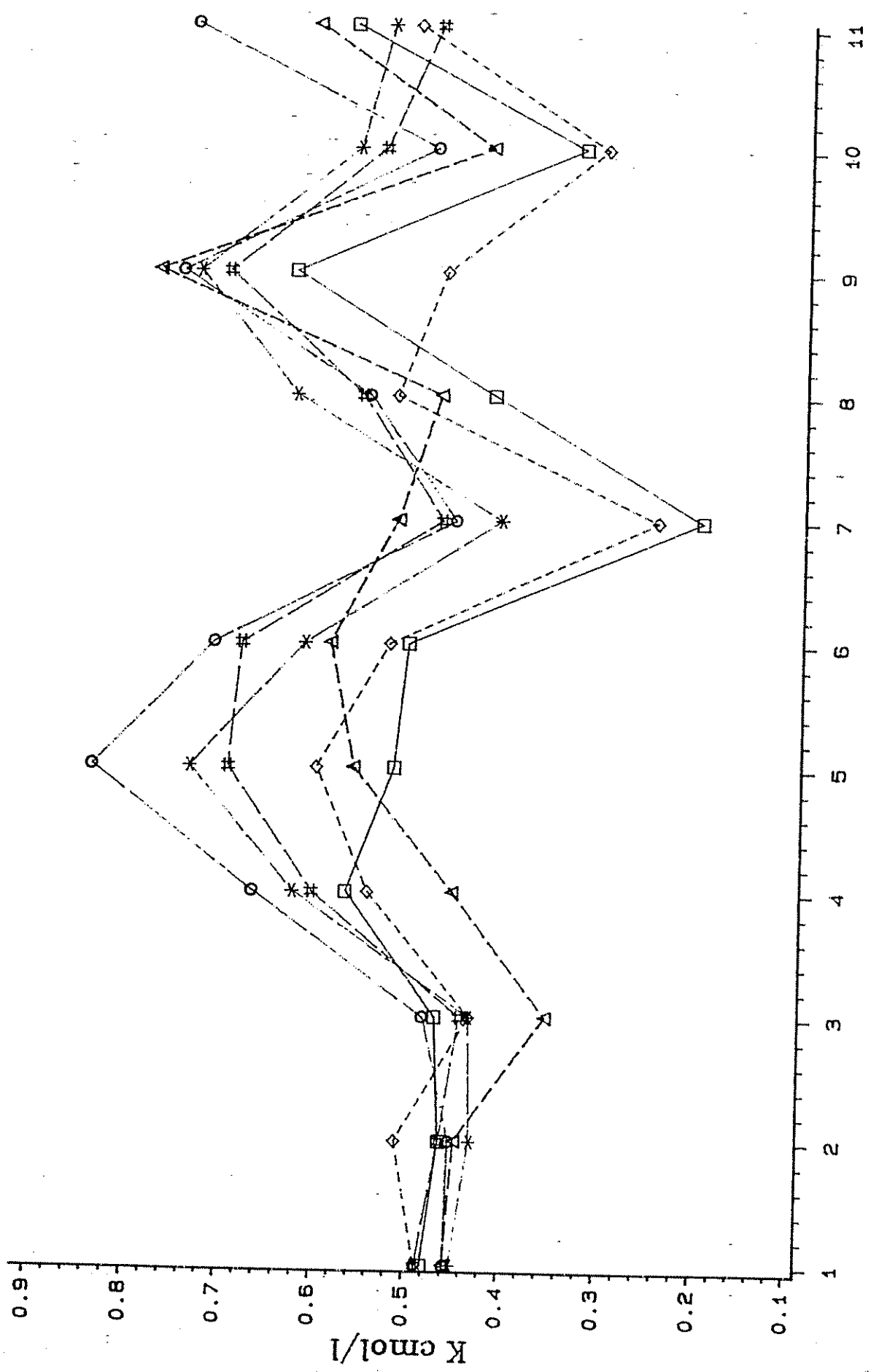
Figure 9B. Comportamiento del fosforo a través del tiempo en el experimento de La Montana (0-20 cm) 143

Figura 10A. Comportamiento del potasio a través del tiempo en el experimento de La Montana (0-20 cm)



TRAT    □-□-□ M +N    ◇-◇-◇ M -N    △-△-△ MP +N    #-#-# MP -N  
 \*-\*-\* MGL +N    ○-○-○ MGL -N    ●-●-● MGM +N    X-X-X MGM -N

Muestreo



Muestreo

TRAT    □-□-□ C +N    ◇-◇-◇ C -N    △-△-△ GCC +N    #-#-# GCC -N    \*-\*-\* PCC +N    ○-○-○ PCC -N

Figura 10B. Comportamiento del potasio a través del tiempo en el experimento de La Montana (0-20 cm) 145

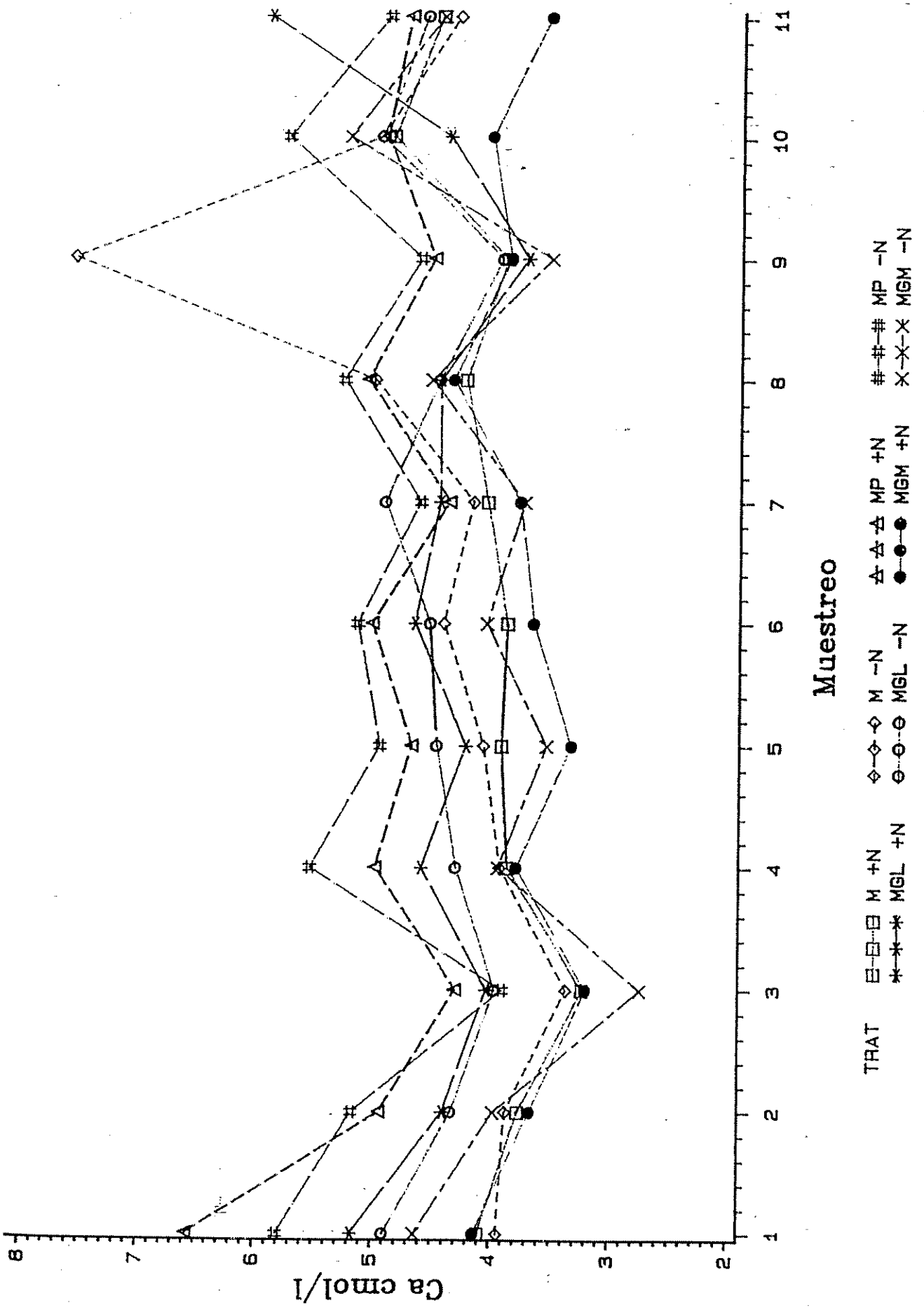
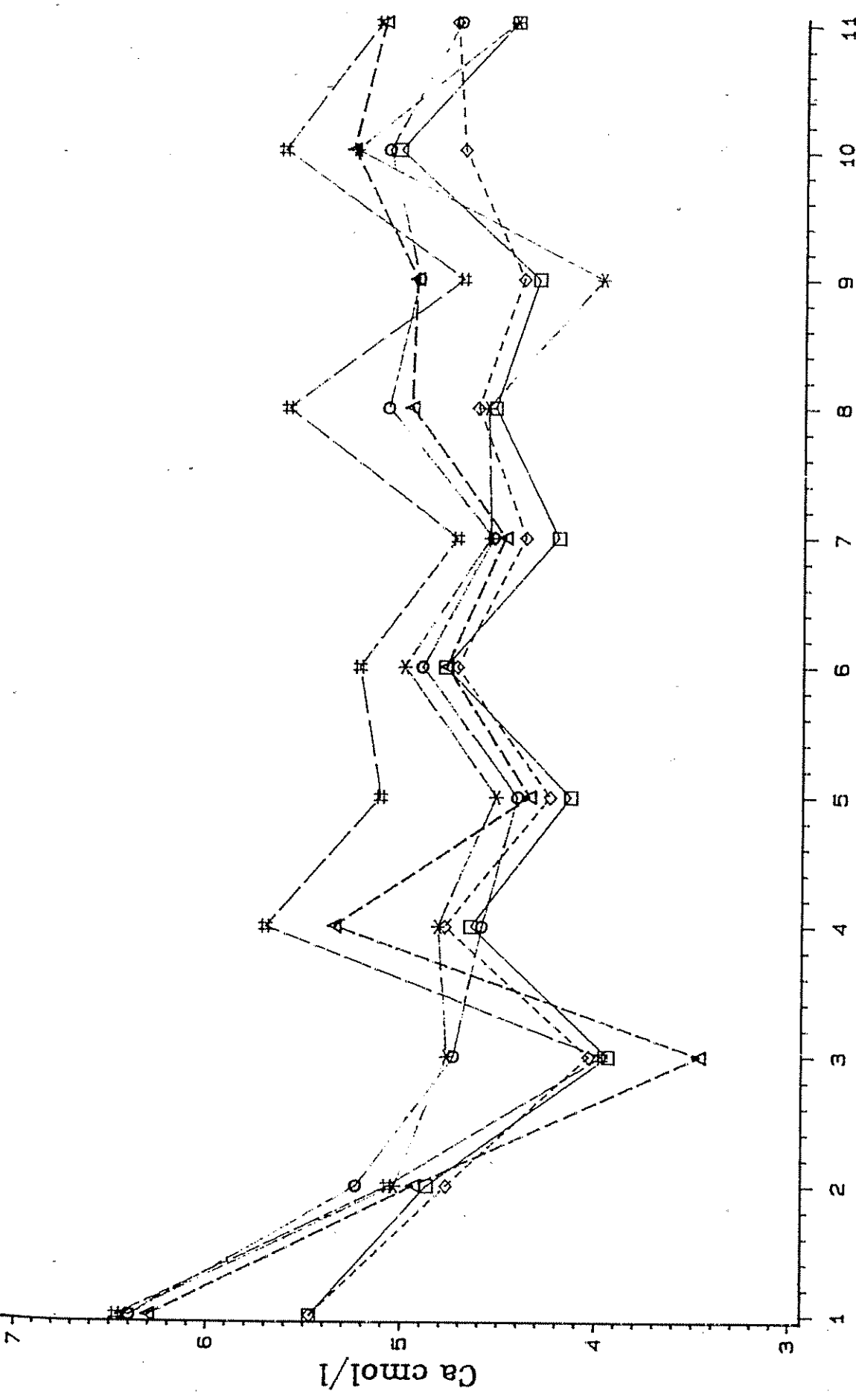


Figura IIA. Comportamiento del calcio a través del tiempo en el experimento de La Montana (0-20 cm)

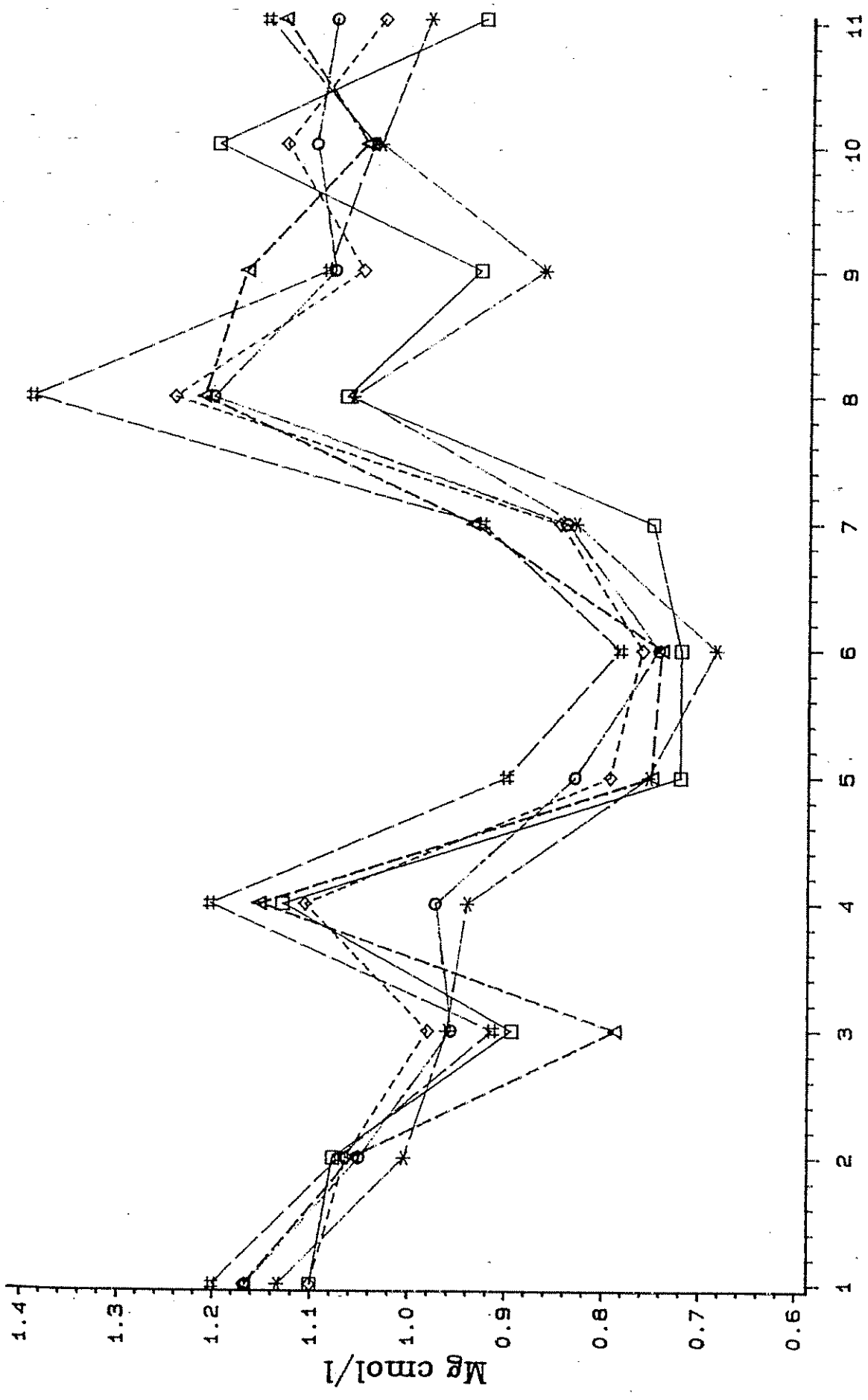


### Muestreo

TRAT    □-□-□ C +N    ◇-◇-◇ C -N    ▲-▲-▲ GCC +N    #-#-# GCC -N    \*-\*-\* PCC +N    ○-○-○ PCC -N

Figura 10. Comportamiento del calcio a través del tiempo en el experimento de La Montana (0-20 cm)

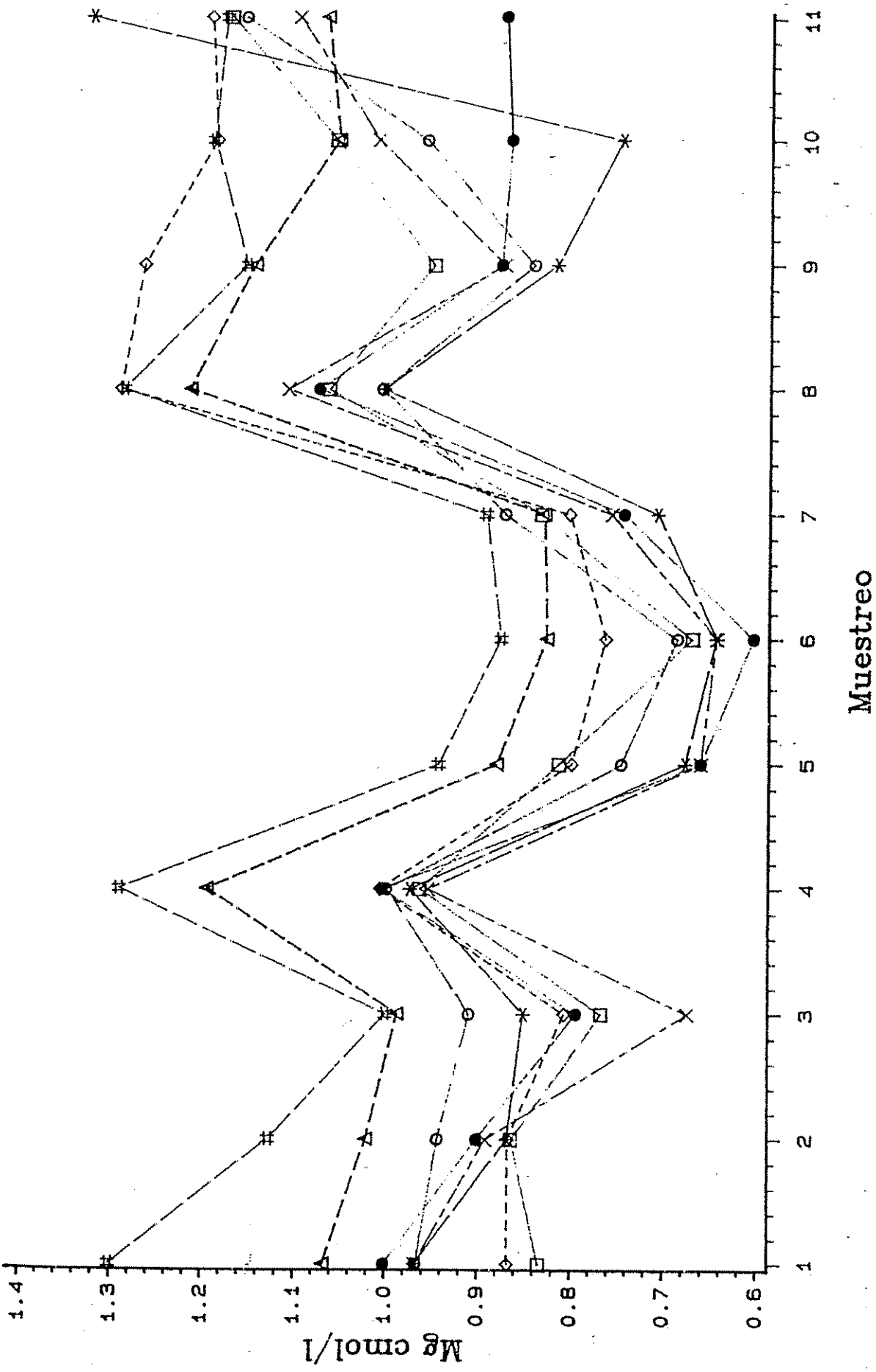




Muestreo

TRAT    □-□-□ C +N    ◇-◇-◇ C -N    △-△-△ GCC +N    #-#-# GCC -N    \*-\*-\* PCC +N    e-o-o PCC -N

Figura 12A. Comportamiento del magnesio a través del tiempo en el experimento de La Montana (0-20 cm) 148



TRAT    □-□-□ M +N    ◇-◇-◇ M -N    △-△-△ MP +N    #-#-# MP -N  
 \*-\*-\* MGL +N    ○-○-○ MGL -N    ●-●-● MGM +N    X-X-X MGM -N

Figura 12B Comportamiento del magnesio a través del tiempo en el experimento de La Montana (0-20 cm)

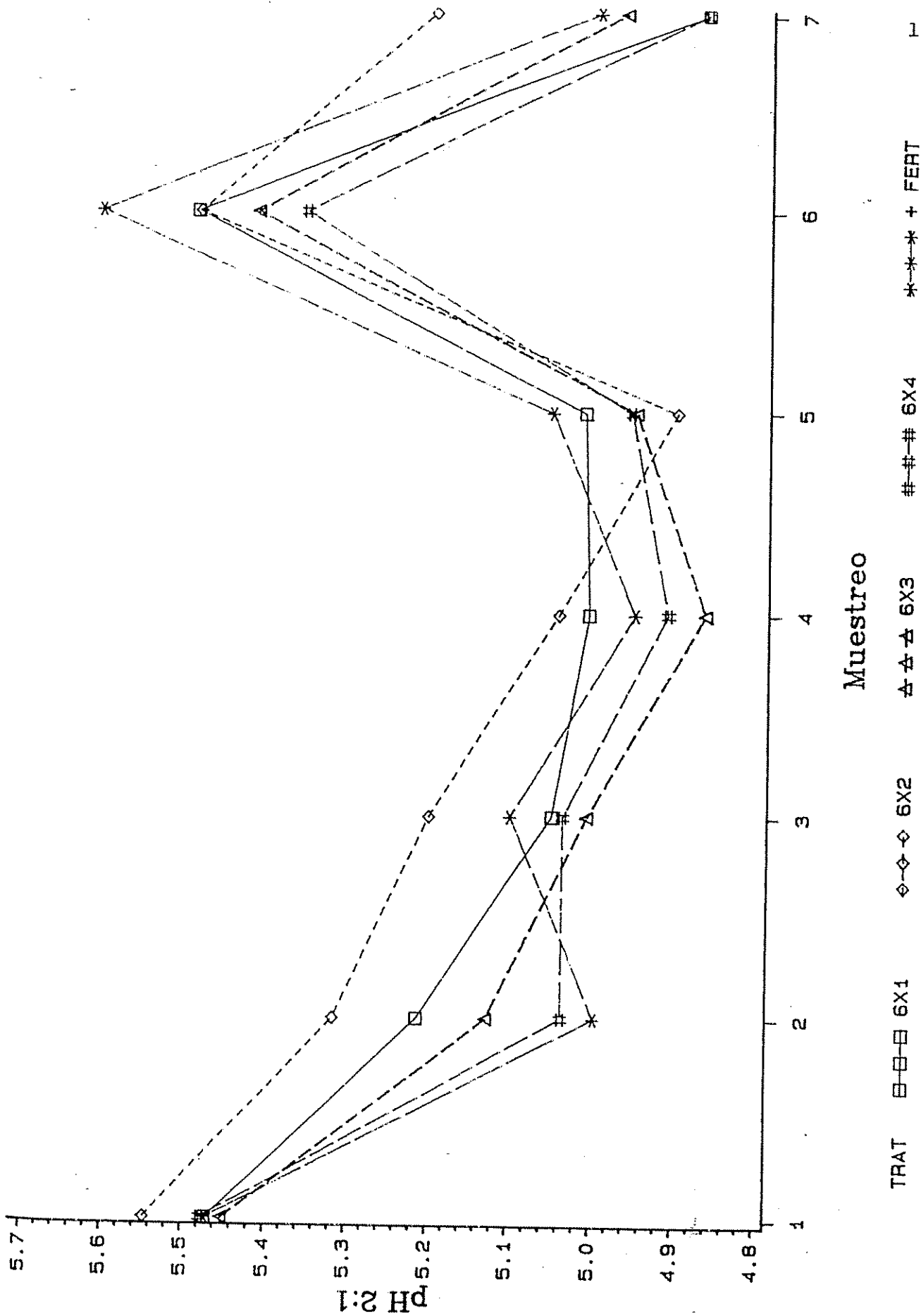
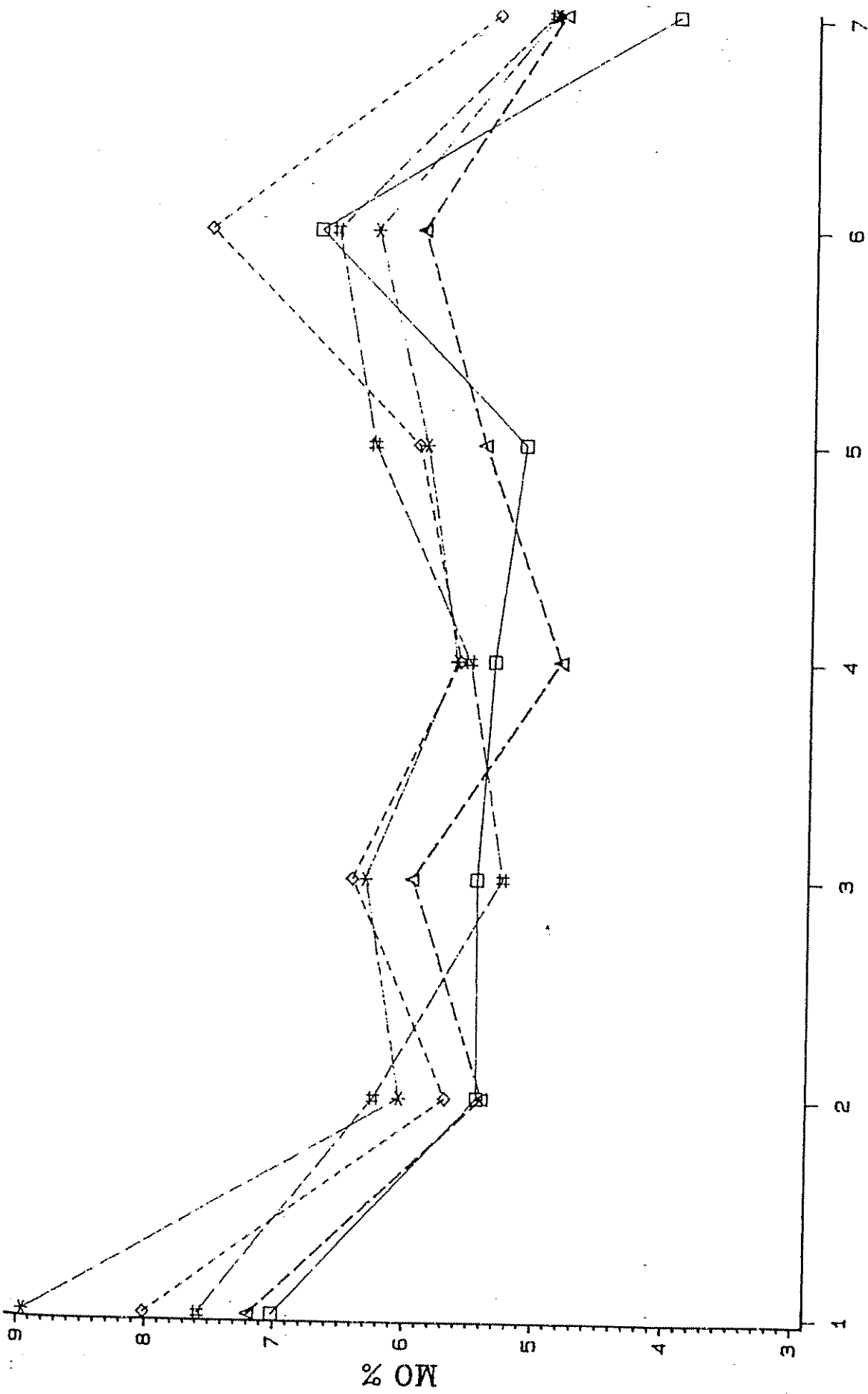


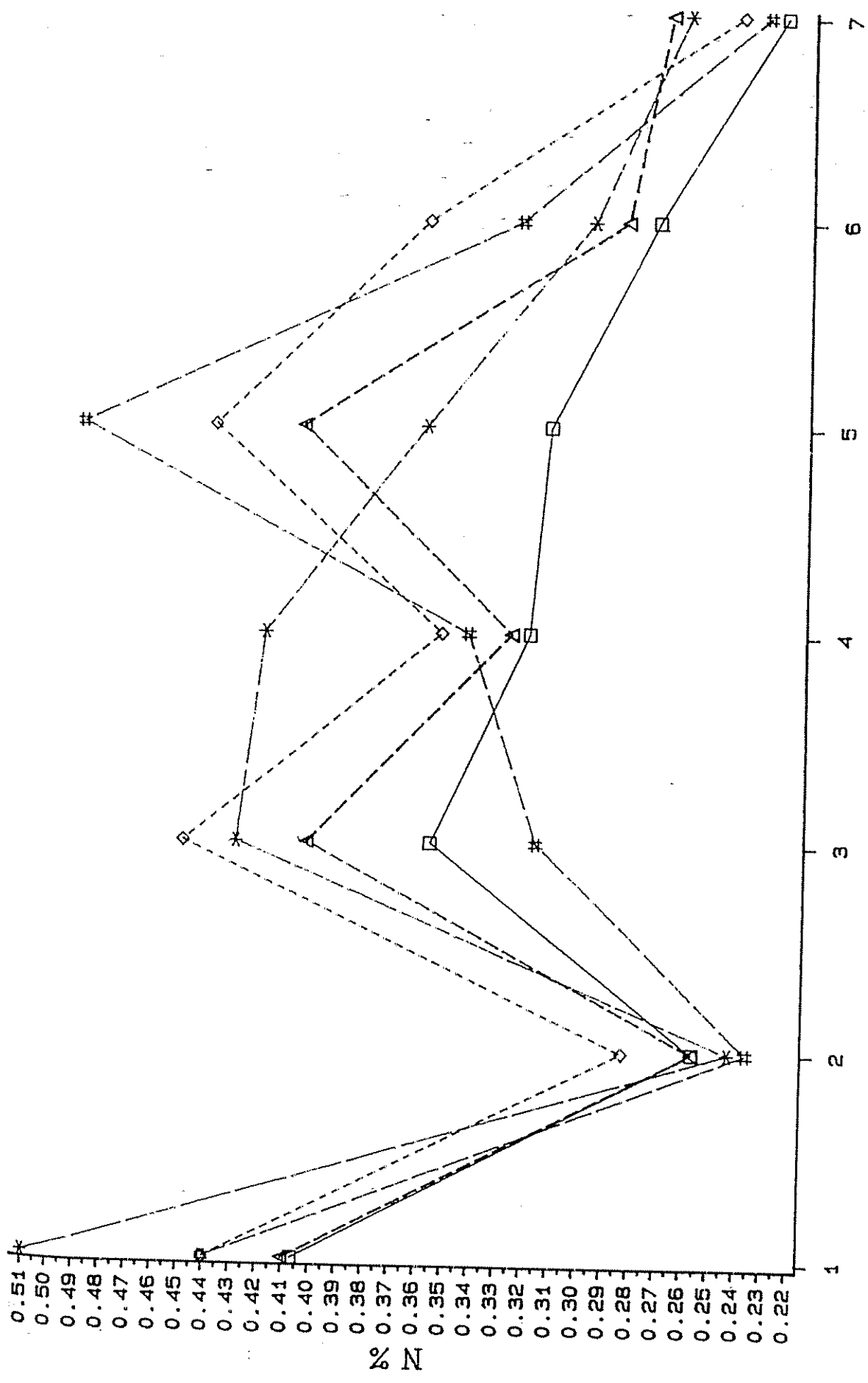
Figura 13. Comportamiento del pH a través del tiempo en el experimento 170



Muestreo

TRAT    □-□-□ 6X1    ◇-◇-◇ 6X2    △-△-△ 6X3    #-#-# 6X4    \*-\*-\*- FERT

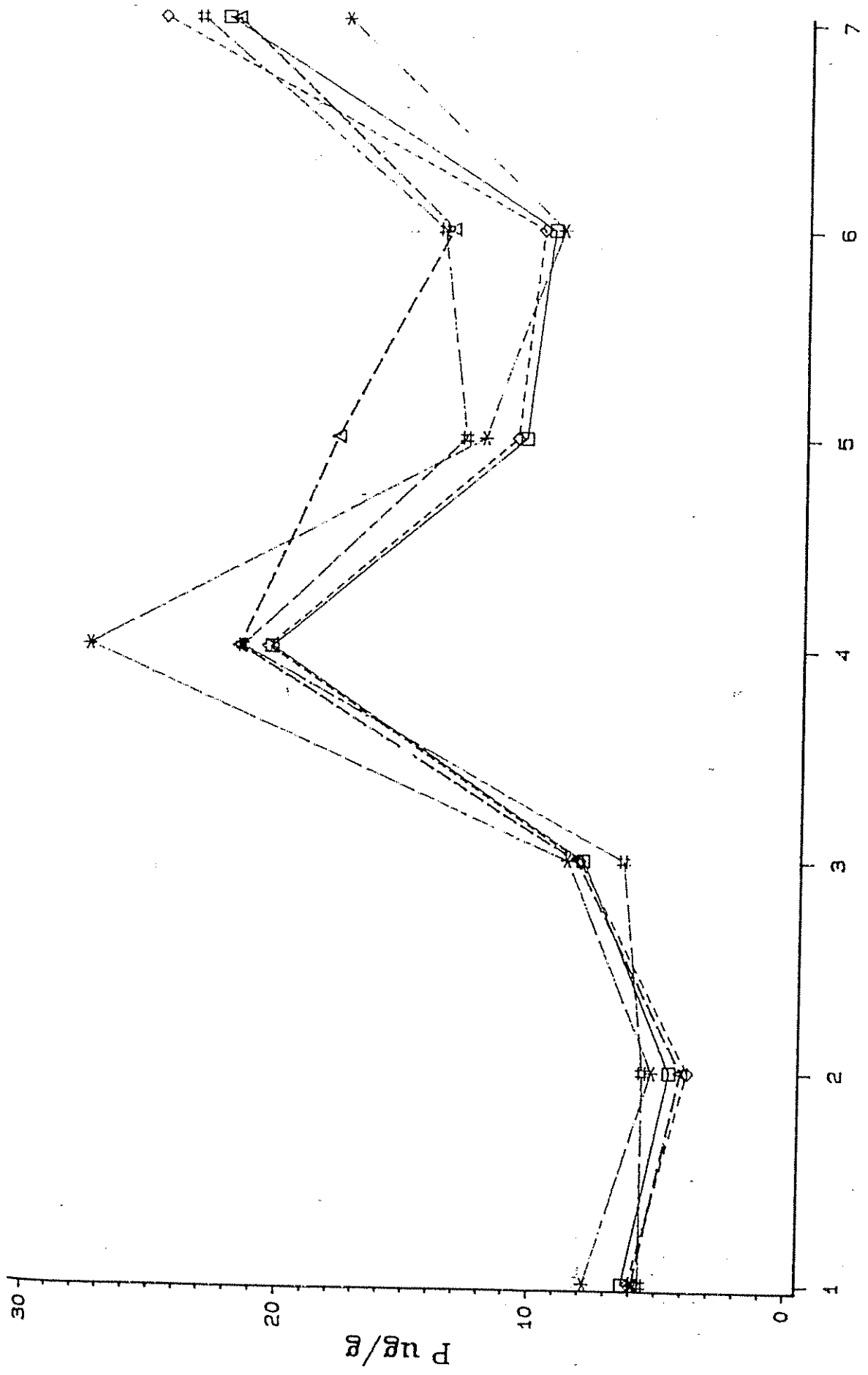
Figura 14. Comportamiento de la materia organica a traves del tiempo en el experimento 170



Muestreo

TRAT 6X1 6X2 6X3 6X4 FERT

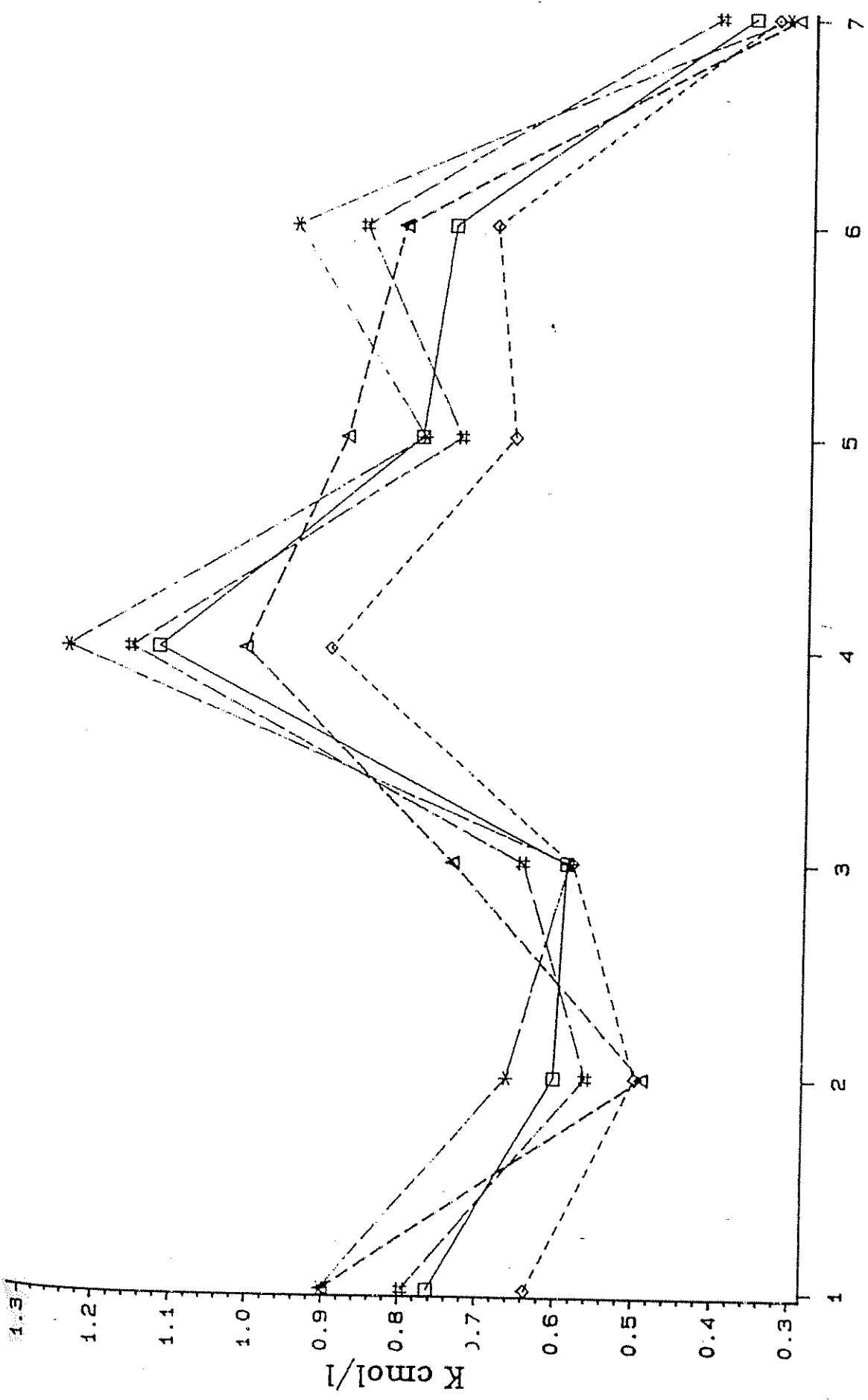
Figure 15. Comportamiento del nitrógeno a través del tiempo en el experimento 170



Muestreo

TRAT   □-□-□ 6X1   ◇-◇-◇ 6X2   △-△-△ 6X3   ■-■-■ 6X4   \*-\*-\* FERT

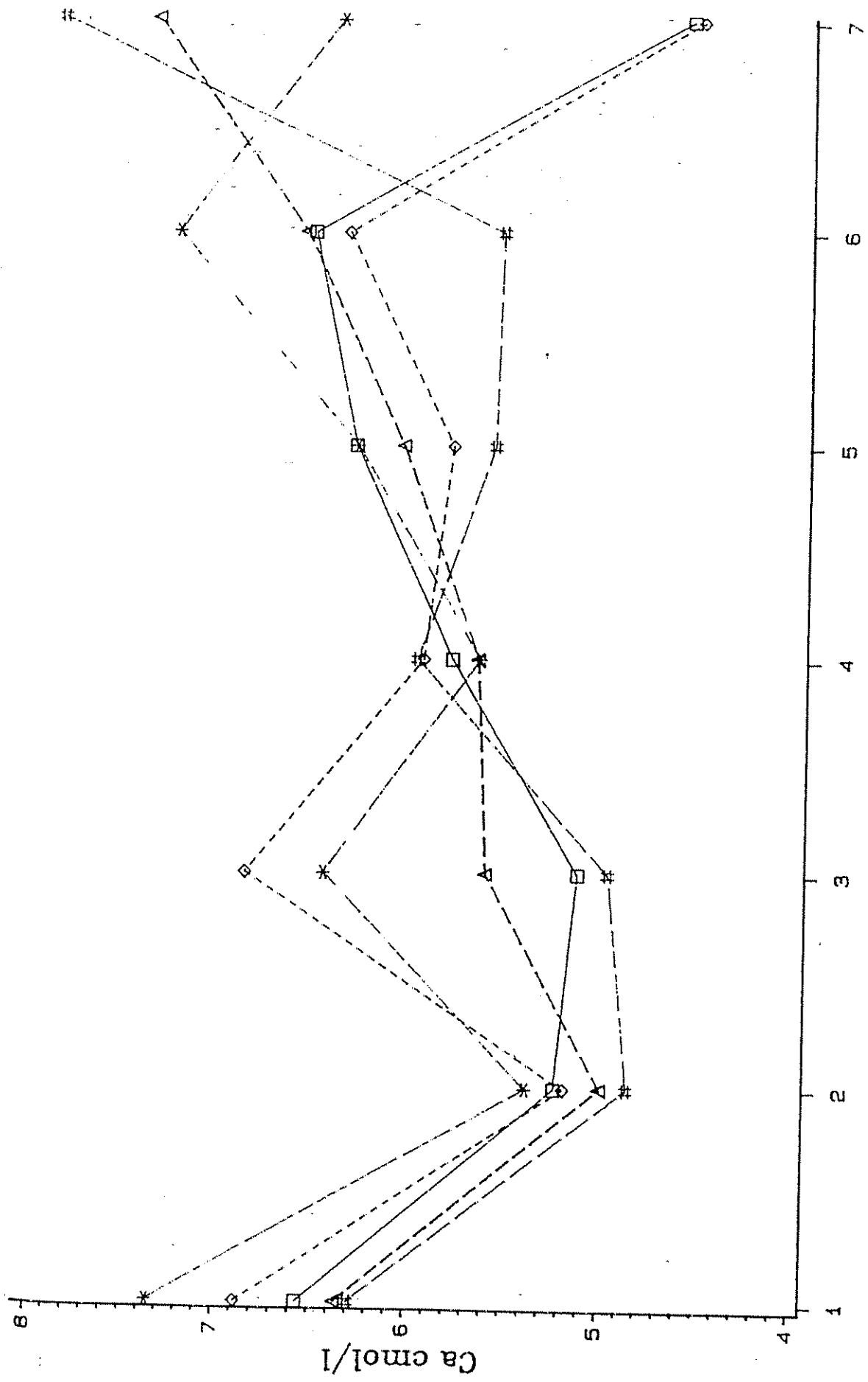
Figura 16. Comportamiento del fosforo a traves del tiempo en el experimento 170



Muestreo

TRAT    □-□-□ 6X1    ◇-◇-◇ 6X2    △-△-△ 6X3    #-#-# 6X4    \*-\*-\* + FERT

Figura 17. Comportamiento del potasio a través del tiempo en el experimento 170

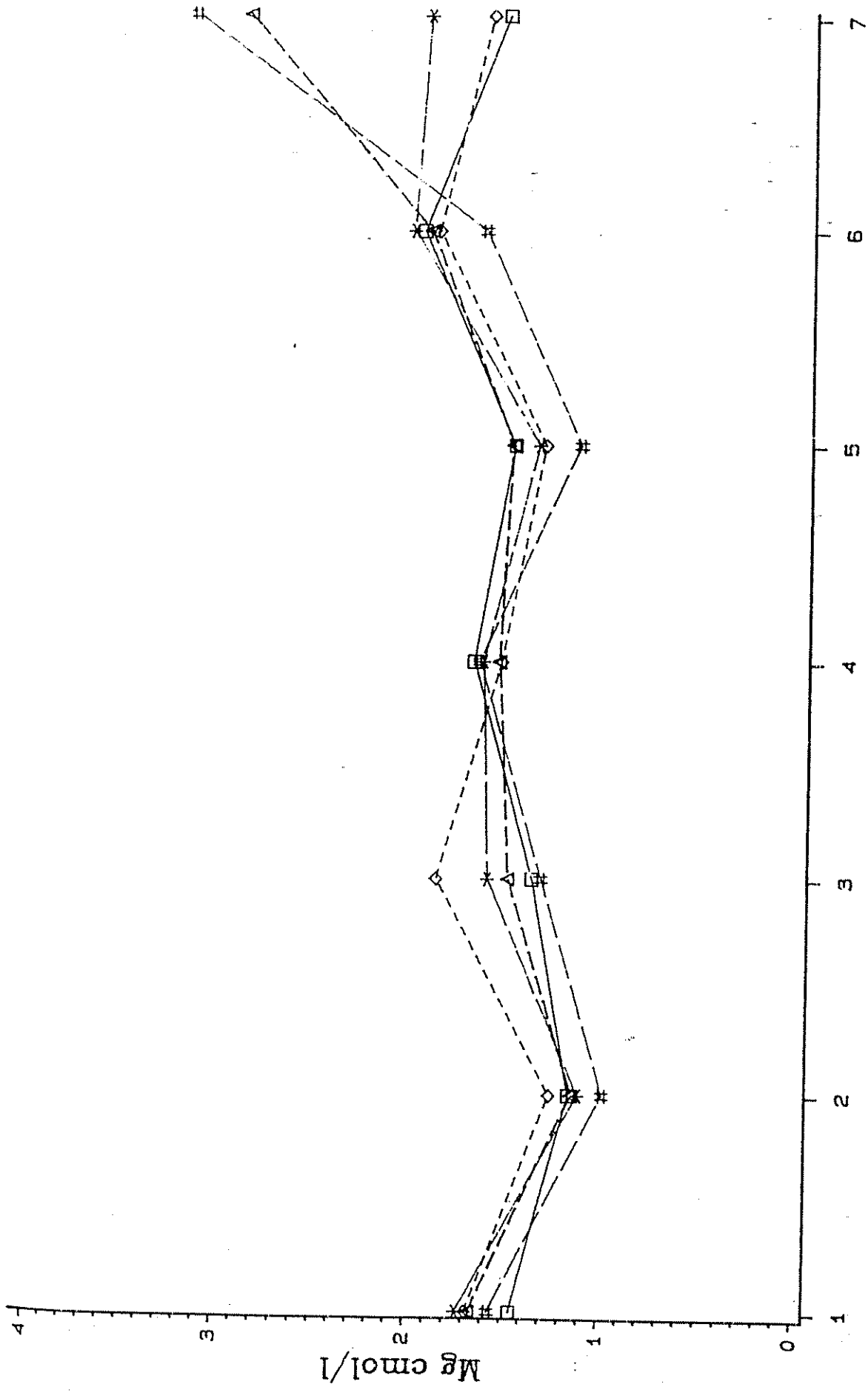


Muestreo

TRAT   □-□-□ 6X1   ◇-◇-◇ 6X2   △-△-△ 6X3   #- #-# 6X4   \*-\*-\*-\* FERT

Figura 18 Comportamiento del calcio a través del tiempo en el experimento 170





Muestreo

TRAT   □-□-□ 6X1   ◇-◇-◇ 6X2   △-△-△ 6X3   #-#-# 6X4   \*-\*-\*- FERT

Figura 19. Comportamiento del magnesio a través del tiempo en el experimento 170

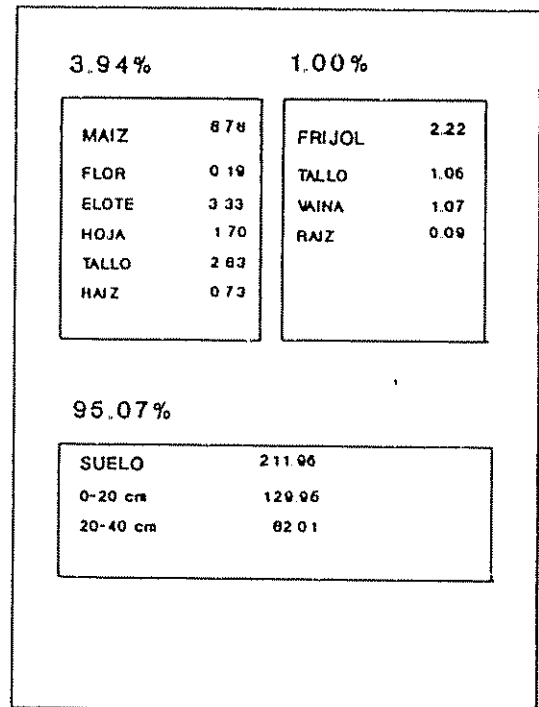
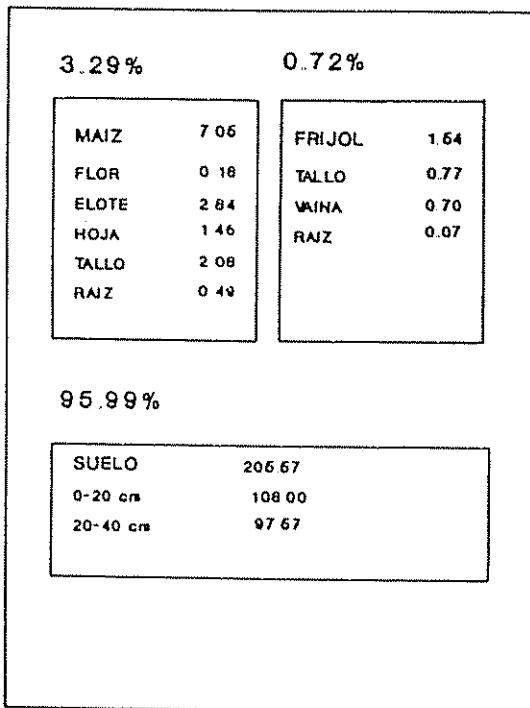
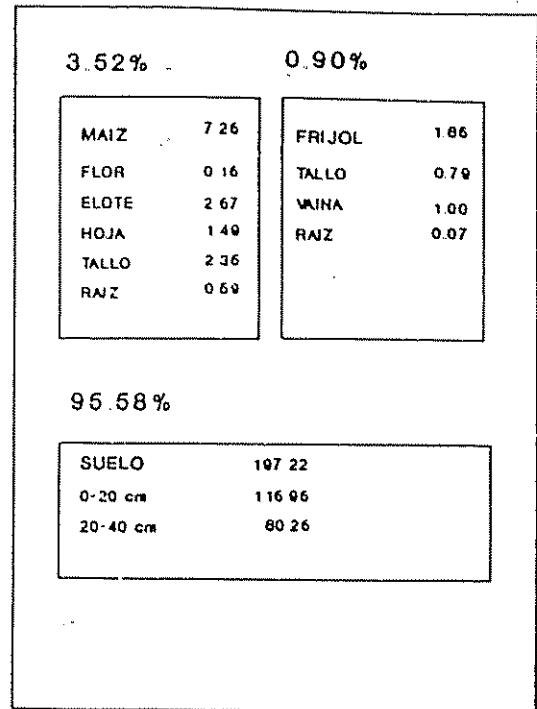
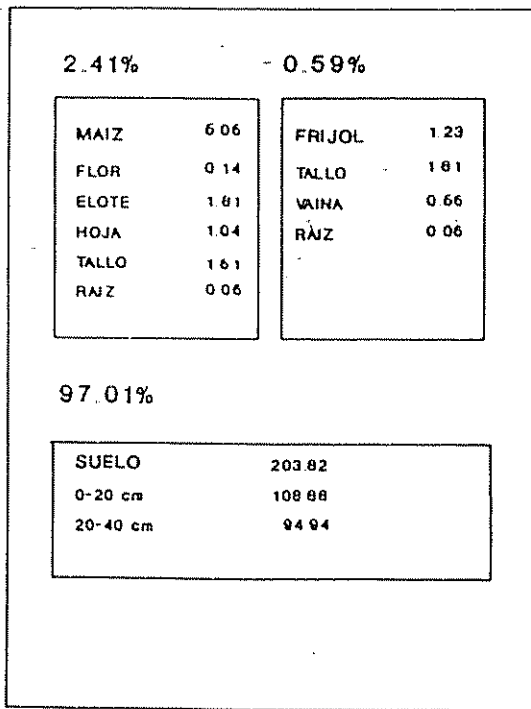


Figura 20A. Reserva y transferencia de materia orgánica en el experimento de la Montaña.

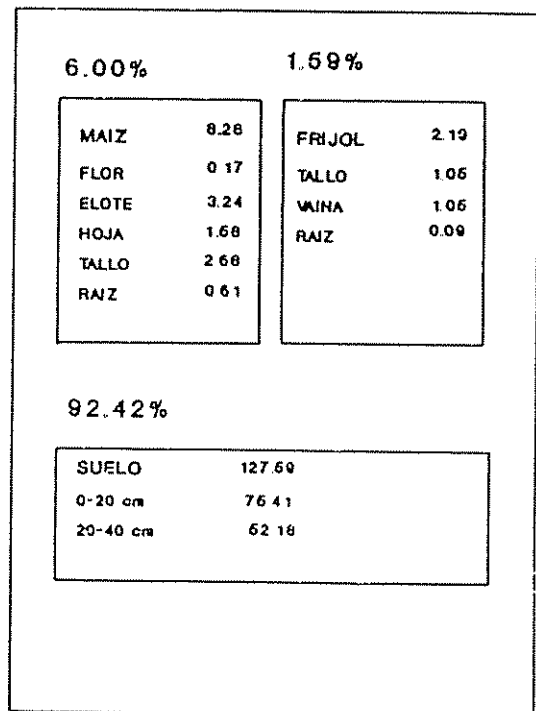
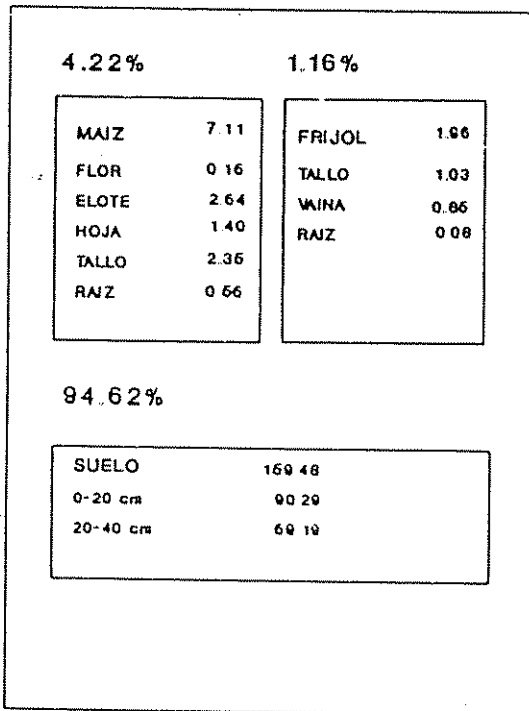
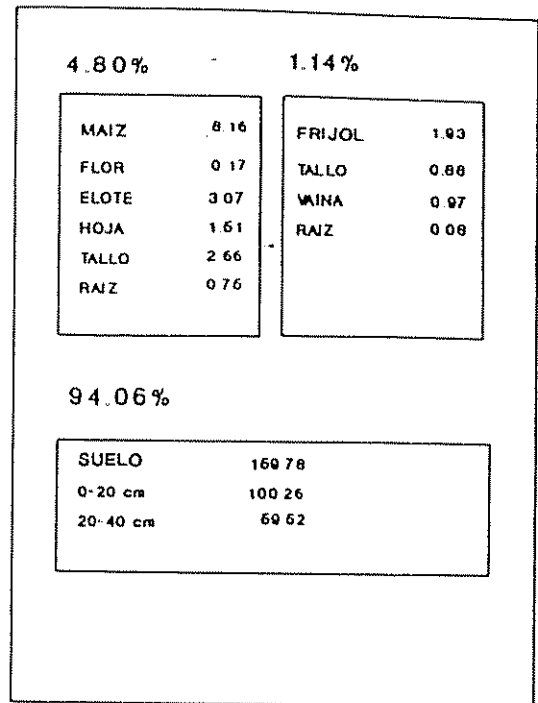
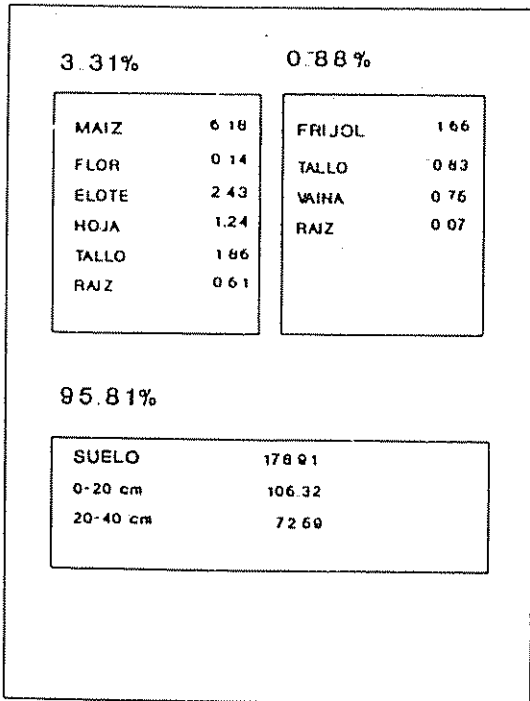


Figura 2B. Reserva y transferencia de materia orgánica en el experimento de la Montaña.

MAIZ	8.96	FRIJOL	2.46
FLOR	0.19	TALLO	1.16
ELOTE	3.11	VAINA	1.19
HOJA	1.71	RAIZ	0.10
TALLO	3.11		
RAIZ	0.84		

SUELO	204.96
0-20 cm	119.46
20-40 cm	85.51

## MP +N

MAIZ	9.70	FRIJOL	2.49
FLOR	0.20	TALLO	1.28
ELOTE	3.61	VAINA	1.12
HOJA	1.87	RAIZ	0.09
TALLO	3.27		
RAIZ	0.76		

SUELO	186.72
0-20 cm	102.08
20-40 cm	84.64

Figura 20C. Reserva y transferencia de materia orgánica en el experimento de la Montaña.

0.50%		0.27%	
MAIZ	48.36	FRIJOL	26.01
FLOR	2.02	TALLO	13.66
ELOTE	19.92	VAINA	11.92
HOJA	16.27	RAIZ	0.63
TALLO	7.66		
RAIZ	2.68		
99.23%			
SUELO	9661.00		
0-20 cm	6252.00		
20-40 cm	4309.33		

0.79%		0.43%	
MAIZ	74.12	FRIJOL	40.03
FLOR	2.06	TALLO	17.24
ELOTE	29.48	VAINA	22.08
HOJA	27.79	RAIZ	0.71
TALLO	11.81		
RAIZ	4.88		
98.78%			
SUELO	9224.67		
0-20 cm	6464.00		
20-40 cm	3770.67		

C + N	
0.90%	
0.35%	
MAIZ	89.78
FLOR	2.60
ELOTE	39.67
HOJA	30.40
TALLO	13.69
RAIZ	3.62
FRIJOL	36.26
TALLO	17.26
VAINA	17.26
RAIZ	0.73
98.75%	
SUELO	9898.00
0-20 cm	6586.67
20-40 cm	4309.33

M + N	
1.22%	
0.58%	
MAIZ	106.93
FLOR	2.67
ELOTE	41.00
HOJA	37.00
TALLO	20.66
RAIZ	6.61
FRIJOL	60.64
TALLO	23.73
VAINA	26.93
RAIZ	0.88
98.21%	
SUELO	8618.66
0-20 cm	6621.33
20-40 cm	3097.33

Figura 21A. Reserva y transferencia de nitrógeno en el experimento de la Montaña.

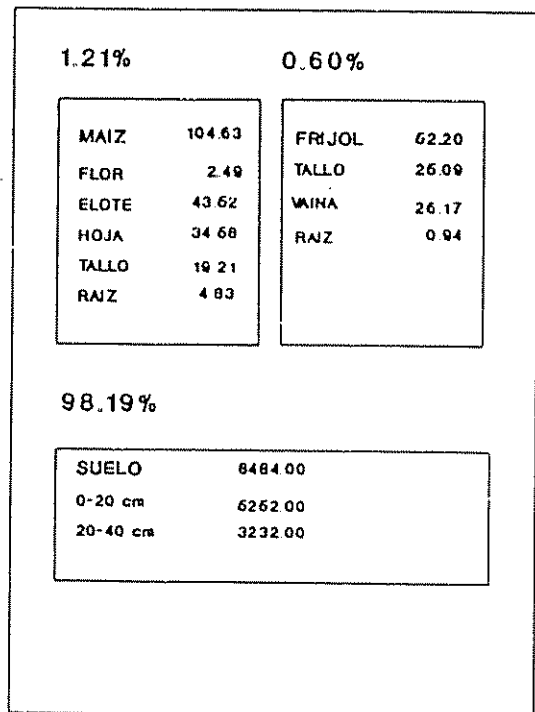
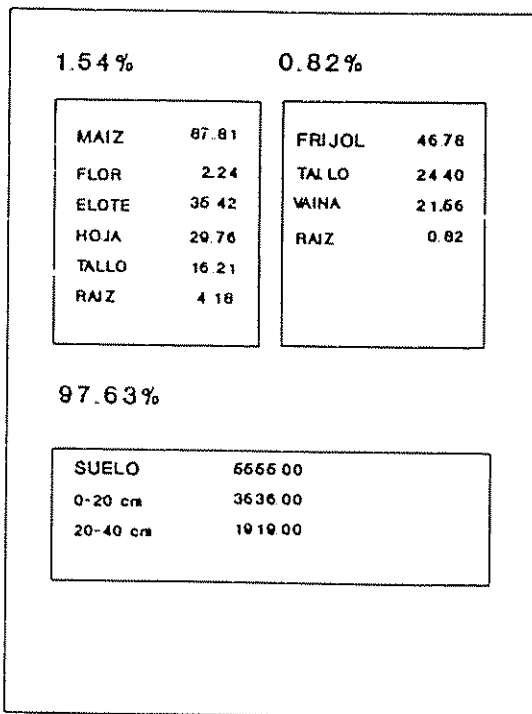
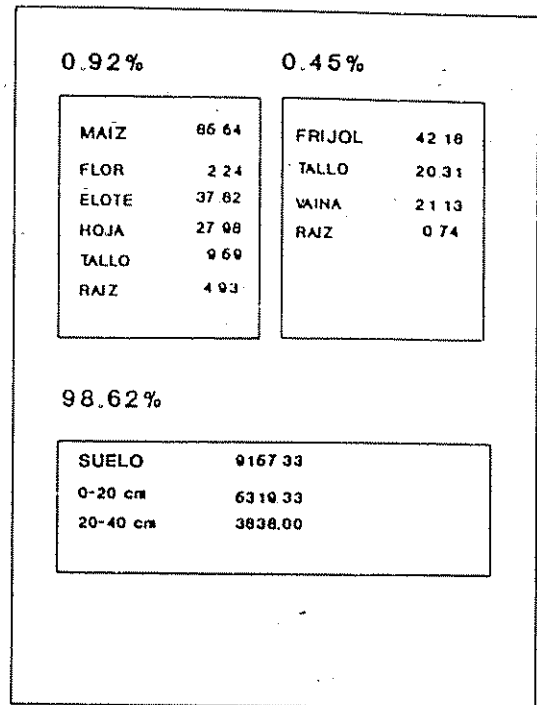
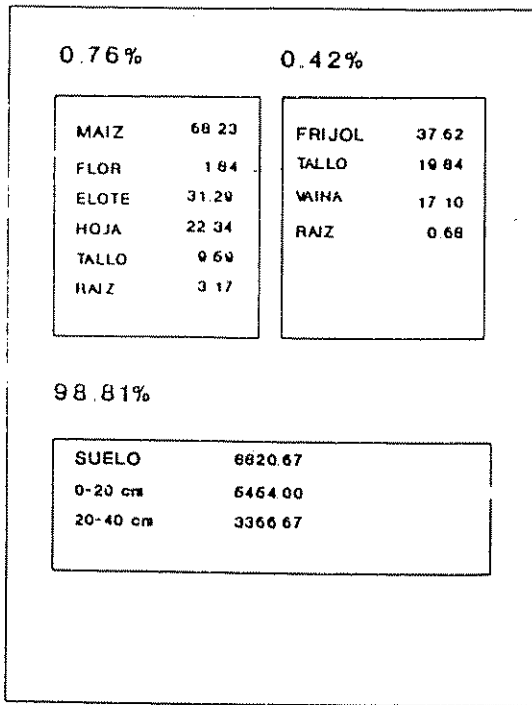


Figura 2]B. Reserva y transferencia de nitrógeno en el experimento de la Montaña.

MAIZ	9177	FRIJOL	6432
FLOR	236	TALLO	2646
ELOTE	3631	VAINA	2696
HOJA	3017	RAIZ	091
TALLO	1664		
RAIZ	630		
SUELO	916733		
0-20 cm	662133		
20-40 cm	363600		

## MP +N

MAIZ	12144	FRIJOL	6132
FLOR	278	TALLO	3162
ELOTE	4646	VAINA	2087
HOJA	4241	RAIZ	093
TALLO	2437		
RAIZ	643		
SUELO	966134		
0-20 cm	638667		
20-40 cm	417467		

Figura 21C. Reserva y transferencia de nitrógeno en el experimento de la Montaña.

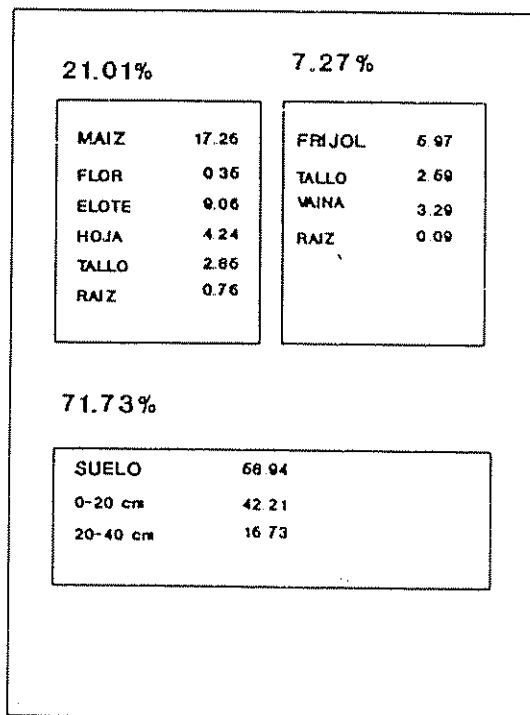
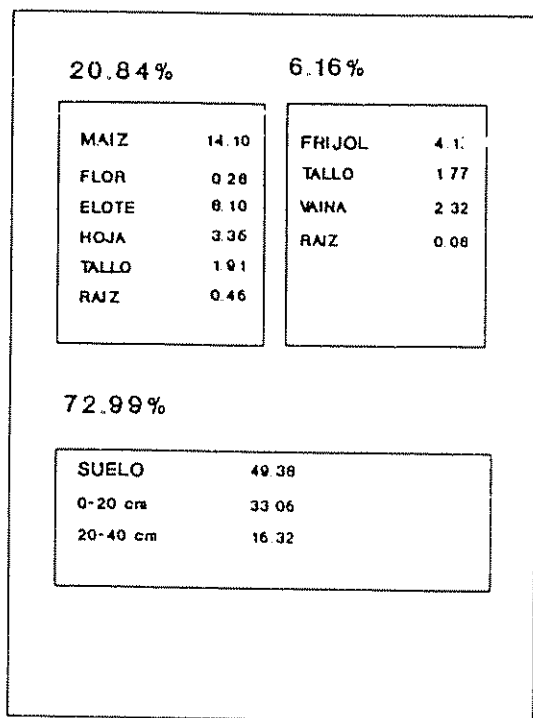
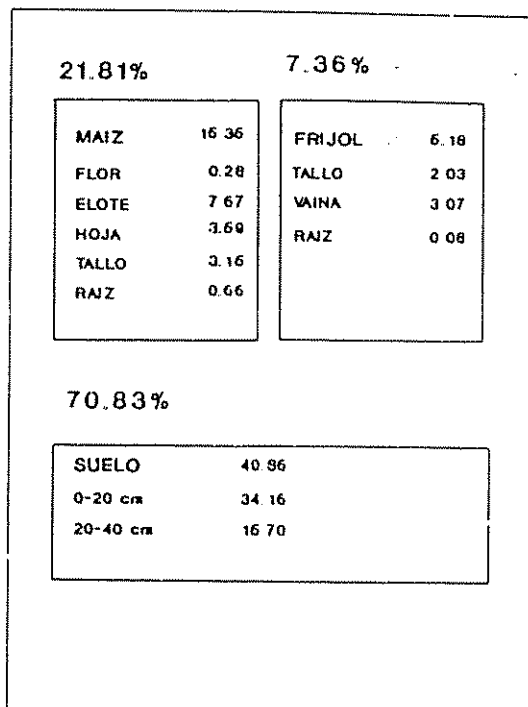
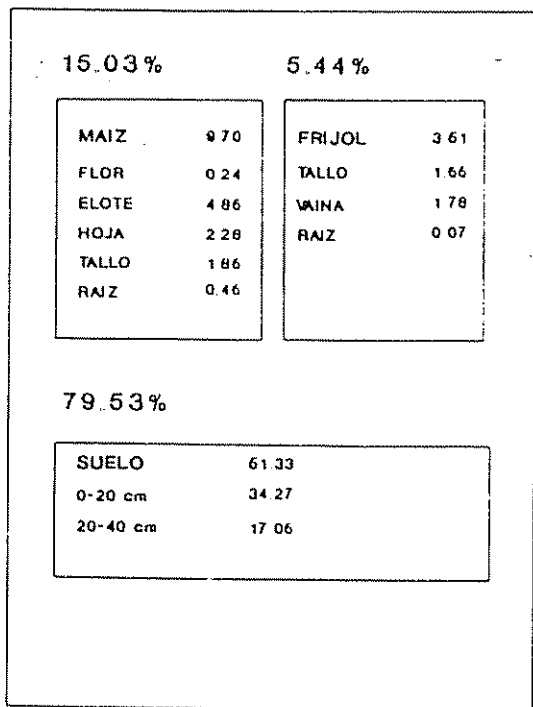
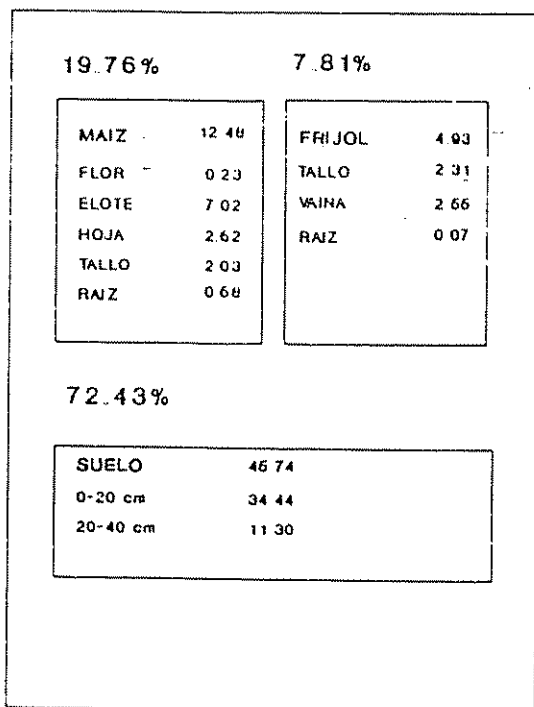


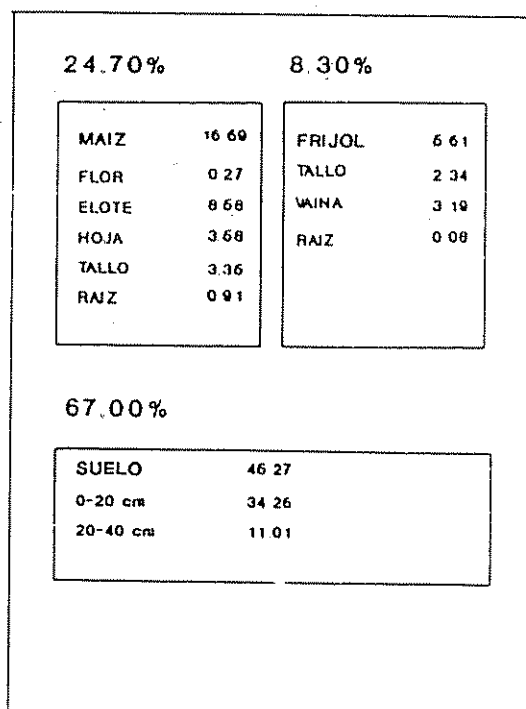
Figura 22 A Reserva y transferencia de fósforo en el experimento de la Montaña.



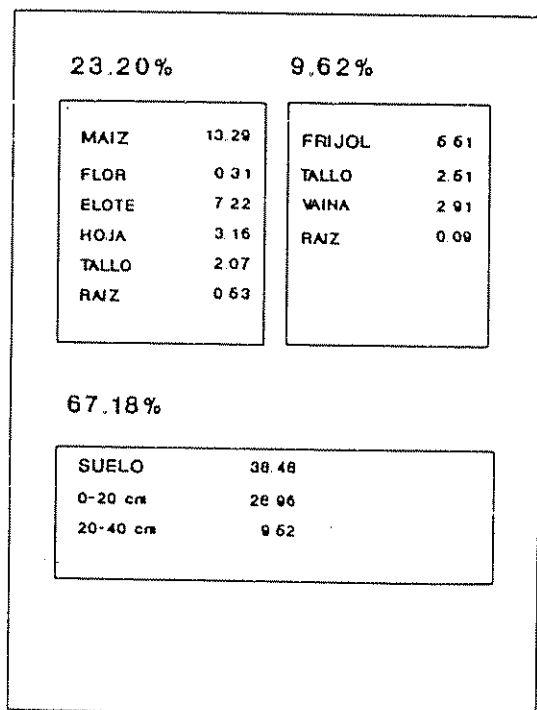
## MGL -N



## MGM -N



## MGL +N



## MGM +N

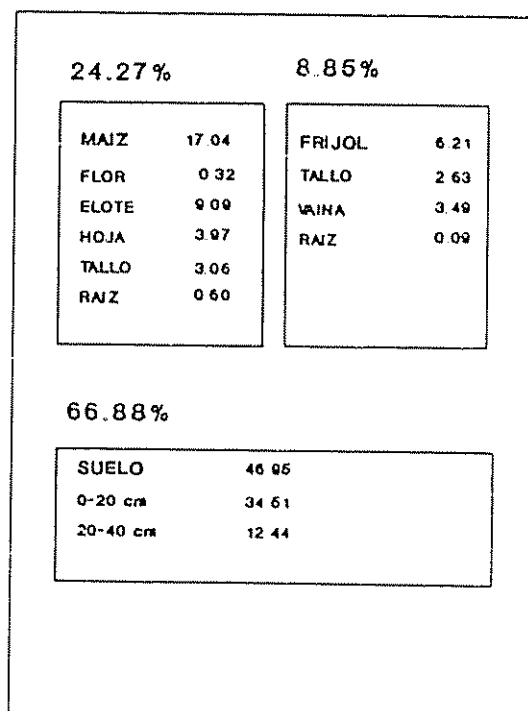


Figura 22B. Reserva y transferencia de fósforo en el experimento de la Montaña.

MAIZ	17.64	FRIJOL	6.93
FLOR	0.30	TALLO	2.97
ELOTE	9.03	VAINA	3.86
HOJA	3.90	RAIZ	0.10
TALLO	3.47		
RAIZ	0.84		
SUELO	50.26		
0-20 cm	35.86		
20-40 cm	14.40		

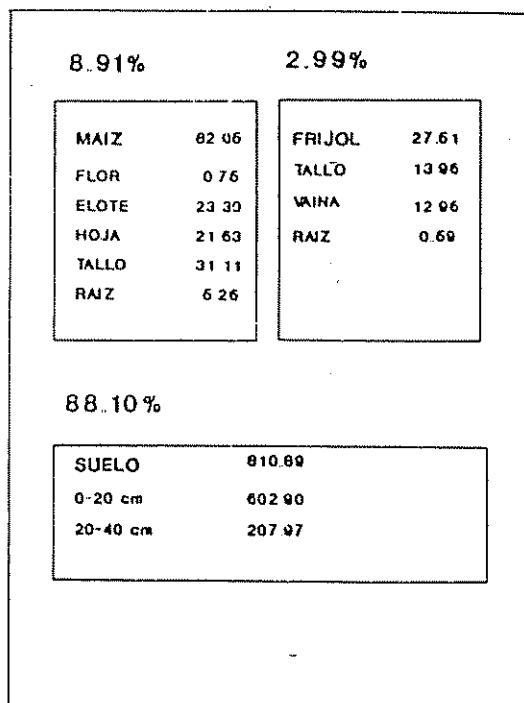
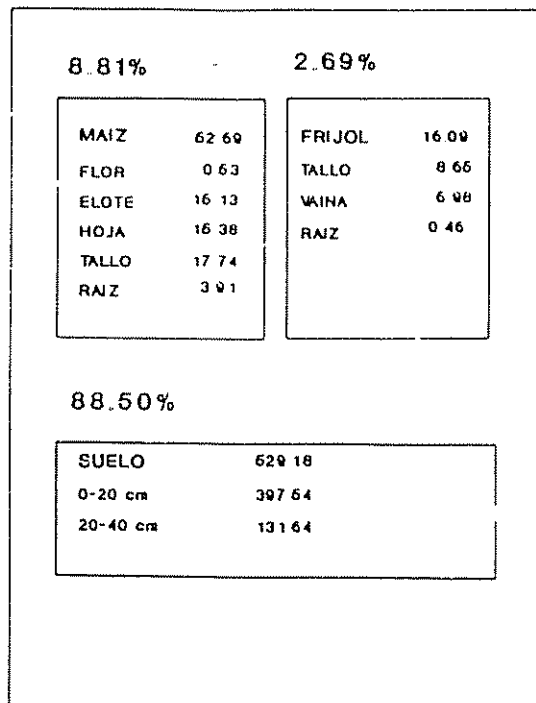
## MP +N

MAIZ	10.78	FRIJOL	7.36
FLOR	0.33	TALLO	3.30
ELOTE	10.44	VAINA	3.90
HOJA	4.72	RAIZ	0.10
TALLO	3.67		
RAIZ	0.72		
SUELO	44.66		
0-20 cm	29.19		
20-40 cm	15.47		

Figura 22C Reserva y transferencia de fósforo en el experimento de la Montaña.

C - N

M - N



C + N

M + N

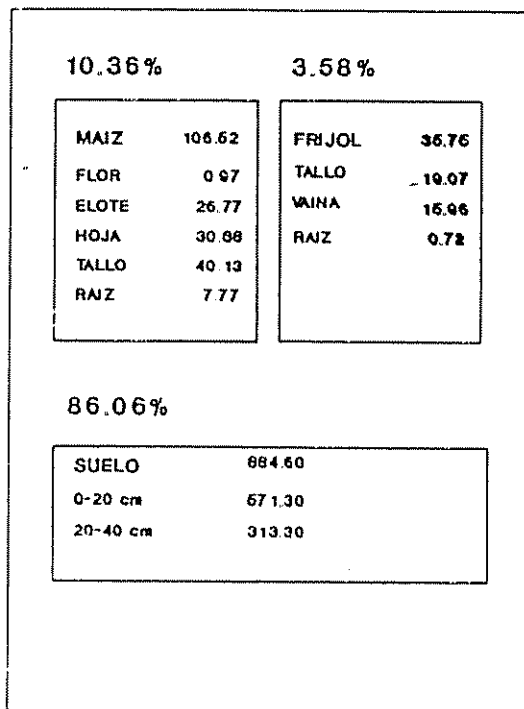
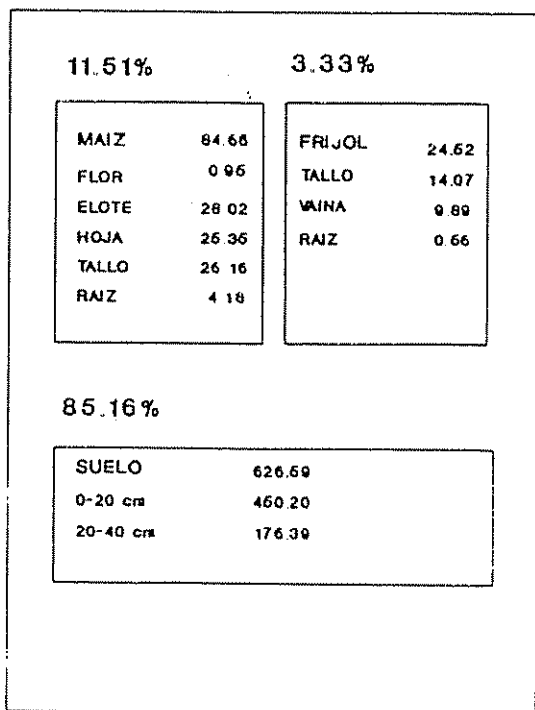
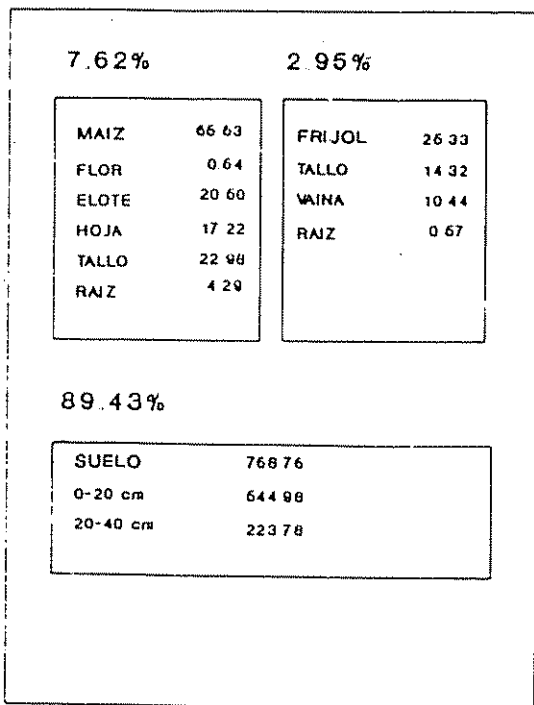
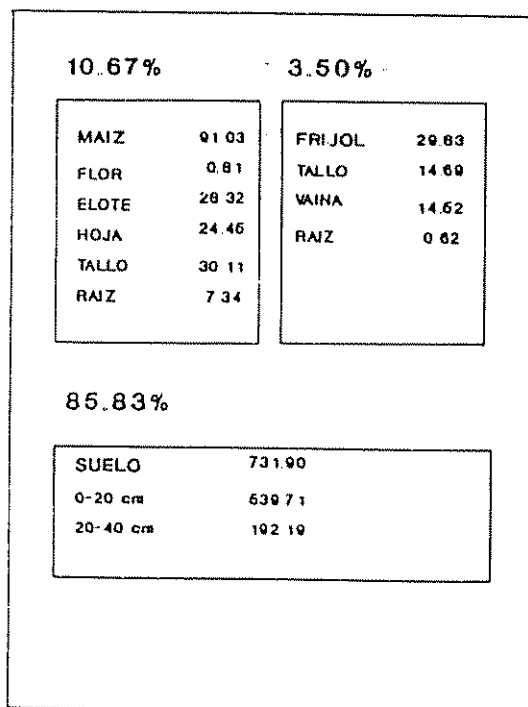


Figura 23A. Reserva y transferencia de potasio en el experimento de la Montaña.

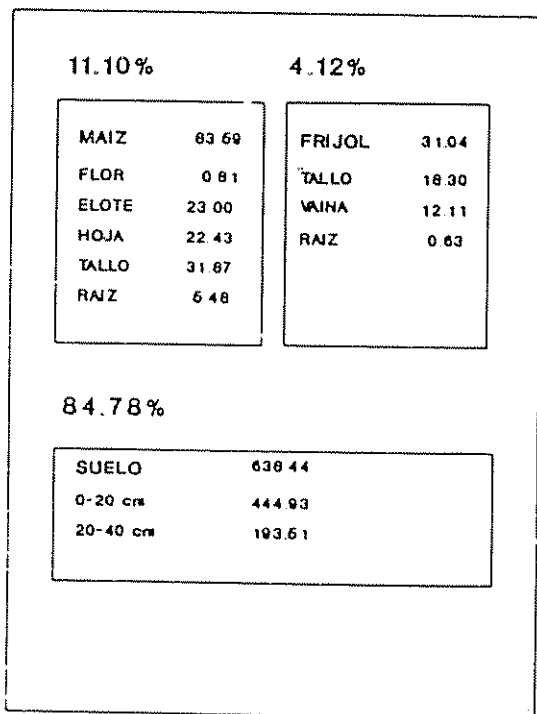
MGL -N



MGM -N



MGL +N



MGM +N

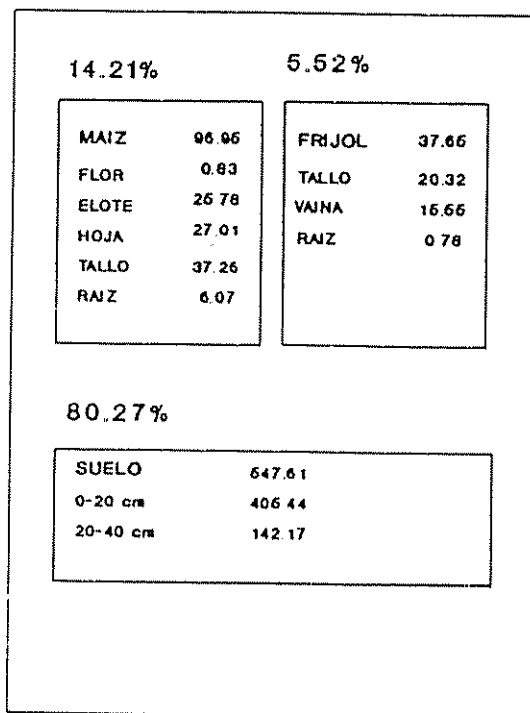


Figura 23B. Reserva y transferencia de potasio en el experimento de la Montaña.

## MP -N

MAIZ	106 96	FRIJOL	44 16
FLOR	0 70	TALLO	24 41
ELOTE	26 90	VAINA	18 84
HOJA	26 11	RAIZ	0 91
TALLO	45 32		
RAIZ	8 92		
SUELO	1024 13		
0-20 cm	676 61		
20-40 cm	347 62		

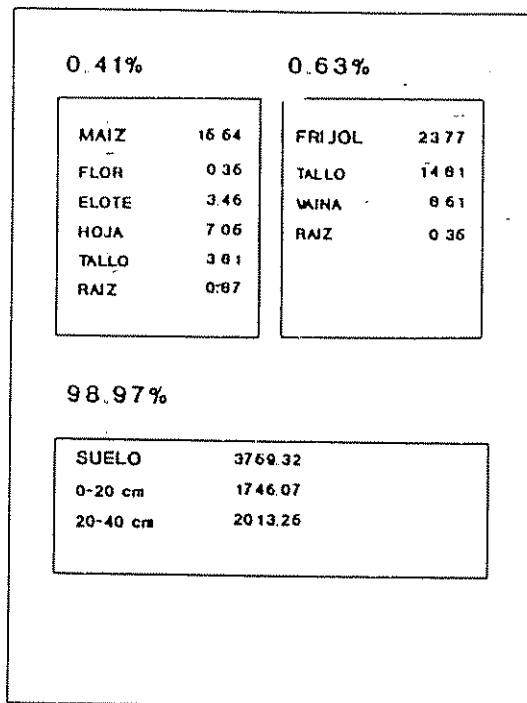
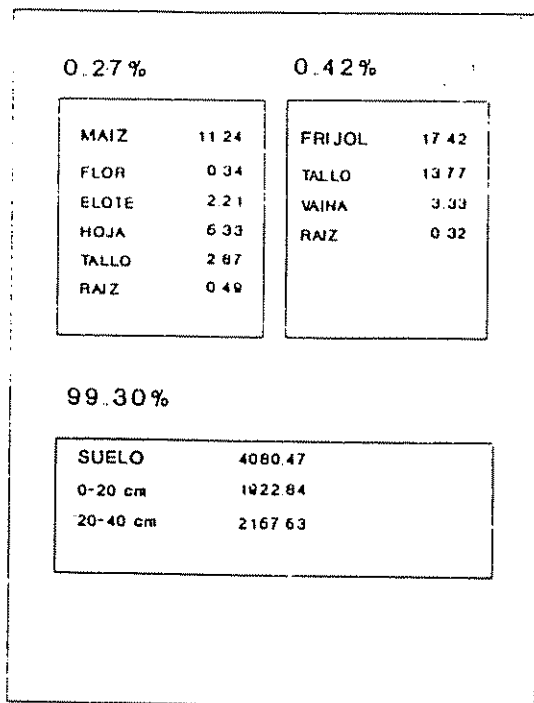
## MP +N

MAIZ	125 63	FRIJOL	60 63
FLOR	0 97	TALLO	30 38
ELOTE	20 46	VAINA	18 94
HOJA	34 20	RAIZ	0 76
TALLO	61 30		
RAIZ	8 71		
SUELO	879 34		
0-20 cm	656 61		
20-40 cm	323 83		

Figura 23C. Reserva y transferencia de potasio en el experimento de la Montaña.

C - N

M - N



C + N

M + N

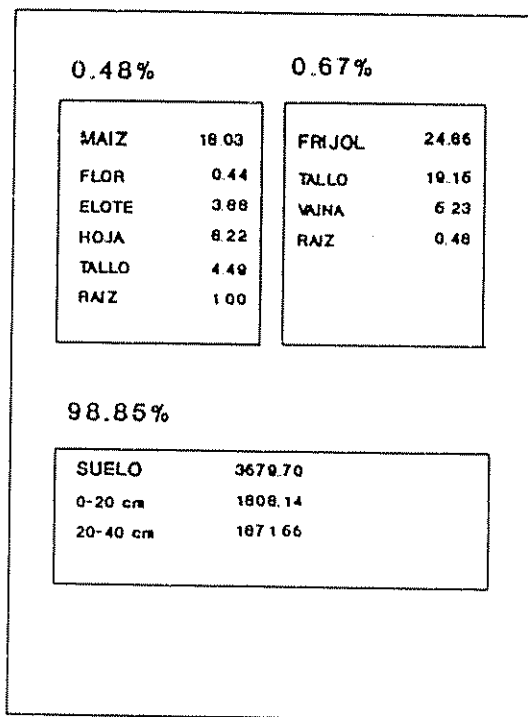
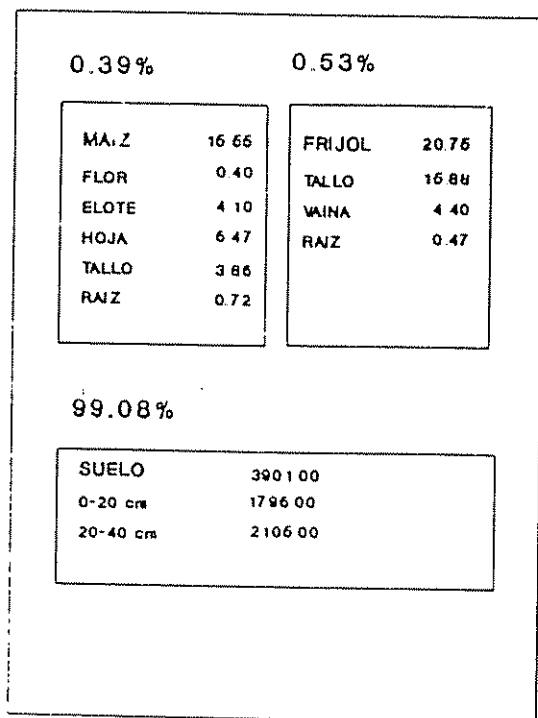
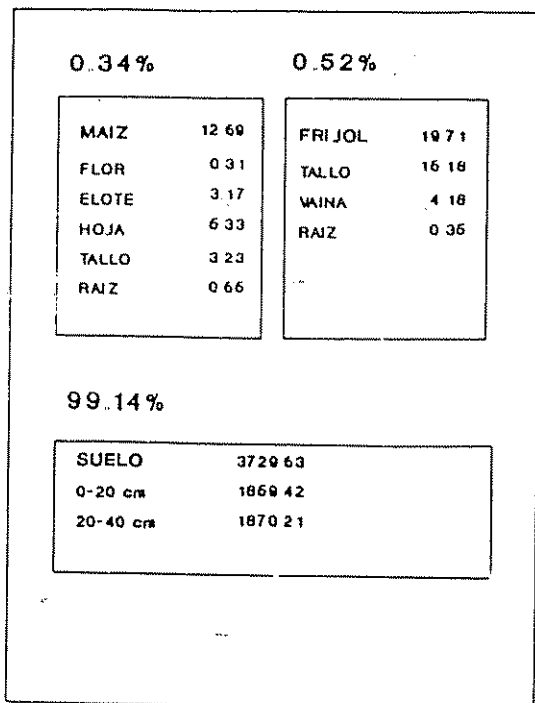
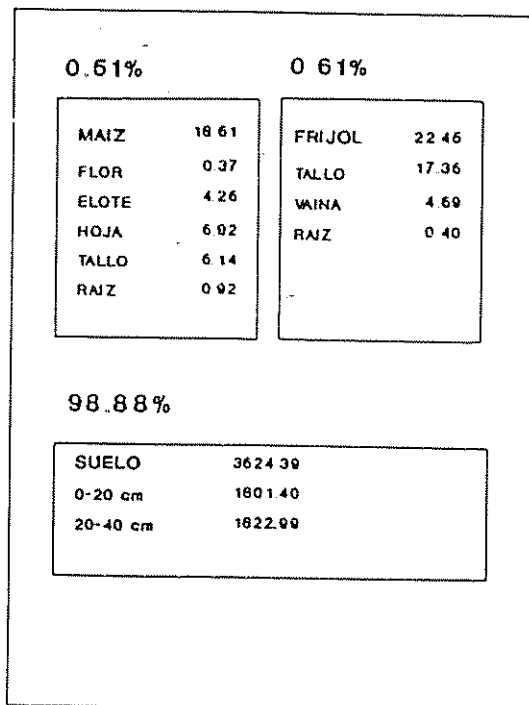


Figura 24A. Reserva y transferencia de calcio en el experimento de la Montaña.

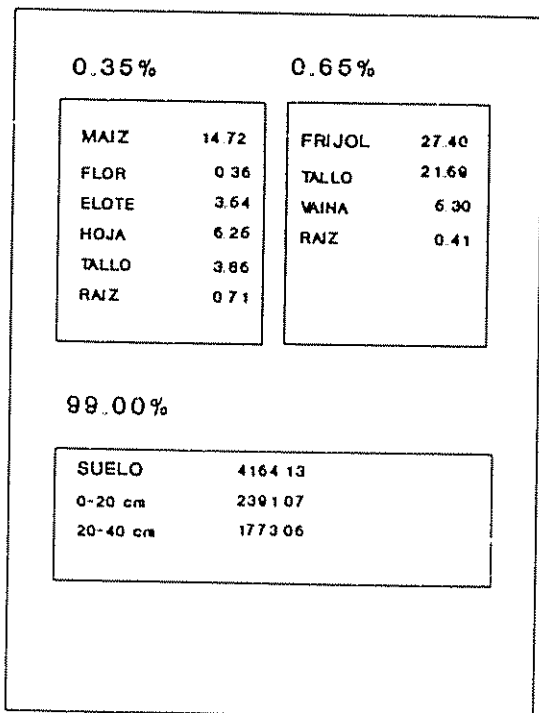
MGL -N



MGM -N



M +N



MGM +N

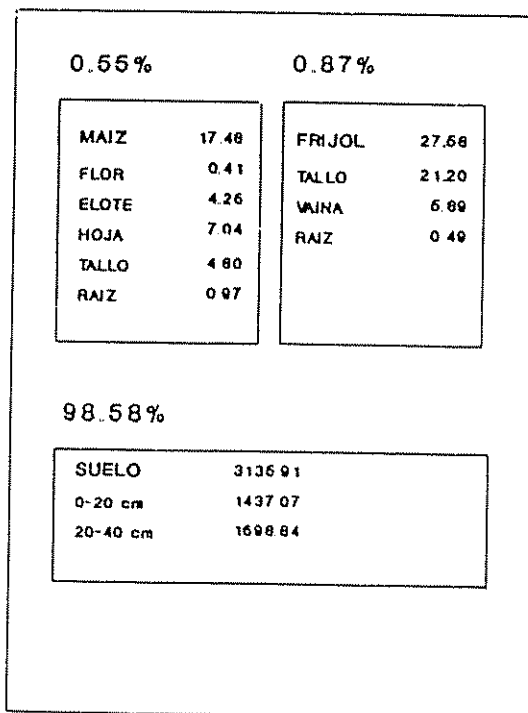


Figura 24B. Reserva y transferencia de calcio en el experimento de la Montaña.

MAIZ	20 23	FRIJOL	26 83
FLOR	0 38	TALLO	19 84
ELOTE	6 07	WINA	6 46
HOJA	8 76	RAIZ	0 63
TALLO	4 66		
RAIZ	1 37		
SUELO	4064 83		
0-20 cm	1983 66		
20-40 cm	2071 27		

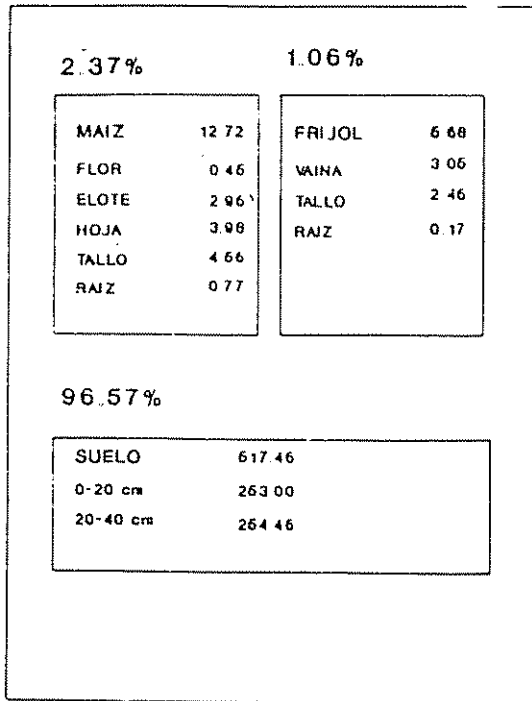
MP +N

MAIZ	2172	FRIJOL	32 16
FLOR	0 46	TALLO	26 83
ELOTE	6 67	WINA	6 87
HOJA	9 28	RAIZ	0 46
TALLO	6 33		
RAIZ	1 09		
SUELO	3916 84		
0-20 cm	1913 39		
20-40 cm	2002 46		

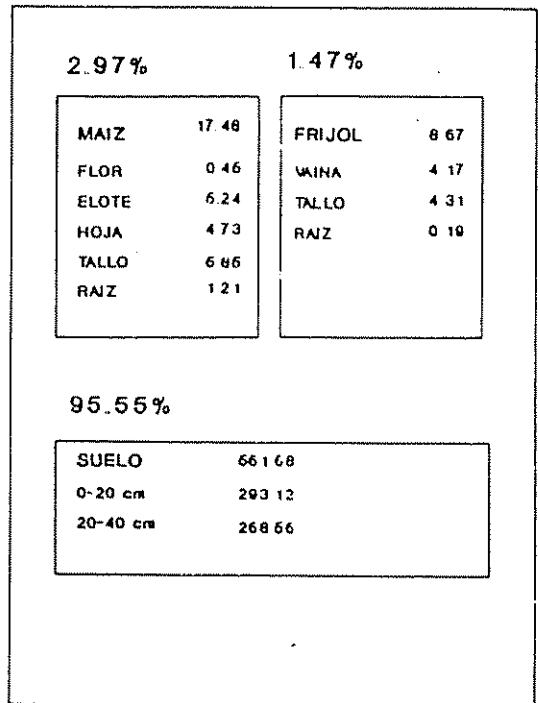
Figura 24C. Reserva y transferencia de calcio en el experimento de la Montaña.



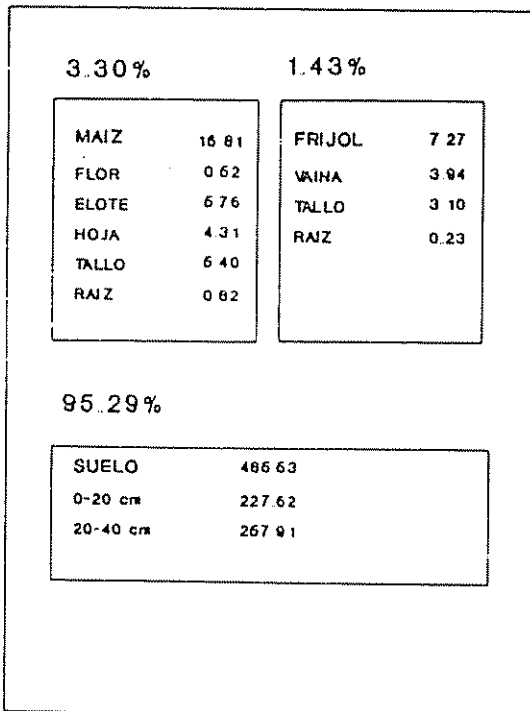
C - N



M - N



C + N



M + N

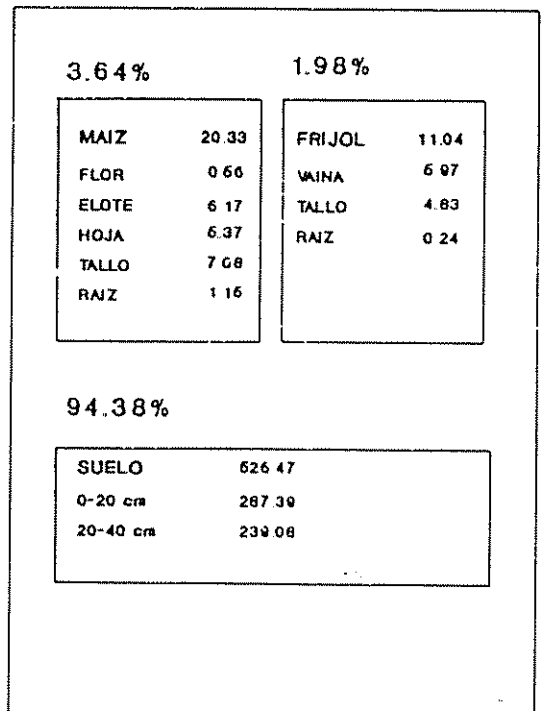


Figura 25A. Reserva y transferencia de magnesio en el experimento de la Montaña.

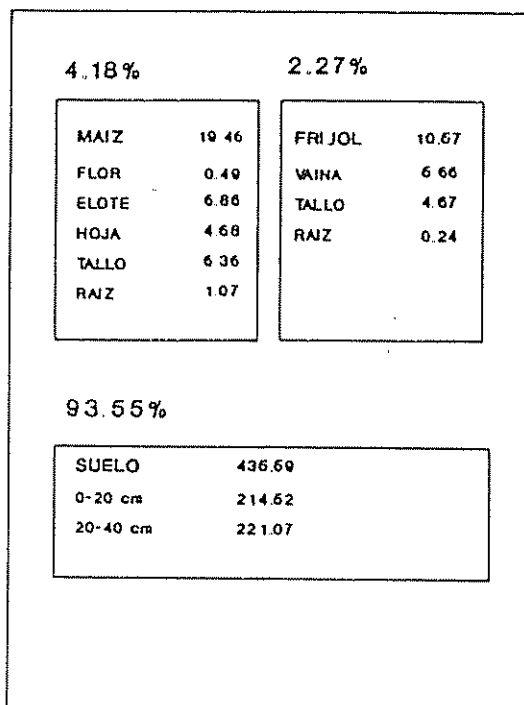
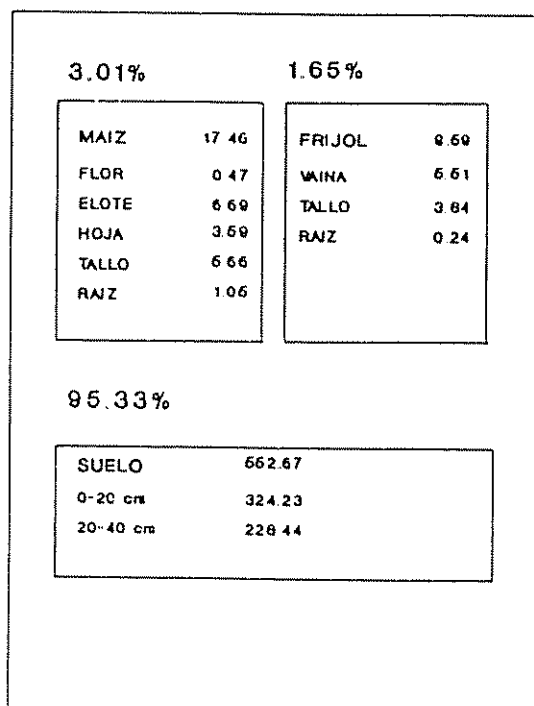
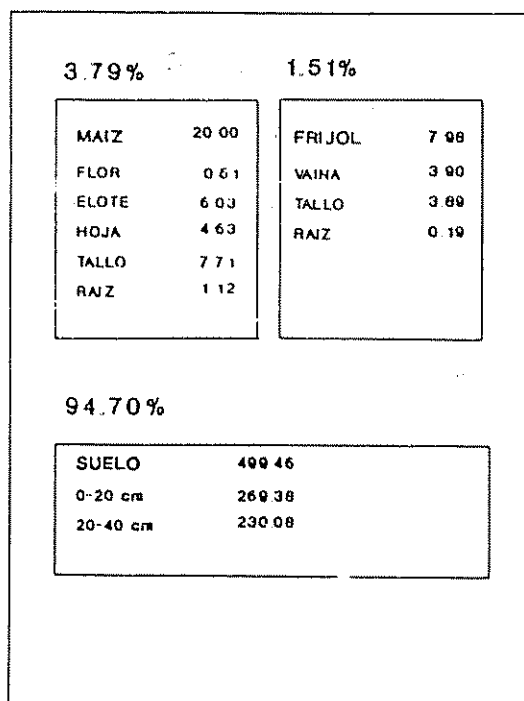
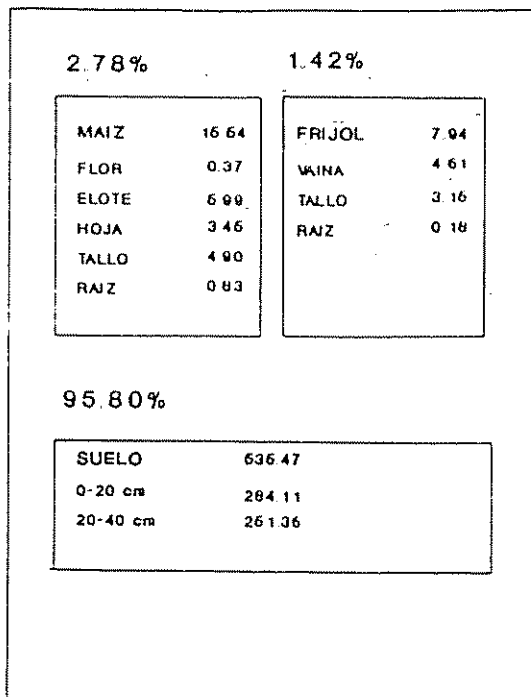


Figura 25B. Reserva y transferencia de magnesio en el experimento de la Montaña.

## MP -N

MAIZ	20.29	FRIJOL	10.20
FLOR	0.66	VAINA	4.62
ELOTE	6.30	TALLO	6.13
HOJA	6.20	RAIZ	0.26
TALLO	6.92		
RAIZ	1.31		
SUELO	562.60		
0-20 cm	289.03		
20-40 cm	273.47		

## MP +N

MAIZ	21.88	FRIJOL	11.41
FLOR	0.69	VAINA	6.80
ELOTE	6.73	TALLO	6.39
HOJA	6.43	RAIZ	0.22
TALLO	6.83		
RAIZ	1.30		
SUELO	516.65		
0-20 cm	262.01		
20-40 cm	254.64		

Figura 25C. Reserva y transferencia de magnesio en el experimento de la Montaña.