

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

EFFECTO DEL PORO Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F.Cook. PLANTADO A CUATRO ESPACIAMIENTOS, SOBRE LA PRODUCCION DE MAIZ Zea mays L., EN UN SISTEMA DE CULTIVO EN FRANJAS (alley cropping).

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa conjunto de Estudios de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

Por

SERGIO ALAVEZ LOPEZ

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
Departamento de Recursos Naturales Renovables
Turrialba, Costa Rica
1987

DEDICATORIA

Al profesor Gerardo Budowski,
de quien recibí el mayor estímulo
en la realización de la maestría

A mi pequeña Rocío,
quien con su bella sonrisa
iluminó mi existencia

A mi esposa Fanny,
quien sufrió a mi lado el
amargo y largo camino

A mis padres,
quienes oraron en silencio
por el hijo lejano

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a las siguientes instituciones y personas:

Al International Development Research Center (IDRC) de Canadá, por su apoyo financiero al inicio y final de la maestría, así como de todos los gastos de tesis.

Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México, por haberme financiado los estudios y por todo el apoyo logístico en la maestría.

Al Colegio de Postgraduados de Chapingo México, en especial al Dr. Eduardo Casas (ex-Director) y al Comité Académico Forestal, en especial al Dr. Mario González, Dr. Abel Muñoz, Dr. Michael Keeyes y Dr. Jaime Matus, por otorgarme el permiso laboral para completar la maestría.

Al CATIE, por haberme acogido en su Programa de Maestría y a todos mis profesores, especialmente: al Dr. Gerardo Budowski, Dr. Daniel Marmillod, Dr. Jochen Heuveldop, Dr. Rolain Borel, Dr. Ronnie de Camino, M.S. Eduardo Somarriba, M.S. John Beer y al M.S. Carlos Reiche.

Al Comité Asesor, por la orientación en el desarrollo de la tesis: especialmente al M.S. Eduardo Somarriba, Dr. Germán Sánchez, y Dr. Donald Kass, por sus aportes a la tesis. Al Dr. Francisco Di Stéfano, Director del Programa de Postgrado UCR/CATIE. De igual forma al Dr. José Luis Parisi, Jefe del Depto. de Estudios de Postgrado y Capacitación por su apoyo en los gastos de cómputo de la tesis y al Dr. Pedro Ferreira por su asesoría en el procesamiento de datos, así como a Gustavo López, por su valiosa ayuda en la realización de los programas SAS.

Al Dr. Ricardo Russo, Dr. Hans Fassbender y al Dr. Stephen Gliessman, por sus sugerencias en el diseño experimental y tipo de muestreos a realizar respectivamente, sobre todo en la fase inicial del experimento. De igual manera a la B.F. Elia Mora y al P.A. Arnoldo Barrantes, así como al M.S. Roberto Díaz Romeu, por su asesoramiento, observaciones y sugerencias en el trabajo de campo y laboratorio, respectivamente.

Asimismo, a Walter Bermúdez, Gustavo Ortiz, Carlos Fernández y Luis Gerardo Cedeño, en el delicado trabajo de laboratorio para la determinación de nitrógeno orgánico y otros elementos en muestras foliares y de suelos, porque dieron su mejor esfuerzo.

A la gente del Proyecto Erythrina, por su decidido apoyo en el trabajo de microcomputación y de campo del experimento: M^{ma} Julia Ortega, Rita Elena Abarca, Edgar Viquez, Gregorio Fuentes y Alvaro, así como a los trabajadores de campo: Walter Vargas, Gerardo Arias y Adolfo Solano. Todos ellos gente trabajadora y eficiente.

Hablando de eficiencia, quiero dar en forma muy especial mi más sincera gratitud a Rita Elena Abarca, por la paciente mecanografía de la tesis y el excelente trabajo en el programa Microsoft Wordprocesor, de quién mucho aprendí; así como a Lissette Vega y Hannia Fernández, por su ayuda mecanográfica desinteresada no solo en la tesis.

A las secretarias de la oficina del Programa de Postgrado UCR/CATIE, en especial a Lorena Jiménez y Yanneth Solano, apoyo sin el cual no hubiesen sido posibles innumerables trámites académicos, de presentación de la tesis y examen de grado. También a las secretarias del Departamento de Recursos Naturales Renovables (DRNR), por su gentileza y apoyo, en especial a la Sra. Celia Rojas, ex-secretaria de la jefatura del DRNR. Así como al Sr. Agustín López, ex-Administrativo del DRNR y a Claudia Monge, Xinia Robles e Isabel Machado de INFORAT, por su gentileza y siempre buena voluntad.

A todo el personal de la Biblioteca Orton, especialmente a las señoras: Nidia García, Laura Coto, Lisseth Brenes, Martha Abarca, Flora López y a los jóvenes Rigoberto Aguilar, Gerardo Brenes y a Fabio Calderón. Pero también mi agradecimiento al PRMC/DRNR, en las personas de Edgar Flores y Adrián Brenes por su gran apoyo y amabilidad, sobre todo en la impresión de la tesis. Así como a Xinia Vega y Mauricio Argueta, por su fino trabajo de dibujo, respectivamente.

A los compañeros de promoción, Lincoln Quevedo, Herbert Ortega, Allan González, Nelson Agudelo, Luciano Cárdenas y Carlos Nieto; así como también a Noël Payne, Julio Fraile y su esposa Mayra, quienes hicieron más grata mi estadía.

En general a Costa Rica, por su gente sencilla y buena, hospitalaria y de trato amable que me fue brindado. Sobre todo en la persona y familia del Lic. Germán Porras, así como en la de mi buen amigo Freddy Rojas y amistades de Grecia, Costa Rica.

BIOGRAFIA

El autor es hijo de don Sergio Alavez Alarcón y doña Yolanda Amalia López Cruz, nacido en Orizaba-Veracruz México, el 13 de agosto de 1955.

Realizó sus estudios de bachillerato en el seminario franciscano "Fray García de Cisneros", de Puebla. Inició sus estudios universitarios en el Colegio Superior de Agricultura Tropical (ex-CSAT), en Tabasco y los finalizó en el Departamento de Bosques de la Universidad Autónoma Chapingo en México, donde obtuvo el grado de Ingeniero Agrónomo Especialista en Bosques, en el año de 1980.

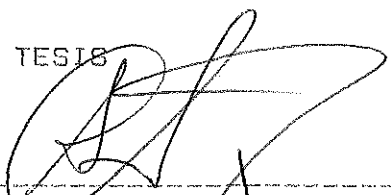
Desde este año trabajó como coordinador del Programa de Investigación y Enseñanza en Dasonomía Tropical del ex-CSAT en Tabasco hasta 1983. En este mismo año ingresó al programa forestal del Colegio de Postgraduados de Chapingo México, como asistente de investigación del Dr. Musálem en silvicultura, donde laboró hasta ser propuesto a la maestría inmediatamente al año siguiente.

Ingresó al programa conjunto de estudios de postgrado de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (UCR/CATIE), en marzo de 1984. Obtuvo el título de Magister Scientiae en el Depto. de Recursos Naturales Renovables del CATIE, con énfasis en Agrosilvicultura en enero de 1987.

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa Conjunto de Estudios de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito parcial para optar al grado de:


MAGISTER SCIENTIAE

COMITE DE TESIS




German A. Sánchez, Ph.D.

Profesor Consejero



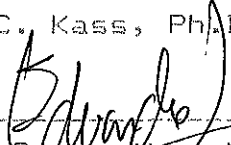
Gerardo Budowski, Ph.D.

Miembro del Comité



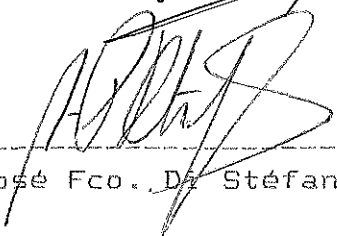
Donald C. Kass, Ph.D.

Miembro del Comité



Eduardo Sanabria, Mag.Sc.

Miembro del Comité




José Fco. Di Stefano, Ph.D.

Director del Programa de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales UCR/CATIE.



Luis Estrada Navas, Ph.D.

Decano del Sistema de Estudios de Postgrado de la Universidad de Costa Rica.



Sergio Alavez López

Candidato

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	ix
SUMMARY.....	xi
LISTA DE CUADROS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
LISTA DE APENDICES.....	xv

I. INTRODUCCION

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. El nitrógeno en los suelos.....	3
2.2. Leguminosas arbóreas y su aporte de materia orgánica y nitrógeno.....	4
2.2.1. Efecto de la cobertura verde (mulch) en el suelo.....	5
2.2.2. El poró <i>Erythrina poeppigiana</i>	7
2.2.2.1. Descripción botánica, dis- tribución geográfica y usos.....	7
2.2.2.2. Fijación de nitrógeno.....	8
2.2.2.3. Técnicas de manejo del poró (podas).....	8
2.3. Cultivo en franjas (alley cropping).....	9

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Características del sitio de estudio.....	13
3.2. Tratamientos experimentales.....	14
3.3. Cronograma e instalación	19

IV. RESULTADOS

4.1. Producción de biomasa.....	21
4.1.1. Biomasa de poró.....	21
4.1.2. Biomasa de maíz.....	21
4.2. Producción de nitrógeno.....	25
4.2.1. Nitrógeno del poró.....	25
4.2.2. Nitrógeno del maíz.....	29
4.3. Evaluación del poró en el sistema.....	30
4.3.1. Contrastes para biomasa y nitrógeno.....	30
4.3.2. Balance del nitrógeno en el sistema.....	32
4.3.3. Análisis de regresión para nitrógeno total.....	33
4.3.4. Correlaciones entre poró y maíz.....	34

4.4. Análisis químico de la biomasa.....	36
4.4.1. Poró: Contenido de N, P, K, Ca y Mg en la biomasa (2 ^{da} poda).....	36
4.5. Análisis químico del suelo.....	36

V. DISCUSION

5.1. Poró.....	39
5.1.1. Biomasa.....	39
5.1.2. Nitrógeno.....	40
5.2. Maíz.....	42
5.2.1. Biomasa.....	42
5.2.2. Nitrógeno.....	43
5.3. Efecto del poró en el sistema.....	44
5.3.1. Contrastes para biomasa y nitrógeno de maíz.....	44
5.3.2. Balance del nitrógeno en el sistema.....	44
5.3.3. Equilibrios (balances) entre el aporte y la extracción del nitrógeno total del sistema.....	45
5.3.4. Correlaciones entre poró y maíz.....	46
5.4. Balance químico de la biomasa del sistema.....	46
5.4.1. Poró.....	46
5.4.2. Maíz.....	47
5.4.3. Balance.....	48
5.5. Comportamiento químico del suelo.....	48
5.5.1. Análisis de varianza.....	48
5.5.2. Contrastes.....	49
5.5.3. Características, nutrimentos y fertilidad.....	49
5.5.4. El efecto en el suelo.....	50

VI. CONCLUSIONES	51
-------------------------	----

VII. RECOMENDACIONES	53
-----------------------------	----

VIII. BIBLIOGRAFIA	55
---------------------------	----

IX. APENDICES	67
----------------------	----

ALAVEZ LOPEZ, S. 1986. Efecto del poró Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook., plantado a cuatro espaciamentos, sobre la producción de maíz Zea mays L. en un sistema de cultivo en franjas (alley cropping). Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 87 p.

Palabras clave: Inceptisols, Erythrina, cultivo en franjas, nitrógeno, podas, sistemas agroforestales.

RESUMEN

Se evaluó la influencia del árbol de poró Erythrina poeppigiana plantado a cuatro espaciamentos, sobre la producción de maíz Zea mays, en un sistema de cultivo en franjas (alley cropping), entre junio de 1984 y junio de 1986.

El experimento fue realizado en un suelo typic humitropepts. Se utilizaron franjas de seis metros de ancho, formadas con árboles de poró plantados por estacas grandes y sembradas con maíz (Tuxpeño C-7) en 10 surcos por franja, a una densidad de 40.000 plantas/ha. Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas (cultivos) y tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en cuatro densidades de plantación del poró (6x1 m, 6x2 m, 6x3 m, 6x4 m) con un control sin árboles.

En dos ciclos completos (poda/cultivo) del sistema, se evaluó la biomasa del poró y su contenido de N, P, K, Ca y Mg en hojas y ramas, así como en grano y planta de maíz. Al suelo se le hicieron tres análisis para materia orgánica, acidez extraíble, pH, N, P, K, Ca y Mg.

La mayor producción de biomasa de poró y su contenido de nitrógeno (podas), se registró en la densidad 6x1, la cual fue significativamente mayor ($P \leq 0,05$) a los otros tratamientos, los cuales no fueron entre sí, diferentes. La materia orgánica del poró, aportada al suelo a través de dos podas por año, en el tratamiento 6x1, es de 6.69 ton/ha la cual contiene un 3% de nitrógeno orgánico, del cual, el 73% proviene de las hojas.

Los tratamientos con mayor rendimiento en grano de maíz y nitrógeno de grano fueron: el control, 6x4 y 6x3, los cuales fueron estadísticamente superiores al 6x2 y 6x1 ($P \leq 0,05$). Estos rendimientos fueron del orden de: 7,43, 6,18, 6,08, 4,22 y 4,19 ton/ha/año de grano de maíz (15% humedad). Este grano contiene el 40% del N total, acumulado anualmente por el maíz.

Para el balance de nitrógeno en el sistema, el efecto del poró en los distintos tratamientos fue positivo; en el año analizado aportó, 200 kg N/ha en la densidad 6x1. En el mismo tratamiento, el grano de maíz extrajo 63 kg N/ha, generando un excedente de 137 kg/año de nitrógeno orgánico.

En el suelo se observó un incremento en la acidez extraíble y una reducción en el pH, y además la relación carbono/nitrógeno se redujo con el tiempo.

ALAVEZ LOPEZ, S. 1986. Effect of poró Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook., planted at four spacings on the production maize Zea mays, in an alley cropping system. Mag. Sc. Thesis. Turrialba, C.R., Universidad de Costa Rica/CATIE, program. 87 p.

Key words: Inceptisols, Erythrina, alley cropping, nitrogen, pollarding, agroforestry systems.

SUMMARY

The influence of the poró tree, Erythrina poeppigiana, planted at four spacings, on the production of corn, Zea mays, was evaluated in an alley cropping system between June 1984 and June 1986.

The experiment was carried out in an typic humitropepts soil. The poró trees were planted vegetatively by large stakes, six meters apart. Between the trees in lines of ten, corn (Tuxpeño C-7) was sown at a density of 40.000 plants/ha. The experiment was designed in randomized blocks arranged in three split plots (crops) with three repetitions. The treatments were the four planting densities of poró (6x1 m, 6x2 m, 6x3 m, 6x4 m) and one control without trees.

Two entire cycles (pollarding/corn harvest) of this system were evaluated in biomass production, content of N, P, K, Ca and Mg in the leaves and branches of poró and N, P, K, Ca and Mg content of the grain and the other corn plant parts. Three soil analysis were done for organic matter, extractable acidity, pH, N, P, K, Ca and Mg.

The greatest biomass production and the highest nitrogen content of the poró was found in the 6x1 m planting density which was significantly different ($P \leq 0.05$) from the other treatments, which were not statistically different among themselves. The annual amount of organic matter recycled to the soil through two pollardings was 6.69 ton/ha dry weight, with the 6x1 m treatment, with an organic N content of 3%, of which 73% came from the leaves.

The treatments with the highest grain and grain nitrogen production were the control, the 6x4 m and the 6x3 m plots, all of them were statistically different ($P \leq 0.05$) from the 6x2 m and the 6x1 m plots. The yields were 7.43, 6.18, 6.08, 4.22 and 4.19 ton/ha/yr (15% moisture content) of grain, respectively. Up to 40% of the total corn nitrogen was found in the grain.

As for the nitrogen balance in this cropping system, the effect of poró in the different treatments was considered positive. The measurements over one experimental year showed that the poró apported 200 kg N/ha to the system in the 6x1 m treatment. In the same treatment, the grain extracted 63 kg of N/ha from the system so that there was an excess 137 kg/year of organic nitrogen supplied by the poró to the system.

As to changes in the soil, there was a increment in extractable acidity and a corresponding lowering of the soil pH as well as a gradual decrease of the carbon/nitrogen ratio over time.

LISTA DE CUADROS

En el texto	Título	Página
1.	Valores comparativos de la producción de hojas en diferentes sistemas agroforestales (podas y hojarasca natural).....	6
2.	Sistemas de cultivo en franjas (alley cropping) con <u>Leucaena</u> /maíz y otros cultivos agrícolas.....	11
3.	Ajuste para biomasa seca de poró y maíz por hectárea y superficie utilizada en cada tratamiento del cultivo en franjas.....	15
4.	Desarrollo cronológico del cultivo en franjas de <u>E. poeppigiana</u> /maíz y sus componentes de estudio.....	20
5.	Producción de biomasa de poró (podas) <u>E. poeppigiana</u> y maíz en el sistema de cultivo en franjas	22
6.	Producción de nitrógeno de poró (podas) <u>E. poeppigiana</u> y maíz en el sistema de cultivo en franjas	26
7.	Contrastes para biomasa y nitrógeno de maíz por ciclo	31
8.	Balance de nitrógeno en el sistema de cultivo en franjas	33
9.	Balance químico de la biomasa del sistema de cultivo en franjas para el ciclo 2	37
10.	Comportamiento químico del suelo y análisis de varianza (incluido control no-fertilizado)....	38

LISTA DE FIGURAS

En el texto	Título	Página
1.	Producción de biomasa de podas del poró (hojas +tramas) en el cultivo en franjas	23
2.	Rendimiento en grano de maíz por ciclo y anual en el cultivo en franjas	24
3.	Nitrógeno de la biomasa de la 1 ^{er} poda del poró y la biomasa del maíz en el ciclo 1 de cultivo...	27
4.	Nitrógeno de la biomasa de la 2 ^a poda del poró y la biomasa del maíz en el ciclo 2 de cultivo...	28
5.	Comportamiento del nitrógeno orgánico por ciclo en el sistema	35

LISTA DE APENDICES

CUADROS	Titulo	Página
1A.	Modelo estadístico utilizado en el análisis de varianza.....	68
2A.	Resultados del análisis de varianza para producción de biomasa en el sistema de cultivo en franjas.....	69
3A.	Resultados del análisis de varianza para producción de nitrógeno en el sistema de cultivo en franjas.....	70
4A.	Producción de biomasa y nitrógeno de maíz en el 1 ^{er} cultivo de maíz, ciclo 0 del cultivo en franjas.....	71
5A.	Producción de biomasa y nitrógeno de poró en la 3 ^{er} poda, ciclo 3 del cultivo en franjas.....	72
6A.	Correlaciones entre biomasa y nitrógeno de poró y maíz en los ciclos 1 y 2 del sistema de cultivo en franjas.....	73
7A.	Resultados del análisis químico de la biomasa del poró en la 2 ^{er} poda, ciclo 2 del cultivo en franjas.....	74
8A.	Resultados del análisis químico de la biomasa de grano de maíz del 3 ^{er} cultivo, Ciclo 2 del cultivo en franjas.....	75
9A.	Resultados de los análisis de suelos realizados a 15 cm de profundidad en el cultivo en franjas (incluido control no-fertilizado).....	76
10A.	Resultados promedio de cada análisis de suelos realizado en el cultivo en franjas (incluido control no-fertilizado).....	77

LISTA DE APENDICES

FIGURAS	TITULO	Página
1A.	Localización del experimento de tesis dentro del área experimental del CATIE y mapa de suelos. Tomado de la tesis de Aguirre (2).....	78
2A.	Localización del experimento de tesis, dentro del área experimental del CATIE (detalle).....	79
3A.	Esquema del cultivo en franjas (alley cropping) con y sin poda de poró <u>E. poeppigiana</u> /maíz.....	80
4A.	Diseño del experimento en campo del cultivo en franjas <u>E. poeppigiana</u> /maíz.....	81
5A.	Climadiagrama del CATIE, año 1984.....	82
6A.	Climadiagrama del CATIE, año 1985.....	83
7A.	Climadiagrama del CATIE, año 1986.....	84
8A.	Balance y recuperación del nitrógeno en el cultivo en franjas.....	85
9A.	Análisis químico de la biomasa del poró (hojas +ramas) de la 3 ^{er} poda del cultivo en franjas....	86
10A.	Comportamiento químico del suelo por análisis en el cultivo en franjas (incluido control no-fertilizado).....	87

I. INTRODUCCION

Las zonas tropicales son las regiones más productivas del mundo (69). En un bosque primario tropical, la mayoría de los nutrientes se encuentran en la biomasa aérea, mientras que el suelo tiene una concentración baja de elementos nutritivos (57). La producción bruta de biomasa del bosque pluvial en el trópico es de alrededor de 30 ton/ha, comparada con cerca de 10 ton/ha en las zonas templadas (57). Sin embargo, la cifra de producción de alimentos muestra un severo contraste con el alto potencial productivo del bosque. Se ha calculado que la producción de alimentos por hectárea cultivada en los trópicos, es la mitad de su verdadero potencial (17).

Los cultivos anuales con raíces superficiales y los pastos mal manejados, tienen limitaciones para la toma de nutrientes lixiviados (ej: nitrógeno), localizados en horizontes más profundos del suelo (69). La incorporación de leguminosas arbóreas fijadoras de nitrógeno, podría contribuir a la economía del nitrógeno (109) y reducir la dependencia de fertilizantes inorgánicos (20,75).

En el presente trabajo se evaluaron cuatro densidades de plantación del poró (Erythrina poeppigiana), leguminosa arbórea fijadora de nitrógeno asociada con maíz (Zea mays), y un control sin árboles; en un sistema de cultivo en franjas (alley cropping).

Los objetivos específicos fueron:

1) Determinar el aporte de materia orgánica y nitrógeno de la biomasa (mulch), de las podas del poró al sistema, utilizando cuatro espaciamientos de plantación del poró.

2) Analizar el balance del nitrógeno, investigando la respuesta del maíz asociado.

3) Comparar la producción de maíz con y sin árboles, para evaluar el efecto del poró en el sistema..

Para llevar a cabo estos objetivos se plantearon las siguientes hipótesis:

H₁: La materia orgánica y el nitrógeno aportado al suelo (mulch), proveniente de las podas de hojas y ramas del poró, pueden suplir los requerimientos de nitrógeno y fertilizante mineral del cultivo asociado.

H₂: Existen densidades de plantación del poró, que incrementan la producción de maíz y su nitrógeno contenido, en comparación al control sin árboles.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. El nitrógeno en los suelos

El nitrógeno es el elemento que con más frecuencia limita los rendimientos agrícolas y contribuye al déficit proteico tan extendido en los trópicos (100). Esto exige su importación a un alto costo económico a nivel de finca y del país (106).

La investigación agronómica del nitrógeno en los pasados 45-50 años, se ha enfocado principalmente hacia la fertilización mineral, tipos de fertilizantes, técnicas y niveles de aplicación. La idea central de estos estudios ha sido maximizar la disponibilidad del nitrógeno al cultivo y de este modo elevar los rendimientos.

Mientras el nitrógeno ha sido un factor crítico para incrementar las cosechas, las tendencias en el uso de altas tasas de fertilización, frecuentemente han dado como resultado, una reducción en la eficiencia de la utilización del nitrógeno por el cultivo (82). Por ejemplo, Adriano *et al.* (1) indican que, desde 1930, el fertilizante nitrogenado aplicado en el Sur de California, en cultivos agrícolas, incrementó tres veces los rendimientos, mientras que el nitrógeno removido por unidad de tierra, se incrementó en poco menos de cinco veces.

La rotación de cultivos, la labranza mínima, el uso de abonos verdes así como de desechos orgánicos y el manejo de leguminosas (incluyendo arbóreas), se han recomendado recientemente como alternativa para mantener o mejorar la fertilidad de los suelos (20). Sin embargo, estas técnicas agronómicas ya eran importantes en su utilización desde tiempos pasados, en sistemas agrícolas (43,67,81), pero su uso se vió reducido inicialmente por los bajos costos y la alta disponibilidad de fertilizantes inorgánicos.

Actualmente la situación ha cambiado y mientras la producción de fertilizantes nitrogenados (24,49,82), ha subido considerablemente, su fabricación requiere de grandes cantidades de energía a un alto costo económico. La inclusión de leguminosas arbóreas en sistemas agrícolas del trópico, puede ser una de las formas de proveer abono verde rico en nitrógeno orgánico barato y de fácil disponibilidad a los cultivos agrícolas (19,20).

2.2 Leguminosas arbóreas y su aporte de materia orgánica y nitrógeno.

Las leguminosas arbóreas tienen una serie de características que las hacen potencialmente atractivas para ser usadas en sistemas agroforestales (75,109). Algunas de estas características incluyen su potencial para la fijación simbiótica de nitrógeno y el aporte al suelo de grandes cantidades de materia orgánica con alto contenido de nitrógeno (14,21,86,94).

La asociación de árboles leguminosos con cultivos perennes es una antigua práctica que coincide con la domesticación de cultivos tales como café, té o cacao (23,66,93,113). En cultivos perennes las cifras de producción de biomasa rica en nutrientes varían, dependiendo de las densidades de árboles y regímenes de poda. Este último factor afecta la proporción de hojas y material leñoso de la biomasa producida, los cuales a su vez, presentan diferentes contenidos de nitrógeno (16,35,88,89). Sin embargo, algunos estudios (27,34,90,91) han mostrado que la proporción de nitrógeno incorporado al suelo por fijación es relativamente pequeña, comparada con la proporción de nitrógeno reciclado, a través de la biomasa producto de las podas y de la hojarasca depositada en el suelo (7,15,21,45, 98).

La cantidad de material depositado sobre el suelo proveniente de los árboles leguminosos en asocio con cultivos, alcanza cifras de hasta 22 ton/ha/año (92,98,97). Dicho aporte tiene dos orígenes: la hojarasca caída naturalmente y la biomasa de las podas (6,98,107). Algunos trabajos realizados en plantaciones de café y cacao indican que la producción total (producto de podas y caída natural), alcanza cifras entre 4-21 ton/ha/año (6). Con estas cifras, la cantidad de nitrógeno reciclado varía entre 228-320 kg/ha/año (34,98). En el Cuadro 1 se presenta un resumen de las cifras informadas en la literatura sobre el tema.

En cultivos anuales, la mayor parte de la investigación se ha centrado en el estudio del cultivo de maíz en franjas (alley cropping) de árboles leguminosos, especialmente Leucaena (19,26,51,107). Sin embargo, se han evaluado satisfactoriamente otras especies y géneros tales como Gliciridia, Tephrosia, Cajanus y Flemingia (52,53,54,55). Algunos autores han publicado listas de especies potencialmente valiosas para este tipo de sistemas agroforestales (20,64,75,76); Erythrina género versátil y particularmente abundante en Costa Rica, ha sido uno de los géneros incluidos en estos listados.

2.2.1. Efecto de la cobertura verde (mulch) en el suelo

La importancia de contar con una abundante cantidad de biomasa depositada sobre el suelo a través de podas o por caída natural, radica en el hecho de que al elevar el contenido de materia orgánica del suelo, se mejora la disponibilidad total de nutrimentos y se reducen las pérdidas por lixiviación (42,77,79,87,111).

Cuadro 1. Valores comparativos de la producción de hojas en diferentes sistemas agroforestales (podas y hojarasca natural)

Referencia	Autor	Tipo de sistema	Total de materia seca		Total de nutrientes				
			Podas	Hojarasca	N	P	K	Ca	Mg
C A F E			kg/ha						
(105)	Suárez de Castro y Alvaro Rodríguez (Colombia, 1955)	Café + <i>Inga</i> spp. Café + otros árboles de sombra	-	4.690 13.078	-	-	-	-	-
(56)	Jiménez Avila y Martínez Vara (México, 1979)	Café + <i>Inga jinicuilt</i> Café + <i>Inga leptoloba</i>	-	8.237 6.875	-	-	-	-	-
(74)	Molleapaza (Costa Rica, 1979)	Café + <i>Cordia</i> + <i>E. poeppigiana</i>	5.784	(2podas/año)	-	-	-	-	-
(6)	Alpizar et al. (Costa Rica, 1981)	Café + <i>E. poeppigiana</i> Café + <i>Cordia alliodora</i>	-	7.598 5.703	175	11	75	122	33
(9)	Aranguren Escalante y Herrera (Venezuela, 1982)	Café + <i>Inga</i> spp. + <i>Erythrina</i> spp. + otros árboles de sombra	-	11.200	189	-	-	-	-
(112)	Wiersum y Ramlan (Indonesia, 1982)	<i>Acacia auriculiformis</i>	-	4.800	-	-	-	-	-
(15)	Beer (Costa Rica, 1983)	Café + <i>E. poeppigiana</i> <i>Cordia alliodora</i>	-	7.019	168	9	55	220	47
(98)	Russo (Costa Rica, 1983)	Café + <i>E. poeppigiana</i>	18.470 (1poda/año)	4.280	237	24	130	225	56
(15)	Beer (Costa Rica, 1983);	Café + <i>E. poeppigiana</i>	-	4.231	106	6	55	67	16
(45)	Glover & Beer (Costa Rica, 1984)	<i>E. poeppigiana</i>	-						
C A C A O									
(6)	Boyer (Camerún, 1973) Citado por Alpizar (6)	Cacao + otros árboles de sombra	-	8.445	52	4	38	89	26
(7)	Alpizar et al. (Costa Rica, 1983)	Cacao + <i>E. poeppigiana</i> Cacao + <i>Cordia alliodora</i>	-	6.435 5.940	116	6	40	116	41
(10)	Aranguren, Escalante y Herrera (Venezuela, 1984)	Cacao + <i>Erythrina</i> + <i>Castilleja elástica</i> + <i>Artocarpus altilis</i> + otros árboles de sombra	-	20.849	320	-	-	-	-
P A S T O S									
(89)	Rodríguez Funes (Costa Rica, 1984)	<i>Pennisetum purpureum</i> * <i>P. typhoides</i> + <i>E. poeppigiana</i>	4.473 3.996	(3podas/año) (4podas/año)	251 212	-	-	-	-

Adaptado de Alpizar (6)

Otros estudios han evaluado los efectos de la cobertura verde (mulch), sobre la regularización del régimen hídrico del suelo, control de la erosión y menor incidencia de malezas (5,29,32,41,47,102,103). El efecto sobre la temperatura del suelo puede traducirse en aumento o decremento de la producción del cultivo asociado, dependiendo de si se trata de zonas templadas (donde es deseable el calentamiento del suelo) o tropicales (70). Cuales efectos contradictorios puedan presentarse, también depende, de la época de aplicación de la cobertura verde (mulch) con respecto al ciclo de vida del cultivo agrícola (3,82,108) y de los efectos alelopáticos que puedan presentarse entre la leguminosa arbórea (mulch) y el cultivo asociado (8,50,84).

2.2.2. El poró Erythrina poeppigiana

2.2.2.1. Descripción botánica, distribución geográfica y usos.

Erythrina es un género con más de 110 especies distribuidas en los trópicos y subtrópicos (18,66). Lackey (68) ubica a este género, en la subtribu Erythrininae de la tribu Phaseoleae, subfamilia Fabaceae-Faboideae, familia Leguminosae. El ámbito natural de distribución de esta especie va desde Panamá hasta Bolivia y el Perú, pero fue introducida a Centro América y probablemente a México, desde principios del siglo veinte (18). Se localiza entre 0-1800 msnm de altitud, con climas tropicales húmedos (14). Esta especie fue colectada originalmente en el piedemonte peruano (93).

E. poeppigiana figura como una de las especies de mayor potencialidad para ser asociada con cultivos anuales o perennes en general, por su gran producción de biomasa foliar con alto contenido de nitrógeno y su buena capacidad

de rebrote ante podas periódicas (22). Esta especie se usa como sombra en cafetales y cacaotales en varios países del área centroamericana y en Costa Rica (18,66), y más recientemente, como suplemento proteínico en la alimentación animal (93,95). En algunos casos, su madera ha sido utilizada en la elaboración de pasta celulósica (22).

2.2.2.2. Fijación de nitrógeno

La contribución de E. poeppigiana al balance de nitrógeno y contenido de materia orgánica del suelo ha sido estudiada en varios contextos. Estudios realizados en cacaotales indican que la fijación de nitrógeno es del orden de 12-40 kg/ha/año, lo cual compensa las exportaciones de nitrógeno por la cosecha del cacao (34). Estimaciones en cafetales, indican una fijación de nitrógeno del orden de 20-60 kg/ha/año (71,91). Buena parte de la investigación inicial sobre fijación de nitrógeno por E. poeppigiana, ha proporcionado datos sobre la dinámica de la población de nódulos ante diferentes regímenes de podas en cafetales (94), o en asocio con pasturas de corte (89). Se argumenta que la mortalidad de nódulos posteriores a las podas representa la liberación del nitrógeno contenido en la biomasa nodular a la solución del suelo, lo cual ha sido observado en otros cultivos como el trébol (27).

2.2.2.3. Técnicas de manejo del poró (podas).

Sobre esta práctica, aún no existe mucha experiencia a la fecha ya que, según los trabajos realizados por Woolliams (114) en Hawaii, no existen problemas para propagar Erythrina en estacones largas, que posteriormente son podados. Sin embargo, la experiencia obtenida recientemente en el CATIE en Costa Rica, demuestra que esto varía dependiendo de la especie (101). Por tanto se han emprendido en Costa Rica trabajos en cultivo de

tejidos, con hormonas que promueven el enraizamiento, técnicas de incisiones y efecto de la topófisis en la capacidad de prendimiento para resolver este problema.

La mayoría de plantaciones de café Coffea arabica en Turrialba, Costa Rica, tienen de 150 a 300 árboles/ha de sombra de E. poeppigiana, usualmente establecidos por propagación vegetativa (44,45). Este método de propagación, permite la selección de fenotipos de alta productividad y con pocas espinas para facilitar su manejo a través de podas (37). Estos árboles son podados de 1 a 2 veces por año de acuerdo con la fenología y desarrollo del café, manteniéndose una copa de 3-7 m de altura y de 4-7 m de diámetro (96). Un régimen común de podas, que se ajusta a la fenología del café incluye usualmente dos podas drásticas, conduciendo a una virtual eliminación de sombra, para promover la floración y maduración de grano, respectivamente (44,45,73).

2.3. Cultivos en franjas (alley cropping).

Este sistema se ha descrito como la siembra de cultivos alimenticios en franjas, formadas por surcos de árboles o arbustos (preferiblemente leguminosos), donde los árboles son podados periódicamente durante el período de crecimiento del cultivo asociado para reducir el sombreamiento y para utilizar la biomasa como abono verde y material de cobertura (59,60,61).

Se ha llegado a considerar al cultivo en franjas como una evolución del barbecho en la agricultura migratoria en la que se seleccionan los árboles leguminosos por su efecto benéfico al suelo y se plantan en forma organizada (72). Otros autores (63) han sugerido que la evolución del cultivo en franjas partió del sistema de corredores descritos por Jurión y Henry (58), donde el corredor se ha reducido hasta una simple fila de árboles.

Diversos trabajos realizados demuestran que este sistema puede contribuir a mantener la fertilidad de los suelos en los trópicos, permitiendo sostener el rendimiento del cultivo asociado a un nivel aceptable, sin adición de fertilizantes minerales (11,13,39,63). Por otro lado, este sistema de cultivo proporciona condiciones favorables a los microorganismos del suelo y los surcos de árboles sirven como barreras vivas que reducen la escorrentía y la erosión del suelo (58,59,61,72,78).

En Africa los esfuerzos de investigación se han concentrado en Leucaena y Gliricidia, ya que hasta la fecha no se ha encontrado ninguna otra especie que tenga el vigor o las características de crecimiento en climas tropicales secos, comparables a estas dos especies (38,107). Sin embargo, existen experiencias satisfactorias con otras especies (52,54,62,84).

Existen muchos trabajos realizados con Leucaena leucocephala bajo el sistema de cultivo en franjas, en varias partes del mundo, pero pocos trabajos, informan datos sobre el ciclaje de nutrientes y nutrimentos del suelo en general. Tampoco determinan los coeficientes de utilización del nitrógeno aplicado y reciclado, además, se refieren prácticamente a una sola especie Leucaena según se puede ver en el Cuadro 2. Sin embargo, su uso indiscriminado se ve afectado por algunas limitantes, que incluyen (19):

- 1) Su ámbito es estrictamente del trópico bajo;
- 2) Sus rendimientos excepcionales ocurren únicamente, en suelos fértiles y bien drenados, donde el contenido de humedad del suelo es adecuado;
- 3) no se desarrolla adecuadamente en suelos ácidos ni en lugares del trópico sujetos a heladas; y
- 4) su follaje contiene un aminoácido tóxico (mimosina) para

Cuadro 2. Sistemas de cultivo en franjas (alley cropping) con Leucaena/maiz y otros cultivos agrícolas

Refs. Autor	País	Cultivo agrícola	M.O.	N	P	K	Rendimiento del cultivo	Fertilizante mineral	Control
							ton/ha		
(46)Guevarra (1976)	Hawaii	Maiz	2,0 2,2	0,6-0,2	-	-	2,4	-	1,8
(4) Alferez (1980)	Filipinas	Arroz	-	-	-	-	4,5-4,8 6,2-6,9	-	5,5-5,6 6,2-6,9
(4) Alferez (1980)	Filipinas	Arroz	1,5-2,0	0,1	-	-	4,3	4,5	1,9
(4) Alferez (1980)	Filipinas	Maiz	-	-	-	-	3,0	Casi como podas	-
(33)Escalada (1980)	Filipinas	Yuca	39,8	-	-	-	19,3	-	40,6
(60)Kang et al. (1981)	Nigeria	Maiz	5-8	0,2-0,3	-	-	3,8	5-6	1,9
(12)Balasubramanian (1983)	Ghana	Kame	-	-	-	-	5,5	-	8,6
(12)Balasubramanian (1983)	Ghana	Maiz	-	-	-	-	3,1	-	5,6
(36)Evensen (1983)	Hawaii	Maiz	0,2	-	-	-	4,9 3,6	-	0,4
(86)Rachie (1983)	Colombia	Maiz	8,2-18	1-0,2	0,1-0,01	1-0,1	5-6	-	5,4

Adaptado de Ssekabembe (104).

los rumiantes cuando el nivel de consumo de Leucaena leucocephala constituye el 10% de la dieta (76).

Como especie apropiada para zonas de alta precipitación y suelos ácidos, se destaca el poró E. poeppigiana. Una experiencia bien documentada con esta leguminosa arborea, plantada en un sistema de cultivo en franjas, son los trabajos de Kass (62,63) en el CATIE, en los cuales esta especie ha mostrado gran potencial como sustituto de fertilizantes nitrogenados. En estos estudios se han medido entre 120-244 kg N/ha aportado, a través de la biomasa de podas, lo cual ha permitido sostener rendimientos de maíz y yuca Manihot esculenta, superiores al control sin árboles y sin cobertura verde (mulch), de poró. En estos estudios se obtuvo una eficiencia en la utilización del nitrógeno aplicado como cobertura verde, del 17% contra el 15%, del nitrógeno aplicado en forma mineral (fertilizante).

Los resultados promisorios en sistemas agroforestales y la experiencia con el manejo de E. poeppigiana, acumulada tanto en el CATIE como en otros lugares de Costa Rica, motivaron la realización del presente trabajo de investigación.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Características del sitio de estudio.

Localización

El trabajo se localizó dentro de los terrenos experimentales del CATIE (Figuras 1A y 2A). El área del experimento es de 4608 m² (64 x 72 m), donde ha sido plantado el poró, a cuatro diferentes espaciamientos. Se establecieron 12 filas de 20 estacas cada una (240 en total más 10 utilizadas para bordes), en callejones de 6 m de ancho, en el interior de los cuales se sembraron 10 surcos de maíz (Figura 3A). Las diferentes densidades, se obtuvieron cambiando el distanciamiento entre árboles dentro de la fila (1, 2, 3 y 4 m), sin afectar la distancia entre filas (Figura 4A). Las estacas fueron traídas de un cafetal viejo y abandonado, situado en "La Montaña" del CATIE; tenían un promedio en longitud de 2,3 m (1,7-2,9m) y 10,6 cm (7,5-15,3cm) de diámetro y fueron plantadas realizando un despunte con machete, únicamente de la corteza, en el extremo que fue insertado en el suelo en hoyos de 40 cm de profundidad.

Clima

El sitio experimental está a 602 m.s.n.m. y el clima corresponde a una zona de vida de Bosque muy húmedo premontano según Holdridge (48), o trópico cálido húmedo Af(m) según Köeppen (65). Las lluvias ocurren casi todo el año, con una época seca (< 100 mm/mes) entre marzo-abril. La precipitación media anual es de 2636 mm, con temperatura media anual de 22°C y humedad relativa media anual del 87%. La evaporación media mensual es de 92 mm y la radiación media mensual de 2.478 cal/cm² (25). En las figuras 5A, 6A y 7A, se muestran los gráficos de precipitación promedio (1984-86) del período experimental en el sitio de estudio.

Suelo

El suelo es un Inceptisol de origen volcánico que corresponde, según Aguirre (2), a la serie instituto fase normal, con topografía plana, material grueso y piedras que hacen al suelo más delgado y con depresiones que provocan drenaje deficiente. Se trata de un suelo Typic humitropept de baja saturación de bases y moderado mal drenaje, con un alto contenido de materia orgánica (83). Analizado a 15 cm de profundidad, la textura es franco-arcillosa, el pH 5,49, la densidad aparente 1,01 g/ml y con una capacidad de intercambio catiónico entre 40-50 meq/100 ml de suelo.

Historia de uso

Las observaciones del presente trabajo, se realizaron en un terreno donde anteriormente estuvo instalado otro experimento, que pretendía evaluar la producción de biomasa de poró E. poeppigiana, plantado en franjas regulares de 3 y 6 m constantes y con uno o dos intercultivos de yuca Manihot esculenta.

3.2. Tratamientos experimentales

Se evaluaron cuatro densidades de plantación del poró, que equivalen a los espaciamientos 6x1, 6x2, 6x3, y 6x4 m, con un control sin árboles. La parcela control fue a su vez, tratada con y sin fertilización. En la media parcela control fertilizada, se utilizó la fórmula completa NPK 12-24-12 kg/ha, recomendada en la zona (28).

Tamaño y forma de las parcelas

La parcela experimental consta de 20 estacas de poró, en cuatro filas de cinco árboles, de las cuales, solo las dos centrales constituyen la parcela útil, en sus tres árboles internos. Esto es, seis de los 20 árboles forman la parcela útil de muestreo del poró (Figura 4A).

El área ocupada por los tratamientos de poró es rectangular y varía en cada caso, dependiendo de la densidad de plantación del poró y espaciamiento de que se trate. En el análisis y procesamiento de datos se utilizaron datos de producción de biomasa seca de poró y maíz, ajustados por hectárea, en cada tratamiento (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ajuste para biomasa seca de poró y maíz** por hectárea y superficie utilizada en cada tratamiento del cultivo en franjas.

Tratamiento	-----Ajuste por ha-----		
	arbs/poró	surcos/maíz*	Area(m ²)
6x1	1.667	4.493	12x3m (36)
6x2	0.833	4.493	12x6m (72)
6x3	0.557	4.493	12x9m (108)
6x4	0.417	4.493	12x12m(144)
CN sin fert.	0	4.493	6x9m (54)
CN con fert.	0	4.493	6x9m (54)

* 4.493 = (64m/4m x 10surcos x 11franjas / 0,4608ha) x (1,1764 factor-grano seco-al 15% humedad).

** La biomasa de poró y maíz fue secada a 105°C, durante 72 horas.

CN:Control sin árboles.

El maíz fue sembrado en 10 surcos por franja de árboles, a 50 cm de distancia entre surco y 50 cm entre matas. La densidad real de siembra en todos los casos fue de 40.000 plantas/ha. Se sembraron tres granos de maíz por hueco, para luego dejar dos plantas después de un raleo. La distancia de la hilera de árboles al primer surco de maíz es de 50 cm (Figura 3A).

La evaluación del maíz, se realizó en subparcelas de muestreo de 3, 4 y 5 surcos de 4 m de longitud (constante), por tratamiento, en el primero, segundo y tercer cultivo.

Debido a la variabilidad que se fue presentando en el experimento y el grado de precisión requerido.

VARIABLES DE RESPUESTA EN ESTUDIO

Las variables de respuesta evaluadas en este trabajo son las siguientes:

I. En las podas del poró.

- 1.1. Biomasa de hojas (pecíolo incluido) y contenido de nitrógeno
- 1.2. Biomasa de ramas (tiernas y viejas) y contenido de nitrógeno
- 1.3. Contenidos de N, P, K, Ca y Mg de la biomasa podada del poró (hojas+ramas), únicamente en la 2^{da} poda

II. En el maíz.

- 2.1. Biomasa del grano de maíz y contenido de nitrógeno
- 2.2. Biomasa de la planta de maíz (sin grano) y contenido de nitrógeno
- 2.3. Contenido N, P, K, Ca y Mg de la biomasa cosechada de grano de maíz en el 3^{er} cultivo.

III. En el suelo (tres análisis realizados al inicio, mitad y final del experimento). Se midió materia orgánica, acidez extraíble, pH y contenido de N, P, K, Ca, Mg y otros parámetros.

ANÁLISIS

Los análisis de biomasa seca y de suelos se realizaron en el Laboratorio de Suelos del CATIE, siguiendo la metodología de Díaz Romeu y Hunter (31). El análisis de nitrógeno del suelo y de la biomasa, se realizó con el método semi micro-kjeldahl descrito por Díaz Romeu (30). La

determinación de P, K, Ca, y Mg en la biomasa, se realizó por digestión con mezcla nítrico-perclórica (5:1) y posterior espectrofotometría de absorción (31).

El análisis de materia orgánica del suelo se realizó de acuerdo a la técnica propuesta por Saíz del Río y Bornemisza (99), basada en el método de Walkley y Black. La determinación de Ca, Mg y acidez extraíble, se realizó con solución extractiva de KCL 1N y espectro-fotometría de absorción atómica (31). La determinación de P, K, Cu, Zn y Mn, se realizó por el método de Olsen modificado por Díaz Romeu y Hunter (31), con solución extractiva de NaHCO_3 , pH 8,5, 0,5N y EDTA-Disódico. La determinación de S, se realizó con solución extractiva de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, según Díaz y Hunter (31).

Diseño experimental

El presente experimento corresponde a un diseño de tres bloques al azar, con arreglo en dos parcelas divididas, que equivalen a los dos ciclos poda/cultivo evaluados completos. La parcela es el tratamiento de poró (densidades de plantación) y la subparcela es el cultivo (cosecha de grano) de maíz (80).

Análisis de datos

El modelo estadístico del análisis de varianza se presenta en el Cuadro 1A. Las diferencias entre medias de producción de biomasa y N del poró, rendimiento y N extraído por el maíz, se analizaron por la prueba de Diferencias Mínimas Significativas (DMS). El efecto del árbol sobre el rendimiento de maíz se evaluó por medio de contrastes ortogonales. En la búsqueda de un punto de equilibrio o balance teórico del N total aportado por el poró en las diferentes densidades y el N requerido para sostener la

producción de maíz, se utilizaron análisis de regresión entre densidades de plantación/producción de N poró y entre densidades de plantación/extracción de N maíz.

Análisis de correlación entre variables de producción de biomasa y contenido de N de las podas del componente arbóreo y de rendimiento del maíz, se realizaron para evaluar, desde una perspectiva distinta (productiva), los posibles efectos benéficos del árbol sobre el cultivo asociado.

En este experimento se evaluaron dos ciclos completos, entendiéndose como ciclo, el conjunto de actividades que incluyen la poda total de hojas y ramas en los árboles de poró, seguida de un cultivo de cultivo de maíz. El primero y segundo ciclos corresponden a un período lluvioso y otro seco en el área de estudio, respectivamente. En los análisis de regresión y correlación realizados, los efectos de tratamiento (biomasa y N de podas), producido a diferentes densidades, se evaluaron contra los rendimientos (biomasa y N de maíz) del período de cultivo posterior a la poda. En los análisis de varianza y pruebas DMS se utilizaron los datos obtenidos, sin considerar el desfase requerido en los análisis de regresión y correlación. O sea, se procedió a analizar por separado como si fuesen dos experimentos, uno de poró y otro de maíz.

Los análisis de regresión entre densidades de poró y producción de biomasa y N de poró y biomasa y N de maíz, utilizados en el procesamiento de datos, se realizaron individualmente para cada ciclo.

Con base en los resultados del análisis químico de la biomasa, se realizó un balance entre los elementos químicos aportados en la poda de la biomasa del poró, y los elementos químicos extraídos en el grano de maíz cosechado, del segundo ciclo de cultivo, únicamente.

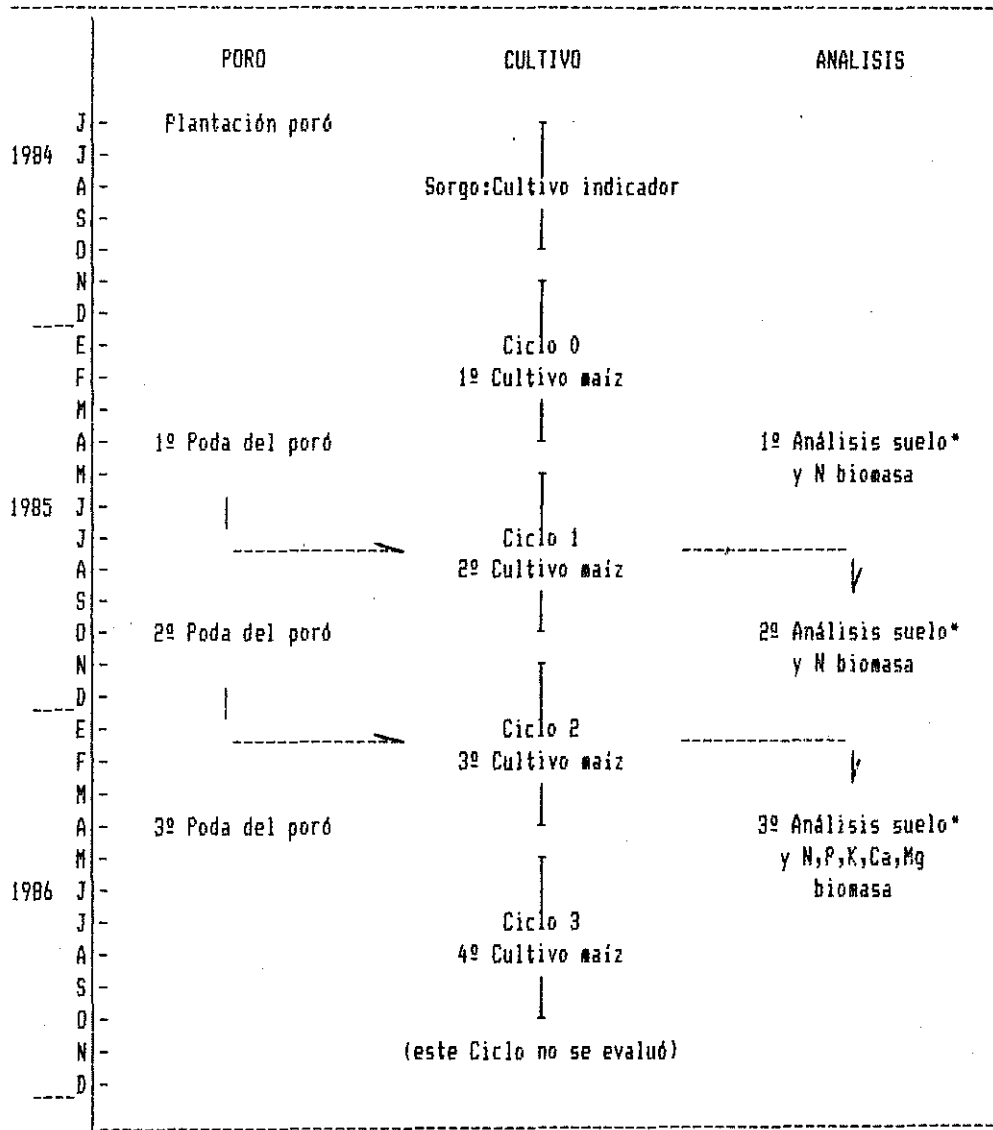
3.3. Cronología e instalación.

Las estacas de poró se plantaron en junio de 1984, y a los diez meses se podaron por primera vez, para realizar después una poda total del árbol (hojas+ramas), cada seis meses dos veces al año (Figura 3A). Al momento de plantar las estacas de poró, se cultivó sorgo (Sorghum vulgare) var. sabana-5, ya que no se tenía información previa de la productividad de este suelo y se requería evaluar los patrones de fertilidad, además de que esta información, se podía utilizar como covariable en caso necesario.

Al finalizar el cultivo del sorgo, se realizaron tres cultivos de maíz sucesivos, con una duración de seis meses cada uno (Cuadro 4). En total se sembraron tres cultivos de maíz, pero solo los dos últimos se evaluaron en este estudio, ya que la primera corresponde al ciclo cero el cual no tuvo poda.

El desarrollo cronológico del experimento en el campo y sus componentes de estudio, se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Desarrollo cronológico del cultivo en franjas de *Erythrina poeppigiana*/maíz y sus componentes de estudio.



* Materia Orgánica, Acidez extraíble, pH suelo, N, P, K, Ca y Mg.

IV. RESULTADOS

4.1. Producción de biomasa

4.1.1. Biomasa de poró

Hay efectos significativos ($P \leq 0,01$) en la producción de biomasa total producida por ciclo (poda) y tratamiento. La producción por ciclo y anual en el tratamiento con mayor densidad (6x1), duplicó y triplicó, la producción de los tratamientos 6x3 y 6x4, respectivamente, los cuales no presentaron entre sus medias diferencias mínimas significativas. Los datos de biomasa total anual muestran un ámbito entre tratamientos, de 2,06-6,69 ton/ha/año (Cuadro 5). La producción de biomasa del segundo ciclo fue significativamente mayor que la biomasa producida en el primero, para todos los tratamientos (Figura 1).

Cuando se analizó la biomasa de hojas y ramas por ciclo (poda) y tratamiento, se observa que las únicas variaciones significativas ($P \leq 0,01$) ocurren solo entre la biomasa foliar (Cuadro 2A). La proporción en la biomasa total, representada por las hojas fue mayor en las mayores densidades de plantación y en el segundo ciclo con respecto al primero. Los coeficientes de variación observados fueron de alrededor del 30% en el análisis anual (Cuadro 5).

4.1.2. Biomasa de maíz

Los efectos de tratamiento fueron significativos ($P \leq 0,01$ y $P \leq 0,05$) en la producción de biomasa de grano en cada ciclo y anual, respectivamente. Sin embargo, este efecto tiende a desaparecer, ya que para biomasa de planta fue significativo al $P \leq 0,01$, $P \leq 0,05$ y no significativo, en los ciclos (1,2) y anual, respectivamente (Cuadro 2A).

En la comparación para medias de rendimiento en grano de maíz (15% humedad), entre los tratamientos menos densos

Cuadro 5. Producción de biomasa de poró (*podas*) *E. poeppigiana* y maíz en el sistema de cultivo en franjas.

TRATAMIENTO	PORO			BIOMASA			MAIZ	
	Hojas	Ramas	Total	(ton/ha)		Grano	Planta	Total
CICLO 1								
Control	--	--	--			3,76	6,79	10,55
6x4	0,23	0,23	0,46			3,15	5,87	9,02
6x3	0,41	0,39	0,80			3,00	5,94	8,94
6x2	0,54	0,42	0,96			1,80	3,88	5,68
6x1	1,04	1,25	2,29			1,89	4,44	6,33
CICLO 2								
Control	--	--	--			3,69	9,79	13,48
6x4	0,70	0,89	1,60			3,04	5,68	8,72
6x3	1,02	1,45	2,48			3,08	5,21	8,29
6x2	1,18	1,54	2,72			2,42	5,71	8,13
6x1	1,93	2,47	4,40			2,30	5,14	7,44
ANUAL								
Control	--	--	--			7,45	16,58	24,03
6x4	0,93	1,12	2,06			6,19	11,55	17,74
6x3	1,43	1,84	3,28			6,08	11,15	17,23
6x2	1,72	1,96	3,68			4,22	9,59	13,81
6x1	2,97	3,72	6,69			4,19	9,58	13,77
X	45%	55%	100%			30%	70%	100%
ANDEVA								
	(Valores de F)							
TRATAMIENTO	14,1 **	8,15 *	10,6 **			3,24 *	1,85	2,65
CICLO	35,7 **	51,6 *	61,5 **			0,75	1,99	4,44 *
TRAT*CICLO	0,61	0,75	0,89			0,45	1,07	1,85
	(ton/ha)							
MEDIA	0,88	1,08	1,96			2,81	5,85	8,66
DMS 0,05	0,40	0,67	1,07			1,27	3,45	4,19
DESV.EST.	0,27	0,35	0,53			0,58	1,81	1,47
C.V.	30%	32%	27%			21%	31%	17%

** Significativo al 1% ; * Significativo al 5%

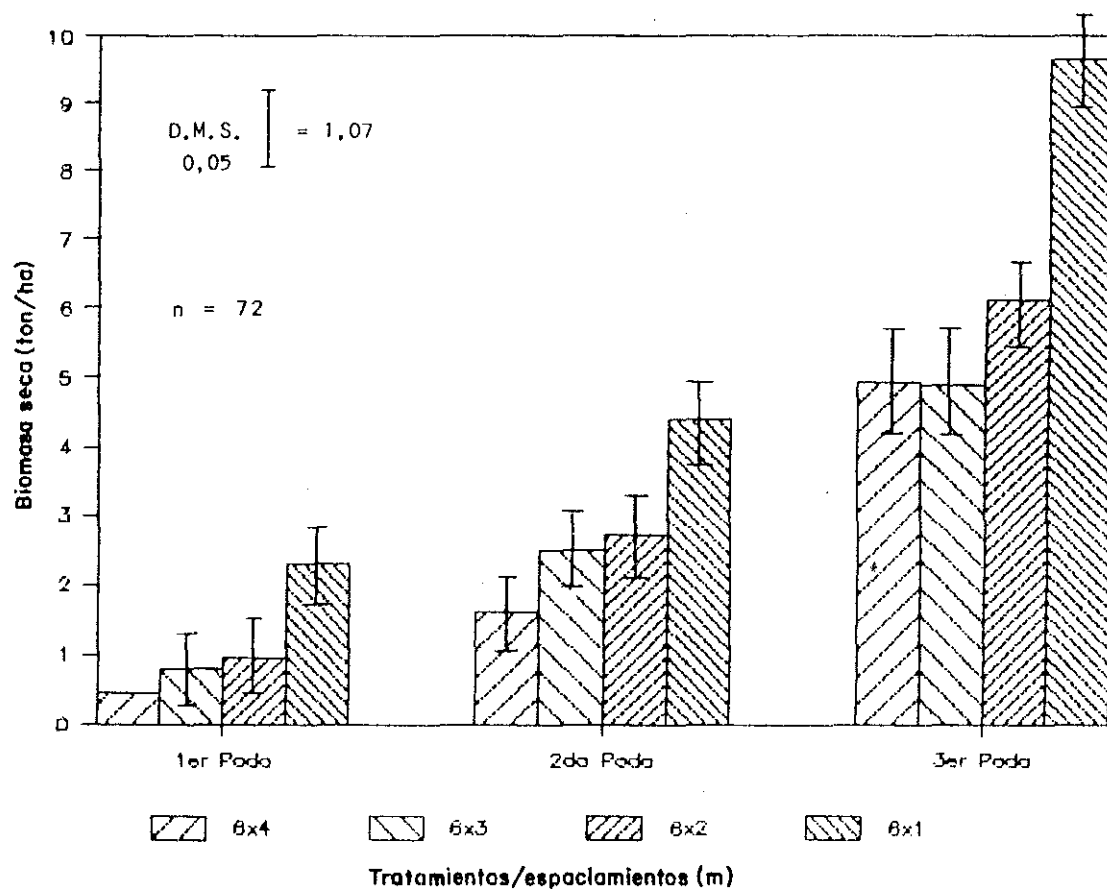


Figura 1. Producción de biomasa de podas del poró (hojas+ramas) en el cultivo en franjas.

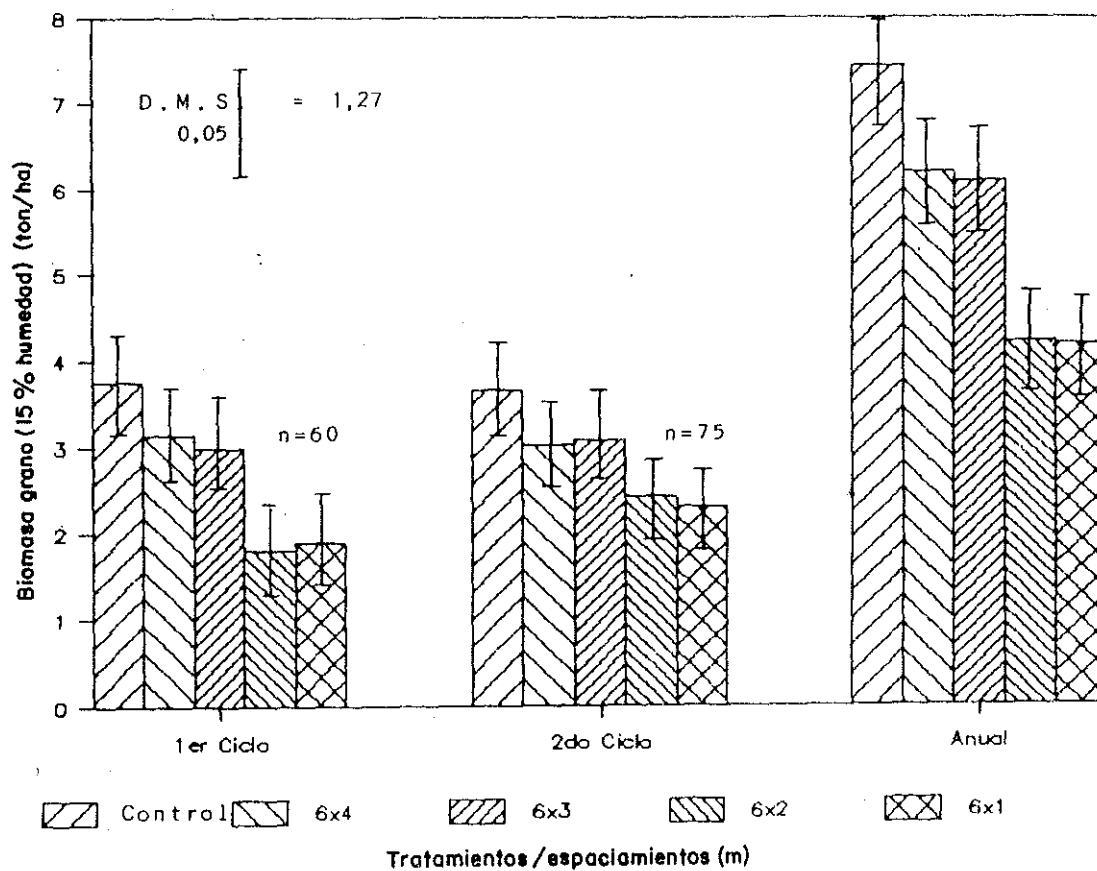


Figura 2. Rendimiento en grano de maíz por ciclo y anual en el cultivo en franjas

(6x3, 6x4) y el control; estos no presentaron diferencias mínimas significativas. Los datos de producción anual para estos tratamientos fueron: 6,08, 6,19 y 7,45 ton/ha de grano de maíz, respectivamente, pero son mayores ($P \leq 0,05$) que los tratamientos más densos (6x1 y 6x2), los cuales produjeron 4,19 y 4,22 ton/ha (Cuadro 5 y Figura 2).

Cuando se analizó el efecto de ciclo en la producción de biomasa total, se observó un aumento significativo ($P \leq 0,05$) en el ciclo 2, sin embargo, la biomasa de grano y planta resultaron no significativas para este efecto. Esto se debe probablemente, a la reducción en la relación grano/planta del ciclo 2 respecto al ciclo 1. Lo mismo se observó en los tratamientos de mayor densidad respecto a los de menor densidad de árboles. Se sugiere que a medida que hay más árboles/ha, se reduce la producción de grano y aumenta la biomasa de planta. Esta misma tendencia se acentúa con el efecto de ciclo, lo cual sugiere que la tendencia del sistema es producir más biomasa de planta que de grano (Cuadro 5).

4.2. Producción de nitrógeno

4.2.1. Nitrógeno del poró

Hay efectos significativos ($P \leq 0,01$) en la producción de nitrógeno por tratamiento y por ciclo (poda). La producción en el tratamiento con mayor número de árboles por ciclo y anual, siguió un patrón de comportamiento similar al de la biomasa, al duplicar y triplicar, la producción de los tratamientos 6x3 y 6x4, respectivamente. Estos últimos no presentaron entre sus medias, diferencias mínimas significativas. Los datos de N total anual muestran un ámbito entre tratamientos de 64-200 kg N/ha/año (Cuadro 6). La producción de N total del ciclo 2, fue significativamente ($P \leq 0,01$) mayor que la del ciclo 1 y prácticamente duplicó y triplicó esta producción para algunos tratamientos, en cada ciclo (Cuadro 6, Figuras 3 y 4). Esto sugiere la

Cuadro 6. Producción de nitrógeno de poró (*podas*) *E. poeppigiana* y maíz en el sistema de cultivo en franjas.

TRATAMIENTO	N PORO			NITROGENO			N MAIZ		
	Hojas	Ramas	Total	(kg/ha)			Grano	Planta	Total
CICLO 1									
Control	--	--	--				61,1	42,9	104,0
6x4	11,1	3,4	14,5				51,3	38,6	89,9
6x3	18,5	5,9	24,4				49,2	44,0	93,2
6x2	22,9	5,3	28,2				28,7	27,0	55,7
6x1	48,0	19,3	67,3				27,7	30,9	58,6
CICLO 2									
Control	--	--	--				56,3	63,1	119,4
6x4	36,0	13,4	49,5				49,8	37,8	87,6
6x3	51,0	20,8	71,4				46,4	39,4	85,7
6x2	58,8	20,3	79,9				37,1	40,9	78,1
6x1	95,2	37,2	132,4				35,5	39,3	74,8
ANUAL									
Control	--	--	--				117,4	106,0	223,4
6x4	47,1	16,8	64,0				101,1	76,4	177,5
6x3	69,5	26,7	95,8				95,6	83,4	179,0
6x2	81,7	25,6	107,3				65,8	67,9	133,7
6x1	143,2	56,6	199,8				63,2	70,2	133,4
%	73%	27%	100%				47%	53%	100%
ANDEVA									
	(Valores de F)								
TRATAMIENTO	20,4 **	12,0 **	18,7 **				3,61 *	1,37	2,83
CICLO	26,7 **	30,9 **	32,8 **				0,47	2,83	8,37 **
TRAT*CICLO	0,47	0,39	0,52				1,88	1,08	3,62 *
	(kg/ha)								
MEDIA	42,6	15,7	58,4				44,3	40,4	84,7
DMS 0,05	15,8	8,65	23,9				20,1	21,3	36,3
DESV.EST.	16,7	6,28	21,1				5,76	12,0	8,33
C.V.	39%	41%	36%				13%	30%	10%

** Significativo al 1% ; * Significativo al 5%

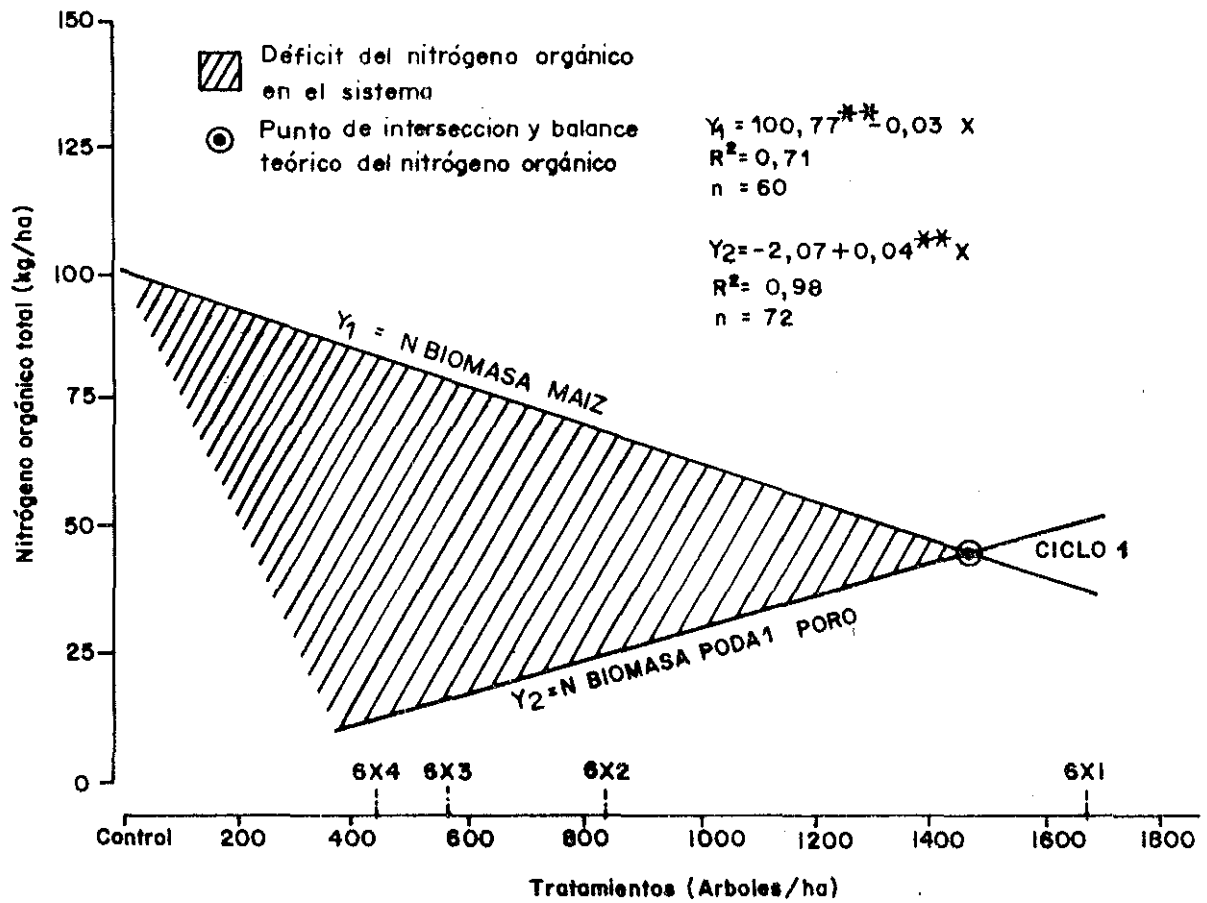


Figura 3. Nitrógeno de la biomasa de la 1er. poda del poró y la biomasa de maíz, en el ciclo 1 de cultivo

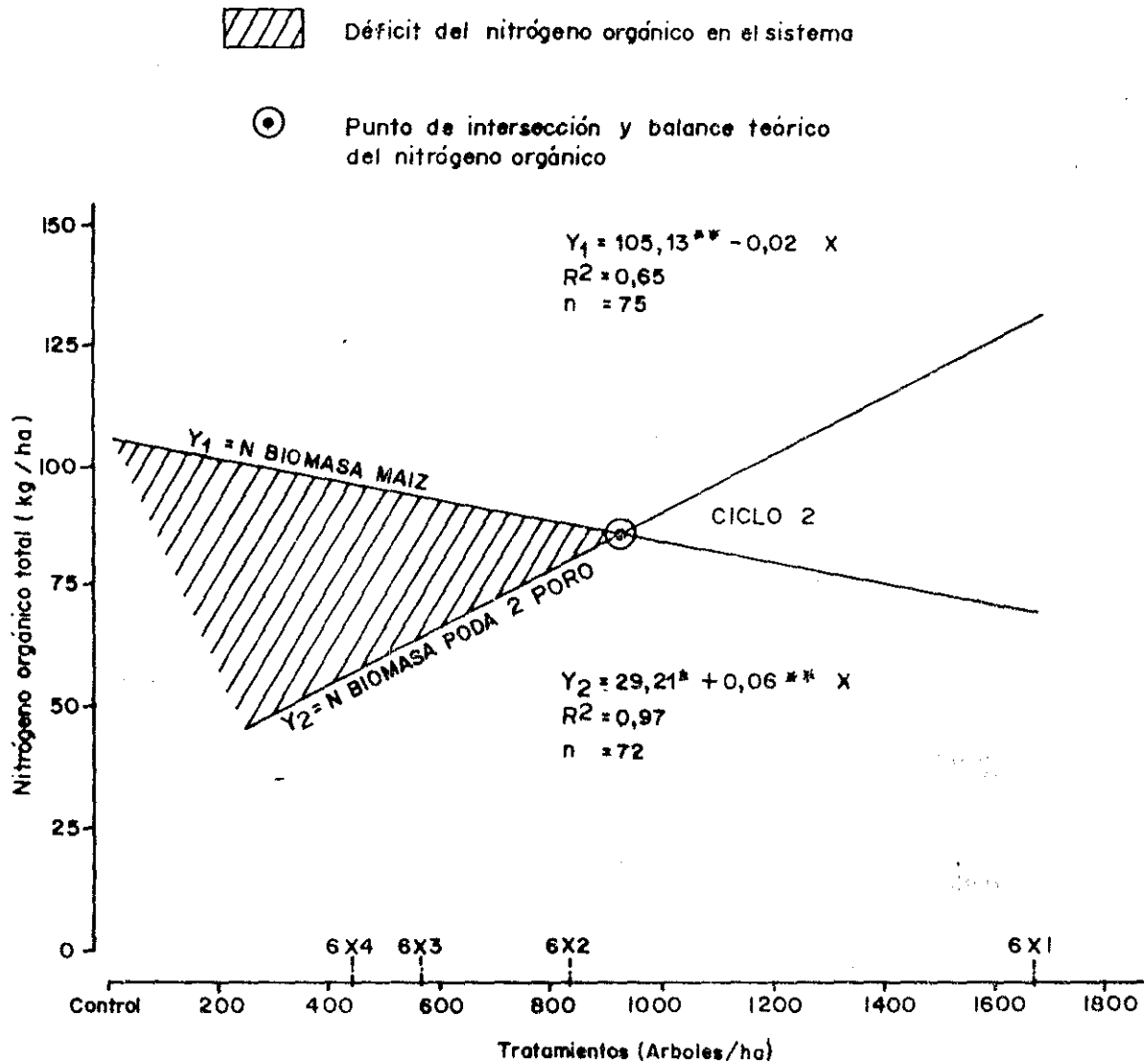


Figura 4. Nitrógeno de la biomasa de 2a. poda del poró y la biomasa del maíz, en el ciclo 2 de cultivo

posibilidad de que el sistema tiende a producir nitrógeno en una forma notable ($P \leq 0,01$), a mayor densidad y a través del tiempo (podas) a pesar de su corta edad de plantado actualmente.

Por otra parte la relación N hojas/N ramas, aparentemente se reduce con el efecto ciclo (poda), pareciera que la concentración del N ramas se favorece a medida que pasa el tiempo. Sin embargo la misma relación se incrementa a una densidad de 6×2 , favoreciendo el N de hojas en un ciclo dado (Cuadro 6). Esto sugiere la posibilidad de que, mientras el efecto poda sea significativo, el sistema tiende a producir mayor cantidad de N foliar, a una densidad dada y entonces es evidente que se trata de un efecto interactivo poda*densidad, cuyo punto óptimo vale la pena investigar.

4.2.2. Nitrógeno del maíz

El efecto de tratamiento para N grano fue significativo al $P \leq 0,01$ y $P \leq 0,05$ en el análisis por ciclo y anual respectivamente, sin embargo, en la comparación entre medias, no se observaron diferencias mínimas significativas en los rendimientos para los tratamientos 6×3 , 6×4 y el control. Estos valores aproximadamente tienen el mismo patrón de comportamiento que la biomasa respectiva, al no presentar diferencias estadísticas. No fue así para el N planta, el cual tuvo un comportamiento poco definido. Los datos de producción anual para estos tratamientos fueron: 96, 101 y 117 kg/ha, de N grano, respectivamente. Estos presentaron diferencias mínimas significativas ($P \leq 0,05$), a los tratamientos 6×1 y 6×2 que produjeron 63 y 66 kg/ha/año, respectivamente y no fueron diferentes entre sí estadísticamente (Cuadro 6). Los efectos de tratamiento sobre el N de planta, fueron significativos al $P \leq 0,01$ y $P \leq 0,05$ en el ciclo 1 y ciclo 2 y no-significativos, en el análisis anual, lo que sugiere la posibilidad, de que el efecto de tratamiento tiende a desaparecer en esta variable, con el tiempo.

La producción de N total anual, no fue significativa ante el efecto de tratamiento, sin embargo, ante el efecto de ciclo e interacción tratamiento*ciclo, fue significativa ($P \leq 0,01$ y $P \leq 0,05$, respectivamente). Esto sugiere el hecho de que el ciclo en cuanto a la fuente de N, está afectando en forma decisiva al efecto de tratamiento ya que cada nueva poda aporta mayor cantidad de N orgánico (Cuadro 3A, Figuras 3 y 4).

No hay efecto de ciclo en el N grano y en el N planta, pero si un efecto interactivo tratamiento*ciclo significativo ($P \leq 0,05$). Esto podría explicarse debido a que a mayor densidad, la relación N grano/N planta, se reduce favoreciéndose el N planta. Sin embargo, la relación N grano/N planta, no se ve afectada por el efecto del ciclo en el sistema lo que puede ser un indicio de que las concentraciones de N por componente, es probable que se mantengan con el tiempo, a una densidad de árboles/ha, dada (Cuadro 6).

4.3. Evaluación del poró en el sistema

4.3.1. Contrastes para biomasa y nitrógeno

El efecto árbol (presencia/ausencia) en el sistema, influyó de distinta manera en la producción de biomasa y nitrógeno de planta y grano de maíz en cada ciclo. En la biomasa de grano y planta para el ciclo 1, éste efecto fue más significativo ($P \leq 0,007$ y $P \leq 0,004$, respectivamente), que en el caso del N grano y del N planta en los cuales este efecto fue un poco menos evidente aunque significativo también ($P \leq 0,008$ y $P \leq 0,069$). Para el ciclo 2, la biomasa de grano y planta, fueron significativas en este efecto, lo mismo sus nitrógenos con una mayor significancia todavía ($P \leq 0,004$ y $P \leq 0,002$, respectivamente). Por otra parte en el análisis anual el efecto árbol es significativo al $P \leq 0,032$, en relación a biomasa, N grano y N total, pero de $P \leq 0,064$ en el N planta (Cuadro 7).

El efecto de la densidad (alta/baja) en el sistema, fue significativo al $P \leq 0,008$ tanto en biomasa como nitrógeno del maíz para el ciclo 1. Sin embargo, únicamente el grano y N grano fueron significativos al $P \leq 0,016$ y $P \leq 0,038$ en el ciclo 2 y en el análisis anual, respectivamente (Cuadro 6).

Cuadro 7. Contrastes para biomasa y nitrógeno de maíz por ciclo.

CONTRASTE	MAIZ					
	BIOMASA			NITROGENO		
	GRANO	PLANTA	TOTAL	N GRANO	N PLANTA	N TOTAL
<u>CICLO 1</u>	----- (Probabilidad de F) -----					
ARBOL (si/no)	0,007**	0,004**	0,011*	0,008**	0,069	0,029*
DENSIDAD (alta/baja)	0,004**	0,003**	0,004**	0,002**	0,008**	0,002**
<u>CICLO 2</u>						
ARBOL (si/no)	0,003**	0,002**	0,004**	0,004**	0,002**	0,001**
DENSIDAD (alta/baja)	0,016*	0,989	0,580	0,007**	0,820	0,220
<u>ANUAL</u>						
ARBOL (si/no)	0,031*	0,032*	0,019*	0,031*	0,064	0,027*
DENSIDAD (alta/baja)	0,038*	0,430	0,188	0,025*	0,433	0,080

** Significativo al 1% ; * Significativo al 5%

Todo lo cual sugiere que el efecto árbol, es muy notable estadísticamente ($P \leq 0,01$), en la biomasa y nitrógeno del maíz y que el efecto densidad, tiende a desaparecer tanto en biomasa como en nitrógeno, pero se conserva en grano y N grano al $P \leq 0,05$ y $P \leq 0,01$, respectivamente.

En términos generales, el efecto árbol se mantiene significativo a través de los ciclos mientras que el efecto densidad tiende a perder significancia entre ciclos. Los datos de producción del poró para ciclos apoyan los datos del Cuadro 6, puesto que el efecto ciclo (poda), es cada vez más importante que la diferencia entre densidades.

4.3.2. Balance del nitrógeno en el sistema.

El balance de N por ciclo, presenta un efecto positivo a medida que pasa el tiempo. En el ciclo 1, el balance dió un saldo negativo en casi todos los tratamientos, excepto en el 6x1 el cual registra un saldo positivo de 40 kg N/ha de nitrógeno orgánico. En el ciclo 2, el balance muestra un saldo más favorable en los tratamientos ya que solo registra saldos negativos en el control y en el tratamiento 6x4 (-0,3 kg N/ha). El tratamiento 6x1 siguió registrando el mayor excedente de N orgánico con 97 kg N/ha (Figura 3A).

Esto sugiere la posibilidad de que con el tiempo los balances negativos irán desapareciendo en todos los tratamientos del experimento, excepto en el control (Cuadro 8).

En el balance anual del nitrógeno del sistema, se detectó un saldo negativo para el control y para el tratamiento 6x4 de -37,1 kg/ha de N orgánico. El balance es positivo únicamente con densidades mayores de 6x3 (557 árboles/ha).

Cuadro 8. Balance de nitrógeno en el sistema de cultivo en franjas.

TRATAMIENTO	N PORO (entrada)	-	N GRANO MAIZ (salida)	=	BALANCE (saldo)

<u>CICLO 1</u>	----- (kg/ha) -----				
Control	0,0		61,1		-61,1
6x4	14,5		51,3		-36,8
6x3	24,4		49,2		-24,8
6x2	28,2		28,7		- 0,5
6x1	67,3		27,7		39,6
<u>CICLO 2</u>					
Control	0,0		56,3		-56,3
6x4	49,5		49,8		- 0,3
6x3	71,4		46,4		25,0
6x2	79,9		37,1		42,8
6x1	132,4		35,5		96,9
<u>ANUAL</u>					
Control	0,0		117,4		-117,4
6x4	64,0		101,1		- 37,1
6x3	95,8		95,5		0,3
6x2	107,3		65,8		41,5
6x1	199,8		63,2		136,6

4.3.3. Análisis de regresión para nitrógeno total en el sistema.

El modelo de regresión para N de la biomasa total de maíz, resultó no significativo para el coeficiente de regresión beta en el ciclo 1. La misma situación se presentó en el ciclo 2. Los coeficientes de variación y de regresión R^2 , se redujeron en el segundo ciclo en relación al primero, aunque el tamaño de (n) aumentó. Esto permite suponer que también en el N de la biomasa total del maíz, el efecto de tratamiento tiende a desaparecer (Figuras 3 y 4).

Graficando conjuntamente para cada ciclo, los modelos de regresión entre N total maíz-densidades poró y N total poró-densidades poró (Figuras 3 y 4), es posible identificar la densidad de plantación a la que se produce el N total requerido para satisfacer la demanda del cultivo.

El punto de balance teórico para el ciclo 1, se localizó a una densidad de 1500 árboles/ha, mientras que en el ciclo 2, se ubicó a unos 1100 árboles/ha. Las proyecciones para un tercer ciclo de maíz (del cual solo se ha medido la 3^{ra} poda, hasta este momento), considerando un rendimiento del 4^{to} cultivo, igual al del tercer cultivo de maíz, se sugiere que la demanda de nitrógeno podría quedar satisfecha con una densidad de 600 árboles/ha (Figura 5). El comportamiento del N total en este gráfico da una idea clara de la drástica reducción del déficit de N orgánico en el sistema, a través de las podas. Esto muestra un evidente efecto positivo ante la presencia de árboles de poró en el sistema.

4.3.4 Correlaciones entre poró y maíz

Casi todas las correlaciones fueron no significativas, sin embargo, las mejores correlaciones positivas se presentaron entre el rendimiento de grano y N grano de maíz contra la biomasa de hojas de poró, N hojas y N total de poró; con valores de 0,33, 0,34 y 0,32, respectivamente, para rendimiento en grano (Cuadro 6A).

Esto sugiere que el mayor beneficio por la presencia de hojas, N hojas y N total de poró en el suelo (podas), lo obtienen el grano y el N grano de maíz y que posiblemente la tendencia con el tiempo sea, la de establecerse una relación

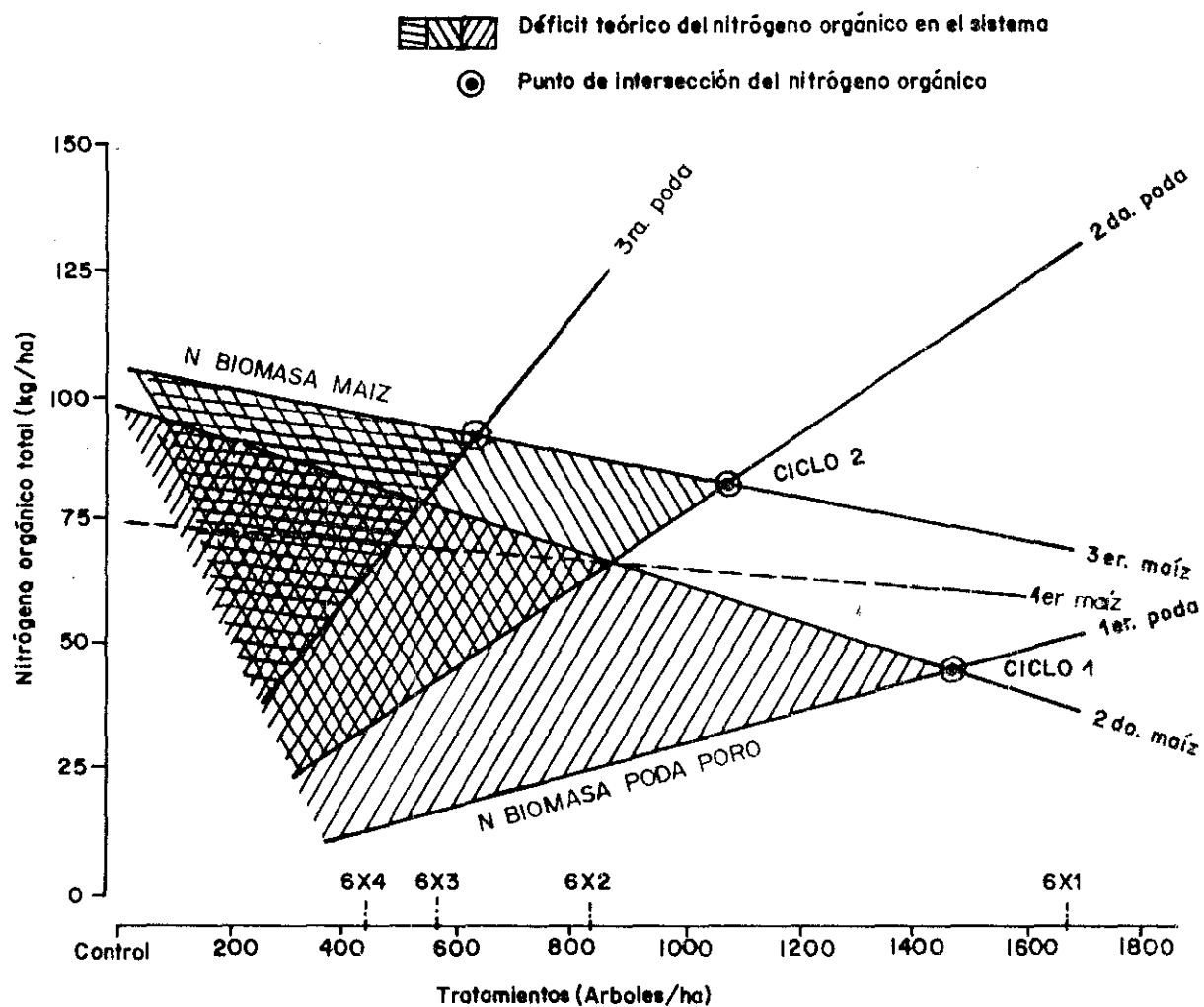


Figura 5. Comportamiento del nitrógeno orgánico por ciclo en el sistema.

benéfica entre estas variables de poró y maíz a través de las podas del poró, que son las que aportan las hojas y su respectivo N orgánico.

4.4. Análisis químico de la biomasa

4.4.1 Poró

El balance químico de la biomasa del sistema para el ciclo 2, mostró que los únicos elementos que presentan déficit, son principalmente el fósforo donde solo el tratamiento 6x1 es autosuficiente, y el magnesio donde los tratamientos 6x1 y 6x2 no tienen problema de suministro. Esto sugiere que en el futuro, el resto de tratamientos podría tener problema con el suministro de estos elementos. El nitrógeno, potasio y calcio son aportados por la biomasa de las podas del poró, en forma suficiente a lo requerido por el cultivo de maíz en todos los tratamientos y no representan problema (Cuadro 9).

4.5. Análisis químico del suelo

Con excepción del pH no hubo un efecto de tratamiento claramente definido, para ninguna variable del análisis químico del suelo. Sin embargo, el efecto análisis (tiempo) fue significativo al ($P \leq 0,17$) para acidez extraíble; ($P \leq 0,06$) para fósforo disponible y de ($P \leq 0,05$) para potasio; para el resto de variables fue significativo al ($P \leq 0,01$).

La interacción tratamiento*análisis, no fue significativa y los coeficientes de variación más altos: 43, 30, 27 y 16%, corresponden a acidez extraíble, fósforo, potasio y calcio el resto fueron del 14% (Cuadro 10 y 9A).

Cuadro 9. Balance químico en la biomasa del sistema de cultivo en franjas para el Ciclo 2.

ELEMENTO/ QUIMICO/TRATAMIENTO		BIOMASA PORO (entrada)	-	GRANO MAIZ (salida)	=	BALANCE (saldo)
		(kg/ha)				
P	Control	0,0		19,7		- 19,7
	6x4	6,2		14,6		- 8,4
	6x3	5,9		16,1		- 10,2
	6x2	6,3		11,2		- 4,9
	6x1	9,9		9,5		0,4
K	Control	0,0		19,3		- 19,3
	6x4	48,4		14,5		33,9
	6x3	63,4		14,0		49,4
	6x2	53,8		10,4		43,4
	6x1	82,1		9,2		72,9
Ca	Control	0,0		3,3		- 3,3
	6x4	10,3		1,9		8,4
	6x3	11,4		2,3		9,1
	6x2	14,3		1,7		12,6
	6x1	21,7		1,9		19,8
Mg	Control	0,0		12,9		- 12,9
	6x4	4,4		11,3		- 6,9
	6x3	4,0		9,6		- 5,6
	6x2	5,9		4,9		1,0
	6x1	8,7		4,5		4,2

La materia orgánica, el pH del suelo el nitrógeno orgánico y el potasio, contenidos en el suelo sufrieron una reducción a través del tiempo. Sin embargo, la acidez extraíble y el fósforo disponible en el suelo tuvieron un notable incremento, como se puede ver en el Cuadro y Figura 10A.

Cuadro 10. Comportamiento químico del suelo y análisis de varianza (incluido control no-fertilizado).

VARIABLE/TRATAMIENTO		1 ^{er} Análisis	2 ^{do} Análisis	3 ^{er} Análisis
Materia Orgánica (%)	Control	8,96	6,05	6,23
	6x4	7,59	6,25	5,27
	6x3	7,19	5,40	5,97
	6x2	8,02	5,70	6,43
	6x1	7,01	5,45	5,47
Acidez Extraíble (meq/100ml)	Control	0,47	0,90	0,57
	6x4	0,73	0,93	1,02
	6x3	0,60	0,80	0,87
	6x2	0,47	0,58	0,53
	6x1	0,73	0,72	1,07
pH Suelo	Control	5,47	5,00	5,10
	6x4	5,48	5,04	5,04
	6x3	5,45	5,13	5,01
	6x2	5,55	5,32	5,20
	6x1	5,47	5,21	5,05

ANDEVA Fuente	MatOrg	Acidez	pH Suelo	N	P	K	Ca	Mg
(Probabilidad de F)								
TRATAMIENTO	NS	NS	0,271	NS	NS	NS	NS	NS
ANALISIS	0,001**	0,165	0,001**	0,001**	0,060	0,050 *	0,001**	0,001**
TRAT*ANAL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	-(1)-	-(2)-	-(3)-	-(1)-	-(4)-	-(2)-	-(2)-	-(2)-
MEDIA GRAL.	6,464	0,732	5,230	0,367	6,430	0,663	5,900	1,432
DMS 0,05	1,871	0,515	0,193	0,090	2,180	0,271	1,702	0,377
DESV.EST.	0,911	0,317	0,157	0,052	1,929	0,179	0,962	0,200
C. V.	14%	43%	3%	14%	30%	27%	16%	14%

** Significativo al 1% ; * Significativo al 5% ; NS No significativo

Unidades de medición:

(1): %

(2): meq/100 ml

(3): $-\log [H^+]$

(4): ug/ml

V. DISCUSION

5.1. Poró

5.1.1. Biomasa

En el análisis del Cuadro 2A de varianzas, se observó que tanto el efecto tratamiento (densidad), como el efecto ciclo (poda), son significativos ($P \leq 0,01$), para biomasa foliar y total; pareciera que los dos efectos son igualmente importantes estadísticamente. Sin embargo, los datos de producción de biomasa que informa la literatura (63,74,90, 96,99), parecen indicar que el efecto poda (edad estaca) tiene mayor influencia sobre la producción de biomasa en general, que el efecto de tratamiento (árboles/ha), cuando menos para estacas de poró plantadas, arriba de 1,5-2 años. En el futuro en este experimento los dos efectos tendrán que ser investigados más a fondo, sobre todo en relación a la producción de biomasa foliar, que es la que aporta más nitrógeno.

En términos generales y partiendo del análisis del Cuadro 5, se evidencia que la producción de biomasa de podas del poró, promedio de tratamientos, del cultivo en franjas semestral y por año, está de acuerdo con lo informado en otros trabajos realizados anteriormente. Por ejemplo, Molleapaza (74) en una poda efectuada en hojas y ramas de seis meses de edad, obtuvo 2,89 ton/ha en un sitio con 280 árboles/ha. Sin embargo, la producción de biomasa de este experimento es menor que las 11,79 ton/ha/año, informadas por Russo (98). Esto se debe muy probablemente, a que las estacas con que trabajó Russo tenían ocho años de plantadas, mientras que las del presente trabajo, tenían solo año y medio, al momento de la segunda poda.

Ante todo esto, se podría decir que mientras el efecto poda (edad estaca) sea significativamente superior ($P \leq 0,01$) en el sistema, el efecto tratamiento (densidad) podría quedar en segundo término, sobre todo en estacas de poró que están en pleno desarrollo, como es el caso de este experimento, el cual se encuentra, en su fase de establecimiento inicial. Sin embargo, todo esto deberá ser objeto de comprobación a través del tiempo ya que, el tratamiento 6x1, siempre presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0,01$) importantes, con respecto a los demás en cuanto a mayor producción de biomasa foliar y total. También podría ser objeto de comprobación en el tiempo, cual es el comportamiento del efecto densidad, ante regímenes de poda distintos a dos veces por año, en relación a producción de biomasa foliar de poró. Debido a que los coeficientes de variación fueron altos en el análisis anual ($>30\%$), parece deseable muestrear más de 6 árboles por tratamiento, hasta poder reducirlos.

5.1.2. Nitrógeno

Los datos observados en este experimento están dentro del ámbito con relación a la información suministrada por Ssekabembe (104) para Leucaena en el cultivo en franjas, obtenida en Filipinas, Nigeria, Hawaii y Colombia. Estos varían de 60-250 kg N/ha/año aportado en las podas de Leucaena (Cuadro 2). Sin embargo, el N orgánico producido en este experimento, en términos generales es menor (64-200 kg N/ha/año, Cuadro 6), que lo informado por Russo (98) y lo citado por Aranguren Escalante y Herrera (9,10), para E. poeppigiana asociado con café y cacao, que es de 228 y 320 kg/ha/año de N orgánico, respectivamente (Cuadro 1). Cabe destacar que los datos para la 3^{ra} poda en el tratamiento 6x1, indican un aporte de casi 300 kg N/ha (299,2 kg N/ha), para el presente experimento (Cuadro 5A).

El bajo aporte en la producción de N, puede deberse al efecto del sitio (suficiente reserva de N en el suelo, todavía) y al hecho de que, como se mencionó antes, las estacas de este trabajo son muy jóvenes todavía ($\pm 1,5$ años a la 2^{da} poda) y se encuentran en pleno desarrollo. Esto podría estar ocasionando un fenómeno de comportamiento muy similar al de la producción de biomasa del poró analizada anteriormente, ya que la edad de los árboles de los trabajos mencionados tienen ocho (98) y treinta (9) años, respectivamente. Por tanto esto también podría estar favoreciendo la producción de N total, a través del efecto poda (edad estaca) y no de la densidad (árboles/ha), para el caso de los datos de la literatura (9,10,98).

Se observó que el efecto de tratamiento (densidad plantación), favorece el N ramas producido, para cada ciclo por separado, mientras que el efecto poda (edad estaca), favorece significativamente ($P \leq 0,01$) al N hojas del poró sobre todo a una densidad dada (Cuadro 6). Debido a que, mientras el efecto de poda sea significativo, el sistema tiende a producir N foliar en forma notable. La aplicación práctica de todo esto sería, la de investigar el mejor régimen de podas que ajustado a la fenología o floración del maíz en el cultivo en franjas, se adapte mejor a cualquier tratamiento (densidad plantación). De esta forma el efecto combinado régimen poda*densidad, produciría un balance positivo de N como fuente permanente en el sistema y se favorecería la producción del N foliar requerido, para producir grano de maíz. Ya que los coeficientes de variación observados en el análisis anual fueron altos ($\geq 40\%$), esto se debe posiblemente a que solo se tomó una muestra por árbol para la determinación del N orgánico, en el laboratorio. Parece deseable tomar más de una muestra por árbol, para poder reducirlos.

5.2. Maíz

5.2.1. Biomasa

Los rendimientos en grano de maíz (15% humedad) por tratamiento, observados en este experimento: 4,19, 4,22, 6,08, 6,19 y 7,45 ton/ha/año, en los tratamientos 6x1, 6x2, 6x3, 6x4 y control, respectivamente, son altos en relación a la literatura existente para el cultivo en franjas. Kass (63), con un cultivo en franjas de E. poeppigiana en Costa Rica, utilizó varios sistemas de cobertura orgánica y obtuvo un rendimiento en grano (15% humedad) de 1,5 ton/ha y 1,3 ton/ha en el control sin cobertura y sin fertilizante. Por otra parte Araya (11) obtuvo, también en Costa Rica, pero en condiciones de clima y suelo más secas y con coberturas de Gliricidia sepium sin herbicida y sin nitrógeno mineral, un rendimiento en grano de maíz (12% humedad) de 1,95 ton/ha y 1,59 ton/ha en el control sin árboles. Sin embargo, en trabajos realizados en el IITA (50,51), utilizando Leucaena leucocephala, Tephrosia candida, Cajanus cajan y Gliricidia sepium, se han obtenido hasta 5,1 ton/ha/año como promedio de rendimiento en grano de maíz. Por alguna razón, en estos trabajos no se ha obtenido respuesta al efecto de tratamiento cuando se probaron varios espaciamientos de plantación, desde 0,50 m hasta 6,75 m de ancho de las franjas de árboles leguminosos. Esto concuerda con la tendencia del presente experimento, la cual consiste en que a través del tiempo es menos significativo cada vez, el efecto de tratamiento, para biomasa de grano producida. Pareciera que el efecto de la sombra en los tratamientos más densos, se compensa con la gran cantidad de nitrógeno y materia orgánica depositada en el suelo y producida en las podas del poró, en esos mismos tratamientos. Si la tendencia continúa así, en los próximos ciclos se esperaría que los tratamientos superen al control con buena ventaja, en cuanto a rendimientos en grano de maíz (Cuadro 5).

Trabajos realizados con Leucaena en sistemas de cultivo en franjas, como los de Guevarra (46) en Hawaii, Kang et al. (61) en Nigeria, y Rachie (85) en Colombia, informan rendimientos en grano de maíz de 2,39, 3,80 y 6,0 ton/ha/año, a una densidad de siembra de 40,000 plantas/ha. Estos rendimientos son ligeramente inferiores a los de este trabajo (Cuadros 2 y 5).

5.2.2. Nitrógeno

El efecto de tratamiento, en los rendimientos de N grano, siguió el mismo patrón que la biomasa, no así el N planta, el cual tuvo un comportamiento poco definido y diferencias no significativas. No hubo efecto de ciclo, en el N grano ni en el N planta, sin embargo, a mayor densidad la relación N grano/N planta, se redujo favoreciendo el N planta pero la relación misma, prácticamente no se vio afectada por el efecto del ciclo propiamente en el sistema. Esto podría ser un indicio de que las concentraciones de N por componente, se mantienen con el tiempo, a una densidad de árboles/ha dada.

El efecto de tratamiento (árboles/ha) y el efecto de ciclo (época cultivo), favorecen la biomasa de planta y no la del grano de maíz (el cual acumula la mayor cantidad de N). Esto se puede explicar a través de la curva del N total producido en cada ciclo del sistema, la cual está pasando de tener una pendiente negativa, a tener una pendiente cero (horizontal), para después tener, una pendiente positiva (si la tendencia continúa) y llegar así a convertir otra vez, los efectos de tratamiento (densidad) en significativos estadísticamente. La biomasa del maíz, podría acumular cantidades significativas de nitrógeno orgánico total ya que es la que eventualmente resultaría favorecida. Pero desde luego, actualmente ocurre lo contrario en el sistema.

El efecto de ciclo y la interacción tratamiento*ciclo, fueron significativos al $P \leq 0,01$ y $P \leq 0,05$, respectivamente, en la producción del N total. Esto sugiere el hecho de que el ciclo, en cuanto a la fuente de N, está afectando en forma decisiva el efecto de tratamiento, ya que cada nueva poda de poró aporta mayor cantidad de N orgánico total, además del efecto densidad propiamente. Esto podría explicar perfectamente la interacción tratamiento*ciclo (Cuadro 3A).

5.3. Efecto del poró en el sistema

5.3.1. Contrastes para biomasa y nitrógeno de maíz

El efecto árbol, fue estadísticamente significativo ($P \leq 0,01$) en su influencia sobre la biomasa del maíz y su efecto tiende a ser altamente significativo, sobre el nitrógeno del maíz, con el tiempo, como lo demuestran los contrastes. Sin embargo, el efecto densidad tiende a desaparecer tanto en la biomasa como en el nitrógeno del maíz, pero conserva su influencia sobre el grano y el N grano al menos, a una significancia de $P \leq 0,05$ y $P \leq 0,01$, respectivamente.

5.3.2. Balance del nitrógeno en el sistema

A medida que pasa el tiempo, el balance de N efectuado por ciclo, presenta un saldo cada vez más favorable. Mientras en el ciclo 1 solo el tratamiento de mayor densidad de plantación (6x1) produjo un saldo positivo, en el ciclo 2, hubieron tres tratamientos (6x1, 6x2, 6x3) con saldos positivos, el primero de los cuales tuvo un excedente anual de 136,6 kg N/ha (Cuadro 8).

Esto sugiere la posibilidad de que con el tiempo, la mayor acumulación del N orgánico aportado por la biomasa de podas del poró en el sistema, hará desaparecer los balances negativos en todos los tratamientos, excepto en los controles sin árboles (Figura 8A).

5.3.3. Equilibrios (balances) entre el aporte y la extracción del nitrógeno total del sistema

Debido a los constantes incrementos en la producción de N proveniente de las podas, el número de árboles requerido para satisfacer la demanda de N del maíz se ha venido reduciendo en cada ciclo.

El punto de equilibrio del N orgánico total para el ciclo 1, se localizó en 1500 árboles/ha, mientras que para el ciclo 2, se ubicó en 1100 árboles/ha. Al estimar el punto de intersección para el ciclo 3, del cual ya se evaluó la tercer poda, este punto de equilibrio sería localizado a una densidad de 600 árboles/ha, aproximadamente. Sin embargo, estas cifras deben tomarse con cuidado ya que existe una cierta acumulación neta de N en el suelo después de cada ciclo (Cuadro 8). Esto hace que el número de árboles de poró requeridos en un ciclo dado, no se pueda calcular como una simple diferencia de N ofrecido - N requerido. La cifra real debe tomar en cuenta el balance $P = D - A$, donde P = Nitrógeno producido en la biomasa podas poró, D = Nitrógeno requerido por el maíz y A = Nitrógeno acumulado en el ciclo anterior, ajustada por el balance mismo del N en el suelo (lixiviación, volatilización, vel.descomp.mat.org., etc.).

El déficit teórico de N orgánico se va reduciendo, en forma drástica a través del tiempo por medio de la biomasa de las podas del poró. Esto explica bien la influencia del efecto Arbol (presencia/ausencia) en el sistema, sobre todo en el contenido del N proteico del cultivo asociado, ya que con excepción de la caída del N total del segundo cultivo de maíz en los tratamientos más densos, este comenzó a incrementarse, en los ciclos siguientes (Figura 5). Estos resultados permiten aceptar la hipótesis uno planteada en este trabajo sobre la capacidad del poró para suplir los requerimientos de nitrógeno y fertilizante mineral del cultivo asociado, a través del N aportado en las podas.

El efecto adverso de la sombra en los tratamientos de mayor densidad, se compensa evidentemente con la gran cantidad de materia orgánica y nitrógeno depositado en el suelo (podas), en esos tratamientos (Figura 5).

5.3.4. Correlaciones entre poró y maíz

Los mejores modelos de regresión entre poró y maíz encontrados, sugieren una cierta correlación, entre el N de hojas de poró y el N grano de maíz, debido a la gran cantidad de N orgánico contenido en las hojas del poró, en una relación benéfica de variables dependientes.

Existen correlaciones positivas y estadísticamente significativas entre la producción de grano y N grano de maíz contra biomasa de hojas, N hojas y N total aportado por el poró. Todo lo cual sugiere que existe un efecto favorable ante la presencia del poró en el sistema.

De los análisis de regresión precedentes, se pone en evidencia que, el efecto de tratamiento tuvo una respuesta lineal negativa, para la producción de biomasa y nitrógeno del maíz, debido al efecto de sombra del poró y una respuesta lineal positiva para la producción de biomasa y nitrógeno del poró, debido al efecto de poda (principalmente) y tratamiento (densidad).

5.4. Balance químico de la biomasa del sistema

5.4.1. Poró

Las medias del tratamiento 6x1 para N, K y Ca en el ciclo dos, fueron las más altas y significativas ($P \leq 0,05$), por efecto de tratamiento, en la biomasa del poró con: 132,4 82,1 y 21,7 kg/ha, respectivamente, en este ciclo. Esto sugiere una alta recuperación, no solo de N en el sistema, sino también de K y Ca, a través de la poda, sobre todo por parte de las hojas del poró. Sin embargo, la misma tendencia se observó en el análisis químico de la biomasa total del

poró (2^a poda) (Cuadro 9) y se comprueba con los datos más recientes de la 3^a poda (Figura 9A). Estos valores son un poco inferiores a lo informado por Aranguren Escalante y Herrera (9,10) en Venezuela, que es de 320 kg N/ha poda, pero están de acuerdo con lo informado por Russo (98) en Costa Rica, de 228 kg N/ha, de 18 kg P/ha, de 138 kg K/ha, de 84 kg Ca/ha y de 38 kg Mg/ha, recuperados a través de dos podas/año (Cuadro 1), comparativamente (al convertir por dos, los datos de este trabajo para ser posible la comparación anual) con las dos podas realizadas en el experimento.

En algunos casos, los datos observados en este trabajo para Ca y Mg están un poco bajos dada la alta densidad de plantación (1667 árboles/ha) en el tratamiento 6x1. Pero es probable que esto se debe a que, las estacas de poró solo tenían 1,5-2 años al momento de la segunda poda, y por lo tanto estaban muy jóvenes y no habían llegado a su desarrollo máximo. Pero esta no es una situación estática sino en constante incremento (ver producción 3^a poda, Cuadro 5A). Por lo tanto, se trataba de tener una idea de la potencialidad del sistema probado en este trabajo, como fuente de ingreso de otros nutrimentos y no solamente nitrógeno (Cuadro 7A).

5.4.2. Maíz

No hubo significancia para ninguna fuente de variación incluso tratamiento, para ninguna variable excepto Ca, el cual presenta una significancia de ($P \leq 0,05$) para efecto de bloque (Cuadro 8A). Esto podría indicar que, por efecto de tratamiento al menos, no hay movilización significativa de estos elementos ($P \leq 0,05$), en la biomasa de grano de maíz, dada la recuperación existente por parte de la biomasa de la planta no exportable del sistema en el momento de la cosecha. Sin embargo, el control fue el que más acumuló nutrimentos en la biomasa de grano de maíz: 56,3 19,7 19,3

3,3 y 12,9 kg/ha, de N, P, K, Ca, y Mg, respectivamente. En términos generales, el N se encuentra más alto que lo informado en la literatura (11,55,63) para biomasa de grano, posiblemente debido al barbecho a que estuvo sometido este terreno experimental y a las reservas de N orgánico total que todavía conserva este suelo. Debido también, a su contenido de materia orgánica inicialmente alto, dado su origen (7,75% promedio).

5.4.3. Balance

El balance químico de la biomasa producida en el ciclo 2, revela un claro déficit de fósforo en los tratamientos 6x2, 6x3 y 6x4 (-4,9 -10,2 y -8,4 kg/ha, respectivamente) (Cuadro 8). Así también, existe déficit de Mg en los tratamientos: 6x3 y 6x4 con -6,9 y -5,6 kg/ha respectivamente. Estos saldos negativos pueden ser un indicio de que en el futuro a corto plazo, podría haber problemas con el suministro de estos elementos al cultivo, ya que al menos en el caso del fósforo, es muy probable que exista inmovilización de este mineral en el suelo del sitio de estudio. Este proceso puede ser aún más grave si se nota la disminución en el pH del suelo en un lapso de año y medio de medición (5,49-5,08).

5.5. Comportamiento químico del suelo

5.5.1. Análisis de varianza

El efecto de tratamiento (árboles/ha), no fue significativo para todos los casos (Cuadro 9). Sin embargo, el efecto análisis (tiempo) fue significativo ($P \leq 0,01$) en casi todos los casos excepto, acidez extraíble ($P \leq 0,16$), fósforo ($P \leq 0,06$) y potasio ($P \leq 0,05$), debido muy probablemente a sus coeficientes de variación: 43, 30 y 27 %, respectivamente. Esto podría ser un simple problema de muestreo o de procedimiento en la determinación de laboratorio. Por otra parte, dado que el fósforo presenta problemas de inmovilidad

en el suelo, se trató de corregirlo en el terreno experimental realizando aplicaciones minerales de P_2O_5 al suelo, equivalente a 100 kg P/ha/año. Por lo tanto el fósforo, no puede ser involucrado con toda rigurosidad en este análisis.

5.5.2. Contrastes

Los contrastes realizados del control contra todos los tratamientos mostraron: para el tratamiento 6x1, menor significancia ($P \leq 0,05$) en nitrógeno y materia orgánica; en el tratamiento 6x2, menor significancia ($P \leq 0,05$) en fósforo y mayor significancia ($P \leq 0,01$) en el pH del suelo; en el 6x3 no hubo diferencias significativas y en el 6x4 alta significancia estadística ($P \leq 0,01$) en el nitrógeno orgánico y baja significancia ($P \leq 0,05$) en fósforo y calcio (Cuadro 9A). Todo esto sugiere que no hay nada claro ni definido todavía, en el comportamiento de estos parámetros del suelo.

5.5.3 Características, nutrimentos y fertilidad

En relación al primer análisis de suelos, efectuado en el trabajo se observa que mientras, la materia orgánica, el pH, carbono, nitrógeno, potasio, calcio y magnesio bajaron sensiblemente (7,75-5,96, 5,49-5,08, 4,49-3,42, 0,44-0,39%, 0,80-0,63, 6,69-5,88 y 1,62-1,52 meq/100ml, respectivamente), la acidez extraíble se elevó de 0,60 a 0,80 meq/100ml. Esto sugiere un proceso evidente de acidificación del suelo, por incrementos en la materia orgánica y una modificación en la relación C/N (Cuadro y Figura 10A).

Con excepción del fósforo, cobre y manganeso, los cuales incrementaron su concentración en el suelo, la mayoría de nutrimentos analizados la redujeron (Cuadro 10A). En cuanto a fertilidad se refiere, la capacidad de intercambio catiónico se elevó de 42,93 a 45,23 meq/100 ml y la relación C/N bajó de 10,18 a 8,77, así como otras relaciones como K/Na y Ca/Mg también sufrieron decrementos

notables a través del tiempo. Sin embargo, las relaciones Mg/K y (Ca+Mg)/K presentaron un pequeño incremento, debido a la reducción significativa ($P \leq 0,05$) del potasio (Cuadro 10).

5.5.4. El efecto en el suelo

Durante el desarrollo del experimento, no se presentaron variaciones significativas en la fertilidad del suelo en relación al efecto de tratamiento.

Al comparar el estado químico inicial con el final, se nota un claro aumento de algunos elementos como fósforo y acidez extraíble, así como un descenso en la mayoría de los otros parámetros medidos, por ejemplo, acidificación en el pH, materia orgánica y el nitrógeno (Figura 10A).

La explicación de este comportamiento, puede deberse a la gran cantidad de N y materia orgánica aplicada al suelo, a través de las podas del poró. Esto provoca una reducción en la relación C/N, al incrementarse el N orgánico disponible en el suelo y con ello se están propiciando procesos de acidificación. Esto es aún más probable si el material utilizado como cobertura verde es de rápida descomposición, como por ejemplo, el de la mayoría de leguminosas arbóreas, lo cual concuerda con los trabajos de Wade y Sánchez (111), Kang y Wilson (60) y del IITA (51,53). Sin embargo, este efecto es un poco menos notable en épocas secas y con coberturas verdes de no-leguminosas como Tectona grandis (110) y Gmelina arborea (85) (ambas Verbenaceae); ó Acioa barterii (55) (Chrysobalanaceae), y Alchornea cordifolia (Euphorbiaceae), respectivamente.

VI. CONCLUSIONES

La alta significancia ($P \leq 0,01$), en los incrementos de producción de la biomasa de podas del poró, permite preveer aumentos sustanciales en la cantidad de materia orgánica y nitrógeno disponible en los próximos ciclos. Esta situación ha impedido que se establezca el sistema en cuanto a la densidad óptima del poró en función del nitrógeno total requerido por el maíz, para producir grano. Sin embargo, se puede asegurar que la biomasa de podas del poró es una fuente permanente de nitrógeno orgánico, como lo demuestra el balance positivo de estos elementos minerales dentro del sistema, para hacer producir prácticamente cualquier cultivo asociado, que no compita en forma desventajosa por luz solar, con el poró.

A pesar de ser todavía muy jóvenes las estacas del poró en la segunda poda (1,5 años de plantadas), y debido al efecto positivo de la poda en esta especie (excelente capacidad de rebrote), la cobertura verde (mulch) ya está aportando gran cantidad de N orgánico (199,8 kg N/ha/año), al suelo. Además de que estas cantidades fueron en aumento, a través del tiempo.

En cuanto al efecto poda, estos resultados permiten aceptar la hipótesis uno de este trabajo, en relación a que, la biomasa de podas (hojas+ramas) del poró depositada en el suelo como cobertura verde (mulch), puede suplir los requerimientos de nitrógeno y fertilizante mineral para el cultivo asociado.

Hasta el momento los rendimientos de grano de maíz, han sido igualmente satisfactorios, en las densidades bajas (6x3 y 6x4), como en el control sin árboles. De continuar la tendencia actual el déficit de N orgánico total, seguirá reduciéndose en forma drástica con el tiempo. Esto indica

un evidente efecto positivo del poró en el sistema, y se espera que en los próximos ciclos, los tratamientos con árboles, superarán al control sin árboles. Sin embargo, el efecto positivo de la densidad (árboles/ha), no queda muy claro en este trabajo. Únicamente se puede concluir que las densidades bajas del poró (6x4 y 6x3), mantuvieron rendimientos equivalentes al control y que las densidades altas (6x2 y 6x1), obraron un efecto negativo en los rendimientos del grano de maíz. Esto ocurrió independientemente a cuales puedan ser las tendencias del sistema en el futuro.

En relación al efecto densidad de plantación de poró, sobre el maíz, los resultados iniciales de este experimento hacen rechazar la hipótesis dos del trabajo, en relación a que, existen densidades apropiadas de plantación de poró, que incrementan la producción y el contenido de nitrógeno del maíz.

Si el proceso de acidificación del suelo continúa a través del tiempo y el pH no logra estabilizarse, este podría convertirse en un factor limitante para la productividad del sistema. Sobre todo podrían presentarse en el futuro problemas con una escasez cada vez mayor de fósforo disponible en el suelo. Ya que su balance en la biomasa resultó negativo, a pesar de las aplicaciones correctivas de fósforo, realizadas en el sitio de estudio.

VII. RECOMENDACIONES

Uno de los contrastes más significativos ($P \leq 0,01$), resultante en este trabajo, fue el del efecto árbol (presencia/ausencia) en el sistema. Esto quiere decir que hay una gran diferencia en cuanto a producción de biomasa o nitrógeno orgánico, entre colocar y no-colocar árboles en este sistema de cultivo, sobre todo en relación al nitrógeno ($P \leq 0,01$). Esto sugiere que en el futuro, se le debería dar más importancia a los controles sin árboles y poder determinar y probar la eficiencia en la utilización del nitrógeno, por el maíz en el sistema. Lo cual en este trabajo no se evaluó, por considerar que se salía de los objetivos del trabajo. Sin embargo más adelante, se podrían dejar *in situ* las parcelas de mayor producción de este experimento y eliminar los otros tratamientos a través de un raleo, o utilizarlos como control, con aplicaciones minerales, además de la cobertura verde de las podas (mulch).

En experimentos posteriores, sería recomendable dividir todas las parcelas de campo en dos mitades, para fertilizar aleatoriamente una de las dos y así en lugar de probar cinco tratamientos (incluyendo el control), probar 10 en total, evaluándose sus contrastes.

Ya que uno de los efectos principales encontrados aquí fue el de poda, con una alta significancia ($P \leq 0,01$), sería recomendable probar otro régimen de poda (distinto al de dos veces por año). Esto permitiría dilucidar cual es la mejor combinación régimen*densidad, que se ajusta mejor al maíz, y que además incrementa la biomasa foliar.

Debido a que el sistema todavía no se estabiliza en cuanto a producción de biomasa y nitrógeno, se recomienda tomar datos por dos o tres años más, para lograr establecer la densidad de poró óptima, a plantar con maíz. Lo cual permitiría

recomendar el sistema, para producir maíz (arriba de 5,6 ton/ha/año-grano al 15% humedad), sin el uso de productos químicos caros, en condiciones de Turrialba.

En experimentos de este tipo se debería utilizar, en lo posible, material clonal homogéneo en edad y similitud en las dimensiones de la estaca del poró. Pero preferiblemente se debería utilizar plántula de vivero o semilla de poró para siembra directa y después ralea al espaciamiento requerido dentro de las franjas, en el mejor de los casos. Esto podría contribuir a evitar los problemas de heterogeneidad en el establecimiento y retoño inicial de la plantación, así como también, evitaría problemas de competencia por nutrimentos, agua, luz y en general, con respecto al cultivo asociado.

Por otra parte este sistema de cultivo en franjas de poró/maíz, debería ser probado en otras condiciones de suelo y clima, más adversas. Cabría esperar que en suelos menos fértiles el efecto del aporte de biomasa de poró, pueda ser significativamente mayor, aún más en cuanto al rendimiento del maíz.

Si este sistema se estableciera en pendientes habría un efecto protector del suelo por las raíces del poró, así como por la cobertura verde (mulch), aportada en las podas. También se deberían probar otras leguminosas arbóreas nativas de Costa Rica, tales como: Inga spp., Mimosa bracatinga, Gliricidia sepium, Diphysa robinoides y Erythrina fusca, todas especies conocidas y usadas en sistemas agroforestales en América Central.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. ADRIANO, D.C.; PRATT, P.F.; BISHOP, S.F. 1972. Nitrate and salt in soils and groundwaters from land disposal of dairy manure. Soil Science Society of American Journal (EE.UU.) 35: 759-762.
2. AGUIRRE ASTE, V. 1971. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación /CTEI. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., IICA/CTEI. 138 p.
3. AINA, P.O. 1981. Effects of time and duration of mulching on maize Zea mays L. in Western Nigeria. Field Crops Research (Holanda) 4:25-32.
4. ALFEREZ, A.C. 1980. Utilization of Leucaena as organic fertilizer to food crops. 2nd Edition. Professional Lecture. Dec. 16. SEARCA. p 17.
5. ALKAMPER, J. 1979. The influence of weeds on the yield of tropical crops. Plant Research & Development. (R.F.A.). 9:127-137.
6. ALPIZAR, L.; FASSBENDER, H.W.; HEUVELDOP, J. 1983. Estudio de sistemas agroforestales en el experimento central del CATIE. 3:Producción de residuos vegetales. Turrialba, C.R., CATIE/GTZ, Proyecto Agroforestal. 10 p.
7. -----.; FASSBENDER H.W.; HEUVELDOP, J.; FOLSTER, H.; ENRIQUEZ, G. 1986. Modelling agroforestry systems of cacao Theobroma cacao with laurel Cordia alliodora and poró Erythrina poeppigiana in Costa Rica. 1: Inventory of organic matter and nutrients. Agroforestry Systems (Holanda). 4(3):175-190.
8. ANAYA L, A.L.; RUY-OCOTLA, G.; ORTIZ, L.M.; RAMOS, L. 1982. Potencial alelopático de las principales plantas de un cafetal. In Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. Ed. por Jiménez E., A.; Gómez-Pompa, A. Xalapa, México, INIREB. p. 85-94.

9. ARANGUREN, J.; ESCALANTE, G.; HERRERA, R. 1982. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. 1:Coffee. Plant & Soil (Holanda).67:247-258.
10. _____.; ESCALANTE, G.; HERRERA, R. 1984. Ciclo del nitrógeno en cultivos tropicales permanentes bajo árboles de sombra. 2:Cocoa. Plant & Soil (Holanda). 67:259-269.
11. ARAYA, F. 1986. Efecto del madero negro Gliricidia sepium (Jacq.) Steud. como abono verde en un sistema de maíz Zea mays L. - frijol Phaseolus vulgaris L. en relevo en Acosta-Puriscal, San José, Costa Rica. Borrador tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R.Programa Universidad de Costa Rica/CATIE.165 p.
12. BALASUBRAMANIAN, V. 1983. Alley cropping: ¿can it be an alternative to chemical fertilizers in Ghana?. Kumasi, Ghana, Kwadeso Agricultural College. p. 13. (An invited paper presented at the 3rd national maize workshop, february 1-3, 1983).
13. BARON RAMIREZ, J.E. 1986. Establecimiento de Gliricidia sepium (Jacq) Steud. y efecto de su siembra en callejones (alley cropping), sobre la producción de maíz y frijol. Borrador tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R.,Programa Universidad de Costa Rica/CATIE.116p.
14. BEER, J.W. 1980. Erythrina poeppigiana con pasto. Turrialba, C.R., CATIE/INFORAT. 4 p.
15. _____. 1983. A case study of traditional agroforestry practices on the wet tropical zone "La Suiza Project". Turrialba, C.R., CATIE. 35 p.
16. BENAVIDES, J.E. 1983. Investigación en árboles forrajeros. Turrialba, C.R., CATIE. 27 p. (Trabajo presentado en el Curso Corto sobre Técnicas Agroforestales. Turrialba, C.R. sept.).
17. BENE, J.C.; BEALL, H.W.; COTE, A. 1977. Trees, food and people; land management in tropics. Ottawa, Canada, IDRC. 52 p.

18. **BORCHERT, R.** 1980. Phenology and ecophysiology of tropical trees: Erythrina poeppigiana D.F. Cook. Ecology (EE.UU.). 61(5):1056-1074.
19. **BREWBAKER, J.L.** 1982. Leucaena Research Report. Nitrogen Fixing Tree Association. (Hawaii). Vol 3. 108p.
20. _____; **HALLIDAY, J.; LYMAN, J.** 1983. Economically important nitrogen fixing tree species. Nitrogen Fixing Tree Research Report (Hawaii). 1: 35-40.
21. **BRONSTEIN, G.E.** 1984. Producción comparada de una pastura de Cynodon plectostachyus asociado con árboles de Cordia alliodora, con árboles de Erythrina poeppigiana y sin árboles. Tesis Mag. Sc. Turrialba C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 109 p.
22. **BUDOWSKI, G.** 1983. An attempt to quantify some current agroforestry practices in Costa Rica. In Consultative meeting: Plant Research in Agroforestry (Nairobi, 1981). Proceedings Ed. by Huxley, P.A. Nairobi, Kenya, ICRAF. pp 43-62.
23. _____; **KASS, D.C.L.; RUSSO, R.O.** 1984. Leguminous trees for shade. Pesquisa Agropecuaria Brasileira (Brasil). 19(6/7):205-222.
24. **CALCICO, D.** 1982. Economic aspects of composting. Bio cycle Journal (EE.UU.). 23(5):26-30.
25. **CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA.** 1986. Resumen de datos meteorológicos desde la iniciación de observaciones hasta julio 1986. Turrialba, C.R., CATIE. 19 p.
26. **CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL.** 1978. Annual report for 1977. (Colombia). p. 5-12.
27. **CHU, A.C.; ROBERTSON, A.G.** 1974. The effects of shading and defoliation on nodulation and nitrogen fixation by white clover. Plant & Soil (Holanda). 41(3):503-519.

28. COHEN, E. 1968. Zonas potenciales del cultivo de maíz y épocas de siembra en Costa Rica. Universidad de Costa Rica, UCR. 26 p. (Serie Agronómica No 9.).
29. DACCARETT, M.; BLYDENSTEIN, J. 1968. La influencia de árboles leguminosos y no-leguminosos sobre el forraje creciendo bajo ellos. Turrialba (C.R.). 18(4):405-408.
30. DIAZ ROMEU, R. 1977. Determinación de nitrógeno total en suelos; Método micro-kjeldahl. Turrialba, C.R., CATIE. 2 p.
31. _____; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelo y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, C.R., CATIE, Proyecto Centro Americano de Fertilidad de Suelos. 62 p.
32. ERICKSEN, F.I.; WITNEY, A.S. 1981. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. 1: Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. Agronomy Journal (EE.UU.). 73: 427-433.
33. ESCALADA, R.G. 1980. Manipulation of cultural practices for ipil-ipil Leucaena leucocephala for maximum organic matter production and its effect on the intercropped cassava. Terminal Report. Leyte, Philippines, PCARR-Funded Research Project. Viscaynas State College of Agriculture. 26 p.
34. ESCALANTE, G.; HERRERA, R.; ARANGUREN, J. 1984. Fijación de nitrógeno en árboles de sombra Erythrina poeppigiana en cacaotales del Norte de Venezuela. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. (Brasil) 19:223-230.
35. ESPINOZA B, J.E. 1984. Caracterización nutritiva de la fracción nitrogenada de madero negro Gliricidia sepium y poró Erythrina poeppigiana. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 90 p.

36. **EVENSEN, C.L.I.** 1983. Synopsis of leucaena/maize green leaf manuring study. Honolulu, Hawaii, University of Hawaii. 33 p.
37. **FERNANDEZ, C.E.** 1983. Prácticas usadas en el cultivo del café. Turrialba, C.R., IICA. 4 p. (Materiales de enseñanza del café y cacao No. 25.)
38. **FLEURY, J.L.** 1985. Cultivo en franjas. CIID Informa (Colombia). 14(1):18-19.
39. _____. 1985. Trees take to the fields. IDRC Reports (Canada). 4(1):18-19.
40. **FONSECA, M.T.** 1968. El Poró. Revista de Agricultura (C.R.). 40(6-7):102-112.
41. **FORTIN, J.A.; CARLISLE, A.** 1984. The use of root symbioses in intensive forestry. IEA/ENFOR. Joint Report (Canada). 1984:4.
42. **GETAHUN, A.** 1981. Increasing food production in the agroforestry systems of the humid tropical lowlands. IITA Research Briefs (Nigeria). 2(3):2-7.
43. **GLIESSMAN, S.R.** 1982. Nitrogen distribution in several traditional agro-ecosystems in the humid tropical lowlands of South Eastern México. Plant & Soil (Holanda). 67:105-117.
44. **GLOVER, N.** 1981. Coffee yields in a plantation of coffea arabica var. caturra, shaded by Erythrina poeppigiana with and without Cordia alliodora. Turrialba, C.R., CATIE. 6 p. (Serie Técnica Informe Técnico No. 17.)
45. _____.; **BEER, J.** 1986. Nutrient cycling in two traditional Central American agroforestry systems. Agroforestry Systems (Holanda). 4(2):77-88.

46. GUEVARRA, A.B. 1976. Management of Leucaena leucocephala (Lam) de Wit. for maximum yield and nitrogen contribution to intercropped corn. Ph.D. Thesis. Honolulu, Hawaii, University of Hawaii. 126 p.
47. HAWKINS, R.C.; COOPER, P.J.M. 1981. Growth, development and grain yield of maize. *Experimental Agriculture* (EE.UU.). 17:203-207.
48. HOLDRIDGE, L.R. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, C.R., IICA. 206 p.
49. IMPROVING SOILS WITH ORGANIC WASTES. 1977. Washington, D.C., EE.UU. Department of Agriculture. 146 p.
50. INOSTROSA, I.; FOURNIER, L.A. 1982. Efecto alelopático del Gliciridia sepium (Jacq) Steud. (madero negro). *Revista de Biología Tropical* (C.R.). 30 (1):35-39.
51. INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. 1980. Annual Report for 1979. (Nigeria). p 5-14.
52. ----- . 1981. Annual Report for 1980. (Nigeria). p 31-43.
53. ----- . 1982. Annual Report for 1981. (Nigeria). p 21-33.
54. ----- . 1983. Annual Report for 1982. (Nigeria). p 127-143.
55. ----- . 1986. Annual Report and Research Highlights 1985. (Nigeria). p.29-45.
56. JIMENEZ AVILA, E.; MARTINEZ VARA, P. 1979. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero. 2: Producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura. *Biótica* (México). 4(3):109-126.
57. JORDAN, C.F.; TODD, R.L.; ESCALANTE, G. 1983. Nitrogen dynamics during conversion of primary Amazonian rainforest to slash and burn agriculture. *Oikos* (EE.UU.). 60:131-139.

58. JURION, F.; HENRY, J. 1969. Can primitive farming be modernized. Ser. Hors. Institut National pour L'Etude Agronomique du Congo. Brazzaville, Congo, INEAC. 445 p.
59. KANG, B.T.; WILSON, G.F.; LAWSON, T.L. 1980. Alley cropping, a stable alternative to shifting cultivation. International Institute of Tropical Agriculture. Technical Bulletin No 7 (Nigeria). 47 p.
60. _____; WILSON, G.F.; SIPKENS, L. 1981. Alley cropping Maize Zea mays L. and Leucaena leucocephala (Lamb) in Southern Nigeria. Plant & Soil (Holanda). 63:165-179.
61. _____; GRIME, H.; LAWSON, T.L. 1985. Alley cropping sequentially cropped maize and cowpea with leucaena on a sandy soil in Southern Nigeria. Plant & Soil (Holanda). 85:267-277.
62. KASS, D.C.L.; RUSSO, R.O.; QUINLAN, M.M. 1983. Leguminous trees as nitrogen sources for annual crops. Agronomy Abstracts (EE.UU.). 1983:45.
63. _____; BARRANTES, A. 1984. Leguminous trees as a nitrogen source for annual crops. Contribution from Plant Production Department. Turrialba, C.R. CATIE, DPV. 29 p.
64. KIDD, T.J.; TAGAGA, T. 1985. Nitrogen fixing trees as green manure for upland taro in West Samoa. Nitrogen Fixing Tree Research Reports (Hawaii). 3:67-69.
65. KOEPPEN, W. 1948. Climatologia. Traducido por Hendrichs, P.R. México, D.F. Fondo de Cultura Económica. 278 p.
66. KRUKOFF, B.A. 1979. Notes on the species of Erythrina No 13. Phytologia (EE.UU). 41(4):256-300.
67. KUIPERS, H. 1970. Introduction: historial notes on the zero tillage concept. Netherlands Journal of Agricultural Sciences (Holanda). 18:219-224.

68. LACKEY, J.A. 1981. Phaseoleae D.C. In Advances in legumes systematics. Ed. by Polhill, R.M.; Raven, P.A. Kew Royal Botanic Gardens (G.B.). p 301-327.
69. LAGEMANN, J. 1984. Problemas de producción agrícola en las tierras bajas de los trópicos húmedos. In Agroforestería. Ed. por Heuvelodop, J. y Lagemann, J. Turrialba, C.R., DSE/CATIE. pp 37-43. (Boletín Técnico No.14).
70. LAL, R. 1974. Soil temperature, moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. Plant & Soil (Holanda). 40:129-143.
71. LINDBLAD, P.; RUSSO, R.O. 1986. C₂H₆-Reduction by Erythrina poeppigiana in a Costa Rican coffee plantation. Agroforestry Systems (Holanda). 4(1): 33-38.
72. LUNDGREN, B.; NAIR, P. 1983. Agroforestry for soil conservation. Honolulu, Hawaii. In Soil erosion and conservation. Ed. by El-Swaify S.A.; Moldenhauer, W.C.; Andrew Co. Ankeny, Iowa, Soil Conservation Society of America. pp 703-717.
73. MANUAL DE RECOMENDACIONES PARA CULTIVAR CAFE. 1968. 3^{ra} Ed. San José, C.R., Oficina del Café. 68 p.
74. MOLLEAPAZA, J.E. 1979. Producción de biomasa de poró Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook. y de laurel Cordia alliodora (Ruíz y Pavón) Oken. asociado con café Coffea arabica L. Borrador tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. sp.
75. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 1979. Tropical legumes: resources for the future. Washington, D.C., EE. UU. NAS. p.119.
76. NITROGEN FIXING TREES ASSOCIATION. 1984. Annual Report 1983. (Hawaii). p. 11.
77. OJENIYI, S.O.; AGBEDE, O.O.; FAGBENRO, J. A. 1980. Increasing food production in Nigeria. 1:Effect of Agrisilviculture on soil chemical properties. Soil Science (Holanda). 130(2):76-82.

78. O'SULLIVAN, T.E. 1985. Farming systems and soil management: the Philippines/Australian development assistance programme experience. In Soil erosion management: Proceedings of a workshop held at PCARD. Ed. by Craswell, E.T.; Remenyi, J.V.; Nallana, L.G. Los Baños, Philippines, ACIAR. pp.77-81.
79. PAUL, E.A. 1984. Dynamics of organic matter in soils. Plant & Soil (Holanda). 76:275-285.
80. PEARCE, S.C. 1976. Field experimentation with fruit trees and other perennial plants. 2nd Ed. Rev. London, England, Commonwealth Agricultural Bureaux. pp. 27-33. (Technical Communication No. 23).
81. PIETERS, A.J. 1972. Green manuring: a review of the American Experimental Station Literature. Journal of American Society of Agronomy (EE.UU.). 9:62-82, 109-126, 162-190.
82. POWERS, W.L. 1981. Soil fertility in relation to productive land value. Oregon State Agric. Exp. Stn. (EE.UU.). 9 p. (Circular No. 113.).
83. PROJECT MONITOR OFFICE OF AGRICULTURE DEVELOPMENT SUPPORT BUREAU. 1985. Soil Management support services. 2nd Edition. Washington, D.C. EE.UU. AID. pp. 162-163. (Technical monograph No.6).
84. PUTNAM, A.R.; DUKE, W.B. 1978. Allelopathic effects in agroecosystems. Annual Review of Phytopathology (EE.UU.). 16:431-451.
85. QUINLAN, M.M. 1984. An evaluation of mulches with 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 Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 64 p.
86. RACHIE, K. 1983. Intercropping tree legumes with annual crops. In Consultative meeting: Plant Research in Agroforestry (Nairobi, 1981). Proceedings Ed. by Huxley, P.A. Nairobi, ICRAFT. pp 103-116.
87. RERKASEM, K.; RERKASEM, B. 1984. Organic manures in intensive cropping systems. In Organic matter and rice. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute. p. 517-532.

88. REYNOLDS, S.G. 1982. Contributions to yield, nitrogen fixation and transfer by local and exotic legumes in tropical grass-legume mixtures in Western Samoa. *Tropical Grasslands (Australia)*. 16(2):76-80.
89. RODRIGUEZ FUNES, R.A. 1984. Producción de biomasa de poró Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook. y king grass Pennisetum purpureum * Pennisetum typhoides intercalados en función de la densidad de siembra y de la frecuencia de la poda del poró. Borrador tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE, DPA. 53 p.
90. ROSKOSKI, J.P. 1981. Nodulation and nitrogen fixation by Inga jinicuil, a woody legume in coffee plantation. *Plant & Soil (Holanda)*. 59:201-206.
91. _____. 1982. Nitrogen fixation by tropical woody legumes: potential source of soil enrichment. In *Biological nitrogen fixation technology for tropical agriculture: workshop (Turrialba, C.R., 1981)*. Proceedings Ed. by Graham, P.A.; Harris, S.C. Cali, Colombia. CIAT/IANF. pp 447-454.
92. RUSSO, R.O. 1982. Resultados preliminares de biomasa de la poda del poró Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook. Turrialba, C.R., CATIE. 10 p.
93. _____. 1983. Descripción de Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook., breve revisión preparada para uso interno del proyecto Erythrina. Turrialba, C.R., CATIE. 7 p.
94. _____. 1983. Fijación de nitrógeno en sistemas agroforestales vía árboles de uso múltiple. Turrialba, C.R., CATIE, DRNR. 11 p. (Presentado en el curso corto sobre metodologías de investigación agroforestal en el trópico húmedo UNU/CATIE/IICA Trópicos-CONIF. Cali, Colombia, Nov.23-dic.7).
95. _____. 1984. Erythrina: un género versátil en sistemas agroforestales del trópico húmedo. Turrialba, C.R., CATIE. 14 p.
96. _____.; FOURNIER, L. 1984. Sistema agroforestal de cafetos con sombra de poró gigante Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook., con podas. Turrialba, C.R., CATIE, DRNR. 2 p. (Resumen presentado al VI Congreso Agronómico Nacional, San José, Costa Rica, 9-12 de julio).

97. _____. 1985. Studies on Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook., a versatile tree in Costa Rican farms. Ph.D. Thesis. New Orleans, Louisiana, Southeastern University. 145 p.
98. _____.; BUDOWSKI, G. 1986. Effect of pollarding frequency on biomass of Erythrina poeppigiana as a coffee shade tree. Agroforestry Systems (Holanda). 4(2):145-162.
99. SAIZ DEL RIO; BORNEMISZA, E. 1971. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, C.R., IICA. 107 p.
100. SANCHEZ, P.A. 1981. Los suelos del trópico, características y manejo. Trad. del inglés por Camacho, E. San José, C.R., IICA. p 187.
101. SANCHEZ, G.A.; RUSSO, R.O. 1985. Propagación de Erythrina sp género de uso múltiple para sistemas agroforestales. Documento del proyecto Arboles Fijadores de Nitrógeno/Erythrina IDRC. Turrialba, C.R., CATIE. 10 p. (No publicado).
102. SHENG, T.C. 1982. Erosion problems associated with cultivation in humid tropical hilly regions. In Soil erosion and conservation in the tropics. Madison Wis., EE.UU. Am. Soc. Agron. p. 27-29.
103. SHING, N. 1984. Green manures as sources of nutrients in rice production. In Organic matter and rice. Los Baños Laguna, Philipines, International Rice Research Institute. p. 217-229.
104. SSEKABEMBE, C.K. 1985. Perspectives on hedgerow intercropping. Agroforestry Systems (Holanda). 3:339-356.
105. SUAREZ DE CASTRO, F.; RODRIGUEZ, A. 1985. Equilibrio de la materia orgánica en plantaciones de café. Boletín Técnico. Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia. 2(15):5-28.
106. SWIFT, M.J.; SANCHEZ, P.A. 1984. Gestión biológica de la fertilidad de los suelos tropicales con miras a obtener una productividad permanente. Naturaleza y sus Recursos (Venezuela). 20(4):2-10.
107. TORRES, F. 1983. Potencial contribution of leucaena hedgerows intercropped with maize to the production of organic nitrogen and fuelwood in the lowland humid tropics. Agroforestry Systems (Holanda). 1:323-333.

108. VAN WIJK, W.R.; LARSON, W.E.; BURROWS, W.C. 1959. Soil temperature and early corn growth of corn from mulched and unmulched corn. Soil Science Society American Proceedings. (EE.UU.). 23:428-454.
109. VERGARA, N.T. 1982. New directions in agroforestry: the potential of tropical legume trees. Improving agroforestry in the Asia-Pacific Tropics. Honolulu, Hawaii, East-West Center UNU. 52 p.
110. VERINUMBE, I; OKALI, D.U.U. 1985. The influence of coppiced teak Tectona grandis L.F. regrowth and roots on intercropped maize Zea mays L. Agroforestry Systems (Holanda). 3(4):381-386.
111. WADE, M.K.; SANCHEZ, P.A. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon Basin. Agronomy Journal (EE.UU.). 75 (1):39-45.
112. WIERSUM, K.F.; RAMLAM, A. 1982. Cultivation of Acacia auriculiformis on Java, Indonesia. Commonwealth Forestry Review (G.B.). 61(2):135-144.
113. WILLEY, R.W. 1975. The use of shade in coffee, cocoa and tea. Horticultural Abstracts (G.B.). 45(12):791-795.
114. WOOLLIAMS, K.R. 1979. Notes on propagation and cultivation of Erythrina in Hawaii. Annals of the Missouri Botanical Garden (EE.UU.). 66(3):541-544.

IX. APENDICES

Cuadro 1A. Modelo estadístico utilizado en el análisis de varianza.

FUENTES DE VARIACION PARCELA	GRADOS DE LIBERTAD
Bloques (B)	(B-1)
Densidades (Poró)	(P-1)
Error (i)	(B-1) (P-1)
Total (i)	(BP-1)
FUENTES DE VARIACION SUBPARCELA	GRADOS DE LIBERTAD
Epocas (Maíz)	(M-1)
Densidades (Poró) * Epocas (Maíz)	(P-1) (M-1)
Error (iii)	P (B-1) (M-1)
Total (iii)	(BPM-1)

El modelo estadístico de efectos fijos utilizado en este análisis es el siguiente:

$$Y_{i,j,p,k} = U + B_i + T_j + E_p + C_k + T_{j,k} + E_e$$

donde: $Y_{i,j,p,k}$ = Variable dependiente

$U, B_i, T_j, E_p, C_k, T_{j,k}$, y E_e = Variables independientes

U = Media general de cualquier observación

B_i = Efecto del Bloque i-ésimo ($i = 1,2,3$)

T_j = Efecto de la Densidad j-ésima ($j = 1,2,3,4$)

E_p = Error de la Parcela de poró

C_k = Efecto del Ciclo k-ésimo ($k = 0,1,2$)

$T_{j,k}$ = Interacción Poró*Maíz (Densidad*Ciclo)

E_e = Error experimental

Cuadro 2A. Resultados del análisis de varianza para producción de biomasa en el sistema de cultivo en franjas.

FUENTE	BIOMASA					
	PORO			MAIZ		
CICLO 1	Hojas	Ramas	Total	grano	planta	total
------(Valores de F)-----						
TRATAMIENTO	6,75 *	4,38	5,66 *	6,91**	5,40**	6,61**
BLOQUE	1,01	1,36	1,34	0,27	0,07	0,10
------(ton/ha)-----						
MEDIA	0,56	0,57	1,13	2,72	5,38	8,11
DMS 0,05	0,46	0,76	1,16	0,92	1,46	2,25
DESV.EST.	0,23	0,38	0,58	1,12	1,78	1,74
C.V.	41%	66%	52%	41%	33%	34%
------(Valores de F)-----						
TRATAMIENTO	8,85**	6,70 *	9,19**	3,91**	2,60 *	3,54**
BLOQUE	1,09	0,07	0,18	4,78 *	1,76	0,59
------(ton/ha)-----						
MEDIA	1,21	1,59	2,80	2,91	6,31	9,21
DMS 0,05	0,60	0,88	1,34	0,80	3,44	3,64
DESV.EST.	0,30	0,44	0,67	1,10	4,72	4,99
C.V.	25%	28%	24%	38%	75%	54%
------(Valores de F)-----						
TRATAMIENTO	14,1**	8,15 *	10,6**	3,24 *	1,85	2,65
CICLO	35,7**	51,6 *	61,5**	0,75	1,99	4,44 *
TRAT*CICLO	0,61	0,75	0,59	0,45	1,07	1,85
------(ton/ha)-----						
MEDIA	0,88	1,08	1,96	2,81	5,85	8,66
DMS 0,05	0,40	0,67	1,07	1,27	3,45	4,19
DESV.EST.	0,27	0,35	0,53	0,58	1,81	1,47
C.V.	30%	32%	27%	21%	31%	17%

** Significativo al 1% ; * Significativo al 5%

Cuadro 3A. Resultados del análisis de varianza para producción de nitrógeno en el sistema de cultivo en franjas.

FUENTE	NITROGENO					
	PORO			MAIZ		
CICLO 1	N Hojas	N Ramas	N Total	N Brano	N Planta	N Total
	----- (Valores de F) -----					
TRATAMIENTO	5,29 *	3,77	5,10 *	7,16**	3,94**	6,58**
BLOQUE	1,34	1,69	1,59	0,45	5,06**	1,32
	----- (kg/ha) -----					
MEDIA	25,1	8,50	33,6	43,6	36,7	80,3
DMS 0,05	24,1	13,1	35,6	15,7	10,7	24,15
DESV.EST.	12,1	6,50	17,8	19,1	13,0	29,4
C.V.	48%	77%	53%	44%	36%	37%
CICLO 2	----- (Valores de F) -----					
TRATAMIENTO	7,92**	8,60 *	4,88**	4,20**	2,52 *	4,59**
BLOQUE	1,45	0,01	0,92	1,60 *	0,65	0,05
	----- (kg/ha) -----					
MEDIA	60,2	22,9	83,1	45,0	44,1	89,1
DMS 0,05	31,0	11,9	38,8	12,3	18,9	23,44
DESV.EST.	15,5	5,90	19,4	16,5	26,0	32,0
C.V.	26%	26%	23%	37%	59%	36%
ANUAL	----- (Valores de F) -----					
TRATAMIENTO	20,4**	12,0 **	18,7**	3,61 *	1,37	2,83
CICLO	26,7**	30,9 **	32,8**	0,47	2,83	8,37**
TRAT*CICLO	0,47	0,39	0,52	1,88	1,08	3,62 *
	----- (kg/ha) -----					
MEDIA	42,6	15,7	58,4	44,3	40,4	84,7
DMS 0,05	15,8	8,65	23,3	20,1	21,3	36,3
DESV.EST.	16,7	6,28	21,1	5,76	12,0	8,33
C.V.	39%	41%	36%	13%	30%	10%

** Significativo al 1% ; * Significativo al 5%

Cuadro 4A. Producción de biomasa y nitrógeno de maíz en el 1^{er} cultivo de maíz, ciclo 0 del cultivo en franjas.

TRATAMIENTO	BIOMASA			MAIZ (1 ^{ra} época)	NITROGENO		
	Grano ¹⁻¹	Planta (ton/ha)	Total		N Grano	N Planta (kg/ha)	N total
Control	3,15	7,35	10,50		34,3	38,7	73,0
6x4	2,68	6,24	8,92		33,4	36,7	70,1
6x3	2,49	5,80	8,29		34,2	37,6	71,8
6x2	1,57	3,66	5,23		24,5	27,0	51,5
6x1	2,01	4,68	6,69		28,6	31,5	60,1

¹⁻¹ Rendimiento en grano al 15% humedad y una densidad de siembra de 40.000 plts/ha

Cuadro 5A. Producción de biomasa y nitrógeno de poró en la 3^{ra} poda, ciclo 3 del cultivo en franjas.

TRATAMIENTO	BIOMASA			PORO ¹⁻¹ (3 ^{ra} poda)	NITROGENO		
	Hojas	Ramas (ton/ha)	Total		N Hojas	N Ramas (kg/ha)	N Total
Control	--	--	--		--	--	--
6x4	2,21	2,71	4,92		89,5	33,1	122,6
6x3	2,21	2,70	4,91		102,6	38,0	140,6
6x2	2,76	3,37	6,13		127,0	47,0	174,0
6x1	4,35	5,31	9,66		218,4	80,8	299,2

¹⁻¹ Producción en base materia seca de 0, 417, 557, 833 y 1667 arbs/ha/poda

Cuadro 6A. Correlaciones entre la biomasa y nitrógeno de poró y maíz en los ciclos 1 y 2 del sistema de cultivo en franjas.

	Hojas	Ramas	Poró	N Hojas	N Ramas	N Poró	EPDCA
GRAND	0,335	0,265	0,296	0,341	0,284	0,327	0,014
	0,109*	0,209	0,160	0,102 *	0,178	0,108 *	0,932
	24	24	24	24	24	24	36
PLANTA	-0,010	-0,068	0,045	-0,025	-0,059	-0,036	0,051
	0,962	0,752	0,833	0,904	0,780	0,866	0,765
	24	24	24	24	24	24	36
MAIZ	0,093	0,29	0,055	0,083	0,041	0,071	0,045
	0,663	0,890	0,795	0,696	0,848	0,738	0,791
	24	24	24	24	24	24	36
N GRAND	0,273	0,204	0,234	0,290	0,220	0,272	0,067
	0,196	0,337	0,270	0,167	0,300	0,197	0,694
	24	24	24	24	24	24	36
N PLANTA	0,171	0,099	0,129	0,161	0,118	0,150	0,031
	0,424	0,643	0,547	0,451	0,579	0,483	0,857
	24	24	24	24	24	24	36
N MAIZ	0,232	0,156	0,188	0,234	0,175	0,219	0,017
	0,273	0,466	0,377	0,270	0,411	0,303	0,921
	24	24	24	24	24	24	36

Clave:

--- Coeficiente de correlación
 --- Significancia estadística
 -- Número de observaciones

** Significativo al 1% ; * Significativo al 10%
 Ciclo 1: 1^{ra} poda de poró y 2^{do} cultivo de maíz
 Ciclo 2: 2^{da} poda de poró y 3^{er} cultivo de maíz

Cuadro 7A. Resultados del análisis químico de la biomasa del poró en la 2^{da} poda ciclo 2 del cultivo en franjas.

TRATAMIENTO		N	P	K	Ca	Mg
		(kg/ha)				
Control		---	---	---	--	---
6 x 4		49,5	6,2	48,4	10,3	4,4
6 x 3		71,4	5,9	63,4	11,4	4,0
6 x 2		79,9	6,3	53,8	14,3	5,9
6 x 1		132,4	9,9	82,1	21,7	8,7
ANALISIS DE VARIANZA						
FUENTE	GL	N	P	K	Ca	Mg
		(Probabilidad de F)				
BLOQUE	2	0,0075**	0,0764	0,0050**	0,0556 *	NS
TRATAMIENTO	3	0,0011**	0,0935	0,0297 *	0,0636	0,0760
ERROR EXPTAL	6	0,0233 *	0,0758	0,0448 *	0,1035	0,1352
TOTAL	11					

** Significativo al 1% ; * Significativo al 5% ; NS No Significativo

Cuadro 8A. Resultados del análisis químico de la biomasa del grano de maíz de la 3^{ra} época, ciclo 2 del cultivo en franjas.

TRATAMIENTO		N	P	K	Ca	Mg
		(kg/ha)				
Control		56,3	19,7	19,3	3,3	12,9
6 x 4		49,8	14,6	14,5	1,9	11,3
6 x 3		46,4	16,1	14,0	2,3	9,6
6 x 2		37,1	11,2	10,4	1,7	4,9
6 x 1		35,5	9,5	9,2	1,9	4,5
ANALISIS DE VARIANZA						
FUENTE	GL	N	P	K	Ca	Mg
		(probabilidad de F)				
BLOQUE	2	NS	0,1732	NS	0,0262	NS
TRATAMIENTO	4	NS	NS	NS	NS	NS
ERROR EXPTAL	8	0,1428	0,1898	0,1581	0,1332	NS
TOTAL	14					

** Significativo al 1% ; * Significativo al 5% ; NS No Significativo

Cuadro 9A. Resultados de los análisis de suelos rea-
lizados a 15 cm de profundidad en el
cultivo en franjas (incluido control
no-fertilizado).

ELEMENTO/ QUIMICO/TRATAMIENTO		1 ^{er} Análisis	2 ^{do} Análisis	3 ^{er} Análisis				
N (%)	Control	0,51	0,24	0,43				
	6x4	0,44	0,24	0,32				
	6x3	0,41	0,26	0,40				
	6x2	0,44	0,28	0,45				
	6x1	0,41	0,26	0,36				
P (ug/ml)	Control	7,82	5,27	8,69				
	6x4	5,64	5,63	6,48				
	6x3	5,89	4,10	8,30				
	6x2	6,05	3,87	8,18				
	6x1	6,29	4,57	8,06				
K (meq/ 100ml)	Control	0,90	0,66	0,59				
	6x4	0,80	0,56	0,65				
	6x3	0,90	0,49	0,74				
	6x2	0,64	0,50	0,58				
	6x1	0,76	0,60	0,59				
Ca (meq/ 100ml)	Control	7,35	5,38	6,45				
	6x4	6,29	4,86	4,97				
	6x3	6,36	4,99	5,60				
	6x2	6,87	5,18	6,86				
	6x1	6,56	5,23	5,12				
Mg (meq/ 100ml)	Control	1,73	1,11	1,60				
	6x4	1,56	0,99	1,32				
	6x3	1,66	1,14	1,89				
	6x2	1,68	1,26	1,86				
	6x1	1,45	1,16	1,36				
CONTRASTES	N	P	K	Ca	Mg	MatOrgan	Acidez	pH suelo
	(Probabilidad de F)							
(CN*6x1)	0,150 *	0,289	0,547	0,280	0,310	0,149 *	0,355	0,475
(CN*6x2)	0,925	0,179 *	0,200	0,893	0,428	0,596	0,573	0,051 **
(CN*6x3)	0,304	0,201	0,934	0,288	0,740	0,232	0,592	0,942
(CN*6x4)	0,099 *	0,145 *	0,652	0,154 *	0,219	0,330	0,241	0,942

** Significativo al 5% ; * Significativo al 15% ; CN: Control sin árboles

Cuadro 10A. Resultados promedio de cada análisis de suelos realizado en el cultivo en franjas (incluido control no-fertilizado).

VARIABLE	1º ANALISIS	2º ANALISIS	3º ANALISIS
1. CARACTERISTICAS			
pH (Agua)	5,49	5,14	5,08
pH (NaF)	--	--	9,32
Mat.Org.(%)	7,75	5,77	5,87
Carbono (%)	4,49	3,35	3,42
Acidez extraible (meq/100 ml suelo)	0,60	0,79	0,81
2. NUTRIMENTOS			
N total (%)	0,44	0,26	0,39
P (µg/ml suelo)	6,34	4,69	7,94
K (meq/100 ml suelo)	0,80	0,56	0,63
Ca (meq/100 ml suelo)	6,69	5,13	5,88
Mg (meq/100 ml suelo)	1,62	1,13	1,52
Cu (meq/100 ml suelo)	1,43	--	9,06
Zn (µg/ml suelo)	5,15	--	3,22
Mn (µg/ml suelo)	1,73	--	7,83
Al (meq/100 ml suelo)	--	--	0,55
S (meq/100 ml suelo)	----	----	1,80
3. FERTILIDAD			
Na (meq/100 ml suelo)	0,14	0,14	0,14
K (meq/100 ml suelo)	0,80	0,56	0,63
Ca (meq/100 ml suelo)	6,69	5,13	5,80
Mg (meq/100 ml suelo)	1,62	1,13	1,52
C.I.C. (total meq/100 ml)	42,93	47,47	45,23
4. RELACIONES DEL SUELO			
C/N	10,18	12,91	8,77
K/Na	5,83	4,13	4,64
Ca/Mg	4,13	4,54	3,84
Mg/K	2,04	2,08	2,42
(Ca+Mg)/K	10,46	11,48	11,73

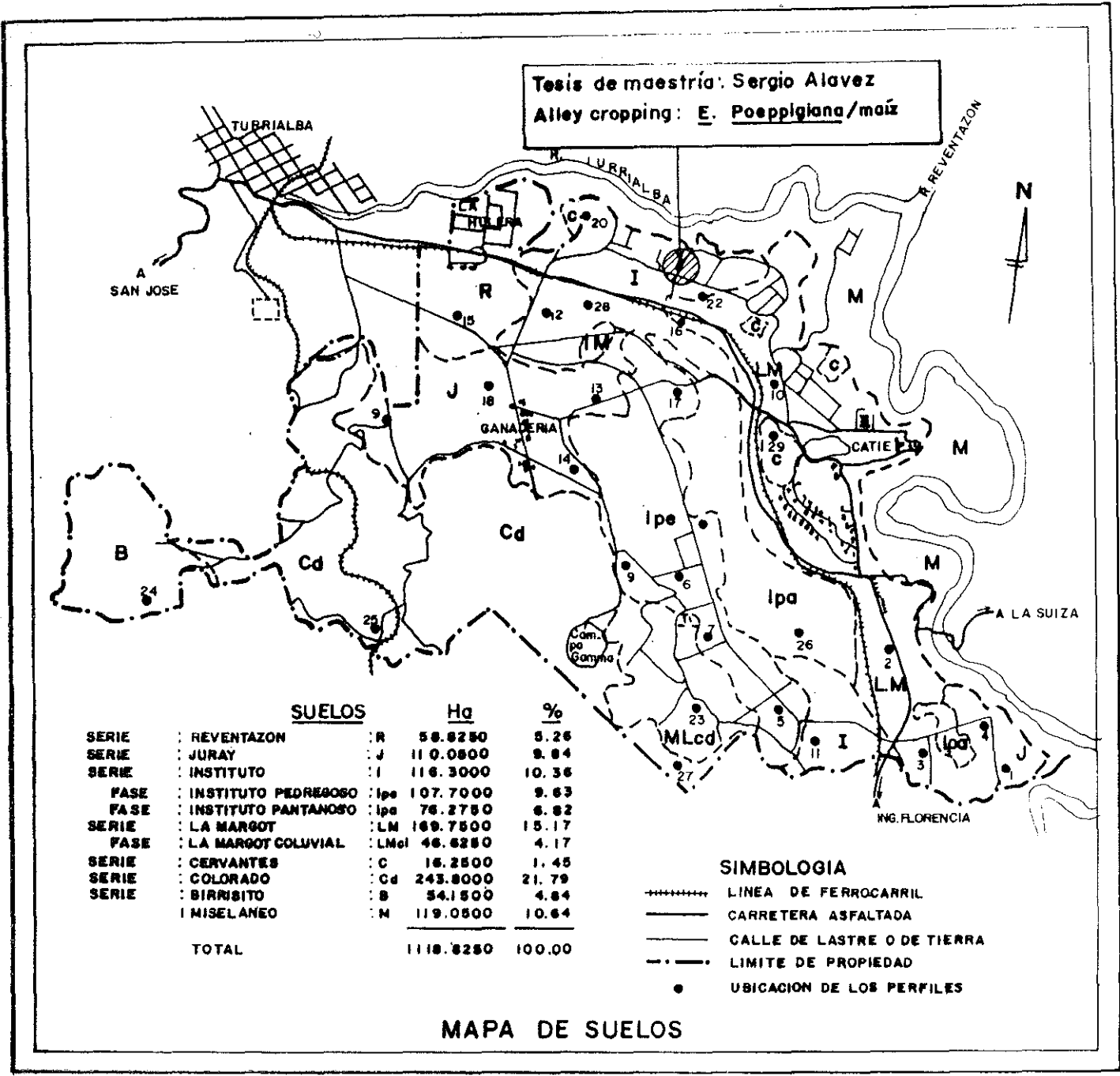


Figura 1A. Localización del experimento de tesis dentro del área experimental del CATIE y mapa de suelos. Tomado de la Tesis de Aguirre (2).

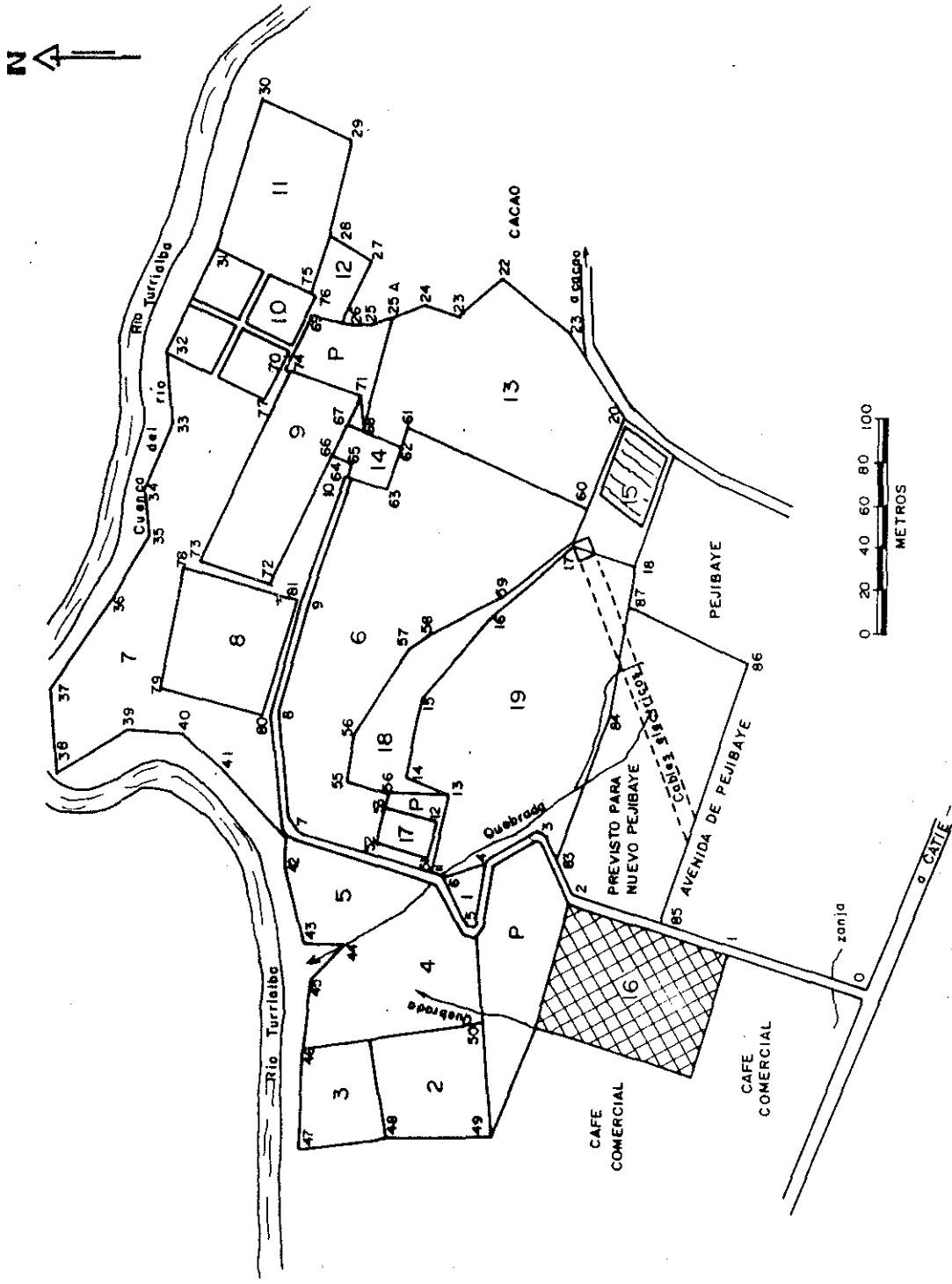


Figura 2A. Localización del experimento de tesis dentro de los terrenos experimentales del CATIE (detalle).

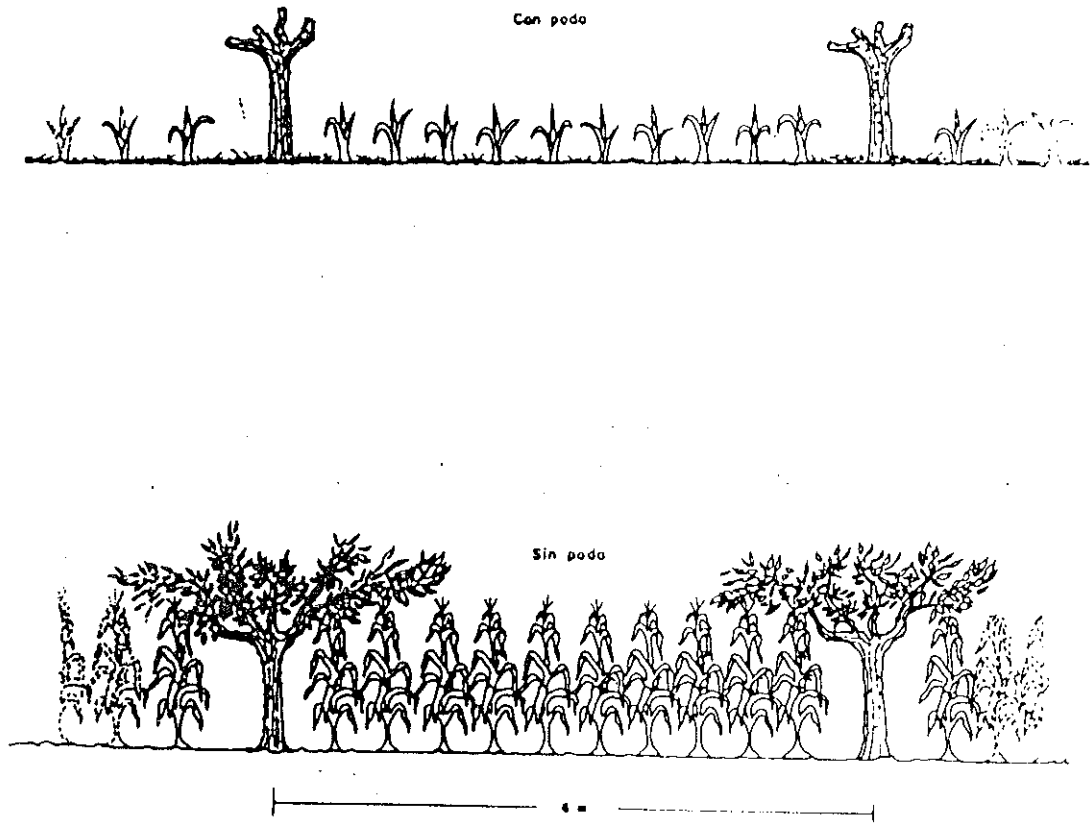
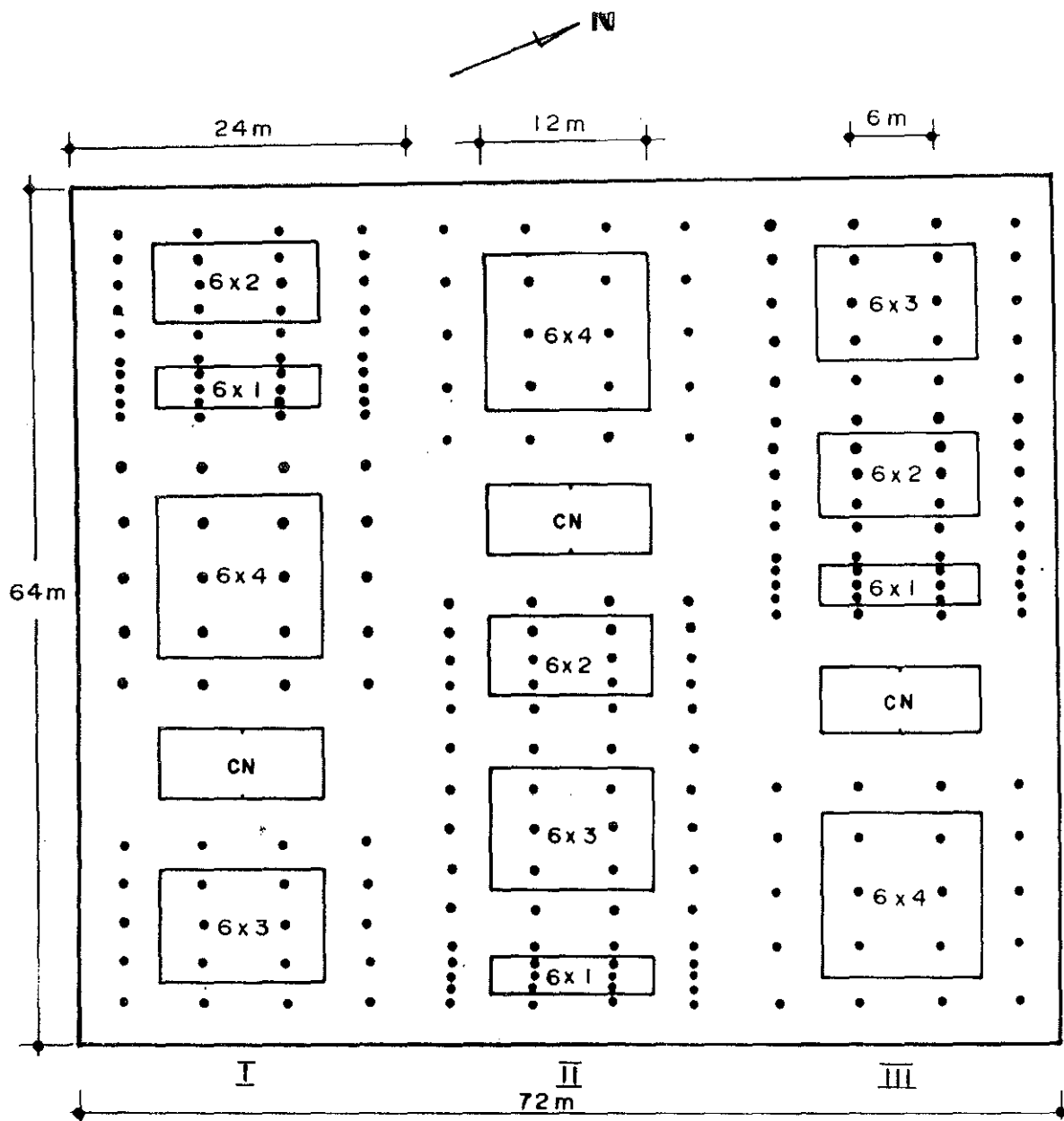


Figura 3A. Esquema del cultivo en franjas*, con y sin poda del poro E. poeppigiano/maíz
 * alley cropping.



CLAVE

ARBOLES PORO

(Estacas grandes) :

•••••

CONTROL :

CN

SUPERFICIE: 0,4608 ha

3 BLOQUES

5 TRATAMIENTOS

240 ARBOLES - PORO

ESCALA 1: 500 cm

Figura 4A. Diseño del experimento en campo del cultivo en franjas E. Poeppigiana/máiz

Periodo de observaciones : Temperatura 24 años , Precipitación y Evaporación 38 años

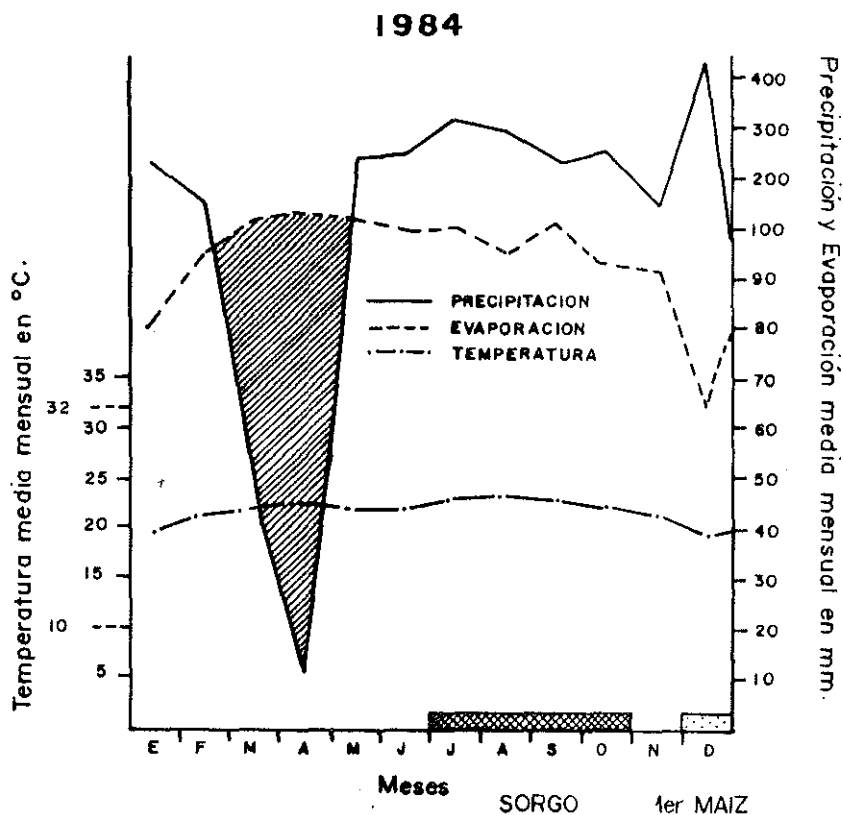
DATOS DEL AÑO 1984

Temperatura media anual : 21,43 °C

Precipitación total anual : 2673mm

Humedad relativa media anual : 86,44 %

Evaporación total anual : 1262,50 mm (Tanque A)



- Ciclo de verano (época seca)
- Ciclo de invierno (época lluviosa)

ESTACION METEREOLÓGICA DEL CATIE :

Latitud 9° 53' N

Longitud 83° 38' O

Elevación 602 msnm

Figura 5A. Climadiagrama del CATIE, 1984

Periodo de observaciones: Temperatura 25 años, Precipitación y Evaporación 39 años

DATOS DEL AÑO 1985

Temperatura media anual : 21,40 °C
 Precipitación total anual : 1954 mm.
 Humedad relativa media anual : 88,90 %
 Evaporación total anual : 1304,70 mm. (Tanque A)

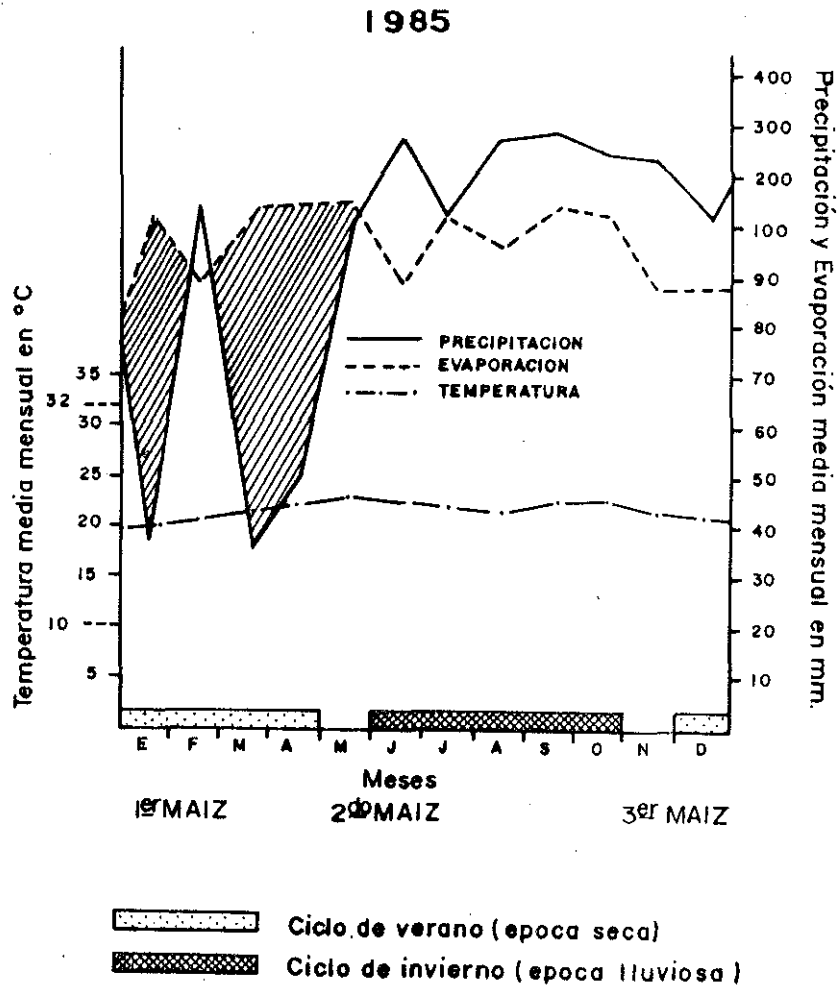


Figura 6A. Climadiagrama del CATIE, 1985

Periodo de observaciones : Temperatura 26 años precipitación y Evaporación 40 años

DATOS DEL AÑO 1986 :

Temperatura media (6 meses) : 21,27 °C

Precipitación total (6 meses) : 1081,9 mm

Humedad relativa media (6 meses) : 89,39 %

Evaporación total (6 meses) : 619,8 m. (Tanque A)

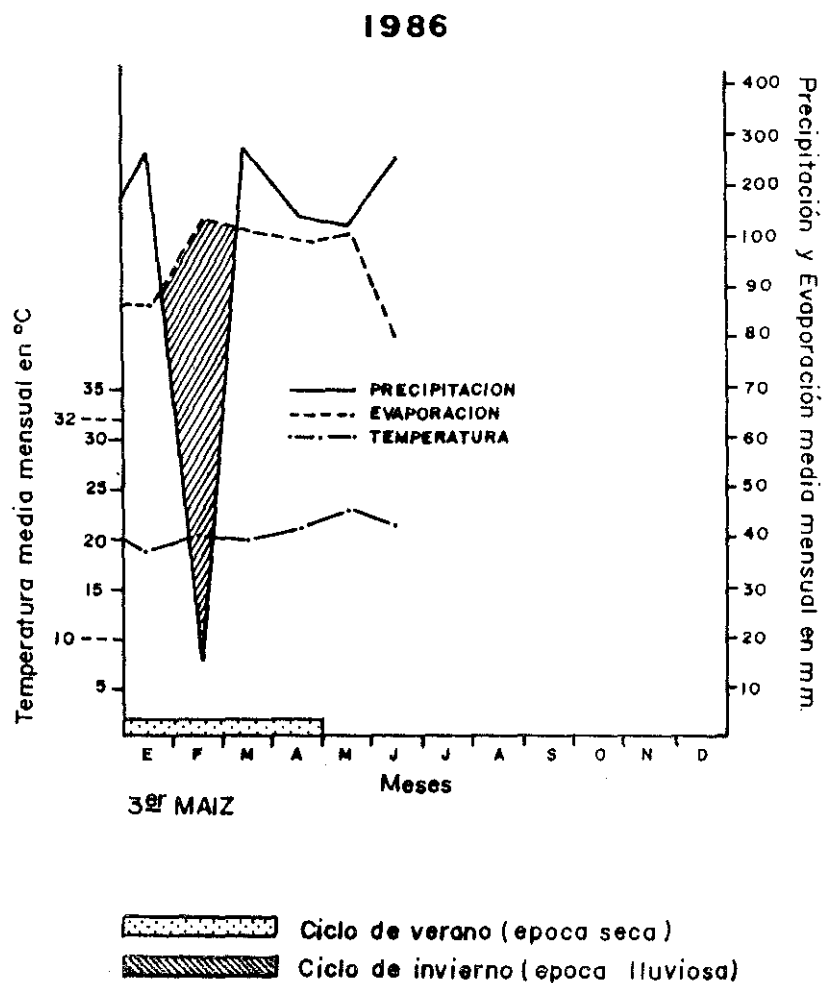


Figura 7A. Climadiagrama del CATIE, 1986

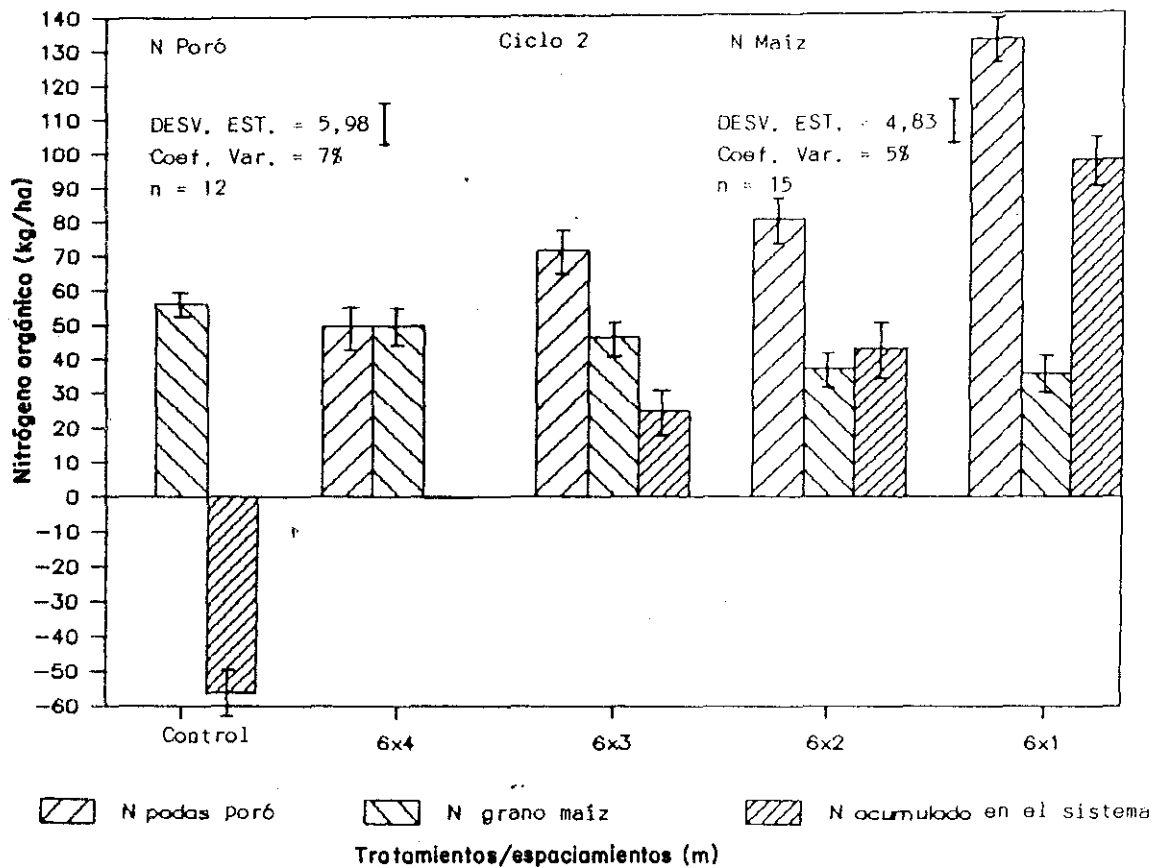


Figura 8A. Balance y recuperación del nitrógeno en el cultivo en franjas

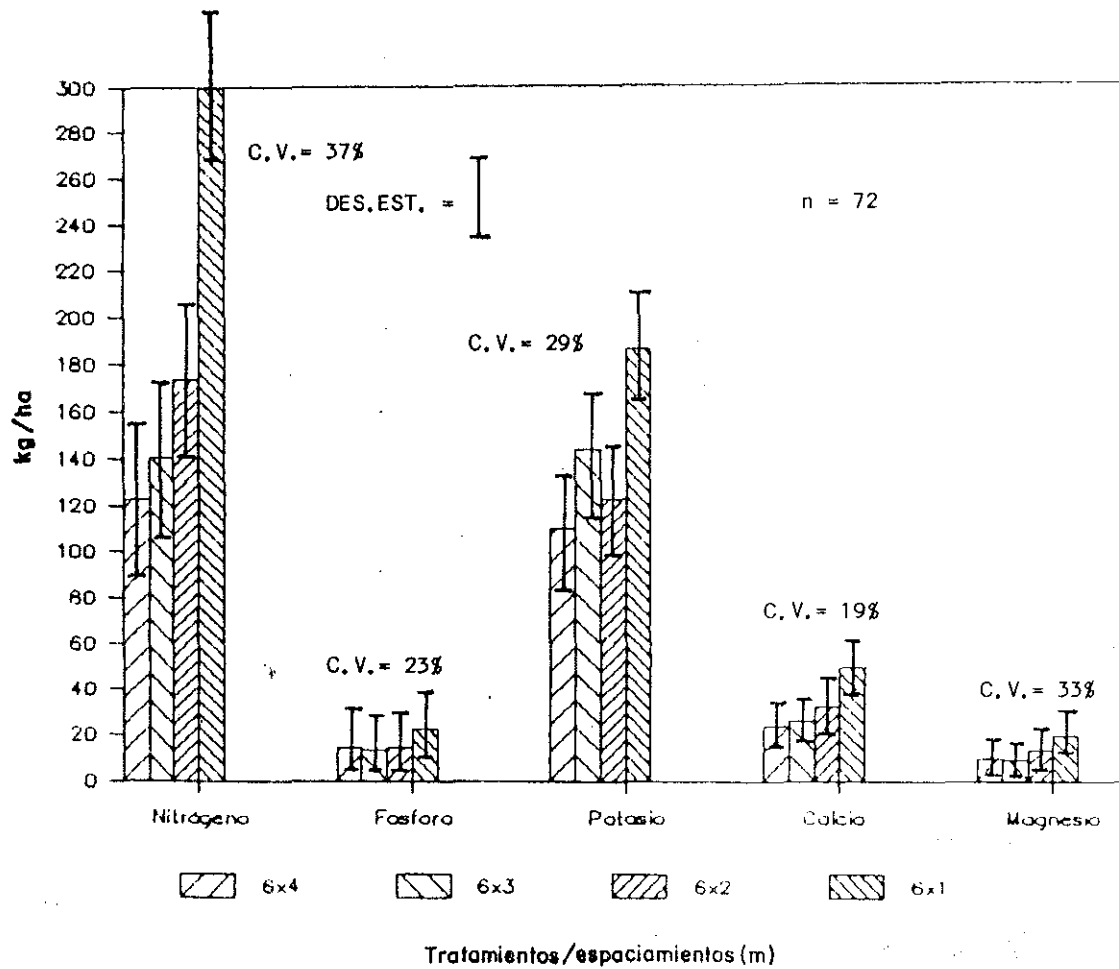


Figura 9 A. Análisis químico de la biomasa de poro (hojas + ramas) de la 3er. poda del cultivo en franjas.

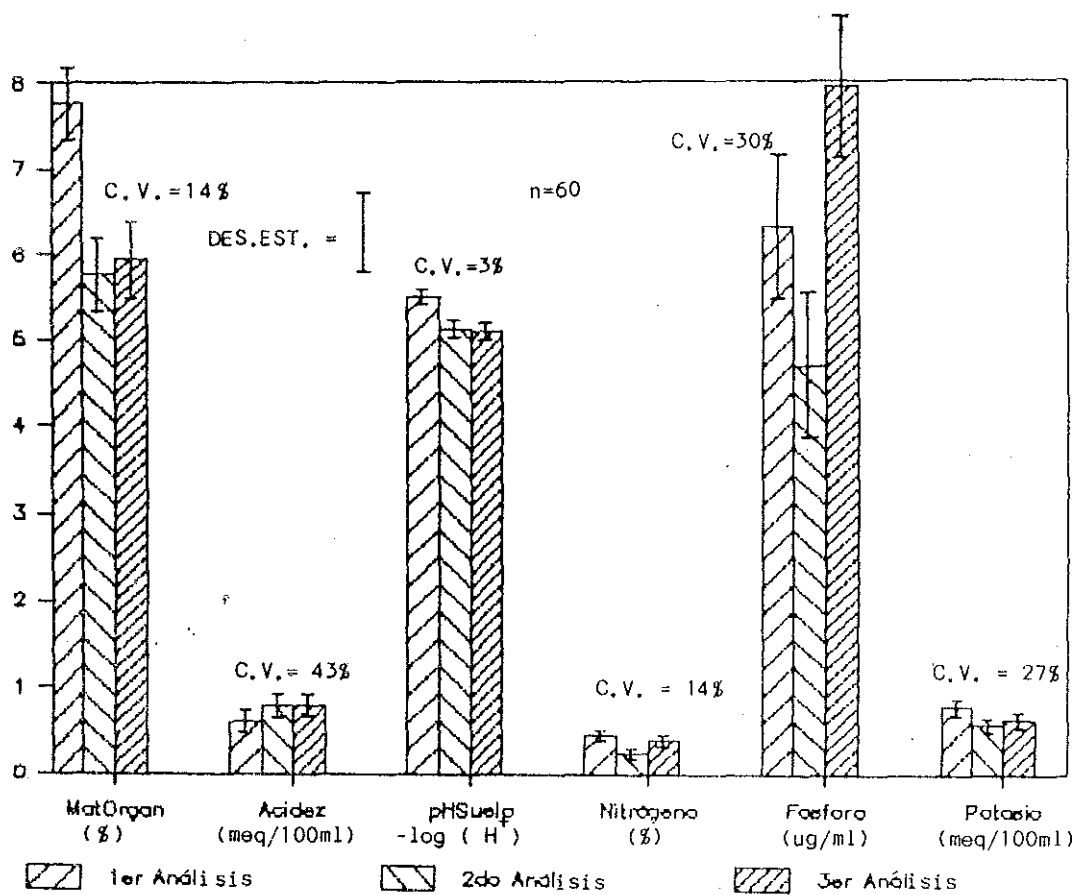


Figura 10A Comportamiento químico del suelo por análisis en el cultivo en franjas (incluido control no-fertilizado)