

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EFFECTO DE LA PODA DE *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook
(PORO), SOBRE LA NODULACION, PRODUCCION DE BIOMASA Y CONTENIDO
DE NITROGENO EN EL SUELO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL "CAFE-PORO"

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

Magister Scientiae

por

RICARDO OMAR RUSSO ANDRADE

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA, CATIE
Departamento de Recursos Naturales Renovables
Turrialba, Costa Rica
1983

DEDICATORIA

A mi esposa e hijos

A la memoria de mis padres

A mis seres queridos

A mis amigos y compañeros

Al pueblo costarricense

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a las siguientes personas e instituciones que de una u otra forma hicieron posible la realización de este trabajo:

Al Dr. Gerardo Budowski, Consejero Principal, por su amistad, constante interés y acertada guía.

Al Dr. José Fargas, miembro del Comité, por su apoyo y estímulo y por permitirme el uso del laboratorio de Fisiología Vegetal.

Al Dr. Donald Kass, miembro del Comité, por su colaboración constante.

Al Ing. John Beer, miembro del Comité, por sus acertadas sugerencias.

Al Dr. Julio Henao, miembro del Comité, por su valiosa ayuda en el análisis de datos.

Al Ing. Domingo Cozzo, Profesor de Dasonomía de la Universidad de Buenos Aires, por su permanente apoyo epistolar.

Al Ing. Alberto Moreno, por su amistad y apoyo incondicional.

A todas aquellas personas que participaron en los trabajos de campo, laboratorio, análisis de datos, mecanografía y edición.

Al CATIE por el apoyo económico brindado durante mi estadía.

A la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) por la financiación de viajes de estudio y materiales para el trabajo de campo.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, por la

oportunidad de haberme permitido alejar 2 años de la labor docente.

A la Comunidad de Turrialba por su cordial hospitalidad y por las muchas amistades que cultivé.

BIOGRAFIA

El autor nació en Azul, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Realizó sus estudios universitarios en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, graduándose de Ingeniero Agrónomo en 1974.

Comenzó a trabajar en 1974 en la actividad forestal en el Delta de Paraná y continuó con la actividad docente universitaria a partir de 1976 hasta 1981.

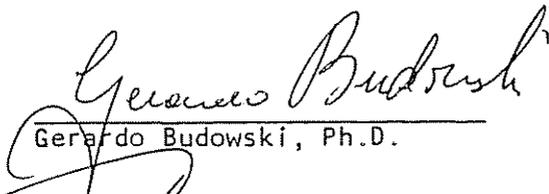
En 1979 ingresó en el Instituto Forestal Nacional (IFONA) donde se desempeñó hasta 1981.

En marzo de 1981 ingresó al Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (UCR-CATIE) en el Departamento de Recursos Naturales Renovables, obteniendo el grado de *Magister Scientiae* en Recursos Naturales en mayo de 1983.

Esta tesis ha sido aceptada en la forma presente por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, bajo el convenio UCR-CATIE, como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

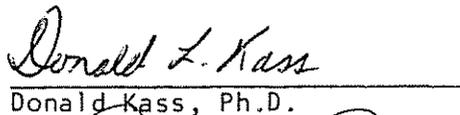
JURADO


Gerardo Budowski, Ph.D.

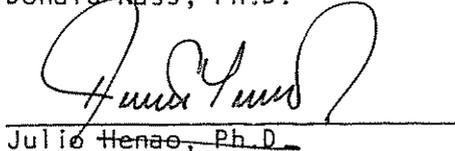
Profesor Consejero


José Fargas, Ph.D.

Miembro del Comité


Donald Kass, Ph.D.

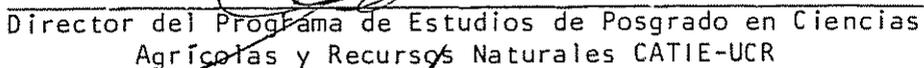
Miembro del Comité

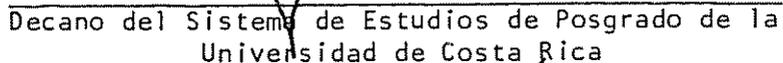

Julio Henao, Ph.D.

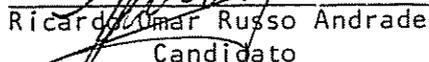
Miembro del Comité


John W. Beer, M.Sc.

Miembro del Comité


Director del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales CATIE-UCR


Decano del Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica


Ricardo Omar Russo Andrade
Candidato

CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN	x
SUMMARY	xiii
LISTA DE CUADROS	xvi
LISTA DE FIGURAS	xx
1. INTRODUCCION	1
1.1 Justificación	1
1.2 Hipótesis	2
2. REVISION DE LITERATURA	4
2.1 El uso de árboles de sombra	4
2.2 Efecto de los árboles de sombra	4
2.3 Beneficios adicionales de los árboles de sombra	5
2.3.1 Fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico	5
2.3.2 El aporte de material orgánico al suelo	6
2.4 Especie estudiada	8
2.4.1 Características generales	8
2.4.2 Utilización como árbol de sombra	9
2.4.3 Posibilidades forrajeras	11
3. MATERIALES Y METODOS	16
3.1 Localización del estudio	16
3.1.1 Descripción y antecedentes	16
3.1.2 Clima	16
3.1.3 Suelos	17
3.2 Materiales y equipo	18
3.3 Diseño experimental	18
3.3.1 Diseño y tratamientos	18
3.3.2 Tamaño y forma de las parcelas y bloques	18
3.3.3 Variables consideradas	19
3.4 Muestreo y descripción de los métodos usados	20

	<u>Página</u>
3.4.1 Suelos	20
3.4.2 Nódulos	21
3.4.3 Biomasa de la primera poda	23
3.4.4 Biomasa de la segunda poda	24
3.4.5 Biomasa de la poda de ramas de un año	24
3.4.6 Hojas caídas naturalmente	24
3.4.7 Diámetro de los árboles	26
3.4.8 Micorrizas vesículo-arbusculares	27
3.5 Análisis	27
3.5.1 De suelo	27
3.5.2 De tejido vegetal	28
3.5.3 De datos	28
4. RESULTADOS Y DISCUSION	29
4.1 Producción de biomasa	29
4.1.1 Análisis de la biomasa de la primera poda semestral	29
4.1.2 Análisis de la biomasa de la segunda poda semestral	34
4.1.3 Análisis de la biomasa de la poda anual	34
4.1.4 Incrementos diamétricos	41
4.1.5 Análisis comparativo entre podas	41
4.1.6 Diferencias entre tratamientos en producción de biomasa	45
4.1.7 Número de ramas por árbol	47
4.1.8 Hojas caídas naturalmente	52
4.1.8.1 De los árboles no podados en marzo	52
4.1.8.2 De los árboles podados en marzo	52
4.1.8.3 Análisis de los resultados relacionados con las hojas caídas naturalmente	61
4.1.9 Biomasa total producida	61
4.1.10 Discusión de los resultados en relación a la biomasa	61
4.2 Nodulación y sistema radical	62

	<u>Página</u>
4.2.1	Análisis descriptivo de los nódulos 66
4.2.2	Tipo y ubicación de los nódulos 67
4.2.3	Descripción del sistema radical 70
4.2.4	Micorrizas vesículo-arbusculares 72
4.2.5	Cantidad de nódulos por árbol 72
4.2.6	Diferencias entre tratamientos respecto a nódulos 72
4.2.6.1	Muestreo de nódulos en marzo de 1982 ... 72
4.2.6.2	Muestreo de nódulos en junio de 1982 ... 76
4.2.6.3	Muestreo de nódulos en setiembre de 1982 76
4.2.7	Discusión de los resultados relacionados con nodulación y sistema radical 78
4.3	Contenidos de nitrógeno y materia orgánica en el suelo . 82
4.3.1	Muestreo previo a la primera poda 82
4.3.2	Muestreo a los tres meses de la primera poda 82
4.3.3	Muestreo de setiembre de 1982 a los seis meses de la primera poda 85
4.3.4	Discusión de los resultados relacionados con contenidos de nitrógeno y materia orgánica en el suelo 85
5.	CONCLUSIONES 89
6.	RECOMENDACIONES 91
7.	BIBLIOGRAFIA 93
8.	APENDICE 99

"Efecto de la poda de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook, poró, sobre la nodulación, producción de biomasa y contenido de nitrógeno en el suelo en un sistema agroforestal café-poró".

RESUMEN

Se evaluó el efecto de las podas de *Erythrina poeppigiana* (poró), un árbol de sombra en los cafetales, sobre la nodulación, producción de biomasa y contenido de nitrógeno en el suelo en los primeros 15 cm de profundidad en un período de un año. La costumbre local de podar los árboles de poró 2 veces al año con intervalos de 6 meses fue comparada con una sola poda anual. El estudio se llevó a cabo en el CATIE, Turrialba, Costa Rica, en un cafetal de 2 años de edad plantado con una densidad de 4 300 plantas/ha, sombreado con árboles de 8 años plantados a una densidad de 280 árboles/ha (6 m x 6 m).

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 3 tratamientos y 6 repeticiones. Para comenzar el experimento se hizo una poda total de todos los árboles de poró entre el 9 y 11 de setiembre de 1981 y luego se aplicaron los siguientes tratamientos entre el 9 y 15 de marzo de 1982: a) poda total de ramas dejando el producto de las podas sobre el suelo; b) poda total de ramas y su remoción de la parcela y c) sin poda. En el transcurso del experimento también se colectaron en trampas las hojas caídas naturalmente de los árboles de poró y se determinó su peso seco.

Un año después, entre el 15 y 20 de setiembre de 1982 se podaron todos los árboles nuevamente para obtener datos de producción de biomasa total por año. En todas las podas tanto la semestral como la anual se determinó la biomasa (peso seco) separando hojas y tallos.

Antes de la primera poda semestral en marzo de 1982 se evaluaron el contenido de nitrógeno total del suelo, de 0 a 15 cm de profundidad y el número y peso seco de nódulos radicales. En junio de 1982, se determinó el contenido de nitrógeno total del suelo y la nodulación radical. En la última poda, en setiembre de 1982, se evaluó nuevamente la biomasa, contenido de

nitrógeno total del suelo y nodulación radical.

Se encontró que la primera poda semestral produjo 5 068 kg/ha de materia seca, la segunda produjo 6 728 kg/ha, mientras que la poda anual alcanzó 18 474 kg/ha. Con referencia a las hojas caídas naturalmente, en los árboles con una sola poda al año se produjeron 4 280 kg/ha/año, mientras que en las parcelas podadas 2 veces al año se produjeron 1 914 kg/ha/año.

La cantidad total de biomasa aportada al suelo tanto de las podas como de las hojas caídas naturalmente alcanzó las siguientes cantidades de materia seca y macroelementos por ha.

Componente	Biomasa podada (kg/ha)		Hojas caídas (kg/ha)		Total aportado al suelo (kg/ha)	
	1 poda	2 podas	1 poda	2 podas	1 poda	2 podas
Materia seca	18 474	11 839	4 280	1 914	22 754	13 753
Nitrógeno	237.3	227.6	93.3	41.7	330.6	269.3
Fósforo	26.0	18.0	6.4	2.9	32.4	20.9
Potasio	130.0	139.0	25.7	11.5	155.7	150.5
Calcio	224.8	84.0	94.2	42.1	319.0	126.1
Magnesio	56.0	38.0	30.0	13.4	86.0	51.4

Se observó que la poda redujo sensiblemente la nodulación inmediatamente después de realizada y hasta los 3 meses (menor número y menor peso seco de nódulos) pero luego se produjo una notable recuperación y a los 6 meses se alcanzaron niveles similares a los observados antes de la poda. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los contenidos de nitrógeno total del suelo ni en los contenidos de materia orgánica.

Si bien la biomasa total obtenida de los árboles podados solo una vez al año es mayor que la obtenida de los árboles con 2 podas/año, el porcentaje de hojas es mayor en el último caso. La poda bianual aunque produce menor cantidad de biomasa podría justificarse para satisfacer los requerimientos de los cultivos asociados y distribuir mejor la adición de nutrimentos del suelo.

La remoción de los residuos de la poda fuera del sistema no afectó la cantidad de nitrógeno total del suelo, ni la producción de biomasa de ramas, ni la nodulación radical en un período de 6 meses.

El alto contenido de nitrógeno total de las hojas, entre 4 y 5 por ciento en las láminas, califica al poró como un suplemento proteico promisorio para la alimentación animal en el trópico húmedo.

En las raicillas de poró fueron halladas endomicorrizas y se discute su relación con el proceso de nodulación.

"The effect of pruning of *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook, 'poró', on nodulation, biomass production and nitrogen content in the soil in a 'coffee-poró' agroforestry systems".

SUMMARY

The effect of pruning of *Erythrina poeppigiana* ('poró'), a shade tree over coffee plantations, on nodulation, biomass production and nitrogen content in the soil within the first 15 cm, was evaluated over one year. The local custom of pruning the poro trees twice a year at 6 month intervals was evaluated in comparison to pruning only once a year. The study was carried out at CATIE, Turrialba, Costa Rica, using a two year old coffee plantation with a density of 4 300 plants/ha, shaded with 8 year old poro planted at a density of 280 trees/ha (6 m x 6 m).

A randomized block design, with 3 treatments and 6 replications was used. At the begining of the experiment, between 9 and 11 September 1981 all the poro trees were pruned. The following 3 treatments were applied between 9 and 15 March 1982: a) pruning of all branches from the tree trunk and leaving them on the ground; b) pruning of all branches followed by their removal from the plot and c) no pruning. During the experiment, fallen leaves from the poro trees were collected in traps and weighted.

At the end of the experiment, one year after, between 15 and 20 September 1982 all the poro trees were again pruned, providing data on the total annual biomass production at that time. For all prunings, both the semestral and annual, biomass (dry weitht) was evaluated separating leaves and stems.

Before the first pruning in March 1982, nitrogen content in the soil at 0-15 cm depth and the number and dry weitht of root nodules, were determined. In June 1982, the nitrogen content in the soil and nodulation were determined. The last pruning was carried out in September 1982, and biomass, soil nitrogen content and root nodulation were again evaluated.

It was found that the first 6 month-pruning produced 5 068 kg/ha, the second one produced 6 728 kg/ha, while the plots with only one annual pruning reached 18 474 kg/ha.

With refererice to fallen leaves, the trees that were pruned only once a year produced 4 280 kg/ha/yr, while trees pruned twice a year produced 1 914 kg/ha/yr. The total biomass added to the soil surface by pruning and fallen leaves resulted in the following quantities of dry matter and macro-elements on an ha basis:

Component	Pruned biomass (kg/ha)		Fallen leaves (kg/ha)		Total biomass added (kg/ha)	
	1 prunin.	2 prunin.	1 prunin.	2 prunin.	1 prunin.	2 prunin.
Dry matter	18 474	11 839	4 280	1 914	22 754	13 753
Nitrogen	237.3	227.6	93.3	41.7	330.6	269.3
Phosphorus	26.0	18.0	6.4	2.9	32.4	20.9
Potassium	130.0	139.0	25.7	11.5	155.7	150.5
Calcium	224.8	84.0	94.2	42.1	319.0	126.1
Magnesium	56.0	38.0	30.0	13.4	86.0	51.4

A significant reduction in nodulation (dry weitht and number of nodules) was observed immediately after pruning but after 3 months there was a notable recuperation and in 6 months the amount of nodulation again reached the same level as before pruning. No significant differences in soil nitrogen content or organic matter between the 3 treatmens were found.

Although the total biomass obtained from plots pruned once a year was greater than from plots pruned twice a year, the percentage of leaves was higher in the latter treatment. The pruning of biomass twice a year although producing smaller quantities when compared to only one pruning per year, may be justified to suit the needs of associated crops and to improve the temporal distribution of nutrient addition to the soil.

In a 6 months period the removal of pruned biomass did not affect significantly the quantity of nitrogen in the soil, nor the production of biomass

of branches, nor the amount of nodulation when compared to non-pruned plots.

The high level of total nitrogen in the leaves between 4-5 per cent qualifies poro as a promising protein supplement for animal feed in the humid tropics.

Endomycorrhizae were found in the root zone and their relation to nodulation is discussed.

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro No.</u>		<u>Página</u>
1	Composición química de la materia seca y solubilidad de la proteína cruda de 6 forrajes proteicos	13
2	Contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC) y energía metabolizable (EM) de diferentes alimentos utilizados en rumiantes menores en el CATIE	14
3	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) de hojas, peciolo y corteza de poró en diferentes fracciones de la rama de 6 meses	15
4	Biomasa (kg) obtenida en la primera poda semestral, desglosada en hojas y ramas. Datos provenientes de 48 árboles. Período setiembre 81 - marzo 82	30
5	Cantidad de nitrógeno aportado por los diferentes componentes de la biomasa por efecto de la primera poda semestral	31
6	Contenido (%) de macronutrientes de la biomasa de la primera poda semestral. Período setiembre 81 marzo 82	32
7	Cantidad (kg/ha) de macronutrientes contenidos en el material de la primera poda semestral. Período setiembre 81 - marzo 82	33
8	Biomasa (kg) obtenida en la segunda poda semestral, desglosada en hojas y ramas. Datos provenientes de 48 árboles. Período marzo 82 - setiembre 82	35
9	Cantidad de nitrógeno aportado por los diferentes componentes de la biomasa en la segunda poda	36
10	Biomasa proveniente de dos podas semestrales y cantidad anual de nitrógeno aportado por efecto de dichas podas. Período setiembre 81 - setiembre 82 ..	37
11	Biomasa (kg) obtenida en la poda anual, desglosada en hojas y ramas. Datos provenientes de 24 árboles. Período setiembre 81 - setiembre 82	38

	<u>Página</u>
12	Cantidad de nitrógeno aportado por los diferentes componentes de la biomasa por efecto de la poda anual 39
13	Producción anual de biomasa para árboles con 1 y 2 podas al año 40
14	Incrementos diamétricos medios por parcela y por tratamiento en el período marzo 82 - setiembre 82 ... 42
15	Promedios de producción de biomasa (kg/ha) por tratamiento, desglosado en hojas y ramas 46
16	Número de ramas por árbol y peso seco por rama en las dos podas semestrales y en la poda anual 48
17	Distribución de frecuencias del número de ramas por árbol para la primera poda, segunda poda y poda anual 50
18	Peso seco (g/m ²) de hojas caídas en las trampas colocadas en los árboles sin poda en marzo, para cada bloque y distancia durante 180 días 53
19	Peso seco (kg/ha) de hojas caídas por distancia y total de los árboles no podados en marzo de 1982 durante 180 días 56
20	Peso seco de hojas caídas en las trampas colocadas en árboles podados en marzo expresado en g/m ² , para cada bloque y distancia durante 70 días 58
21	Peso seco de las hojas caídas por distancia y total en kg/ha, de los árboles podados en marzo de 1982, durante 70 días 59
22	Cantidad de materia seca y nutrimentos (kg/ha) aportados por la biomasa de las podas y de las hojas caídas naturalmente, con yna y dos podas anuales 63
23	Diámetro, longitud, contenido de materia seca y peso seco de los nódulos radicales de <i>Erythrina poeppigiana</i> 68
24	Mediciones de la parte aérea y radical de 15 árboles de poró extraídos en marzo de 1982 71

25	Número y peso seco de nódulos por árbol en cada bloque del experimento	74
26	Composición de macro y micronutrientes de los nódulos de <i>Erythrina poeppigiana</i> y estimación de sus contenidos por ha	75
27	Promedios de número y peso seco de nódulos radicales de <i>Erythrina poeppigiana</i> para 3 distancias de muestreo	75
28	Número y peso seco promedio de nódulos radicales por árbol de <i>Erythrina poeppigiana</i> en los diferentes tratamientos del muestreo realizado en junio de 1982, a los tres meses de la poda	77
29	Número y peso seco promedio de nódulos radicales por árbol de <i>Erythrina poeppigiana</i> para las 3 distancias de muestreo en junio de 1982	77
30	Número y peso seco promedio de nódulos por árbol de <i>Erythrina poeppigiana</i> en los diferentes tratamientos, en setiembre de 1982 a los 6 meses de la poda	79
31	Número y peso seco promedio de nódulos radicales por árbol de <i>Erythrina poeppigiana</i> para las 3 distancias de muestreo en setiembre de 1982	79
32	Contenidos promedio (%) de nitrógeno total del suelo entre 0-15 cm de profundidad, en las parcelas correspondientes a los diferentes tratamientos	83
33	Contenido promedio de N total (%) en el suelo de 0 a 15 cm de profundidad en los diferentes tratamientos en el mes de junio de 1982	84
34	Diferencias en el contenido de N total del suelo entre 0 y 15 cm de profundidad, entre el 1º y 2º muestreo (marzo y junio de 1982)	84
35	Contenidos de N total del suelo, de 0-15 cm de profundidad, en los 3 tratamientos en setiembre de 1982	86

36	Contenidos de materia orgánica en el suelo (%), de 0-15 cm de profundidad, en los 3 tratamientos y en los 3 muestreos, marzo, junio y setiembre de 1982	86
----	---	----

En el Apéndice

1A	Análisis químico del suelo, de 0 a 15 cm de profundidad al comenzar el experimento	100
2A	Análisis mecánico del suelo de los 6 bloques del experimento, de 0 a 15 cm de profundidad	101
3A	Implementos y equipo	102

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura No.</u>		<u>Página</u>
1	Hojas de <i>Erythrina poeppigiana</i>	10
2	Rama principal de poró con ramificación secundaria	10
3	Distribución de las lluvias durante el período de experimentación y promedio mensual acumulado de 38 años	12
4	Perfil de un cafetal sombreado con poró: A: poró sin poda; B: poró podado; C: plantas de café ...	12
5	Biomasa producida por árbol en la primera y segunda poda	43
6	Biomasa producida por árbol con 1 y 2 podas/año ..	44
7	Relación entre el número de ramas (X) y biomasa (Y) proveniente de la primera poda por árbol	49
8	Distribución de la frecuencia del número de ramas en las podas semestrales y en la poda anual	51
9	Peso seco promedio de hojas caídas por parcela en cada una de las distancias y su distribución porcentual (g/m^2)	54
10	Distribución de la caída de las hojas de poró colectadas en las trampas cada 10 días entre el 10 de marzo y el 10 de setiembre de 1982	57
11	Cantidad porcentual de hojas caídas en función de la distancia al árbol en árboles podados	60
12	Distribución de la caída de hojas colectadas en las trampas cada 10 días en árboles podados ...	60
13	Cantidad mensual de hojas caídas a partir de la poda, cuando se realiza una poda al año	62

14	Cantidad total de biomasa producida con 1 y 2 podas/año	64
15	Macronutrientes totales aportados por las podas y las hojas caídas naturalmente	65
16	Nódulos en raíces de poró	69
17	Trozo de raicilla de poró con endomicorrizas, en donde aparecen hifas intracorticales (H) y arbusculas (A)	73
18	Comparación de los pesos secos medios de los nódulos por tratamiento en tres épocas de muestreo: marzo, junio y setiembre de 1982	80
19	Comparación del número de nódulos medio por tratamiento en tres épocas de muestreo: marzo, junio y setiembre de 1982	80
20	Comparación entre niveles de N total en el suelo en marzo, junio y setiembre para cada tratamiento	87

En el apéndice

1A	Mapa de localización del experimento en el terreno del CATIE, Turrialba, Costa Rica	103
2A	Ubicación de los bloques y tratamientos en el campo	104
3A	Ubicación de un bloque con tres parcelas de cuatro árboles cada una dentro de la plantación ..	105
4A	Posición de los puntos muestrales para análisis de nodulación y análisis de suelo	105
5A	Vista en perspectiva de una trampa de 1 m ² para hojas	106
6A	Distribución de las trampas en una parcela	106
7A	Perfil esquematizado del sistema radical del poró	107

		<u>Página</u>
8A	Esquema del sistema radical del poró, vista en planta	107
9A	Distribución de frecuencias del contenido de nitrógeno total del suelo de 0-15 cm de profundidad en tres épocas de muestreo para 72 datos	108

1. INTRODUCCION

1.1 Justificación

En muchos países en vías de desarrollo, la producción de alimentos en sistemas tecnificados, con aplicación de gran cantidad de insumos energéticos, ha ocasionado un costo ecológico muy elevado que a menudo se refleja en una aceleración de erosión del suelo, contaminación ambiental y desequilibrio de las poblaciones vegetales y animales. Además implica sacrificios económicos y aún políticos debido a la dependencia peligrosa de productos importados.

Estos problemas se pueden solucionar en parte a través de prácticas más racionales en el uso de la tierra, tarea que implica un cuidadoso estudio y el manejo de una gran cantidad de factores.

Hoy día, las prácticas agroforestales, también descritas como agroforestería o sistemas agroforestales (o agro-silvo-pastoriles), se presentan como una opción racional, en momentos de crisis energética, para contribuir a la producción de alimentos, fibras, leña y madera, mediante una tecnología relativamente sencilla y de bajo costo (13). Dichas prácticas combinan árboles forestales con cultivos agrícolas o ganadería, en el espacio y en el tiempo, en una asociación simultánea o escalonada, y tienen como objetivo buscar la máxima producción por unidad de superficie, respetando siempre el principio del rendimiento sostenido (14, 19).

En este marco de referencia es posible considerar una leguminosa arbórea de la familia de las Papilionáceas (o Fabáceas) (37, 48), *Erythrina poeppigiana* "poró", que ha sido usado en muchas partes y particularmente en Costa Rica como sombra en cafetales y cuyas características la hacen muy versátil (34) por su multiplicidad de usos: sombra para cultivos asociados, (12) abono orgánico, fijación biológica de nitrógeno, producción de forraje, etc. (9, 15, 20), como integrante de sistemas agroforestales. Cabe mencionar

que a pesar de su amplia difusión y uso, la especie no se usa para leña ni para construcción pero si se la ha usado en una industria papelera local, ("Celulosa de Turrialba") para producir papeles secantes, para servilletas y papel toilette.

Como el aporte de nitrógeno de algunas leguminosas perennes puede ser vital para mantener la productividad del suelo por largos períodos de tiempo (42) y es poca la información existente sobre leguminosas arbóreas tropicales, se planteó la necesidad de realización de un estudio sobre esta especie en relación con su productividad de biomasa según el tratamiento más apropiado y el efecto de este manejo sobre la nodulación.

1.2 Hipótesis

El presente trabajo parte de la hipótesis general que la poda intensa de las ramas de poró dos veces al año, actividad practicada por los caficultores costarricenses, aumenta la cantidad de materia orgánica y nitrógeno del suelo, en comparación con árboles podados, solo una vez al año.

Esta hipótesis se basa en el hecho que el material proveniente de las podas en gran parte está constituido por follaje con un alto contenido de N (40) y que si bien no toda la biomasa podada que cae sobre el suelo se incorpora, la misma se descompone y va incorporándose gradualmente al suelo en forma de materia orgánica (62) que por tener una baja relación C/N tiene una rápida degradación (3).

Por otra parte la defoliación total que provocan las podas constituye una supresión temporal de fotosintatos al sistema radical, lo que puede provocar muerte de raicillas y desprendimiento de nódulos.

Como esta especie tiene una notable capacidad de brotación, muy pronto hay nuevas hojas y se restablece el suministro alimenticio, con la consiguiente formación de nuevas raicillas y formación de nuevos nódulos.

Basado en estos supuestos se plantearon los siguientes objetivos:

1. Evaluar el efecto de las podas sobre la producción de biomasa aérea.
2. Evaluar el efecto de la poda sobre la nodulación.
3. Evaluar la cantidad de nitrógeno provenientes de las podas y de las hojas caídas naturalmente entre podas.
4. Evaluar el efecto que produce quitar el residuo de una poda sobre el contenido de nitrógeno total del suelo y la nodulación.

Se consideran por lo tanto, las siguientes hipótesis nulas:

1. Biomasa y nitrógeno aportado por las podas

H_0 : La cantidad de biomasa y nitrógeno aportado por las podas que llega a la superficie del suelo son iguales (no son) con dos podas/año que con una poda/año.

2. Nodulación

H_0 : El número y peso seco de los nódulos radicales del poró son iguales (no son) antes que después de la poda.

3. Remoción de la biomasa podada

H_0 : La remoción de los residuos de una poda no tiene efecto (tiene) sobre la cantidad de nódulos, ni sobre el contenido de nitrógeno total del suelo, ni sobre la producción de biomasa del rebrote inmediato.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 El uso de árboles de sombra

La práctica de sombrear cultivos perennes no es nueva en los trópicos americanos. Ya a fines del siglo pasado era frecuente sombrear el cultivo del café y según Coville (21)... "parecería que este sistema centroamericano de sombrear el café fue adoptado de la costumbre de los aborígenes de sombrear el cacao en tiempos prehistóricos, lo que aún es practicado en muchas localidades". Cook (20) en 1901 hace referencia a 150 especies utilizadas en la época como sombra para cacao y café, entre las que se encuentra el poró. Parecería que hasta ese momento aún no era conocido en Costa Rica, dado que Cook sólo lo menciona para Perú, Puerto Rico, Martinica, Guadalupe y Cuba.

2.2 Efecto de los árboles de sombra

Los efectos de los árboles de sombra sobre los cultivos asociados son conocidos en los aspectos ambientales y fisiológicos (66). Entre los principales pueden mencionarse:

- a. Disminución de las temperaturas máximas y mínimas dentro del cultivo (36).
- b. Disminución de la temperatura del suelo en su capa superior.
- c. Reducción de la radiación solar sobre el cultivo asociado, lo cual en el cacao según Alvim (5) afecta la fotosíntesis, la apertura de estomas, la intensidad de la floración y la maduración de los frutos.
- d. Disminución de la temperatura de las hojas del cultivo asociado, que en el caso del cacao alcanza hasta 20°C de diferencia (6).

e. Reducción de la transpiración del cultivo (4).

2.3 Beneficios adicionales de los árboles de sombra

Además de los efectos ambientales y fisiológicos mencionados, la incorporación de árboles de sombra a un cultivo puede tener otras ventajas que son la fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico en el caso de las leguminosas arbóreas (52) y el aporte de materia orgánica al suelo (60).

2.3.1 Fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico

La fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico es un aspecto de gran alcance para un área determinada dado que en general es el nutrimento de las plantas que con mayor frecuencia limita los rendimientos en los trópicos (58).

Aunque el presente estudio no evalúa ni cuantifica el proceso de fijación, al estudiar la respuesta en la producción de nódulos, a la poda aérea intensa, relaciona en forma indirecta el manejo de la biomasa con fijación de nitrógeno.

Hablar en detalle del proceso de fijación implica estudios a menudo largos y complicados y al respecto existe abundante información (27, 34) sin embargo, es importante destacar la diferencia que existe entre el proceso de nodulación y la fijación propiamente dicha; el primero es una respuesta hiperplástica del tejido radical ante la infección intratisular de bacterias del género *Rhizobium* (23) mientras que la fijación es una reacción de reducción del N_2 que ocurre en presencia de la enzima nitrogenasa que se encuentra dentro de los bacteroides de *Rhizobium* existente en el seno del nódulo (27). Los factores que afectan la nodulación y la fijación son muchos y entre los más conocidos pueden mencionarse (23, 39, 41):

- a. La disponibilidad de carbohidratos,
- b. La concentración de nitrógeno en el suelo,

- c. la acidez del suelo,
- d. la temperatura,
- e. la concentración de O_2 ,
- f. la humedad del suelo y
- g. la cantidad y disponibilidad de macro y micro elementos.

Una de las formas de conocer si una leguminosa fija nitrógeno, en forma cualitativa, es observar el número de nódulos efectivos existentes por planta (41). Si bien el número de nódulos no necesariamente refleja la cantidad de nitrógeno fijado, es obvio que en ausencia de nódulos no se produce fijación simbiótica *Rhizobium*-leguminosa. Además un aumento significativo en el número de nódulos efectivos implica un aumento de probabilidades de fijación (45).

Con referencia la cantidad de nitrógeno que fijan las leguminosas arbóreas en condiciones tropicales no existe mucha información. Sin embargo, recientemente Roskoski (52, 53) en un cafetal en la zona de Veracruz, México, sombreado con *Inga jinicuil* halló que los nódulos de esta leguminosa (Mimosacea) fijan 35 kg de N/ha/año y que esta cifra representa entre el 22 y 28 por ciento del N incorporado por fertilizantes.

2.3.2 El aporte de material orgánico al suelo

Delgado Palacios en 1895, citado por Cook (20), ya apuntó las ventajas del uso de los géneros *Erythrina* é *Inga* como sombra en cafetales, por su capacidad de abonar el suelo a través de sus hojas caídas... 'que contienen una gran cantidad de material fertilizante'. Es evidente que a principios de siglo no se hacía un manejo cuidadoso de regulación de la intensidad de la sombra como se practica actualmente en Costa Rica, por medio de las podas periódicas de ramas, manteniendo las copas entre 4 y 7 m de altura.

Estas podas constituyen un aporte significativo de materia orgánica al suelo dado que al descomponerse e incorporarse parcialmente, no solo mejoran las condiciones físicas tales como la estructura y la permeabilidad, sino también las químicas como son el contenido de materia orgánica y la cantidad y disponibilidad de nutrimentos (58). Cadima Zeballos y Alvim (16) encontraron que los cacaoteros situados en la proximidad de los árboles de *Erythrina glauca* (*E. fusca*), tuvieron una mayor producción, lo que atribuyen al efecto benéfico ejercido por el árbol de sombra sobre las características físicas y químicas del suelo. Además, según Budowski (15) las ramas y las hojas podadas que permanecen por un tiempo sobre el suelo antes de descomponerse, reducen la evaporación e impiden el desarrollo de malezas. Otra hipótesis considerada por dicho autor es que después de cada poda mueren una gran cantidad de raíces, que al descomponerse, dejan canales por donde pueden ramificarse raíces de otras especies. Este fenómeno ya había sido observado y mencionado en 1950 por Dijkman (26) para *Leucaena leucocephala*.

Según Suárez de Castro y Rodríguez (62) los árboles de sombra contribuyen apreciablemente al mantillo e informan que en cafetales de Colombia el mantillo producido por el sistema café-árboles de sombra es de 4 600 a 13 000 kg/ha/año. Sin embargo, no desglosan cual es la fracción aportada por los árboles.

Por último es importante mencionar que en el sistema árboles-café, los árboles de sombra con raíces profundas contribuyen a un mejor uso del suelo ya que pueden extraer nutrimentos de las capas más profundas, a las que el sistema radical del cafeto no alcanza, ya que absorbe la gran mayoría de sus nutrimentos de una delgada capa superficial (56).

En el caso específico del poró, Molleapaza (40) trabajando en un cafetal sombreado con poró con una densidad de 280 árboles/ha (similar al presente experimento), encontró que la cantidad de biomasa que es recirculada por las ramas y hojas cuando son podadas semestralmente es de 2 892 kg/ha expresada en peso seco y que contiene 76.2 kg/ha de N.

Wiersum y Ramlan (65) midieron la hojarasca caída en una plantación de *Acacia auriculiformis*, en Java, Indonesia, plantada con una densidad de 1 010 árboles/ha y con precipitaciones de 2 700 mm/año, e informan cifras del orden de los 4 800 kg/ha/año de peso seco.

2.4 Especie estudiada

2.4.1 Características generales

Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook, anteriormente denominada *Micropteryx poeppigiana* y *E. micropteryx* (20), conocida en Costa Rica como "poró gigante" ó "poró extranjero" (35), también recibe los siguientes nombres: "bucare", "bucare anauco" o "cachimbo", en Venezuela, "amasisa" en Perú, "madre de cacao" ó "palo de boyo" en Puerto Rico y "peñon" en Cuba (20). En inglés se conoce generalmente como "immortelle", a veces esta y otras especies de *Erythrina* reciben el nombre de coral tree, por el color de sus flores.

Esta especie pertenece a la familia de las Papilionáceas (ó Fabaceae) de las leguminosas (50). Fue colectada originalmente en el pedemonte peruano (20, 42) y aunque su distribución va de Bolivia a Panamá está muy difundida y adaptada en otros países (48); así por ejemplo en Costa Rica se comporta como nativa ya que se reproduce espontáneamente en forma profusa. Su introducción en este país aparentemente data de la primera década del siglo, ya que Pittier no lo menciona en su obra sobre plantas usuales de Costa Rica publicada en 1903 (47).

Es un árbol de muy rápido crecimiento que alcanza una altura media de 22 metros (42), pudiendo en condiciones apropiadas llegar a 30 m de altura o aún algo más, en menos de 10 años. Crece en zonas tropicales con precipitaciones medianas a altas desde el nivel del mar hasta 1.400 m (11).

Presenta un fuste relativamente limpio aunque raras veces muy recto y sus flores son anaranjado-rojizas. Las hojas son trifoliadas, alternadas

y con un par de nectarios extraflorales en el pecíolo (20, 29). Permanece sin hojas durante el período más seco del año (enero-febrero) y especialmente cuando la estación seca es relativamente larga (Figura 1). Las ramas jóvenes generalmente son huecas y hay abundante espinas en las ramas de diferentes tamaños y a veces hasta en el raquis. El tronco también suele tener aguijones. El número y la disposición de espinas es bastante variable.

Según Borchert (11), en los climas del trópico húmedo caracterizados por la ausencia de un "stress" ambiental significativo, como es el caso de Turrialba, el desarrollo periódico de *Erythrina* está básicamente determinado por variables tales como la edad de las hojas y el tamaño del árbol, los cuales afectan el balance funcional interno del árbol. Incrementando el stress ambiental, en áreas con una estación seca por ejemplo, puede sincronizar ciertas fases de los ritmos periódicos endógenos con los cambios climáticos estacionales.

Es evidente que en condiciones de podas periódicas, no se manifiesta el proceso de floración y presenta un abundante follaje aún en los llamados "meses secos" (*).

2.4.2 Utilización como árbol de sombra

Comenzó a utilizarse como sombra en los cafetales en las últimas décadas del siglo pasado (20) y en Costa Rica en las primeras del presente siglo (31). También es usado como sombra en cacaotales (5). Actualmente está muy difundido en la zona de Turrialba, asociado con café. Usualmente en esta región se efectúan dos drásticas podas anuales (8, 15), la primera en los meses de enero-febrero, a veces hasta marzo, que es muy intensa e incluye generalmente la poda total de las ramas a ras de la parte superior del tronco (muñón) que queda entonces con una altura de 2.5 a 3.0 m.

(*) Observación personal.

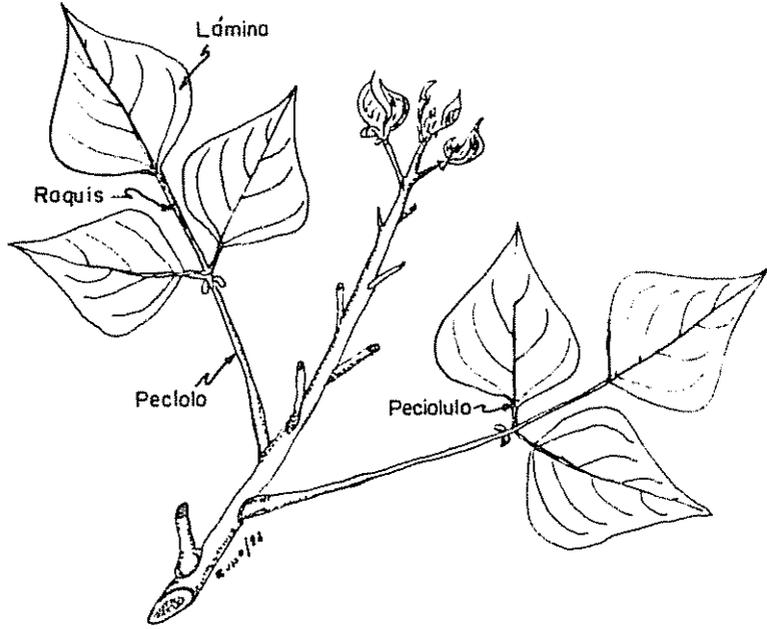


Fig. 1 Hojas de Erythrina poeppigiana

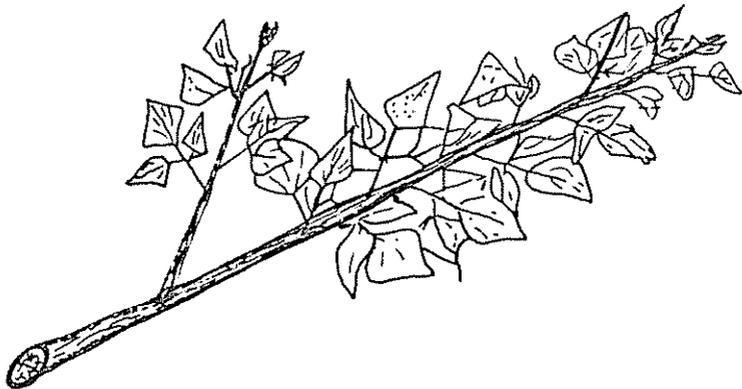


Fig. 2 Rama principal de poró con una ramificación secundaria

Esta poda suele llamarse descumbre. La segunda poda se efectúa durante los meses de julio-agosto, la cual suele ser menos severa que la primera, dejando usualmente una o dos ramas. Los objetivos de estas podas son varios: permitir la entrada de más cantidad de luz al cafeto y facilitar o regular la floración y luego la maduración de los frutos respectivamente (63). La Figura 4 muestra un poró podado con otro sin podar dentro de un cafetal. Existen desde luego variaciones en este régimen de podas, las que aparentemente dependen de preferencias individuales de los caficultores. La presencia de espinas es una característica que a veces dificulta el manejo; sin embargo se presentan árboles sin espinas, que reproducidos agónicamente podrían ser muy útiles por facilitarse su manejo (*).

2.4.3 Posibilidades forrajeras

Los recursos forrajeros proteicos son escasos en los trópicos, por consiguiente la búsqueda de nuevas fuentes es constante (18, 51).

Las hojas de poró por sus características cualitativas, son utilizadas como suplemento proteico en la alimentación animal.

En el Cuadro 1 se presentan los valores correspondientes a la composición química de 6 forrajes estudiados por Roldán-Pérez (51) en 1981, entre los que se hallan 3 leguminosas arbóreas.

En el Cuadro 2 se presentan los valores reportados por Benavides (9) para diferentes alimentos utilizados en rumiantes menores (cabras, ovejas) en el CATIE.

La información presentada en los cuadros anteriores evidencia un elevado contenido proteico del follaje del poró que alcanza hasta 34.4 por ciento en las hojas jóvenes de la fracción terminal de la rama y un valor medio de 25.4 por ciento para las hojas de la rama entera que son de mayor edad y más lignificadas.

(*) Observación personal.

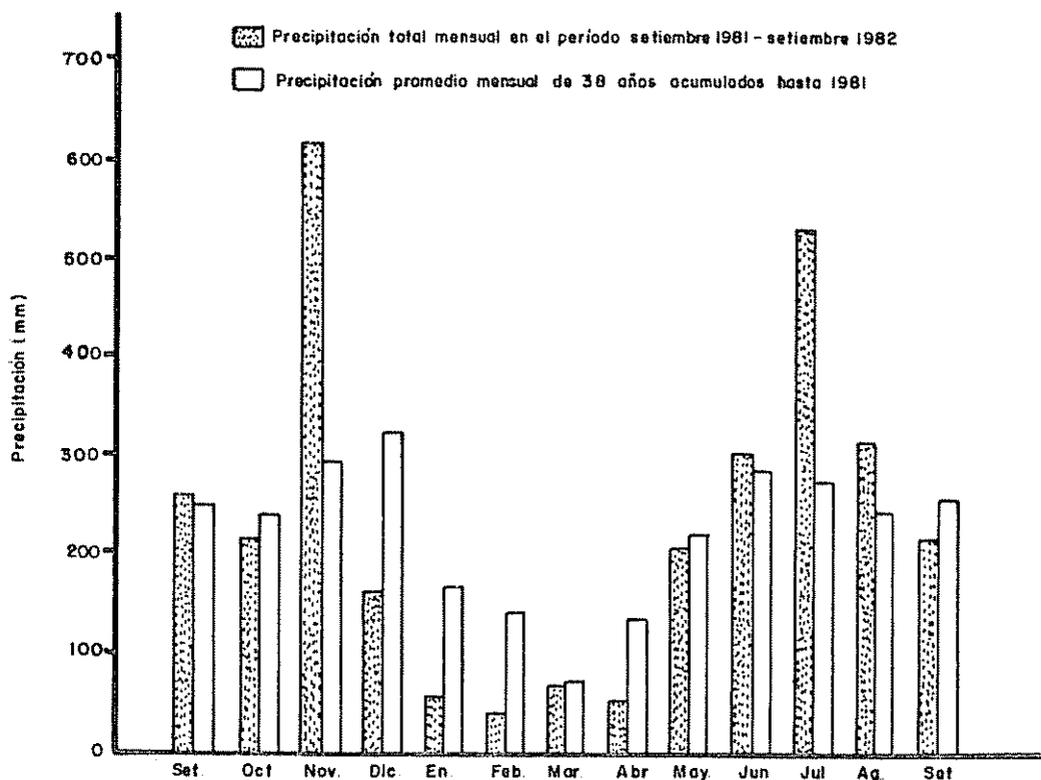


Fig. 3 Distribución de las lluvias durante el periodo de experimentación y promedio mensual acumulado de 38 años

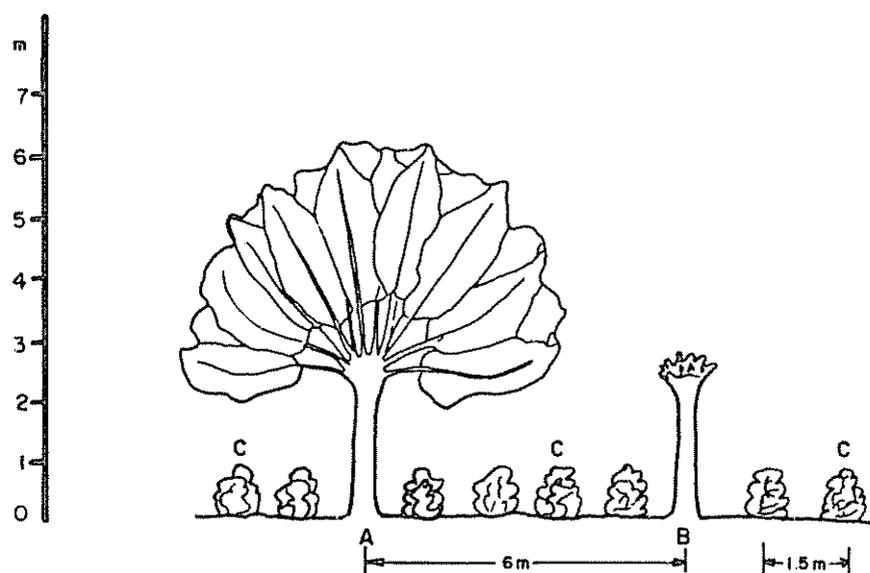


Fig. 4 Perfil de un cafetal sombreado con poró. A: poró sin poda; B: poró podado; C: plantas de café

Cuadro 1. Composición química de la materia seca y solubilidad de la proteína cruda de seis forrajes proteicos.

	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Manihot utilissima</i>	Forrajes ^{a/} <i>Ipomea batatas</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Erythrina poeppigiana</i>
Proteína cruda (PC) %	24.2	32.1	15.3	35.6	27.6	34.4
Constituyente de pared celular (CPC) %	42.8	27.8	36.4	28.3	39.4	40.5
Solubilidad PC %	26.3	42.2	39.7	43.1	39.3	54.4
Tiempo medio de digestión de la proteína cruda, horas ^{b/}	17.6	8.9	4.8	8.0	7.1	1.5

Fuente: Roldán Pérez (5).

^{a/} Fracciones terminales, en el caso del poró es una fracción de 18 cm de longitud de la parte terminal de ramas de 6 meses de crecimiento.

^{b/} Tiempo requerido para alcanzar 50% de digestibilidad del componente proteína cruda, en horas.

Cuadro 2. Contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC) y energía metabolizable (EM) de diferentes alimentos utilizados en rumiantes menores en el CATIE.

Follajes arbóreos	% MS	% PC	EM Mcal/kg MS
<i>Erythrina poeppigiana</i>	23.4	25.4	2.00
<i>Erythrina berteroana</i>	27.8	24.3	1.97
<i>Gliricidia sepium</i>	35.9	24.8	2.25
Otros follajes			
Yuca (hojas)	27.9	15.8	1.43
Musa spp var. pelipita (hojas)	22.2	13.5	1.58
<i>Canna lily ensiformes</i>	25.8	18.7	2.75
<i>Morus</i> sp	27.9	20.9	3.00
<i>Dalichos lablab</i>	20.4	20.2	2.58
Pastos			
Guinea (<i>Panicum maximum</i>)	19.5	10.7	1.95
<i>Pennisetum purpureum</i>	16.7	10.9	1.98
Fuentes energéticas			
Concentrado	90.7	18.9	2.99
Banano verde (var. Cavendish)	20.8	4.5	3.30
Yuca (raíz)	36.8	1.3	3.18
Ñame	30.6	5.9	3.05

Fuente: Benavidez (9).

Con referencia a la digestibilidad del poró, en el Cuadro 3 se presentan los valores de digestibilidad *in vitro* de la materia seca de hojas, pecíolos y corteza de las ramas, obtenidos de las prácticas del curso nutrición de rumiantes (#).

Cuadro 3. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de hojas, pecíolos y corteza de poró, en diferentes fracciones de la rama de 6 meses.

Porción a partir del ápice de la rama	DIVMS, %		
	Hoja	Pecíolo	Corteza
de 0 a 40 cm	60.01 a ^{*/}	71.98 a	
de 40 a 80 cm	49.73 bc	66.06 b	
de 80 a 120 cm	50.05 bc	67.00 b	
de 120 a 160 cm	48.13 c	63.31 b	
de 160 a 200 cm	52.78 b	67.37 b	
Promedio	52.14	67.14	80.09

^{*/} Los valores que tienen la misma letra, en la misma columna, no presentan diferencias significativas al 5 por ciento, según pruebas de rangos múltiples de Duncan.

(#) Curso de nutrición de rumiantes. *In* Prácticas de laboratorio 1982. Prof. M. Ruiz y D. Pezo. Resultados finales citados en (18).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del estudio

3.1.1 Descripción y antecedentes

Las observaciones del presente trabajo se realizaron en un cafetal con sombra de poró ubicado en terrenos del CATIE (Figura 1A) muy cerca del Edificio (en construcción) de la Biblioteca.

Los árboles de poró tenían ocho años de edad (*) y fueron sembrados por semillas en cuadro a una distancia de 6 m x 6 m aproximadamente, lo que significa una densidad de 280 árboles por hectárea.

El cafetal al iniciar la investigación en setiembre de 1982, tenía dos años y su población era 4 300 plantas/ha, y aún no se encontraba en producción. En febrero de 1982 recibió una fertilización con la fórmula 13 - 3 - 31, con una dosis de 50 g de fertilizante comercial por planta lo cual equivale a unos 28 kg de nitrógeno por hectárea.

Este terreno, que no llega a 2 ha, fue una colección de introducciones de café que fue trasladada a otro lugar. Por esta razón, se encuentran en forma dispersa algunos ejemplares más viejos de poró cuya edad podría estar entre los 25 y 30 años.

3.1.2 Clima

Tomando como referencia los datos de la estación meteorológica del CATIE situada a menos de 200 m del sitio, cuya ubicación corresponde a 9°53' 34" de latitud norte y 83°83' 17" de longitud oeste, con una altitud

(*) MATA, MARIO. Administrador de finca Turrialba del CATIE, Caña y Café. Comunicación personal.

sobre el nivel del mar de 602 m, los parámetros climáticos predominantes son los siguientes:

- Temperatura promedio anual: 23.3°C, con una máxima promedio anual de 27.0°C y una mínima promedio anual de 17.7°C, (promedio de 16 años).
- Precipitación promedio anual: 2 647.5 mm (17), (promedio de 36 años).

La distribución de la precipitación promedio mensual correspondiente al período de observaciones comprendido entre 1944 y 1981, puede observarse en la Figura 3. La época más lluviosa comienza en mayo, a veces en abril y termina en diciembre que es el mes con el promedio mayor de precipitación (333 mm), aunque también el de mayor variación. Marzo es el mes más seco con un promedio de 69.8 mm.

La humedad relativa promedio anual es de 87.6 por ciento (promedio de 23 años). El brillo solar diario promedio es de 4.54 horas de sol. El promedio diario de radiación es de 427.9 cal/cm²/día y el promedio anual de evaporación es de 1 114,7 mm (17).

3.1.3 Suelos

El suelo pertenece a la serie "La Margot (Fase Normal)" (1) es de origen aluvial, está ubicado en terrenos de topografía plana o ligeramente ondulada con pendientes que van de 1 a 4 por ciento con drenaje moderado o deficiente. La textura es franco-arcillosa. El pH es ácido, de 4.6 en promedio. El contenido de materia orgánica es alto (6.67 a 7.17%), con los siguientes valores para nitrógeno (0.25 a 0.43%) y potasio intercambiable (0.45 a 0.65 meq/100 ml de suelo), pero bajos contenidos en otros elementos nutritivos; por consiguiente puede considerarse de fertilidad mediana a baja (1). En todos los casos se observa buena estructura, posiblemente como consecuencia de las repetidas incorporaciones de materia orgánica provenientes de las podas bianuales del poró. De acuerdo a la taxonomía de suelos es un Typic Dystropepts.

3.2 Implementos y equipo

Se detallan en el apéndice.

3.3 Diseño experimental

3.3.1 Diseño y tratamientos

El diseño experimental fue en bloques completos al azar (32) con tres tratamientos por bloque y seis repeticiones (véase Figura 2A). Para comenzar el experimento se hizo una poda total de todos los árboles de poró entre el 9 y 11 de setiembre de 1981 y luego se aplicaron los siguientes tratamientos entre el 9 y 15 de marzo de 1982.

- Tratamiento A: Poda total de ramas dejando el producto de la poda sobre el suelo (Figura 4).
- Tratamiento B: Poda total de ramas y su remoción de la parcela.
- Tratamiento C: Sin poda. (Figura 4).

El modelo estadístico para las diferentes variables consideradas fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}; \quad i = 1, 2, 3 \\ j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

Donde: Y_{ij} = variable considerada.

μ = media poblacional.

T_i = efecto del tratamiento i .

B_j = efecto del bloque j .

E_{ij} = error experimental.

3.3.2 Tamaño y forma de las parcelas y bloques

Como el experimento se llevó a cabo en un cafetal sombreado con poró, en donde los árboles tenían ocho años de edad y se encontraban plantados

en cuadro a una distancia de 6 m aproximadamente, se utilizó una unidad experimental que incluyó cuatro árboles, cuyas medidas fueron aproximadamente 12 m x 12 m. Para localizar las parcelas se tomó en cuenta la presencia de algunos árboles viejos para evitar su inclusión e influencia, así como también las fallas en los árboles de 8 años. Cada bloque consistió de tres parcelas contiguas, es decir que estuvo constituido por 12 árboles y sus medidas fueron de 12 x 36 m, cubriendo una superficie de 432 m² (Figura 3A). Por lo tanto, el área total del experimento fue aproximadamente de 2 600 m² (Figura 2A).

Dentro de cada bloque se realizó la distribución de los tratamientos, con uno para cada parcela; mediante sorteo por medio de tarjetas para asegurar una distribución totalmente al azar.

3.3.3 Variables consideradas

- a. Contenido de nutrimentos del suelo de 0 a 15 cm de profundidad en cada uno de los bloques. Los análisis comprendieron fósforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, hierro, cobre, zinc, azufre y materia orgánica. Además pH, acidez extractable y textura.
- b. Contenido de nitrógeno total del suelo de 0 a 15 cm de profundidad, a distancias de 0,5, 1,0 y 1,5 m de la base de cada árbol.
- c. Número y peso seco de nódulos por volumen de suelo tomado de 0 a 12 cm de profundidad, haciéndose los muestreos a distancia de 0,5, 1,0 y 1,5 m de la base de cada árbol.
- d. Cantidad de biomasa y nutrimentos obtenidos de las podas, desglosado en hojas y ramas.
- e. Biomasa de hojas caídas naturalmente en las trampas, a través del tiempo.

3.4 Muestreo y descripción de los métodos usados

El muestreo de suelo y nódulos se realizó dentro del "área de muestreo" (véase Figura 5) que tenía como vértices cada uno de los árboles de la parcela.

3.4.1 Suelos

Para el muestreo de suelos se utilizó la metodología recomendada por Díaz Romeu y Hunter (25). Para la extracción de las muestras se utilizó un barrenador holandés con el cual se sacaron 9 submuestras por árbol a una profundidad de 0 - 15 cm. Tres muestras fueron sacadas a 0.5 m del árbol, 3 a 1.0 m y las tres restantes a 1.5 m del pie del árbol. Luego se juntaron las submuestras provenientes de la misma distancia de los cuatro árboles de la parcela, formando así una muestra compuesta por 12 submuestras para cada distancia en cada parcela. Esta operación permitió obtener 54 muestras compuestas (3 por parcela) por 648 submuestras obtenidas de igual número de perforaciones. Cada cuadrante de árbol muestreado representa 3/8 de un muestreo circunvalatorio (Figura 4A).

En la primera quincena de febrero de 1982 se efectuó el primer muestreo de suelos, previo a la primera poda. Unos días después del muestreo se realizó la fertilización acostumbrada en la finca del CATIE colocando el fertilizante alrededor del pie del tronco de cada arbusto de café; la dosificación fue de unos 50 g por planta con la fórmula 13 - 3 - 31 (*), equivalentes a 215 kg de fertilizante por ha y que representan 28 kg de N por ha, 6.5 kg de P por ha y 67 kg de K por ha. Esta fórmula fue aplicada ya que en ese momento éste era el fertilizante en existencia y por tratarse de un cafetal joven de dos años que aún no había entrado en producción.

En junio de 1982 entre los días 12 y 15, a los tres meses de la primera poda, se realizó el segundo muestreo en la misma forma anterior pero se agregó una distancia más de muestreo en el centro de la parcela, de 12 submuestras, para poder comparar estos valores con los de las muestras tomadas en la cercanía del árbol.

(*) MATA, MARIO. Administrador de finca Turrialba del CATIE, Caña y Café. Comunicación personal.

Por último en la primera semana de setiembre, a los seis meses de la primera poda y previo a la ejecución de la segunda poda se realizó el tercer muestreo de suelos en la misma forma que el muestreo anterior.

3.4.2 Nódulos

Para el muestreo de nódulos (Figura 4A) se procedió en forma similar que para el muestreo de suelos. Se tomaron 9 muestras por árbol (3 a 0.5 m, 3 a 1.0 m y 3 a 1.5 m) pero sólo hasta los 12 cm de profundidad, porque en todos los muestreos exploratorios no se observó presencia de nódulos por debajo de 6 cm de profundidad. Para este muestreo se utilizó un barreno (de los utilizados para sacar muestras para densidad de suelos) de 12 cm de profundidad y 7.5 cm de diámetro, con una capacidad de 530 cm^3 . Como la operación consistió en tomar 9 muestras por árbol, se muestreó un volumen de suelo de 4.77 l/árbol . Inmediatamente después de obtenidas las muestras se procedió a la separación de los nódulos mediante la técnica del lavado de las muestras de suelo (64). Luego se contaron los nódulos de cada muestra estratificándolos por distancia al pie del árbol y se llevaron al horno a 70°C durante 48 h para posteriormente obtener peso seco (41).

En un muestreo exploratorio realizado en el mes de marzo de 1982, fuera del área de muestreo pero dentro de las parcelas en las zonas dejadas como borde, se tomaron 136 nódulos al azar provenientes de árboles de los 6 bloques del experimento. Se pesaron en fresco y se midieron los diámetros mayor y menor, dado que en la mayoría de los casos presentan forma ovoide. Luego con estos datos, por regresión se halló un modelo matemático que permite inferir el diámetro medio de una población de nódulos, conociendo su número y su peso seco total.

Las bandas de muestreo tuvieron las siguientes áreas por árbol y por parcela y les correspondieron los siguientes volúmenes.

	<u>Area/árbol</u> (m ²)	<u>Vol/árbol</u>	<u>Vol/parcela</u>
		litros	
1a. Banda			
hasta 50 cm	1.147	137.6	550.4
2a. Banda			
hasta 100 cm	2.717	326.0	1 304.0
3ra. Banda			
hasta 150 cm	4.288	514.6	2 058.4
TOTAL	8.152	978.2	3 912.8

Para estimar la cantidad de nódulos por árbol se partió de la base que el volumen de suelo muestreado en cada banda fue de 1.59 litros por banda (530 ml x 3 muestras), se obtuvo la densidad nodular (número de nódulos y peso seco de nódulos por litro muestreado) y luego se lo refirió al volumen total de cada banda y se obtuvo la sumatoria de las 3 bandas.

Como cada árbol que se muestrea representa $\frac{3}{8}$ (0.375) de un muestreo completo alrededor del mismo y se muestrearon 4 árboles por parcela, el volumen muestreado por parcela es equivalente a haber muestreado 1.5 árboles con un muestreo circuncéntrico de 8 radios. Por tanto el volumen muestreado por árbol fue de 8.48 litros, en cambio el volumen total explorado en un círculo de 1.5 m de radio y 0.12 m de profundidad fue de 978.2 litros/árbol, por lo que se muestreó 0.87 por ciento de suelo a 0.12 m de profundidad en un radio de 1.5 m del pie del árbol.

Entre el 10 y 15 de junio de 1982, a los tres meses de haber efectuado la primera poda, se realizó el segundo muestreo de nódulos, a las mismas distancias de la base que en el primer muestreo pero al lado del muestreo anterior, a fin de evitar la extracción en los puntos ya muestreados anteriormente.

Posteriormente en el mes de setiembre de 1982, a los seis meses de la

primera poda se realizó el tercer muestreo de nódulos en igual forma que los anteriores. El mismo fue anterior a la segunda poda.

3.4.3 Biomasa de la primera poda

Los árboles integrantes del experimento habían sido podados entre el 9 y el 11 de setiembre de 1981, por lo tanto en el momento de hacer la primera poda del presente trabajo, entre el 9 y 15 de marzo de 1982, sus ramas tenían 6 meses de edad y alcanzaban en general más de 3.5 m de longitud mientras que los diámetros en la base variaban entre 4 y 7 cm.

Se podaron en forma total 8 árboles de cada bloque, es decir 48 en total y se dejaron 4 árboles por bloque sin podar, o sea 24 en total.

Antes de la poda se midieron: diámetro a la altura del pecho (DAP) proyección de la copa sobre el suelo, altura total, altura del fuste y número de ramas principales, considerando como tales a las que se originan en el extremo del tronco (véase Figuras 2 y 4 en las páginas 10 y 12 respectivamente).

Como en la etapa inicial no era el propósito evaluar tratamiento ni diferencia entre bloques se determinó el peso seco de las ramas podadas de cada árbol.

Para los procesos operativos de evaluación se siguieron los métodos recomendados por Newbould (43). En el momento que se realizaron las podas de ramas, se procedió a separar las hojas de las ramas y pesar por separado ambos grupos "in situ" para obtener peso fresco de la biomasa podada. Inmediatamente se mezclaron las hojas entre sí y se tomaron 3 submuestras al azar, de manera que totalizaban unos 300 - 400 gramos por árbol y se colocaron en bolsas plásticas para evitar pérdidas de peso por evaporación. Con las ramas se procedió en forma similar, tomando submuestras, de la base, del medio y del extremo, en forma de discos no mayores de 1 cm de grosor para asegurar un secado uniforme de la madera en el horno.

Una vez secadas las muestras de hojas y ramas se obtuvieron sus pesos

secos con balanza electrónica "Sartorius" de precisión 0.1 g. Más tarde con los datos de peso seco y peso fresco de las muestras se obtuvo el porcentaje de materia seca (% M.S.) para cada una de ellas. Dicho factor multiplicado por el peso fresco de la biomasa cosechada permitió obtener la materia seca que produjo cada árbol en la poda aérea de ramas (43).

Además, para estudiar las diferentes fracciones que forman la rama y la hoja, se efectuó un muestreo de 9 ramas de 6 meses de edad al azar, a las cuales se separó en hojas y vástago. A las hojas a su vez se las fraccionó en láminas por un lado y pecíolo, raquis y peciolulos por otro (denominados en adelante como "pecíolos"). A los vástagos se los descortezó manualmente separando la corteza del leño. Cada una de estas fracciones fue secada en el horno para obtener peso seco.

3.4.4 Biomasa de la segunda poda

Los 48 árboles que habían sido podados entre el 9 y 15 de marzo, fueron podados nuevamente en forma total a los 6 meses, entre el 15 y 20 de setiembre de 1982.

3.4.5 Biomasa de la poda de ramas de un año

Los 24 árboles que habían permanecido sin poda en el mes de marzo y que habían sido podados por última vez en setiembre de 1981, recibieron poda total entre el 15 y 20 de setiembre de 1982.

3.4.6 Hojas caídas naturalmente

Para determinar la cantidad de material orgánico caído sobre el suelo a través del tiempo entre podas se utilizaron trampas de 1 m x 1 m construídas con un marco de madera de 10 cm de altura y con una malla en la parte inferior (Figura 5A).

Como en las observaciones visuales preliminares no hubieron diferencias aparentes en la distribución de las hojas caídas sobre el suelo, en una

primera etapa se colocaron 4 trampas por parcela ubicadas de la siguiente manera: la primera junto al pie del árbol y hasta un metro del mismo, de forma que uno de sus ejes principales (no las diagonales) pasen por el eje del tronco; la segunda entre 1 y 2 m; la tercera entre 2 y 3 m, y la cuarta entre 3 y 4 m. Cada trampa colocada en uno de los 4 árboles de la parcela. De esta forma se estaba haciendo un muestreo simultáneo de los 4 árboles de la parcela pero a su vez se estaban estratificando las distancias a los mismos, lo que permitió evaluar las diferencias en la distribución de la caída en función de la distancia al árbol. Las hojas caídas de los árboles que no recibieron poda fueron recolectadas de las trampas cada 10 días y secadas al horno para obtener peso seco. Las trampas fueron colocadas en las 6 repeticiones con el arreglo espacial mostrado en la Figura 6A. La recolección de datos fue entre el 10 de marzo y el 10 de setiembre de 1982, por un período de 6 meses.

En los 48 árboles podados en marzo recién comenzaron a caer hojas en la última semana de junio. Cayeron en primer término las hojas proximales al fuste, vale decir las que primero se formaron, por tanto el período de vida aproximado de las hojas está entre 110 y 120 días. En consecuencia se colocaron inmediatamente 24 trampas más, ubicadas en la misma forma anteriormente citada, 4 trampas por repetición, escogiéndose al azar uno de los tratamientos de poda para colocarlas. La toma de datos se realizó entre el 1º de julio y el 10 de setiembre de 1982, durante 70 días.

Para los análisis de nutrimentos del material colectado en las trampas, se fue tomando una muestra compuesta en cada cosecha a posteriori de haber sido secadas y pesadas. Dicho material fue conservado en bolsas plásticas. Posteriormente, previo al análisis de laboratorio, se mezcló todo el material recolectado y se estrujaron las bolsas con el objeto de homogenizar la muestra. Después se tomó una alícuota y se molió mecánicamente en un molinillo.

Para determinar la biomasa total de hojas caídas se aplicó la siguiente ecuación:

$$H = \frac{C_1 a_1}{P} + \frac{C_2 a_2}{P} + \frac{C_3 a_2}{P} + \frac{C_4 P - (a_1 + a_2 + a_3)}{P} \times 10$$

Donde: H = peso seco de hojas caídas por hectárea en un período de 6 meses (kg/ha).

C_1 = peso seco de hojas colectadas entre 0 y 1 m del árbol (g/m^2).

a_1 = área de la primera poda de muestreo, que comprende $3.86 m^2/\text{árbol} \times 4 \text{ árboles/parcela} = 15.44 m^2/\text{parcela}$.

C_2 = peso seco de las hojas colectadas en la banda entre 1 y 2 m del árbol (g/m^2).

a_2 = área de la segunda banda de muestreo que comprende $10.15 m^2/\text{árbol/parcela} = 40.60 m^2$.

C_3 = peso seco de las hojas colectadas en la banda entre 2 y 3 m del árbol (g/m^2).

a_3 = área de la tercera banda de muestreo que comprende $16.43 m^2/\text{árbol} \times 4 \text{ árboles/parcela} = 65.72 m^2/\text{parcela}$.

C_4 = peso seco de las hojas colectadas en la banda 4.

P = área de la parcela = $144 m^2$.

10 = factor para convertir g/m^2 a kg/ha $\left(\frac{g/m^2 \times 10\,000 m^2/ha}{1\,000 g/kg}\right)$

3.4.7 Diámetro de los árboles

Antes de la primera poda de marzo de 1982 se tomaron los diámetros a la altura del pecho (D.A.P), a 1.30 m, de todos los árboles integrantes del experimento. Dicha labor fue realizada con una cinta diamétrica. Posterior a la segunda poda fueron tomadas nuevamente los D.A.P. de todos los árboles y se determinó el incremento diamétrico para cada individuo y por tratamiento mediante la aplicación de la fórmula

$$Id = Df - Di$$

Donde Id = incremento diamétrico.

D_i = diámetro inicial, previo a la primera poda.

D_f = diámetro final posterior a la segunda poda.

3.4.8 Micorrizas vesículo-arbusculares

Si bien no se planteó inicialmente el objetivo de hacer estudios microbiológicos en laboratorio, se efectuó una evaluación de una población de raicillas menores de 1 mm de diámetro con el propósito de evaluar la presencia de endomicorrizas.

Dichas endomicorrizas, también llamadas micorrizas vesículo-arbusculares, se definen como la asociación entre algunos hongos del suelo y raíces de plantas superiores (3), pero con la particularidad que las hifas del hongo penetran intracelularmente a nivel del parénquima cortical de las raicillas y forman estructuras características denominadas vesículas y arbúsculas, cuya función es el almacenamiento y transferencia de nutrimentos especialmente el fósforo (32).

Se utilizó la técnica descrita por Phillips y Hayman (76) para determinar la presencia de hongos endomicorrízicos en raíces, la cual consiste básicamente en destruir los contenidos celulares mediante calentamiento en KOH (10%, 90°C, 1 h) y luego colorear con azul de tripano ('trypan blue') (0.05%) colorante que tiñe las hifas y demás estructuras fúngicas pero no las paredes celulares.

3.5 Análisis

3.5.1 De suelo

Los análisis de suelo se realizaron en el Laboratorio de Suelos del CATIE siguiendo la metodología de Díaz Romeu y Hunter (25).

- Nitrógeno total: se realizó por el método de semi-micro Kjeldahl según Díaz Romeu (24).

- Materia orgánica: el análisis de materia orgánica se realizó de acuerdo a la técnica propuesta por Saíz del Río y Bornemisza (57) basada en el método de Walkley y Black.
- Calcio, Magnesio y Acidez extractable: con solución extractiva de KCl 1 N y espectrofotometría de absorción atómica.
- Fósforo, Potasio, Cobre, Zinc, Manganeso e Hierro: por el método de Olsen modificado por Hunter (25), con solución extractiva de NaHCO_3 pH 8,5, 0,5 N y EDTA- Disódico.
- Azufre: con solución extractiva de $\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2$ (25).
- Textura: con el método de Bouyoucos modificado (25).

3.5.2 De tejido vegetal

- Nitrógeno: con el método de semi-micro Kjeldahl (24).
- P, K, Mg, Ca: por digestión con mezcla nítrico-perclórica (5:1) y posterior espectrofotometría de absorción.

3.5.3 De datos

La información obtenida permitió realizar las pruebas de hipótesis mediante análisis de varianza y pruebas de rango múltiple en el Centro de Cómputo del CATIE.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Producción de biomasa

4.1.1 Análisis de la biomasa de la primera poda semestral

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de la primera poda semestral para un total de 48 árboles.

Además se encontró que el 68 por ciento de las hojas está formado por las láminas y el 32 por ciento por los pecíolos (pecíolo, raquis y peciolulos), mientras que las ramas a esta edad, están formadas por 13.8 por ciento de corteza y 86.2 por ciento de leño.

En el Cuadro 5 se presentan la fracción porcentual de los componentes de la biomasa podada, su contenido de nitrógeno y las cantidades de nitrógeno aportadas por cada componente.

En el Cuadro 6 se presenta el contenido de macronutrientes de hojas y ramas provenientes de la primera poda.

En el Cuadro 7 se presentan las cantidades de macronutrientes aportados por la primera poda semestral.

Del análisis de los cuadros precedentes se evidencia que la producción de biomasa proveniente de una poda semestral es mayor que las informadas en otros trabajos. Molleapaza (40) en una poda efectuada en ramas de 6 meses de edad obtuvo 2 892 kg/ha en un sitio con 280 árboles/ha (10.33 kg/árbol) pero con un mayor porcentaje de hojas, del orden del 44 por ciento. Es probable que en esto haya tenido influencia el sitio y la edad de los árboles.

Cuadro 4. Biomasa (kg) obtenida en la primera poda semestral, desglosada en hojas y ramas. Datos provenientes de 48 árboles. Período setiembre 81 - marzo 82.

	Hojas	Ramas	Total
	(kg de M.S.)		
Biomasa obtenida	310	559	869
Biomasa/árbol	6.46	11.64	18.10
D.E.	1.86	3.35	5.03
C.V.	15.5 %	28.8 %	27.8 %
Biomasa/ha	1 809	3 259	5 068
Porcentaje relativo	35.7 %	64.3 %	100.0 %

M.S. = Materia seca

D.E. = Desviación estándar

C.V. = Coeficiente de variación

Cuadro 5. Cantidad de nitrógeno aportado por los diferentes componentes de la biomasa por efecto de la primera poda semestral.

Componentes	Biomasa podada		Cont. de N	Nitrógeno aportado por la poda	
	(kg/ha)	(%)	(%)	(kg/ha)	(%)
Láminas	1 230	24.3	4.62	56.83	56.3
Pecíolos	579	11.4	1.53	8.86	8.8
Leño	2 809	55.4	0.75	21.07	20.9
Corteza	450	8.9	3.15	14.17	14.0
TOTAL	5 068	100	1.99 %	100.93	100

Cuadro 6. Contenido (%) de macronutrientes de la biomasa de la primera poda semestral. Período setiembre 81 - marzo 82.

Hojas	N	P	K	Ca	Mg
Promedio	3.62	0.185	1.22	1.47	0.33
D.E.	0.15	0.06	0.40	0.24	0.103
C.V.	4 %	34.3 %	32.3 %	16.5 %	31 %
Ramas					
Promedio	1.08	0.135	1.15	0.33	0.32
D.E.	0.16	0.033	0.64	0.05	0.15
C.V.	15 %	25 %	55 %	15 %	46 %

N = 6, cada dato proviene de una muestra compuesta de 6 submuestras por bloque.

D.E. = desviación estándar.

C.V. = Coeficiente de variación.

Cuadro 7. Cantidad (kg/ha) de macronutrientes contenidos en el material de la primera poda semestral. Período setiembre 81 - marzo 82.

Componente	Biomasa	N	P	K	Ca	Mg
Hojas	1 809	65.7	3.35	22.02	26.60	3.4
Ramas	3 259	35.2	4.40	37.48	10.75	10.4
Total	5 068	100.9	7.75	59.55	37.35	13.8

4.1.2 Análisis de la biomasa de la segunda poda semestral

En el Cuadro 8 se presentan los resultados de la segunda poda semestral para un total de 48 árboles.

Además se encontró que el peso seco de las hojas están formados por el 71 por ciento de láminas y 29 por ciento de pecíolos, a diferencia de la primer poda en que fue 68 por ciento - 32 por ciento. Mientras que el peso seco de las ramas está formado por 14.1 por ciento de corteza y 85.9 de leño, muy similar al hallado en la primer poda, 13.8 por ciento - 86.2 por ciento.

En el Cuadro 9 se presentan la fracción porcentual de los componentes de la biomasa podada, contenido de nitrógeno y las cantidades de nitrógeno aportado por cada componente.

En el Cuadro 10 se presenta un resumen de los Cuadros 8 y 9 con la biomasa cosechada anualmente en dos podas semestrales y la cantidad de nitrógeno aportado anualmente sobre la superficie del suelo por las podas.

4.1.3 Análisis de la biomasa de la poda anual

En el Cuadro 11 se presentan los resultados de la poda de ramas de un año de crecimiento para un total de 24 árboles.

El peso seco de las hojas está integrado por un 69 por ciento de láminas y 31 por ciento de pecíolos, mientras que las ramas están formadas por un 12 por ciento de corteza y 88 por ciento de leño.

En el Cuadro 12 se presentan la fracción porcentual de los componentes de la biomasa de ramas de un año de edad, su contenido de nitrógeno y las cantidades de nitrógeno aportado por efecto de la poda anual.

Producción anual de biomasa con 1 y 2 podas al año:

En el Cuadro 13 y la Figura 6 se presentan los resultados comparativos de la producción anual de biomasa de los árboles con 1 y con 2 podas anuales.

Cuadro 8. Biomasa (kg) obtenida en la segunda poda semestral desglosada en hojas y ramas. Datos provenientes de 48 árboles. Período marzo 82 - setiembre 82.

	Hojas	Ramas	Total de la poda
	(kg de M.S.)		
Biomasa obtenida	358.7	794.7	1 153.4
Biomasa/árbol	7.47	16.56	24.03
D.E.	2.70	5.42	7.63
C.V.	36.2 %	32.7 %	31.8 %
Biomasa/ha	2 092	4 636	6 728
Porcentaje relativo	31.1 %	68.9 %	100 %

M.S. = Materia seca

D.E. = Desviación estándar

C.V. = Coeficiente de variación

Cuadro 9. Cantidad de nitrógeno aportado por los diferentes componentes de la biomasa en la segunda poda.

Componente	Biomasa podada		Contenido de N	Nitrógeno aportado por la poda	
	(kg/ha)	(%)	(%)	(kg/ha)	(%)
Láminas	1 485	22,1	4.34 %	64.45	50.9
Pecíolos	607	9.0	1.55	9.41	7.4
Leño	3 982	59.2	0.80	31.86	25.2
Corteza	654	9.7	3.20	20.93	16.5
TOTAL	6 728	100 %	1.88 %	126.65	100 %

Cuadro 10. Biomasa proveniente de dos podas semestrales y cantidad anual de nitrógeno aportado por efecto de dichas podas. Período setiembre 81 a setiembre 82.

Componente	Biomasa podada (kg/ha)			N aportado ambas podas (kg/ha)		
	1a. Poda	2a. Poda	Total anual	1a. Poda	2a. Poda	Total anual
Láminas	1 230	1 485	2 715	56.83	64.45	121.28
Pecíolos	579	607	1 186	8.86	9.41	18.27
Leño	2 809	3 982	6 791	21.07	31.86	52.93
Corteza	450	654	1 104	14.17	20.93	35.10
TOTAL	5 068	6 728	11 796	100.93	126.65	227.58

Cuadro 11. Biomasa (kg), obtenida en la poda anual, desglosada en hojas y ramas. Datos provenientes de 24 árboles. Período setiembre 81 a setiembre 82.

	Hojas	Ramas	Total
	(kg de M.S.)		
Biomasa cosechada	283.0	1 302.0	1 585.0
Promedio/árbol	11.70	54.28	65.98
D.E.	3.99	13.82	17.17
C.V.	33.9 %	25.5 %	26.0 %
Biomasa/ha	3 276	15 198	18 474
Porcentaje relativo	17.7 %	82.3 %	100 %

M.S. = Materia seca

D.E. = Desviación estándar

C.V. = Coeficiente de variación

Cuadro 12. Cantidad de nitrógeno aportado por los diferentes componentes de la biomasa por efecto de la poda anual.

Componentes	Biomasa podada		Cont. de N (%)	Nitrógeno aportado por la poda	
	(kg/ha)	(%)		(kg/ha)	(%)
Láminas	2 260	12.2	4.20	94.92	40.0
Pecíolos	1 016	5.5	1.47	14.93	6.3
Leño	13 374	73.4	0.60	80.24	33.8
Corteza	1 824	9.9	2.59	47.24	19.9
TOTAL	18 474	100 %	1.29	237.33	100 %

Cuadro 13. Producción anual de biomasa para árboles con 1 y 2 podas al año.

Componente	1a. Poda anual <u>a/</u>			2 Podas anuales <u>b/</u>			Diferencias (%)
	(kg/árbol)	(kg/ha)	(%)	(kg/árbol)	(kg/ha)	(%)	
Hojas	11.70	3 276	17.7	13.93	3 943	33.3	+ 19.4
Ramas	54.28	15 198	82.3	28.20	7 896	66.7	- 48
Total	65.98	18 474	100%	42.13	11 839	100%	- 36

a/ Poda anual, datos de 24 árboles

b/ Podas semestrales, datos de 48 árboles

4.1.4 Incrementos diamétricos

En el Cuadro 14 se presentan los incrementos diamétricos medios por bloque y por tratamientos.

4.1.5 Análisis comparativo entre podas

El análisis del Cuadro 10 indica que hubieron diferencias entre la primera poda realizada en marzo de 1982 y la segunda efectuada en setiembre de ese mismo año. Los incrementos en biomasa de la segunda poda respecto a la primera, podrían ser debidos a que las precipitaciones en el primer semestre, setiembre 81 - marzo 82, fueron menores que las del segundo semestre, marzo 82 - setiembre 82. El total de lluvia del primer semestre fue de 1 238 mm, cayendo la casi totalidad en los últimos tres meses, mientras que el total del segundo semestre fue de 1 555 mm, es decir que hubo un incremento en la precipitación de 317 mm, un 25.6 por ciento más, en el segundo período semestral de crecimiento. Durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo las cifras de lluvia registradas fueron sensiblemente inferiores a los promedios mensuales de 38 años, inclusive en los primeros meses del año 1982 fueron inferiores a la evaporación total mensual (medida por tanque), en 45, 62 y 50 por ciento respectivamente. Véase también Figura 6.

Comparando la producción total de biomasa proveniente de árboles con 1 poda/año, con la obtenida de árboles donde se suman las 2 podas/año, como se puede observar en el Cuadro 13 y la Figura 6, la diferencia es de 6 652 kg a favor del tratamiento con una sola poda al año. Se deduce que los árboles con dos podas al año producen 36 por ciento menos biomasa de ramas que los podados solo una vez. Esto es lógico y razonable, dado que cada poda al reducir totalmente el área foliar, suprime drásticamente la fotosíntesis. Por otra parte, la poda no solo detiene temporalmente el crecimiento y la producción de biomasa sino que también provoca, como pudo observarse en el suelo, muerte, desprendimiento y disminución de los nódulos radicales, así como pudrición de raicillas por falta de carbohidratos. Además, también se afecta

Cuadro 14. Incrementos diamétricos medios por parcela y por tratamiento en el período marzo 82 a setiembre 82.

Bloque	Tratamiento	Incremento Diamétrico (cm)
1	1 <u>1/</u>	1.15
1	2 <u>2/</u>	1.30
1	3 <u>3/</u>	3.85
2	1	1.47
2	2	1.35
2	3	2.26
3	1	1.15
3	2	0.88
3	3	2.62
4	1	1.43
4	2	1.70
4	3	2.32
5	1	0.75
5	2	1.40
5	3	2.50
6	1	0.92
6	2	1.13
6	3	2.65
	X 1	1.14 (a) ^{*/}
	X 2	1.29 (a)
	X 3	2.70 (b)

1/ Poda de marzo con ramas dejadas sobre el suelo.

2/ Poda de marzo con ramas removidas.

3/ Sin poda en marzo.

X 1 = media del tratamiento 1

X 2 = media del tratamiento 2

X 3 = media del tratamiento 3

*/ medias con letra diferente son estadísticamente diferentes entre sí (P<0.05).

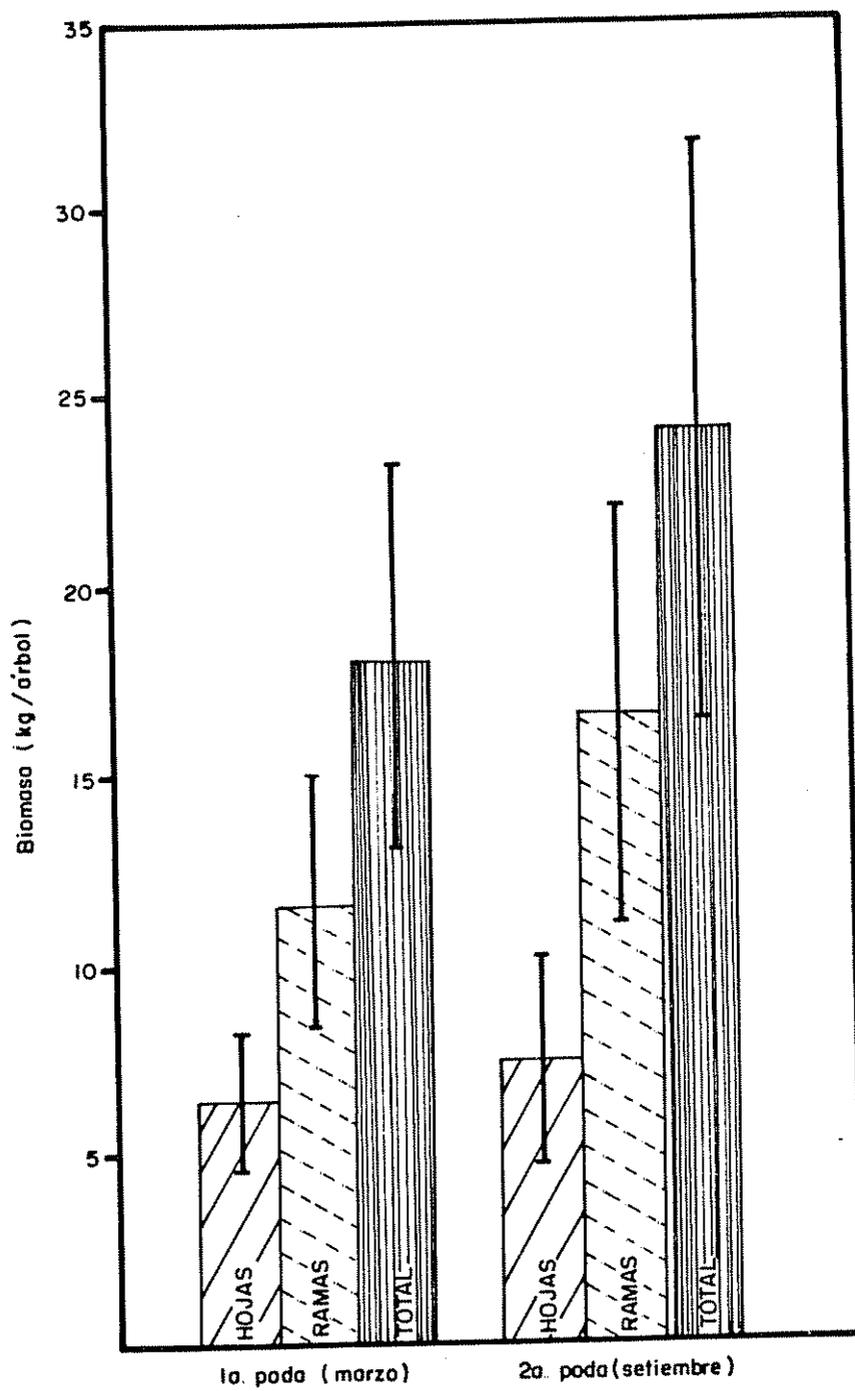


Fig. 5 Biomasa producida por árbol en la primera y segunda poda

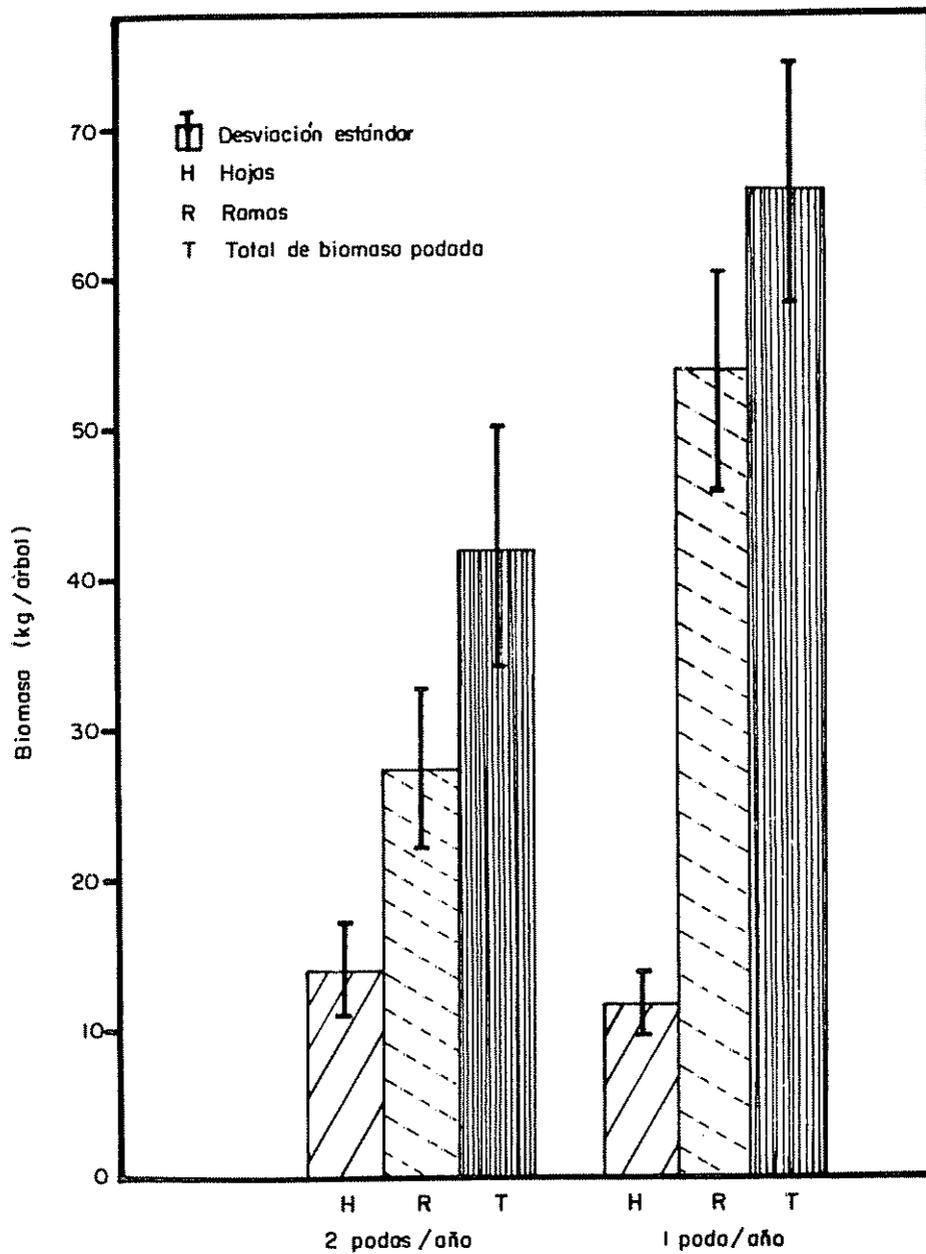


Fig. 6 Biomasa producida por árbol con 1 y 2 podas/año

el crecimiento diamétrico del tronco. El incremento en diámetro de los árboles con 1 poda fue de 2.7 cm en 6 meses, mientras que en los que recibieron 2 podas fue de 1.2 cm en el mismo período (véase Cuadro 14).

Es evidente que considerando producción de biomasa de ramas, es más productivo el régimen de una sola poda anual que el de 2 podas. Sin embargo, como se desprende del Cuadro 13, hay diferencias notables en la fracción porcentual de hojas y ramas. Así la producción total de hojas es algo mayor en el régimen de 2 podas/año y este hecho puede tener mucha importancia para el pequeño productor que podría utilizar el follaje como un suplemento proteico para su ganado bovino o especies menores. Además hay diferencias en la composición química de las hojas a medida que envejecen (18) especialmente una reducción en el contenido de nitrógeno.

4.1.6 Diferencias entre tratamientos en producción de biomasa

En el Cuadro 15 se presentan los promedios de producción de biomasa podada por tratamiento. Se nota claramente que tanto para la biomasa total de las podas como para sus componentes, hojas y ramas, existen diferencias significativas entre el tratamiento con 1 poda al año y los tratamientos con 2 podas/año, pero a su vez se observa que no hay diferencias entre los tratamientos con dos podas/año entre sí.

Estos resultados indican que el material aportado al suelo no tiene un efecto mensurable en la producción de biomasa de ramas en períodos cortos como el del presente experimento. Es probable que este comportamiento se deba a que en el suelo había un contenido elevado de materia orgánica, pero si se repitiese el tratamiento de quitar las ramas podadas en varias podas consecutivas, existe la posibilidad de una disminución en el contenido de materia orgánica, nitrógeno, calcio, potasio y fósforo del suelo y en consecuencia podría disminuir la producción de biomasa. Esta alternativa amerita ser investigada porque permitiría evaluar como reacciona el árbol en condiciones de fertilidad disminuída. Podría ser por ejemplo que a medida que

Cuadro 15. Promedios de producción de biomasa (kg/ha) por tratamiento, desglosada en hojas y ramas.

Tratamiento	Hojas	Ramas	Biomasa total
1. 2 podas/año (CR)	3 837a ^{#/}	7 992a	11 829
2. 2 podas/año (SR)	4 041a	7 803a	11 844
3. 1 poda/año	3 943b	15 198b	18 474

(CR) - Dejando el residuo de ambas podas sobre el suelo.

(SR) - Quitando el residuo de la segunda poda.

^{#/} - Promedios que no comparten la misma letra en una misma columna son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

disminuya significativamente el aporte del nitrógeno funcione más eficientemente la vía de fijación simbiótica de nitrógeno, como se ha reportado para soya y otras leguminosas alimenticias (3).

Considerando estos resultados, se rechaza la primera hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que la cantidad de biomasa y nitrógeno aportados por las podas, que llegan a la superficie del suelo, son diferentes con dos podas/año que una poda/año. Por otra parte se acepta como verdadera la última parte de la tercera hipótesis nula que dice: la remoción de los residuos de la poda no tiene efecto (en períodos cortos), sobre la producción de biomasa del rebrote inmediato.

4.1.7 Número de ramas por árbol

En el Cuadro 16 se presentan los datos comparativos del número total de ramas podadas y número de ramas por árbol y peso seco por rama para los tres casos de poda: primera poda semestral, segunda poda semestral y poda anual.

En el caso de la primera poda se realizó un análisis de regresión múltiple y eliminación de variables no significativas ("stepwise") y se encontró que la mayor correlación ($r=0.8422$, significativa al 1%) se presenta entre la biomasa y el número de ramas principales. Esta relación puede representarse por el modelo de regresión:

$$Y = 3.08906 + 0.677512 X$$

Donde Y = biomasa de la poda de 1 árbol expresada en kg de m.s.

X = número de ramas principales por árbol.

En la Figura 7 se halla la representación gráfica de la correlación.

En el Cuadro 17 se presentan las distribuciones de frecuencia del número de ramas por árbol para la primera y segunda podas semestrales y la poda anual. En la Figura 8 se presentan gráficas de estos datos en un histograma comparativo para los tres casos.

Cuadro 16. Número de ramas por árbol y peso seco por rama en las dos podas semestrales y en la poda anual.

	<u>1/</u>	<u>2/</u>	<u>3/</u>
Número total de ramas	1 063	978	307
Promedio, ramas/árbol	22.15	20.37	12.80
Desviación estándar	6.26	4.94	4.18
Peso seco, kg/rama	0.82±0.23	1.18±0.37	5.16±1.34

1/ Primera poda, ramas de 6 meses, N = 48 árboles.

2/ Segunda poda, ramas de 6 meses, N = 48 árboles.

3/ Poda anual, ramas de 12 meses, N = 24 árboles.

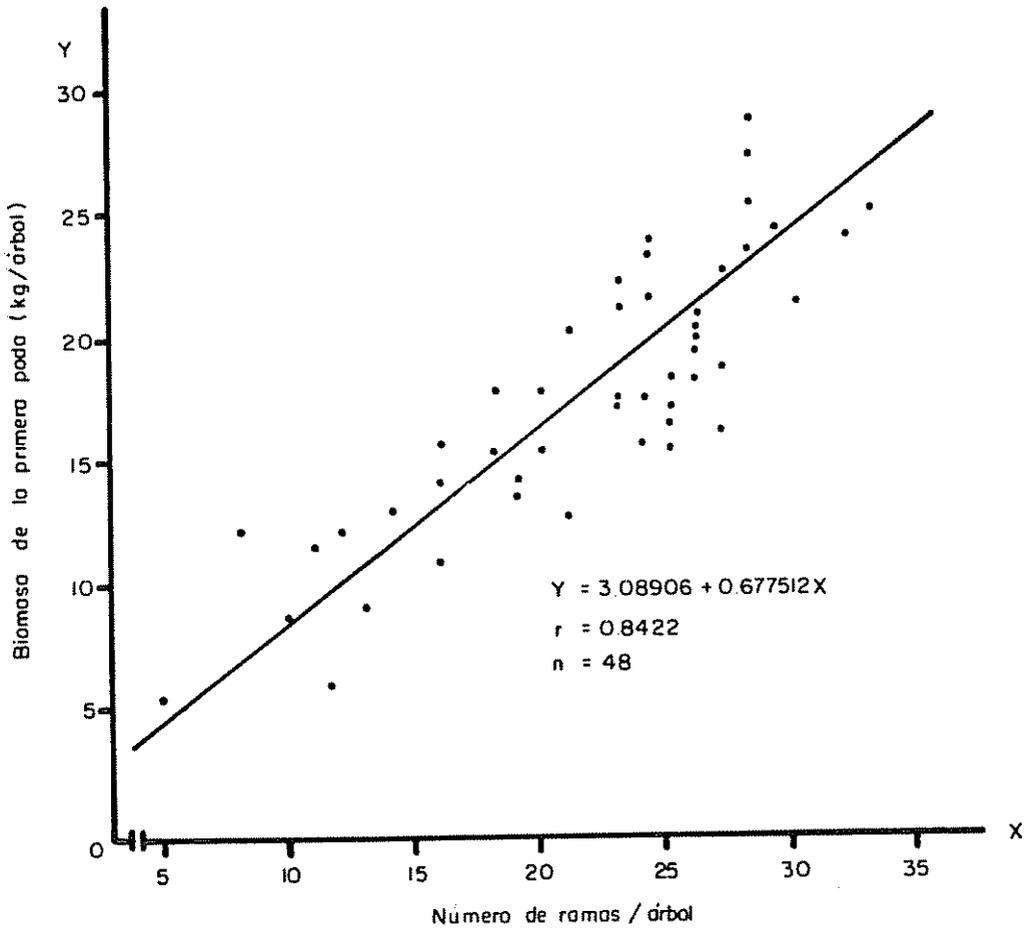


Fig. 7 Relación entre el número de ramas (X) y biomasa (Y) proveniente de la primera poda por árbol

Cuadro 17. Distribución de frecuencias del número de ramas por árbol para la primera poda, segunda poda y poda anual.

Nº de ramas por árbol	1a. Poda	2a. Poda	Poda anual
	%		
5 - 9	4.17	2.08	29.16
10 - 14	10.42	8.33	33.33
15 - 19	14.58	33.33	29.16
20 - 24	27.08	41.67	8.33
25 - 29	37.50	10.42	--
30 - 35	6.25	4.17	--

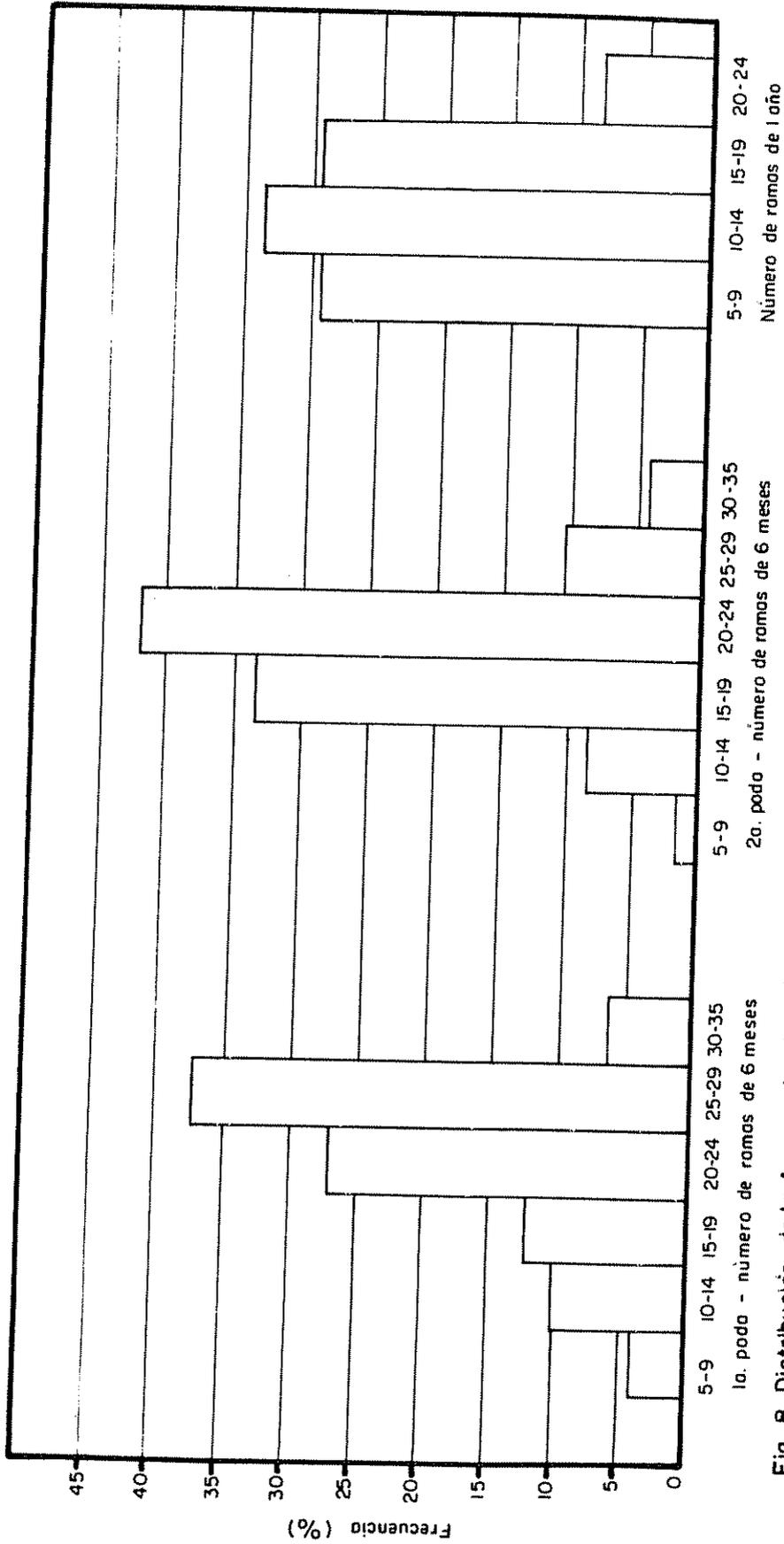


Fig. 8 Distribución de la frecuencia del número de ramas en las podas semestrales y en la poda anual

Del Cuadro 16 a la Figura 8 puede observarse que en la segunda poda se disminuyó el número de ramas por árbol, también puede observarse una notable disminución en el número de ramas principales en los árboles con ramas de un año. Este hecho es atribuible a que algunas ramas basales se secaron y las dominantes crecieron vigorosamente en longitud y grosor, a la vez que emitieron ramificaciones laterales en algunos casos, sobre todo en la porción distal de la rama. Otro aspecto interesante es que si bien disminuyó el número de ramas por árbol en la segunda poda semestral, aumentó el peso seco por rama.

Respecto al área de la proyección de la copa, aunque no se encontró significancia en su regresión con la biomasa producida, es importante mencionar que el área promedio de la proyección de la copa a los 6 meses de la poda de setiembre de 1981, para los 48 árboles podados en marzo de 1982 fue de 15.75 m^2 , con una desviación estándar de 3.3 m^2 y un coeficiente de variación de 27 por ciento. Esta área representa una cobertura de 44 por ciento con referencia a la superficie total del terreno. En algunos casos las copas se tocaban.

4.1.8 Hojas caídas naturalmente

4.1.8.1 De los árboles no podados en marzo

En el Cuadro 18 se presentan los valores totales para cada bloque y distancia del peso seco de las hojas caídas (g/m^2), para los árboles que no fueron podados en marzo. Las hojas fueron colectadas en las trampas entre el 10 de marzo de 1982 y el 10 de setiembre de 1982. (Para detalles del muestreo véase la sección 3.4.6).

En el Cuadro 18 puede observarse que existieron diferencias significativas entre distancias a la base del árbol, pero no entre bloques. Hay una disminución constante de aporte de hojas caídas naturalmente a medida que el muestreo se va alejando del tronco, así a 3-4 m de distancia caen en promedio 56 por ciento de lo que cae entre 0-1 m del tronco.

Cuadro 18. Peso seco (g/m^2) de hojas caídas en las trampas colocadas en los árboles sin poda en marzo, para cada bloque y distancia, durante 180 días.

Bloque	Dist. 1 (0-1 m)	Dist. 2 (1-2 m)	Dist. 3 (2-3 m)	Dist. 4 (3-4 m)	\bar{X}	D.E.	C.V.
1	507.0	395.1	329.5	230.9	365.6 a ^{1/}	115.9	31.7%
2	589.0	524.6	266.4	273.7	413.4 a	167.6	40.5%
3	349.6	381.3	337.6	334.2	350.7 a	21.5	6.5%
4	372.5	207.9	336.7	255.7	285.7 a	81.2	28.4%
5	411.9	392.3	351.6	218.0	343.5 a	87.3	25.4%
6	370.5	313.8	272.5	179.2	284.0 a	80.6	28.4%
\bar{X}	433.4	369.2	315.7	243.6	340.5	80.5	23.6%
^{1/}	(a)	(ab)	(bc)	(c)	---	--	--
D.E.	94.6	104.5	36.6	53.7	49.5	--	--
C.V.	21.8%	28.3%	11.6%	22.0%	14.5%	--	--

^{1/} Promedios con la misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí.

\bar{X} - Promedio

D.E. Desviación estándar

C.V. Coeficiente de variación

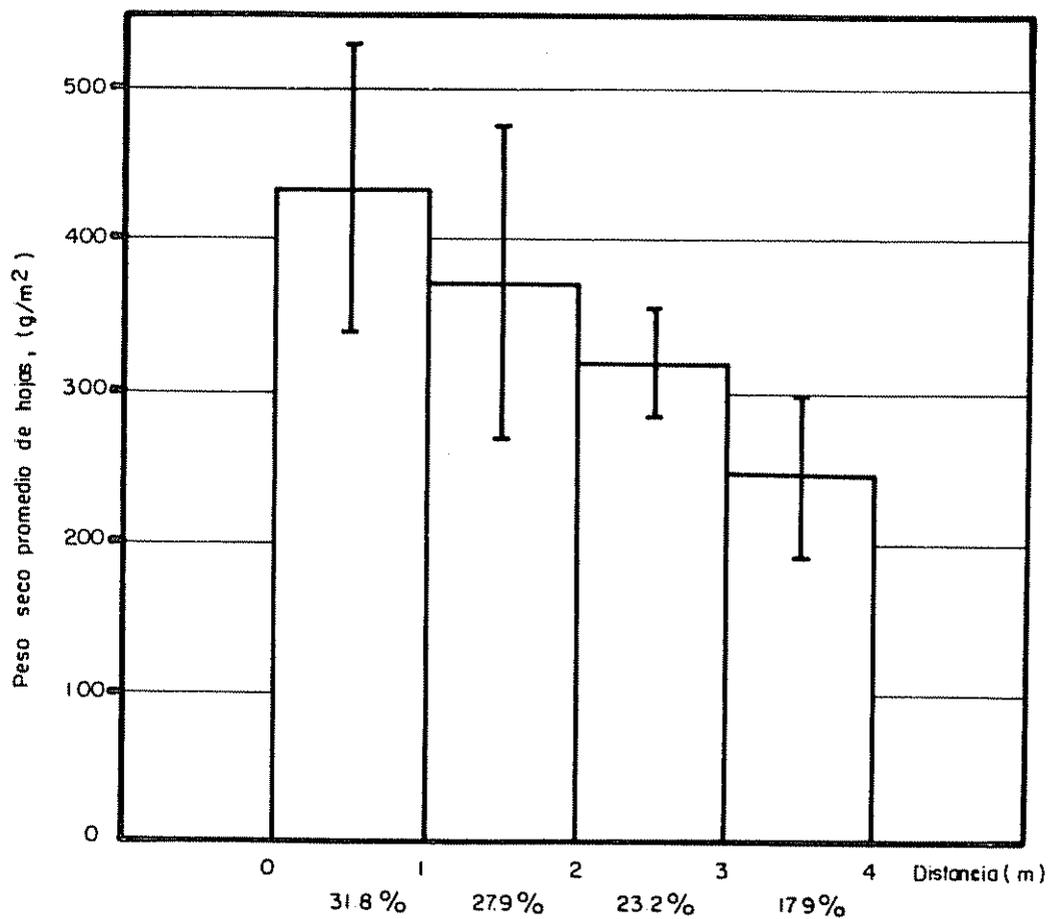


Fig.9 Peso seco promedio de hojas caídas por parcela en cada una de las distancias y su distribución porcentual (g/m²)

En el Cuadro 19 se presentan los valores de peso seco de hojas caídas, expresadas en kg/ha, para cada distancia.

La cantidad media de hojas caídas cada 10 días, en las 24 trampas, fue de 454 g con una desviación estándar de 165 g y un coeficiente de variación del 36.3 por ciento. La distribución de la caída total de hojas a través del tiempo se presenta en la Figura 10. En la misma puede observarse que la variabilidad es alta y que se presentan dos modas, la primera a fines de abril y la segunda a fines de julio y hasta setiembre. No fue posible correlacionar estos picos con valores de precipitación, dado que el primero admitidamente más pequeño, se produce en plena "sequía" relativa y el segundo en el período lluvioso. Es probable que la distribución mostrada en la caída obedezca a causas endógenas. Además fue observado que el tiempo de vida de una hoja desde que se forma hasta su abscisión es de 120 ± 10 días, lo que probablemente inflencie los períodos de los picos. Este fenómeno también fue observado por Borchert (11) quien escribe que cuando no hay un "estres" ambiental significativo, el desarrollo periódico de *Erythrina* está básicamente determinado por variables tales como la edad de las hojas y el tamaño del árbol.

4.1.8.2 De los árboles podados en marzo

En el Cuadro 20 se presentan los valores totales, para cada bloque y distancia, del peso de las hojas caídas (g/m^2), para los árboles que fueron podados en marzo de 1982. Colectadas entre el 1º de julio y el 10 de setiembre de 1982.

En el Cuadro 21 se presentan los valores de peso seco de hojas caídas, expresadas en kg/ha, para cada distancia, de los árboles podados en marzo de 1982.

En este caso la cantidad total media de hojas caídas cada 10 días fue de 389 g, con una desviación estándar de 176 gr y un coeficiente de variabilidad de 44.2 por ciento. La distribución de la caída total de hojas a través del tiempo se presenta en la Figura 12, en la cual se observa que la

Cuadro 19. Peso seco (kg/ha) de hojas caídas por distancia, de los árboles no podados en marzo de 1982, durante 180 días.

Distancia (m)	Area/parcela (m ²)	% de área (%)	Peso seco (g/m ²)	P. S. total (kg/ha)
0 - 1	15.44	10.7	433.4	463.7
1 - 2	40.60	28.2	369.2	1 014.1
2 - 3	65.72	45.6	315.7	1 439.6
3 - 4	22.24	15.5	243.6	377.6
TOTAL	144.00	100 %	-----	3 322.0

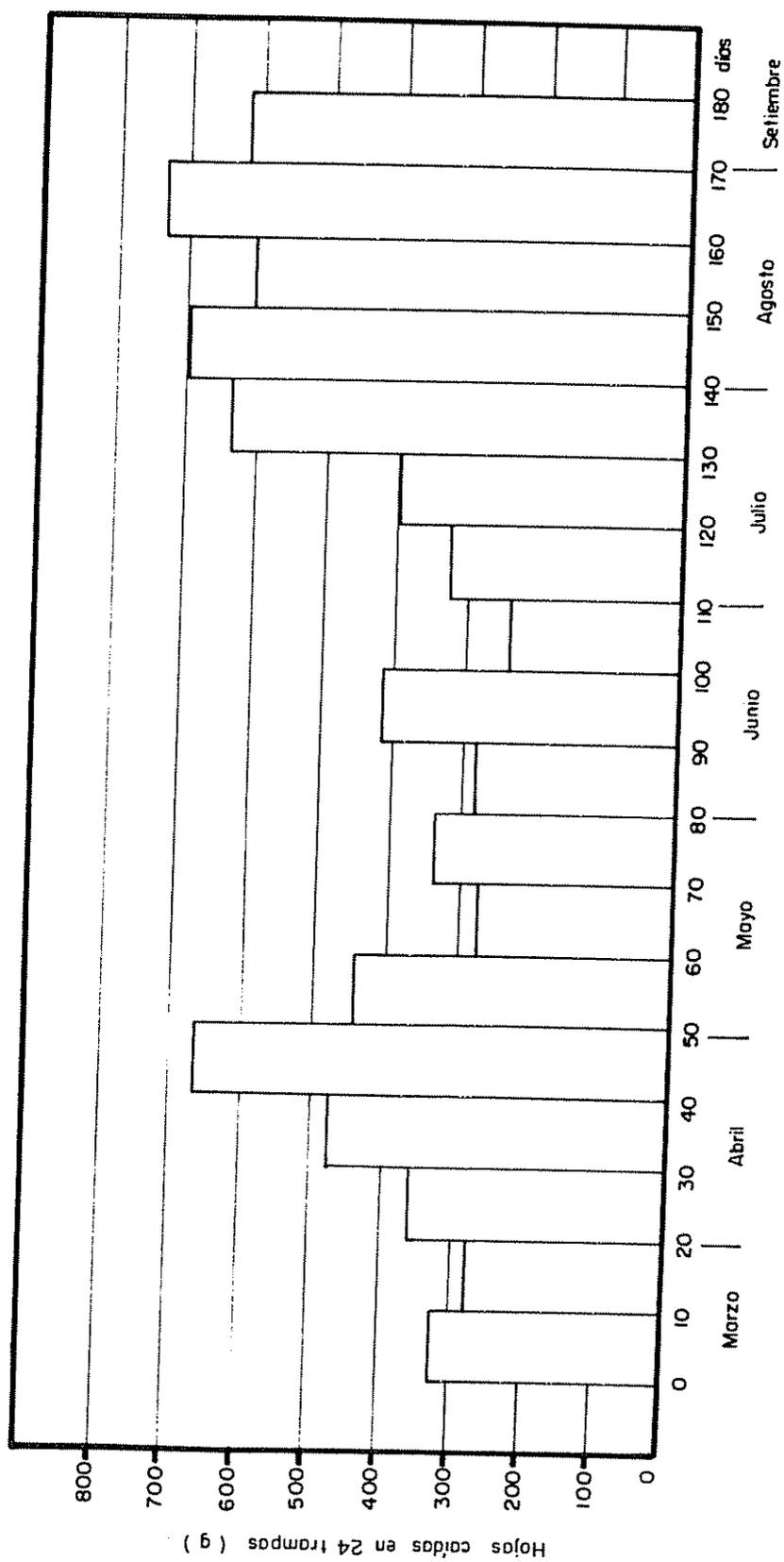


Fig. 10 Distribución de la caída de hojas de poró colectadas en las trampas cada 10 días entre el 10 de marzo y el 10 de setiembre de 1982

Cuadro 20. Peso seco de hojas caídas en las trampas colocadas en los árboles podados en marzo, expresado en g/m², para cada bloque y distancia durante 70 días.

Bloque	Dist. 1 - (0-1 m)	Dist. 2 - (1-2 m)	Dist. 3 - (2-3 m)	Dist. 4 - (3-4 m)	\bar{X}	D.E.	C.V.
1	239.1	103.2	65.4	41.1	112.2 a ^{1/}	88.4	78.8 %
2	235.9	97.9	65.8	73.2	118.2 a	79.7	67.4 %
3	181.9	109.2	73.1	66.0	107.6 a	53.1	49.3 %
4	246.2	88.2	70.8	49.1	113.6 a	89.8	79.1 %
5	261.3	130.7	71.6	58.5	130.5 a	97.2	71.0 %
6	237.4	107.0	79.1	38.1	115.4 a	86.1	74.6 %
\bar{X}	233.6	106.0	71.0	54.3	116.2	81.2	69.8 %
^{1/}	(a)	(b)	(c)	(c)	---	--	---
D.E.	27.0	14.2	5.1	14.0	7.8	--	---
C.V.	11.6	13.4	7.1	25.7	6.7	--	---

Cuadro 21. Peso seco de las hojas caídas por distancia y total en kg/ha, de los árboles podados en marzo de 1982, durante 70 días.

Distancia (m)	Area/parcela (m ²)	% de área (%)	Peso seco (g/m ²)	P. S. total (kg/ha)
0 - 1	15.44	10.7	233.6	249.9
1 - 2	40.60	28.2	196.0	298.9
2 - 3	65.72	45.6	71.0	323.8
3 - 4	22.24	15.5	54.3	84.2
TOTAL	144.0	100 %	---	956.8

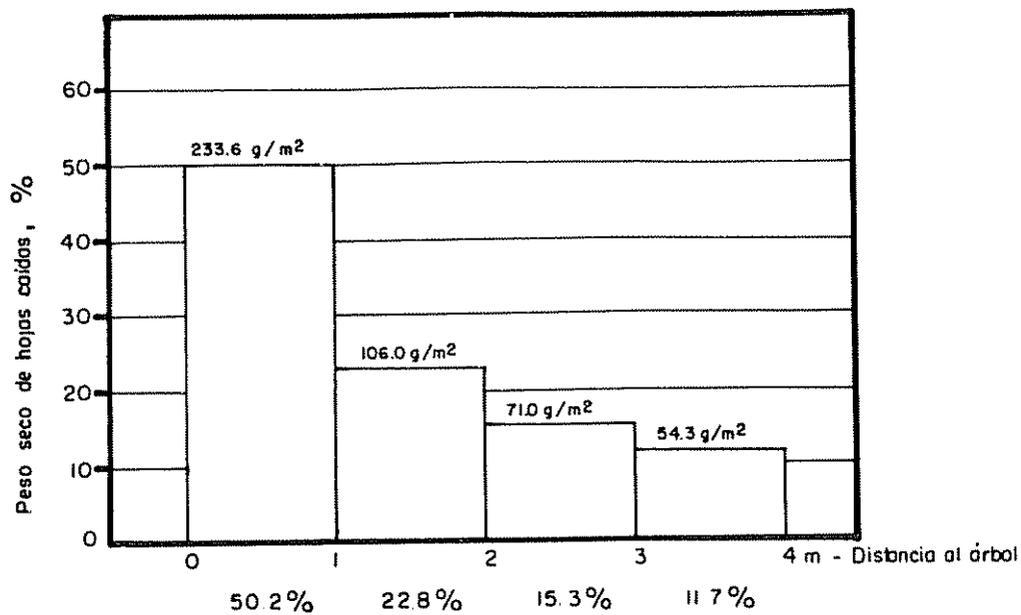


Fig. 11 Cantidad porcentual de hojas caídas en función de la distancia al árbol en árboles podados

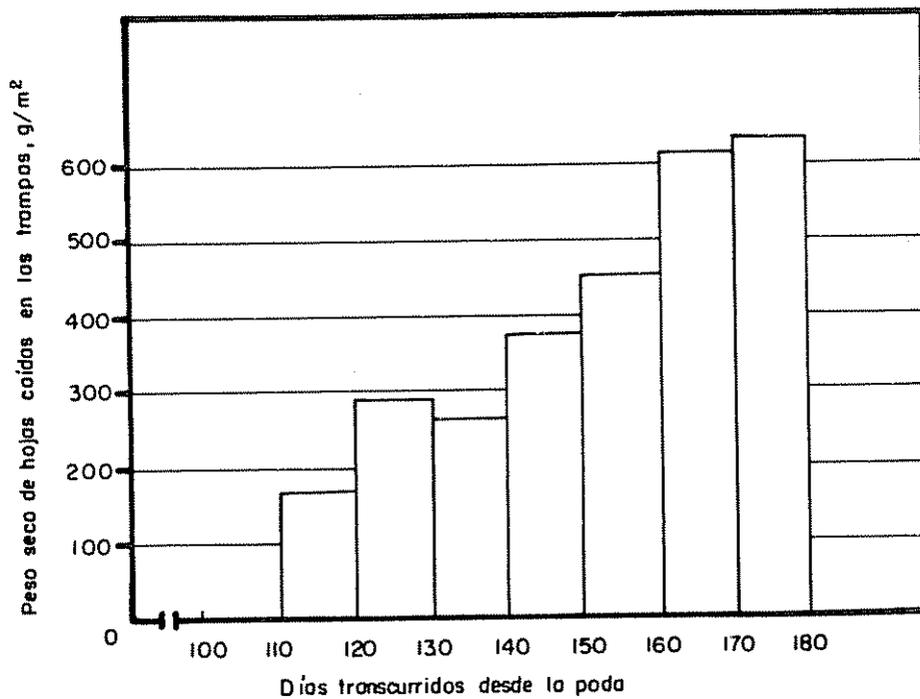


Fig. 12 Distribución de la caída de hojas recolectadas en las trampas cada 10 días en árboles podados

variabilidad es alta y la caída es creciente en forma casi lineal desde el comienzo en julio hasta la poda total en setiembre.

4.1.8.3 Análisis de los resultados relacionados con las hojas caídas naturalmente

Integrando los datos obtenidos en ambos casos anteriores es posible representar gráficamente la caída de las hojas desde el momento de la poda total, véase Figura 13, y se estima que con una sola poda al año la cantidad de hojas que caen entre podas es de 4 280 kg/ha/año, y con 2 podas, 1 cada 6 meses, caen 1 914 kg/ha/año. Haciendo un análisis comparativo entre ambos tratamientos puede observarse que:

- Con 1 poda/año se producen 4 280 kg/ha/año de hojas.
- Con 2 podas/año se producen 1 914 kg/ha/año de hojas.
- Diferencia: 2 366 kg/ha/año

En consecuencia realizando 2 podas al año se reduce la cantidad de hojas caídas naturalmente en un 55.3 por ciento.

4.1.9 Biomasa total producida

En el Cuadro 22 se presentan las cantidades de materia seca y nutrientes aportados por la biomasa de las podas y de las hojas caídas naturalmente con una y dos podas anuales.

En la Figura 14 se presenta gráficamente el total de biomasa producida con una y dos podas al año y en la Figura 15 los macronutrientes totales recirculados por las podas y las hojas caídas.

4.1.10 Discusión de los resultados en relación a la biomasa

Con la integración de la biomasa de las podas y de las hojas caídas se cumple el tercer objetivo de evaluar la cantidad de nitrógeno

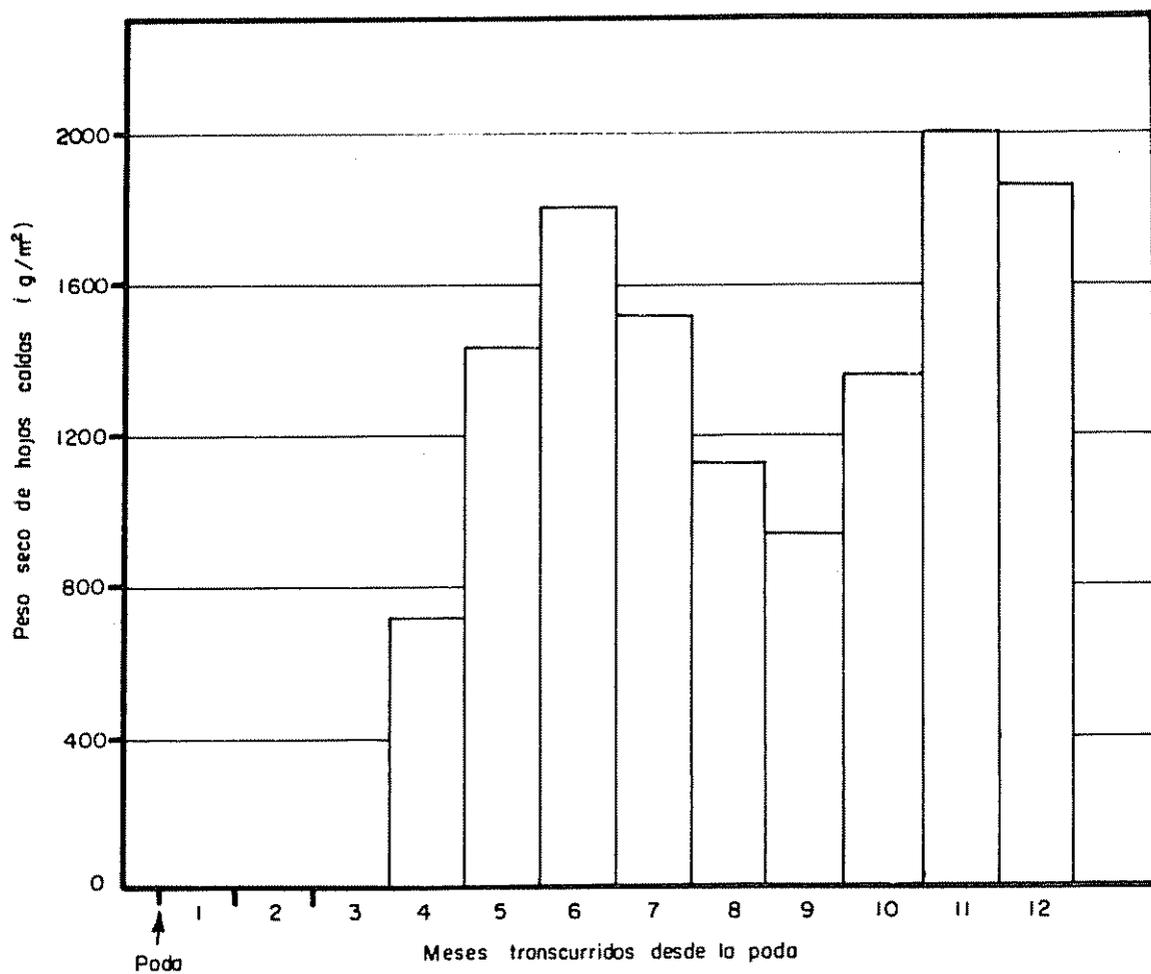


Fig. 13 Cantidad mensual de hojas caídas a partir de la poda cuando se realiza una poda al año

Cuadro 22. Cantidad de materia seca y nutrimentos (kg/ha) aportados por la biomasa de las podas y de las hojas caídas naturalmente, con una y dos podas anuales.

Componente	Biomasa podada		Hojas caídas		Total aportado	
	1 poda	2 podas	1 poda	2 podas	1 poda	2 podas
Materia seca	18 474	11 839	4 280	1 914	22 754	13 753
Nitrógeno	237.3	227.6	93.3	41.7	330.6	269.3
Fósforo	26.0	18.0	6.4	2.9	32.4	20.9
Potasio	130.0	139.0	25.7	11.5	155.7	150.5
Calcio	224.8	84.0	94.2	42.1	319.0	126.1
Magnesio	56.0	38.0	30.0	13.4	86.0	51.4

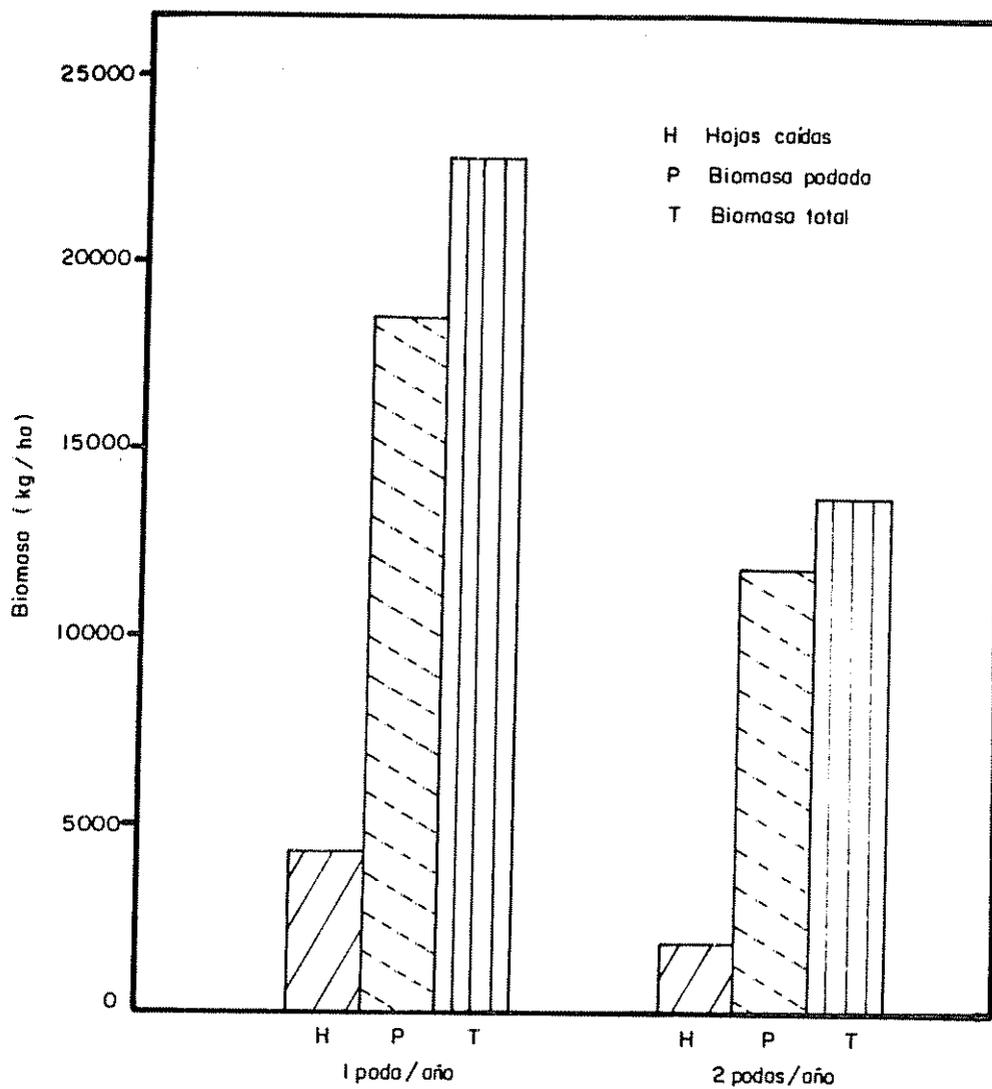


Fig. 14 Cantidad total de biomasa producida con 1 y 2 podas/año

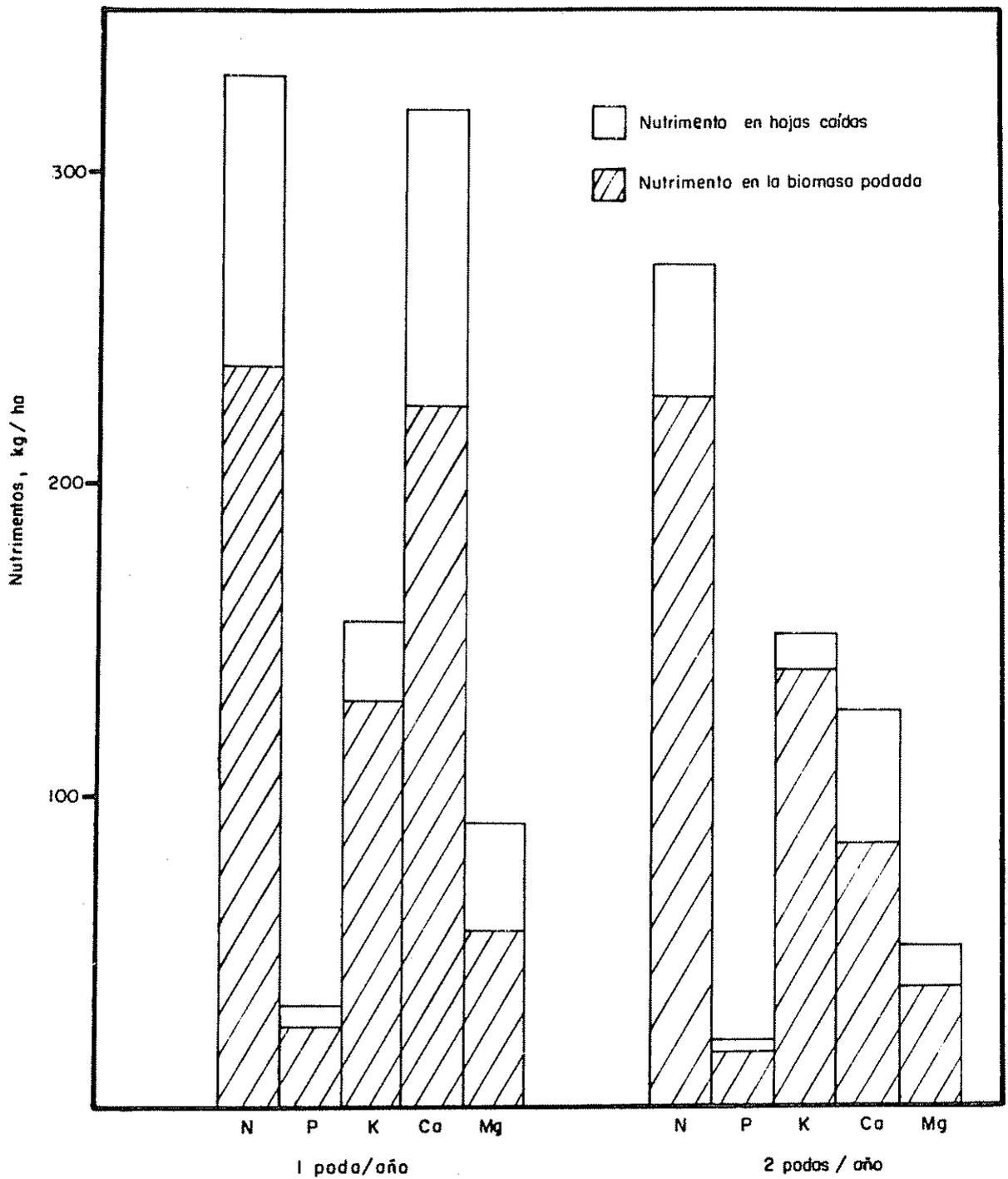


Fig. 15 Macronutrientos totales aportados por las podas y las hojas caídas naturalmente

provenientes de las podas y de las hojas caídas entre podas. Es necesario hacer la evaluación en conjunto porque la caída de las hojas es un componente importante del sistema, que aporta nitrógeno al suelo aún cuando no se realicen podas. Conviene destacar que el contenido de nitrógeno de las hojas recogidas en las trampas es un 50 por ciento menor que el de las hojas verdes, lo que evidencia que existe una translocación o pérdida de N antes de la caída. Aún así, dada la cantidad de biomasa que cae al suelo es definitivamente una fuente de suministro de materia orgánica y nitrógeno al mismo. Sin embargo cabe destacar que en una sola poda al año, hay un abundante abastecimiento de materia orgánica y macroelementos en una sola deposición mientras que en dos podas se reparte mejor este aporte.

Referente a la hipótesis nula que dice que la cantidad de biomasa y nitrógeno aportado por las podas que llega a la superficie del suelo son iguales con dos podas que con una poda al año, se rechaza la misma y se acepta la hipótesis alternativa.

Otro aspecto que conviene mencionarse, es que podando cada 6 meses el árbol no alcanza su máximo potencial de crecimiento, lo cual usualmente es una característica deseable cuando el principal objetivo es su uso como sombra para otros cultivos. Por otra parte, a mayor frecuencia de podas menor es la producción de biomasa.

También llama la atención las cantidades mucho más altas de Ca aportadas en 1 sola poda anual, lo cual se explica por la elevada proporción de tallos leñosos en las ramas de 1 año, y porque dicho elemento se encuentra en mayor porcentaje en los tallos que en las hojas.

4.2 Nodulación y sistema radical

4.2.1 Análisis descriptivo de los nódulos

Ante todo conviene aclarar que la presencia de nódulos en las raíces del poró no significa necesariamente que la fijación simbiótica de N_2

sea un hecho (39) dado que algunas cepas de *Rhizobium* pueden producir nódulos no efectivos para fijar N_2 . En consecuencia es conveniente definir los términos "infectividad" y "efectividad". El primero está relacionado con la capacidad de formar nódulos y el segundo con la capacidad de fijar nitrógeno (3). Si bien los dos procesos son diferentes, para obtener el éxito simbiótico deben estar estrechamente vinculados. Generalmente los nódulos efectivos son reconocidos por su mayor tamaño y por una zona central rosada, debido a la presencia de leghemoglobina (23); los nódulos inefectivos en cambio son pequeños, blancos en su interior y a veces muy numerosos. Esto fue comprobado en el campo corroborando la información obtenida en la literatura.

En el Cuadro 23 se presentan los datos de 136 nódulos provenientes de los 6 bloques del experimento, colectados en enero de 1982.

De acuerdo con el análisis de regresión entre el diámetro y el peso seco de cada nódulo se obtuvo el siguiente modelo:

$$Y = -4.8421 + 2.3114 X + 0.8356 X^2 \quad ; \quad \text{con } r^2 = 0.745 \\ \text{y } \alpha = 0.01$$

Donde Y = peso seco esperado

X = diámetro del nódulo fresco

Este modelo permite inferir en condiciones de campo el peso seco de los nódulos tomando el diámetro *in situ* de los nódulos frescos.

4.2.2 Tipo y ubicación de los nódulos

Según Meisner y Gross (39) las cepas de *Rhizobium* que se asocian con el género *Erythrina* pertenecen al grupo del caupí y pueden realizar inoculación cruzada con varias otras leguminosas tropicales tales como los géneros *Vigna*, *Pueraria*, *Phaseolus*, *Canavalia*, *Cajanus*, etc., lo que aseguraría en cierto grado la presencia del inóculo en el suelo y no se requeriría de una inoculación artificial.

Cuadro 23. Diámetro, longitud, contenido de materia seca y peso seco de los nódulos radicales de *Erythrina poeppigiana*.

	Diámetro (Y) (mm)	Longitud	Contenido de Materia seca (%)	Peso seco (X) (mg)
Promedio	4.35	6.18	18.5	22.7
Mínimo	1.30	2.00	16.7	3.2
Máximo	10.50	11.50	21.6	105.5
D.E.	1.39	2.14	1.69	16.93
C.V.	32 %	35 %	9 %	75 %

N = 136 nódulos

D.E. = Desviación estándar

C.V. = Coeficiente de variación

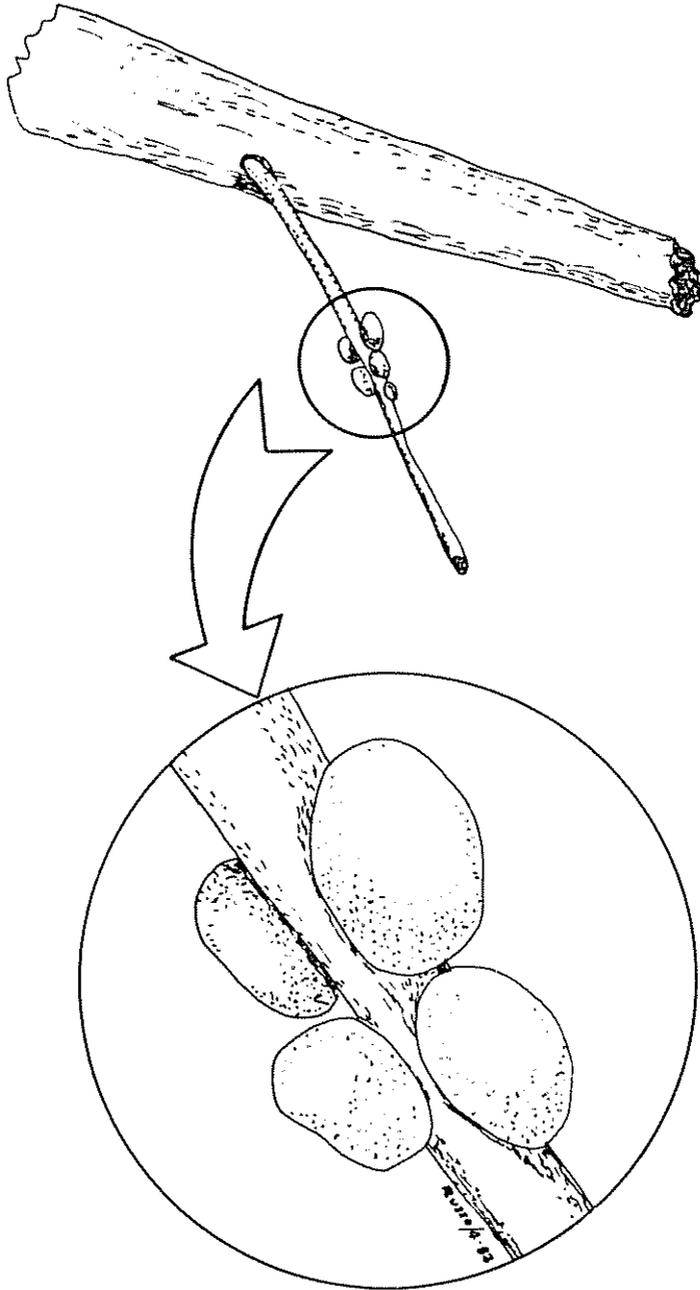


Fig. 16 Nódulos en raíces de poró

De acuerdo con lo observado los nódulos son de forma esférico-ovoidal, de superficie lisa (Figura 18), según la tabla de colores de Munsell les corresponde la denominación HUE 10 YR 6/6 "Brownish-yellow" y HUE 10 YR 5/6 "yellow-brown". Se hallan en las raíces laterales secundarias y terciarias con un tamaño de 0.2 a 5.5 mm de diámetro. El diámetro medio de las raíces donde había nódulos, en 130 mediciones, fue de 0.68 mm, con una desviación estándar de 0.8 y un coeficiente de variación de 118 por ciento. La totalidad de los nódulos observados y muestreados estaban en los primeros 6-7 cm de profundidad y su mayor densidad se encontró en un círculo de 2 m de diámetro alrededor del árbol.

4.2.3 Descripción del sistema radical

Las observaciones sobre estructura y morfología del sistema radical del poró se llevaron a cabo en un grupo de 15 árboles que fueron derribados mediante el uso de topadora, para otros fines ajenos al experimento. Pero como se hallaban solo a 100-150 m al sureste de las parcelas experimentales y las características generales eran similares, se aprovechó la oportunidad y se hicieron algunas observaciones y mediciones de las siguientes variables: D.A.P., altura del tronco, profundidad total del sistema radical, profundidad de la raíz pivotante, número de raíces principales laterales, diámetro de las raíces laterales. En el Cuadro 24 se presentan los datos de las mediciones efectuadas.

Es evidente que aunque el diámetro medio de los ejemplares de poró derribados es mayor que el medido en las parcelas, la estructura del sistema radical lateral y secundario es similar al de los árboles del experimento, ya que en los mismos es posible ver el origen de las 5-6 raíces laterales por árbol. En la Figura 7A se representa un perfil radical esquematizado del poró, con la raíz pivotante y las raíces secundarias principales, en la Figura 8A se representa una vista en planta de las raíces secundaria laterales principales. Algunas de estas raíces laterales alcanzan 6 m y más, pero lo más frecuente es observar raíces de 2.5 a 4.0 m de longitud, El diámetro de estas raíces

Cuadro 24. Mediciones de la parte aérea y radical de 15 árboles de poró extraídos en marzo de 1982.

Arbol (Nº)	D.A.P. (cm)	Altura del tronco (m)	Profundidad sist.rad. (m)	Prof. raíz pivotante	Nº raíces laterales
1	38.0	2.5	1.2	0.8	5
2	34.5	3.6	1.1	0.8	6
3	42.5	2.7	1.1	0.7	5
4	28.0	2.8	1.0	0.6	7
5	32.0	2.1	1.4	0.9	5
6	26.2	2.3	1.3	0.8	6
7	25.2	2.2	1.1	0.6	5
8	34.6	2.4	1.2	0.6	5
9	26.8	2.7	1.3	0.5	5
10	32.6	2.3	1.1	0.6	6
11	40.7	2.4	1.4	0.7	5
12	27.3	2.6	1.2	0.6	5
13	31.5	2.7	1.1	0.5	6
14	29.8	2.5	1.2	0.7	5
15	28.5	2.4	1.2	0.7	5
\bar{X}	31.9	2.6	1.2	0.7	5.4
D.E.	5.3	0.4	0.12	0.1	0.6
C.V.	17 %	14 %	10 %	16 %	11 %

\bar{X} = Promedio

D.E. = Desviación estándar

C.V. = Coeficiente de variación

en la base es de unos 14 cm, a 1 m del árbol es de 4 cm y a los 2 de unos 2 cm de diámetro. En el caso de las raíces que sobrepasan los 4 m de longitud el diámetro se mantiene constante entre 1.5 y 2.0 cm.

4.2.4 Micorrizas vesículo-arbusculares

Se observó micelio coloreado intrarradical y también arbusculas en todas las preparaciones. Esto evidencia que *Erythrina poeppigiana* presenta micorrizas vesículo-arbusculares, hecho no informado hasta el momento por otros investigadores (Figura 17).

La presencia de endomicorrizas en las raicillas de poró permite especular sobre la posibilidad de una interacción entre las mismas y el proceso de nodulación, a través de un aumento en la eficiencia de utilización de fósforo y otros macro y micronutrientes por parte del hospedante, dado que todas las raicillas en estudio estaban noduladas.

4.2.5 Cantidad de nódulos por árbol

En el Cuadro 25 se presentan el número y peso seco de los nódulos por árbol en cada bloque del experimento.

En el Cuadro 26 se presenta la composición de nutrientes de los nódulos y sus cantidades en kg/ha.

En el Cuadro 25 puede observarse que la biomasa nodular estimada es de 35.2 kg/ha, cifra del mismo orden de magnitud que la informada por Roskoski (52) para *Inga jinicuil*, una mimosacea-leguminosa arbórea, en cafetales de Xalapa, Veracruz, México, quien estimó 70 kg/ha de masa nodular.

4.2.6 Diferencias entre tratamientos respecto a nódulos

4.2.6.1 Muestreo de nódulos en marzo de 1982

El primer muestreo de nódulos efectuado la primer semana

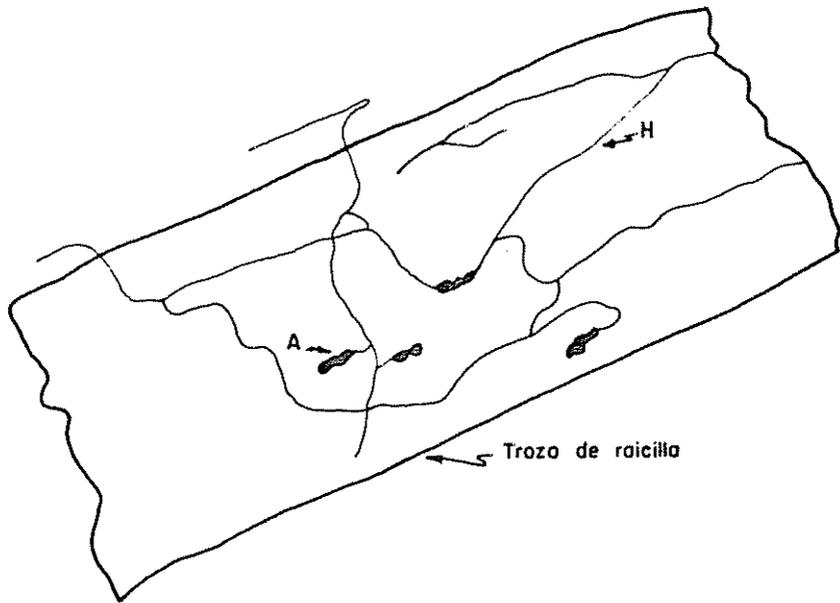


Fig. 17 Trozo de raicilla de poró con endomicorizas en donde aparecen hifas intracorticales (H) y arbusculas (A)

Cuadro 25. Número y peso seco de nódulos por árbol en cada bloque del experimento.

Bloque	Densidad (nod/lit) ^{*/}	Número de nódulos (N ^o /árbol)	Peso seco de nódulos (g/árbol) (kg/ha)	
1	3.1	3 072	63.8	17.9
2	5.8	5 654	134.0	37.5
3	7.8	7 620	174.7	48.9
4	5.7	5 556	126.5	35.4
5	4.4	4 294	101.5	28.4
6	6.0	5 859	153.4	42.9
\bar{X}	5.5	5 342	125.6	35.2
D.E.	1.6	1 539	39.1	10.9
C.V.	29 %	29 %	31 %	31 %

^{*/} Número promedio de nódulos por litro de suelo muestreado

\bar{X} = Promedio

D.V. = Desviación estándar

C.V. = Coeficiente de variación

Cuadro 26. Composición de macro y micro nutrientes de los nódulos radicales de *Erythrina poeppigiana* y estimación de sus cantidades por ha.

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
	%					ppm			
Contenido	4.8	0.3	2.3	0.4	0.7	12	46	78	690
g/ha	1 686	106	810	141	246	0.4	1.6	2.8	24

Cuadro 27. Promedios de número y peso seco de nódulos radicales de *Erythrina poeppigiana* para 3 distancias de muestreo.

Distancia al árbol (m)	Número de nódulos por árbol	Densidad, N ^o nod. por litro de suelo	Pesos seco nod/árbol (g)	P.S./litro de suelo (mg/l)
0.5	2 922 a ^{1/}	8.96 a	67.6 a	491.3 a
1.0	1 394 b	4.31 b	31.5 b	96.6 b
1.5	1 026 b	3.18 b	26.5 b	51.5 b
TOTAL	5 342	---	125.6	---

^{1/} Promedios que no llevan la misma letra en una misma columna son estadísticamente diferentes entre sí (P<0.05).

de marzo, previo a la primera poda, no mostró diferencias significativas ni entre bloques ni entre parcelas, pero sí evidenció que existen diferencias entre las distancias de muestreo al pie del árbol, siendo mayor el número y peso seco de nódulos observables en la distancia 1 a 0.5 m del tronco, que en las distancias 2 y 3 situadas a 1.0 y 1.5 m del árbol respectivamente. En el Cuadro 27 se presentan los valores promedio del número y peso seco de nódulos para cada una de las distancias.

4.2.6.2 Muestreo de nódulos de junio de 1982

En el Cuadro 28 se presentan los promedios por árbol muestreados en junio de 1982, a los tres meses de la poda, en los diferentes tratamientos.

En el Cuadro 29 se presentan los promedios por árbol del número y peso seco de nódulos para las diferentes distancias de muestreo.

En este caso el análisis demostró que además de las diferencias entre las distancias al pie del árbol, existen diferencias muy significativas entre los árboles que fueron podados en marzo y los no podados. La diferencia es debido a la disminución en el número y peso seco de los nódulos radicales de los árboles podados en marzo de 1982, mientras que en los árboles no podados hubo un ligero incremento en las variables mencionadas, pero en valores no significativos estadísticamente con respecto a los niveles existentes al comenzar el experimento.

4.2.6.3 Muestreo de nódulos en setiembre de 1982

En el Cuadro 30 se presentan los promedios por árbol del número y peso seco de los nódulos muestreados en setiembre de 1982 a los 6 meses de la primer poda, para los diferentes tratamientos.

En el Cuadro 31 se presentan los promedios por árbol del número y peso seco de nódulos para las diferentes distancias de muestreo.

Cuadro 28. Número y peso seco promedio de nódulos radicales por árbol de *Erythrina poeppigiana*, en los diferentes tratamientos del muestreo realizado en junio de 1982, a los tres meses de la poda.

Tratamiento	Número de nódulos por árbol	Peso seco de nódulos por árbol (g)
1. Poda, ramas dejadas en el suelo	2 392 a ^{1/}	44.9 a
2. Poda, removiendo ramas	2 828 a	47.7 a
3. Sin poda en marzo	5 443 b	100.2 b

^{1/} Promedios que no llevan la misma letra en la misma columna son estadísticamente diferentes entre sí ($P < 0.05$).

Cuadro 29. Número y peso seco promedio de nódulos radicales por árbol de *Erythrina poeppigiana*, para las 3 distancias de muestreo, en junio de 1982.

Distancia al árbol (m)	Número de nódulos por árbol	Peso seco de nódulos por árbol (g)
0.5	1 902 a ^{1/}	35.4 a
1.0	1 049 b	17.9 b
1.5	618 c	11.3 c
TOTAL	3 569	64.6

^{1/} Promedios que no llevan la misma letra en la misma columna son estadísticamente diferentes entre sí ($P < 0,05$).

En esta oportunidad el análisis de los datos demostró que no hay diferencias entre tratamientos, pero se mantienen las diferencias entre distancias de muestreo, característica que se repitió en los tres muestreos a través del tiempo.

4.2.7 Discusión de los resultados relacionados con nodulación y sistema radical

En las Figuras 18 y 19 se representa la evolución del número y peso seco de los nódulos radicales de poró a través del tiempo por un período de 6 meses, de marzo a setiembre de 1982. Del análisis de las figuras se interpreta que la disminución en la población de nódulos después de una poda intensa como la practicada en este caso, es debida a la supresión del suministro de fotosintatos que provoca muerte de raicillas, hecho observable en muestreos exploratorios a las 2 y 4 semanas de la poda, y desprendimiento de nódulos.

Comparando el número promedio de nódulos por árbol registrado en el mes de marzo de 1982 que fue de 5 342 con el número promedio de junio en las parcelas cuyos árboles habían sido podados en marzo, y que fue de 2 610 nódulos por árbol, se produjo una disminución promedio de 51 por ciento, mientras que en el tratamiento sin poda hubo un incremento no significativo de 2 por ciento. También es interesante mencionar que los nódulos muestreados en los tratamientos con poda eran en gran parte nódulos pequeños, comparados con los del primer muestreo, y aparentemente en desarrollo, a la vez que había nódulos viejos "vacíos", que obviamente no cumplen la función de fijación y que no se contabilizaron en el muestreo. Asimismo, se observaron raicillas menores de 1 mm de diámetro en estado de descomposición. Sin embargo las raíces más gruesas aparentemente no habían sido perjudicadas por la poda. Además se observó que en el tratamiento sin poda en marzo había un balance entre nódulos viejos de mayor tamaño y coloración pardo oscura y los nuevos de menor tamaño y coloración pardo clara, aunque el peso seco por nódulo no arrojó diferencias con los nódulos muestreados en los tratamientos con poda.

Cuadro 30. Número y peso seco promedio de nódulos radicales por árbol de *Erythrina poeppigiana*, en los diferentes tratamientos en setiembre de 1982 a los 6 meses de la poda.

Tratamiento	Número de nódulos por árbol	Peso seco de nódulos por árbol g
1. Poda, ramas en el suelo	5 057 a ^{1/}	104.6 a
2. Poda, quitando ramas	5 306 a	108.6 a
3. Sin poda en marzo	4 245 a	83.4 a

^{1/} Promedios con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes entre sí (P<0.05).

Cuadro 31. Número y peso seco promedio de nódulos radicales por árbol de *Erythrina poeppigiana*, para las tres distancias de muestreo en setiembre de 1982.

Distancia al árbol	Número de nódulos por árbol	Peso seco de nódulos por árbol
(m)		(g)
0.5	2 358 a ^{1/}	47.7 a
1.0	1 625 b	33.2 b
1.5	923 c	18.9 c

^{1/} Promedios que no comparten la misma letra en la misma columna son estadísticamente diferentes entre sí (P<0.05).

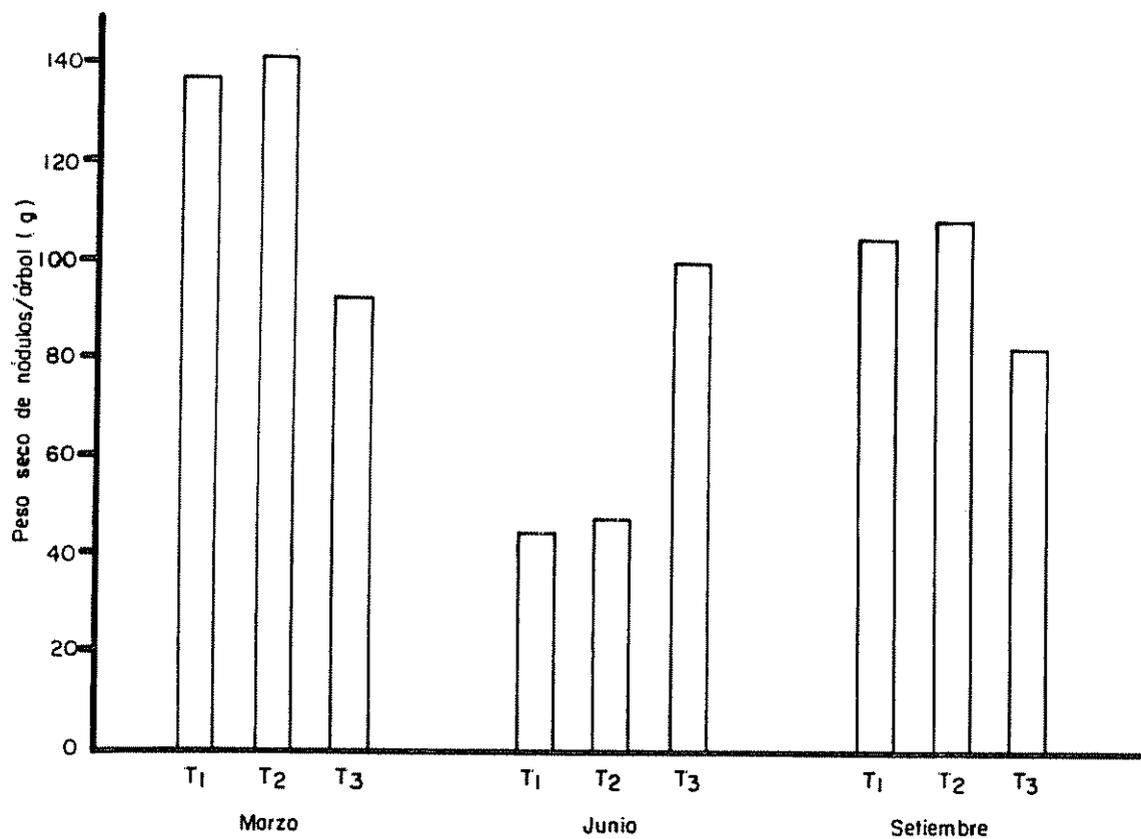


Fig. 18 Comparación de los pesos secos medios de los nódulos por tratamiento en tres épocas de muestreo : marzo, junio y setiembre de 1982

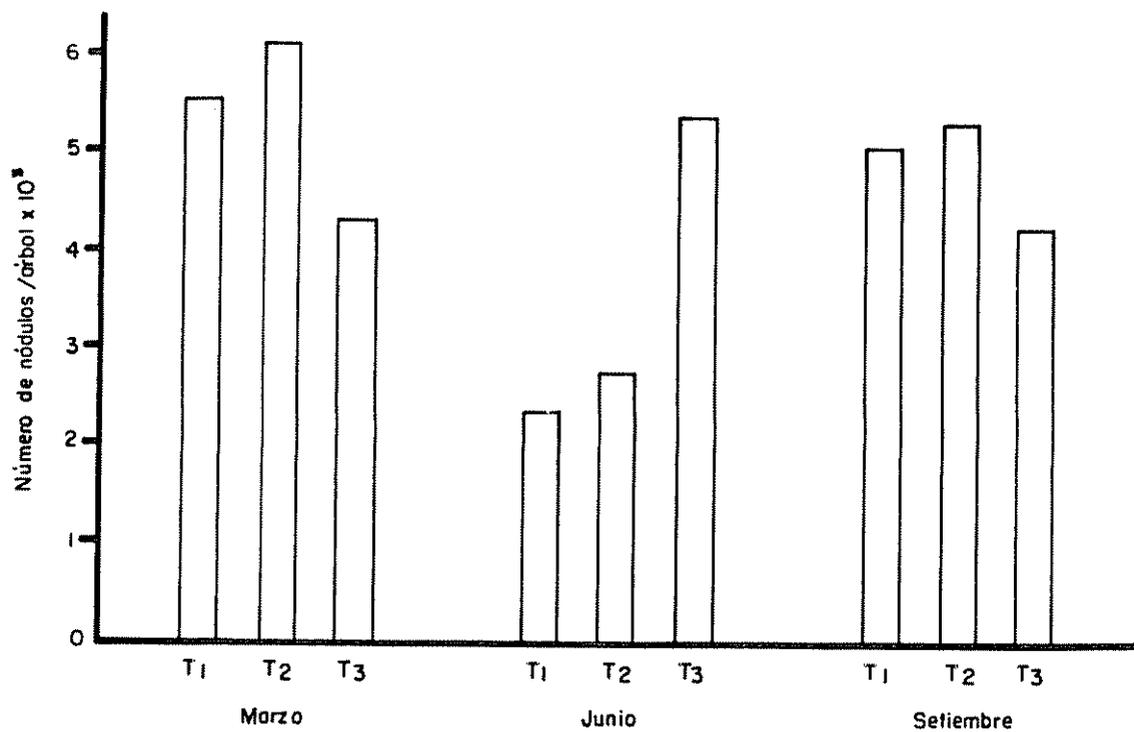


Fig. 19 Comparación del número de nódulos medio por tratamiento en tres épocas de muestreo : marzo junio y setiembre de 1982

En algunos casos los nódulos pequeños, menores de 2 mm de diámetro, aún no mostraban coloración rosada en su interior. En los muestreos realizados en los tratamientos sin poda se observó menor cantidad de raicillas muertas que en los árboles podados, pero no fue posible darle un manejo estadístico a estos datos.

Luego, en el mes de setiembre de 1982, a los 6 meses de haberse efectuado la primer poda, se evidencia que no existen diferencias estadísticamente significativas en la población de nódulos entre los árboles podados en marzo y los no podados. Esta falta de diferencias es en cierto sentido sorprendente. Debe asumirse entonces que hubo una recuperación en la nodulación de los árboles podados en marzo, en los cuales inicialmente hubo una disminución de nódulos después de la poda, para luego llegar al mismo nivel de número y peso seco de nódulos que en los árboles no podados.

Un hecho que llamó la atención fue que en el tratamiento 2 (poda y remoción de ramas) hubo mayor número y mayor peso de nódulos que en los otros dos tratamientos con fuertes aportes de N a través del material de las podas y hojas caídas naturalmente. A pesar que la prueba de Duncan no arrojó diferencias significativas, esta tendencia a producir más nódulos cuando las ramas podadas son quitadas del sistema amerita estudiarse en períodos más prolongados.

Con la evaluación de los resultados se cumplió el segundo objetivo planteado de evaluar el efecto de la poda sobre la nodulación.

Considerando la segunda hipótesis nula que dice: "El número y peso seco de los nódulos radicales del poró son iguales antes que después de la poda", se sacan las siguientes conclusiones:

1. A los tres meses de la poda tal hipótesis es falsa.
2. A los seis meses de la poda tal hipótesis es verídica.

Esto evidencia que la nodulación es un proceso dinámico y que la población de nódulos disminuida en un primer momento por efecto de la poda tiene una rápida capacidad de recuperación.

4.3 Contenidos de nitrógeno y materia orgánica en el suelo

4.3.1 Muestreo previo a la primera poda

En el Cuadro 32 se presentan los contenidos de nitrógeno total del suelo entre 0 y 15 cm de profundidad.

En el Cuadro 1A se presentan los restantes valores del análisis de suelo. En el Cuadro 2A se presentan los resultados del análisis mecánico de los 6 bloques, por los cuales se le clasificó como suelo arcilloso.

4.3.2 Muestreo a los tres meses de la primera poda

En el Cuadro 33 se presentan los datos de nitrógeno total, para los diferentes tratamientos, del muestreo realizado en junio de 1982.

Los promedios de N total de 0 a 15 cm de profundidad en los diferentes tratamientos fueron inferiores en todos los casos al promedio general registrado al comenzar el experimento (0.366 %) pero no diferentes estadísticamente. Tampoco hubo diferencias significativas entre tratamientos ni entre distancias al pié del árbol. Asimismo no se manifestaron diferencias entre los niveles de N total debajo de los árboles y los del centro de la pradera.

No obstante, haciendo un análisis de las diferencias absolutas entre los contenidos porcentuales de N total, entre marzo y junio de 1982 se obtienen los valores presentados en el Cuadro 34.

Es interesante observar que aunque no hubo diferencias significativas en el análisis de varianza, hay ligeras diferencias entre los tratamientos que permiten especular sobre probables tendencias. En el caso del tratamiento 1, poda e incorporación de rama al suelo, se mantiene el nivel de N total con un levísimo incremento de 0.6 por ciento. En el segundo tratamiento, poda y remoción de las ramas del suelo, se produjo una disminución en el contenido de N total de 16 por ciento y en el tratamiento sin poda en marzo hay una disminución de 12 por ciento. Este comportamiento podría ser interpretado de la siguiente manera: en el primer caso se mantiene el nivel

Cuadro 32. Contenidos promedio (%) de nitrógeno total del suelo entre 0 y 15 cm de profundidad, en las parcelas correspondientes a los diferentes tratamientos.

	1	2	3	4
Promedio	0.343 a ^{5/}	0.404 a	0.376 a	0.366
Máximo	0.390	0.590	0.430	0.590
Mínimo	0.270	0.300	0.240	0.240
D.E.	0.035	0.085	0.056	0.066
C.V.	10 %	21 %	15 %	18 %

1. Parcelas correspondientes al tratamiento 1, poda con ramas en el suelo.
2. Parcelas correspondientes al tratamiento 2, podas quitando ramas.
3. Parcelas correspondientes al tratamiento 3, sin poda en marzo.
4. Promedio general de todas las observaciones.
5. Promedios con la misma letra en la misma fila no son estadísticamente diferentes entre sí ($P < 0.05$).

D.E. = Desviación estándar.

C.V. = Coeficiente de variación.

Cuadro 33. Contenido de N total (%) en el suelo de 0 a 15 cm de profundidad en los diferentes tratamientos en el mes de junio de 1982.

	Trat. 1	Trat. 2	Trat. 3
Promedio	0.345 a ^{1/}	0.348 a	0.327 a
Máximo	0.42	0.60	0.46
Mínimo	0.26	0.21	0.21
D.E.	0.04	0.11	0.07
C.V.	13 %	32 %	20 %

Trat. 1. Poda con ramas en el suelo.

Trat. 2. Poda quitando las ramas.

Trat. 3. Sin poda en marzo.

1/ Promedios con la misma letra en la misma fila no son estadísticamente diferentes entre sí ($P < 0.05$).

D.E. = Desviación estándar.

C.V. = Coeficiente de variación.

Cuadro 34. Diferencias en el contenido de N total del suelo, entre 0 y 15 cm de profundidad, entre el 1º y el 2º muestreo (marzo y junio de 1982).

Tratamiento	Nitrógeno total (%)		Diferencias de N total	
	Marzo	Junio	Absoluta	(%)
1	0.343	0.345	+ 0.002	+ 0.6
2	0.404	0.348	- 0.056	- 16
3	0.367	0.327	- 0.040	- 12

1. Poda, dejando las ramas en el suelo.

2. Poda, quitando las ramas.

3. Sin poda en marzo.

de N constante por el aporte de material proveniente de la poda que comienza a descomponerse y a incorporarse al suelo; en el segundo caso, la disminución podría ser atribuida al consumo y la lixiviación y también a que como fue quitado del lugar el material de las podas no hubo aportes al suelo, además tampoco hubo aporte de hojas caídas. Por último en el caso del tratamiento sin poda la disminución podría ser atribuida al consumo y lixiviación, pero no es tan acentuada como en el caso anterior debido al aporte de hojas caídas naturalmente, que en esos tres meses alcanzó valores de 1 840 kg/ha.

4.3.3 Muestreo de setiembre de 1982, a los 6 meses de la primera poda

En el Cuadro 35 se presentan los datos de N total del suelo del muestreo de setiembre de 1982.

En el Cuadro 36 se presentan los valores promedio, máximos y mínimos del contenido de materia orgánica entre 0 y 15 cm de profundidad, para los tres tratamientos a través del tiempo.

4.3.4 Discusión de los resultados relacionados con contenidos de nitrógeno y materia orgánica en el suelo

En la Figura 20 se presenta la evolución de los contenidos de N total en el suelo superficial, de 0 a 15 cm, para cada uno de los tratamientos en las tres fechas de muestreo.

Visto que el análisis de varianza no arrojó diferencias significativas ni entre tratamientos, ni entre distancias al árbol, ni entre fechas de muestreo, pero especulando con que a través del tiempo en el gráfico se vislumbran tendencias en los niveles de N total, en cada uno de los tratamientos, se interpreta lo siguiente:

- a. Tratamiento 1, poda en marzo y aporte de las ramas sobre el suelo: el nivel de N total se mantiene casi constante a través de los 6 meses y con una ligera tendencia de incremento, por lo tanto se interpreta que el consumo por parte del poró, el café y las malezas

Cuadro 35. Contenidos de N total del suelo, de 0-15 cm de profundidad, en los 3 tratamientos, en setiembre de 1982.

	N total (%)			
	Trat. 1	Trat. 2	Trat. 3	Promedio general
Promedio	0.354 a ^{1/}	0.403 a	0.398 a	0.383
Máximo	0.51	0.70	0.46	0.70
Mínimo	0.25	0.27	0.29	0.25
D.E.	0.06	0.12	0.05	0.05
C.V.	16 %	30 %	13 %	12 %

Trat. 1. Poda en marzo 82, dejando ramas en el suelo.

Trat. 2. Poda en marzo 82, quitando las ramas.

Trat. 3. Sin poda en marzo 82.

1/ Promedios con las misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí ($P < 0.05$).

Cuadro 36. Contenidos de materia orgánica en el suelo (%) de 0-15 cm de profundidad, en los 3 tratamientos y en los 3 muestreos, marzo, junio y setiembre de 1982.

	Trat. 1	Trat. 2	Trat. 3	Promedio	Max.	Min.	D.E.	C.V.
Marzo	6.8	6.8	6.8	6.8	7.2	6.5	0.25	4 %
Junio	6.0 a ^{1/}	6.2 a	6.1 a	6.1	8.9	4.8	0.94	15 %
Setiembre	6.5 a	6.9 a	6.6 a	6.6	9.5	4.7	1.04	16 %

Trat. 1. Poda en marzo, dejando las ramas sobre el suelo.

Trat. 2. Poda en marzo, quitando las ramas.

Trat. 3. Sin poda en marzo.

1/ Promedios con la misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí ($P < 0.05$).

D.E. = Desviación estándar.

C.V. = Coeficiente de variación.

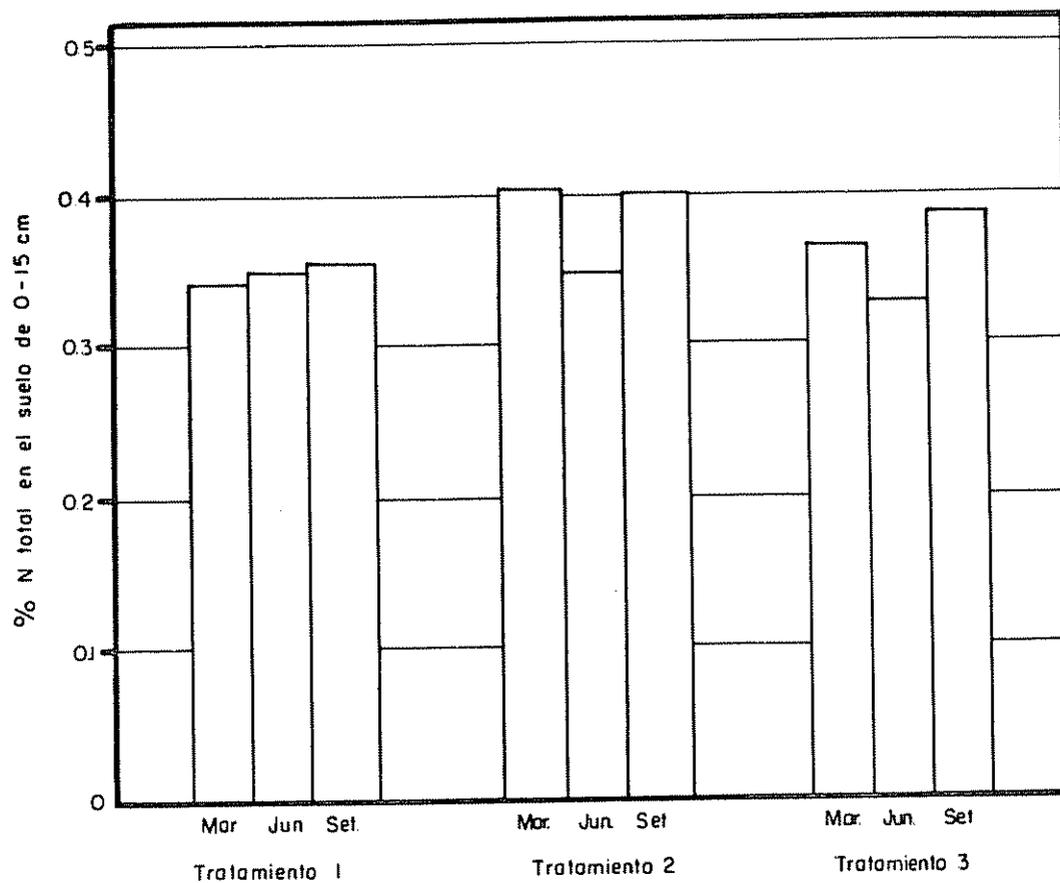


Fig. 20 Comparación entre niveles de N total en el suelo en marzo, junio y setiembre para cada tratamiento

por un lado y la lixiviación por otra parte, están siendo repuestos por el aporte de las ramas podadas y las hojas caídas, que se van descomponiendo e incorporándose gradualmente al suelo.

- b. Tratamiento 2, poda en marzo y remoción de las ramas de la parcela: en este caso en que se había producido un descenso en el nivel de N total en el mes de junio, se produjo un incremento del 16 por ciento con referencia a dicho mes en setiembre, pero sin diferencias con los valores encontrados al comienzo del experimento. La disminución ocurrida en el primer trimestre puede interpretarse como una consecuencia del consumo por parte de la planta, el cultivo y las malezas, y también por la lixiviación de N del suelo producida por las lluvias que se incrementaron en mayo y junio y por la falta de aportes de material foliar sobre el suelo. Sin embargo en el cuarto mes comienzan a caer hojas de poró y estas hojas caídas al momento de la poda alcanzan valores de 1 160 kg/ha de materia seca con un contenido de 2.2 por ciento de nitrógeno, además durante los 6 meses cayeron 127 kg/ha de hojas de café con contenido de nitrógeno de 2.1 por ciento.

No obstante estas no son las únicas fuentes de materia orgánica y nitrógeno al suelo, también existen otras tales como las raíces que mueren después de cada poda, los microorganismos fijadores no simbióticos del suelo, las malezas y la fijación simbiótica en los nódulos, factores que no fueron medidos en este experimento.

- c. Tratamiento 3, sin poda en marzo: en este caso si bien se había producido una leve disminución en el mes de junio, debido posiblemente a consumo y lixiviación, en setiembre hay un incremento de casi 13 por ciento con referencia a junio y de casi 5 por ciento con referencia a marzo. Este incremento podría ser parcialmente atribuido al aporte de 3 332 kg/ha de hojas de poró y de 127 kg/ha de hojas de café caídas naturalmente.

5. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos para las condiciones de este experimento, en una plantación de *Erythrina poeppigiana* realizada con plantas de vivero, es decir obtenidas de semilla, con un distanciamiento entre árboles de 6 m, de 8 años de edad y utilizados como sombra en un cafetal, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. Se rechaza la hipótesis general planteada que la poda intensa de las ramas de poró dos veces al año, aumenta la cantidad de materia orgánica y nitrógeno en el suelo en comparación con árboles podados solo una vez al año y se concluye que la cantidad de materia orgánica y nitrógeno del suelo, en los primeros 15 cm de profundidad, no difieren significativamente entre tratamientos con una y dos podas al año, en períodos cortos como el del presente experimento.
2. La cantidad de biomasa total (las ramas podadas más las hojas caídas) que se deposita anualmente sobre el suelo es mayor con una sola poda anual que con dos podas al año.
3. La producción de biomasa obtenida de las podas de ramas es mayor cuando se realiza una poda al año que cuando se hacen 2 podas anuales; sin embargo hay una mayor producción de hojas y menor cantidad de tallos cuando se realizan 2 podas que cuando se hace solo una.
4. La cantidad de hojas recogidas en las trampas es mayor (más del doble) en los árboles que recibieron una sola poda que en los que recibieron 2 podas/año.
5. Es evidente que podando cada 6 meses el árbol no alcanza su máximo potencial de crecimiento, ni en producción de biomasa ni en incremento diamétrico, lo que podría ser una característica deseable para combinarlo con otros cultivos en sistemas agroforestales.

6. La remoción de los residuos de la poda fuera del sistema no afectó la cantidad de nitrógeno total del suelo, ni la producción de biomasa de ramas, ni la nodulación en períodos cortos (6 meses).
7. La poda afecta sensiblemente la nodulación, hecho que se manifiesta con muerte de raicillas y desprendimiento de nódulos, inmediatamente después de efectuada y hasta los 3 meses (menor número y menor peso seco de nódulos), pero luego se produce una notable recuperación y a los 6 meses los niveles son otra vez similares a los observados antes de la poda.
8. El contenido de nitrógeno total en las hojas, entre 4 y 5 por ciento en las láminas, es alto comparado con el de otras leguminosas tropicales.
9. En las raicillas de poró fueron halladas micorrizas vesículo-arbusculares, que bien podrían estar interactuando con el proceso de nodulación.
10. Para dar continuidad al estudio realizado y validar los datos obtenidos, será necesario seguir colectando información por varios períodos de crecimiento, especialmente en cuanto a diferencias acumulables que podrían (o no) resultar de la remoción de las ramas podadas.

6. RECOMENDACIONES

1. Hacer estudios comparativos de producción de biomasa de ramas bajo diferentes frecuencias de podas, diferentes intensidades de poda y diferentes densidades de plantación a los efectos de encontrar la combinación más apropiada para producir biomasa manteniendo la estabilidad del sistema y utilizando como base las técnicas de poda encontradas en las fincas. El establecimiento de las plantaciones bien podría ser por el sistema Taungya.
2. Investigar *Erythrina poeppigiana* como componente de sistemas agroforestales en el trópico húmedo debido a su potencial como productora de biomasa (para mulch, compost o forraje) y por su capacidad de nodular abundantemente en suelos ácidos (con rangos de pH entre 4 y 5), en donde otras especies tienen dificultades en nodular.
3. Seleccionar árboles particularmente deseables (banco de germoplasma) considerando características tales como producción, vigor, capacidad exploratoria del sistema radical, ausencia de espinas y otras características relevantes.
4. Investigar más detenidamente la asociación de poró con gramíneas forrajeras en sistemas silvopastoriles, por ser las gramíneas indicadoras más sensibles que el cafetal para reflejar cambios en el medio, especialmente en cuanto a nitrógeno en el suelo.
5. Investigar la inoculación de poró con diferentes cepas de *Rhizobium* a los efectos de hallar las más efectivas y proseguir con los estudios de nodulación en mayor número de árboles y con muestreos menos destructivos que el utilizado en el presente experimento. Así también como evaluar la capacidad fijadora de N_2 de la especie a través de las técnicas más adecuadas.

6. Investigar la relación existente entre las micorrizas vesículo-arbusculares y el proceso de nodulación, en vista de la conspícua nodulación que presenta en suelos ácidos.

7. BIBLIOGRAFIA

1. AGUIRRE ASTE, W. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, IICA-CTEI-Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 145 p.
2. ALDER, D. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. v. 2. Predicción del rendimiento. Roma, FAO, 1980. 80 p. (Estudio FAO: Montes 22/2).
3. ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. 2 ed. New York, John Wiley, 1977. pp. 305-332.
4. ALVIM, P. de T. Las necesidades de agua del cacao. Turrialba (Costa Rica) 10(1):6-16. 1960.
5. _____. O problema do sombreamiento do cacauero. Cacao Actualidades (Brasil) 3(2):2-5. 1966.
6. _____. and KOZLOWSKI, T. T. Ecophysiology of tropical crops. New York, Academic Press, 1977. pp. 279-314.
7. ARANBUREN, J., ESCALANTE, G. y HERRERA, R. Nitrogen cycling in cocoa agroecosystem under shade trees: distribution in the different compartments and litter fall. In Workshop on Nitrogen Cycling in Ecosystems of Latin America and the Caribbean. 16-21 march 1981. CIAT, Cali, Colombia, 1981. pp. 36-37.
8. BEER, J. W. *et al.* A case study of traditional agro-forestry practices in a wet tropical zone: The "La Suiza" project. In Simposio Internacional sobre las Ciencias Forestales y su contribución al desarrollo de la América Tropical. Editado por M. Chavarría, San José, Costa Rica, CONICIT-INTERCIENCIA-SCITEC, 1981. pp. 191-289.
9. BENAVIDES, J. E. Utilización de forrajes de origen arbóreo en la alimentación de rumiantes menores. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1983. 11 p. (mimeografiado).
10. BERMUDEZ M., M. M. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de café (*Coffea arabica* L.) poró (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook) y laurel (*Cordia alliodora* (R & P) Cham.) en Turrialba, Costa Rica.
11. BORCHERT, R. Phenology and ecophysiology of tropical trees: *Erythrina poeppigiana* O.F. Cook. Ecology 61(5):1065-1074. 1980.

12. BUDOWSKI, G. Prácticas forestales de interés para el cultivo del café. *Café* 1(3):49-52. 1959.
13. _____. Sistemas agroforestales en América Tropical. In Curso corto sobre técnicas agroforestales para el trópico húmedo. Turrialba, Costa Rica, diciembre 8-16, 1980. 9 p.
14. _____. Cuantificación de las prácticas agroforestales tradicionales y de las parcelas de investigación controlada en Costa Rica. Trad. por E. Somarriba. Trabajo presentado a la Reunión Consultiva sobre Investigación en plantas y agroforestería. ICRAF, Nairobi, Kenia. 8-15 abril, 1981. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1981. 26 p.
15. _____. *Erythrina* spp.: multipurpose trees for small farm systems in the humid tropics. Project proposal. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1982. 37 p. (inédito).
16. CADIMA ZEBALLOS, A. y ALVIM, P. de T. Influencia del árbol de sombra *Erythrina glauca* sobre algunos factores ecológicos relacionados con la producción del cacao. *Turrialba (Costa Rica)* 17(3):330-336. 1967.
17. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. Resumen de datos meteorológicos. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1981. 2 p.
18. _____. Sistemas de producción de doble propósito para pequeños productores del Istmo Centroamericano CIID-3-P-79-0047: informe de progreso 1982. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Departamento de Producción Animal, 1982. pp. 56-57.
19. COMBE, J. y GEWALD, N. eds. Guía de campo de los ensayos forestales del CATIE en Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1979. 378 p.
20. COOK, O. F. Shade in coffee culture. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture. Division of Botany, 1901. 79 p.
21. COVILLE, F. V. Letter of transmittal to J. Wilson, Secretary of Agriculture. Washington, Dec. 19, 1900. In Cook, O. F. Shade in coffee culture. Washington, D.C., U.S.D.A. Division of Botany, 1901. p. 2.
22. CHIJICKE, E. O. Impact on soils of fast-growing species in lowland humid tropics. Rome, FAO, 1980. 11 p. (FAO Forestry Paper 21).
23. DAZZO, F. B. Infection processes in the *Rhizobium*-legume symbiosis. In Summerfield, R. J. and A. Bunting eds. Advances in legume science. Kew, Royal Botany Garden, 1980. pp. 49-59.

24. DIAZ ROMEU, R. Determinación de nitrógeno total en suelos; método semi-micro kjeldahl. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1977. 2 p.
25. DIAZ ROMEU, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Proyecto centroamericano de fertilidad de suelos, 1978. 62 p.
26. DIJKMAN, M. J. *Leucaena* a promising soil-erosion-control plant. *Economic Botany* 4(4):337-349. 1950.
27. DOBEREIMER, J., BURRIS, R. H. and HOLLANDER, A. eds. Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics. New York, Plenum, 1977. 398 p.
28. DUKE, J. A. Handbook of legumes of world economic importance. New York, Plenum, 1981. 345 p.
29. DWYER, J. D. and D'ARCY, W. G. *Erythrina*. In *Flora of Panamá*. Part V. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 67(3):686-697. 1980.
30. ESCALANTE, G., ARANGUREN, J. y HERRERA, R. Nitrogen cycling in coffee agroecosystems under shade trees: distribution in the different compartments and litter fall. In *Workshop on Nitrogen Cycling in Ecosystems of Latin America and the Caribbean*. 16-21. March 1981. CIAT, Colombia, 1981. pp. 43-45.
31. FONSECA, M. T. El poró. *Revista de Agricultura (Costa Rica)* 40(6-7): 102, 104, 106, 108, 110, 112. 1968.
32. FREESE, F. Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales. México, Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (AID), 1970. 104 p.
33. GERDEMANN, J. W. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. *Annual Review of Phytopatology* 6:397-418. 1968.
34. GIBSON, A. H. and NEWTON, W. E. eds. Current perspectives in nitrogen fixation. Canberra, Australian Academy of Sciences, 1981. 534 p.
35. HOLDRIDGE, L. R. y POVEDA, L. *Arboles de Costa Rica*. v. 1. San José, Costa Rica, 1975. pp. 154-162.
36. HUXLEY, B. A. The effects of artificial shading on some growth characteristics of arabica and robusta coffee. The effect of shading on dry weight, leaf area and derived growth data. *Journal of Applied Ecology* 4:291-308. 1967.

37. KRUKOFF, B. A. and BARNEBY, R. C. Conspectus of species of the genus *Erythrina*. *Lloydia* 37(3):332-459. 1974.
38. _____. Notes on the species of *Erythrina*. III. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 66(3):422-445. 1979.
39. MEINSNER, C. A. and GROSS, D. Some guidelines for the evaluation of the need for and response to inoculation of tropical legumes. North Carolina Agricultural Research Service, 1980. 59 p. (Tech. Bull. no. 265).
40. MOLLEAPAZA, J. E. Producción de biomasa de poró (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. C-ok) y del laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken) asociado con café (*Coffea arabica* L.). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1979. s.p. (en borrador).
41. MORENO QUIROS, R. A. Eficiencia de cepas de *Rhizobium* y efecto de P, Mo, Fe, Co y encalado en la nodulación y producción de biomasa de *Leucaena leucocephala* (Guaje) en suelos ácidos de Huimanguillo, Tabasco, Tesis Mag. Sc. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, 1981. 127 p.
42. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Tropical legumes: resources for the future. Washington, D.C., 1979. pp. 5-9, 258.
43. NEWBOULD, P. J. Methods for estimating the primary production of forest. Oxford, Blackwell, 1967. 62 p. (IBP Handbook 2).
44. NORRIS, D. O. Techniques used in work with *Rhizobium*. In C.S.I.R.O. Some concepts and methods in sub-tropical pasture research. Farnham Royal, England, C.A.B., 1964. pp. 186-198.
45. NUTMAN, P. S. The physiology of nodule formation. In Hallworth, E. C. ed. Nutrition of legumes. London, Butterworths, 1958. pp. 87-107.
46. PHILLIPS, J. M. and HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55:158-161. 1970.
47. PITTIER, H. Ensayo sobre plantas usuales de Costa Rica. 2 ed. rev. San José, Costa Rica, Editorial Universitaria, 1957. 186 p. (Serie Ciencias Naturales no. 2).
48. RAVEN, P. H. *Erythrina* (Fabaceae): Achievement and opportunities. *Lloydia* 37:321-331. 1974.

49. RAVEN, P. H. *Erythrina* Symposium II. *Erythrina* (Fabaceae) Faboideae Introduction to Symposium II. *Lloydia* 40(5):401-406. 1977.
50. _____. *Erythrina* Symposium III (Fabaceae: Faboideae): Introduction to Symposium III. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 66(3):417-421. 1979.
51. ROLDAN PEREZ, G. Degradación ruminal de algunos forrajes proteicos en función del consumo de banano verde suplementario. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1981. 71 p.
52. ROSKOSKI, J. Importancia de la fijación de nitrógeno en la economía del cafetal. In Simposio I. Estudios Ecológicos en el Agroecosistema Cafetalero. Xalapa, Veracruz, México, 24-25 de julio 1980. 5 p.
53. _____. Nodulation and N₂ fixation by *Inga jinicuil*, a woody legume in coffee plantations. *Plant and Soil* 59:201-206. 1981.
54. RUSSO, R. O. *Erythrina*: un género versátil en sistemas agroforestales; revisión bibliográfica. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1981. 10 p.
55. _____. Resultados preliminares de biomasa de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook (poró). Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1982. 12 p.
56. SAIZ DEL RIO, J. F., FERNANDEZ, C. E. y BELLAVITA, O. Distribution of absorbing capacity of coffee roots determined by radioactive tracers. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 77:240-244. 1961.
57. _____. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 107 p.
58. SANCHEZ, P. A. Los suelos del trópico; características y manejo. Trad. del inglés por E. Camacho. San José, Costa Rica, IICA, 1981. 634 p.
59. SANTANA, M. B. M. and MORAIS, F. I. The effect of shading with "eritrina" (*Erythrina fusca*) on the nitrogen levels of soils planted with cocoa. In *Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics*. Dobereimer, J., R. H. Burris and A. Hollander eds. New York, Plenum, 1978. p. 345.
60. _____. y CABALA ROSAND, P. Observações sobre a dinâmica do nitrogênio em uma plantaçoao de cacau. In *Workshop on Nitrogen Cycling in Ecosystems of Latin America and the Caribbean*. 16-21 March. CIAT, Cali, Colombia, 1981. pp. 39-41.

61. STANDLEY, P. C. Flora of Costa Rica. v. 18 part. II. Chicago, Field Museum of Natural History, 1937. pp. 538-540.
62. SUAREZ DE CASTRO, F. y RODRIGUEZ, A. Equilibrio de materia orgánica en plantaciones de café. Boletín Técnico, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia 2(15):5-28. 1955.
63. SYLVAIN, P. Innovaciones técnicas en caficultura. San José, Costa Rica, IICA, Zona Norte. 1979. 35 p. (Publicación Miscelánea no. 202).
64. VINCENT, J. M. A manual for the practical study of root-nodule bacteria. Oxford, Blackwell, 1970. 164 p. (IBP Handbook no. 15).
65. WIERSUM, K. F. y RAMLAN, A. Cultivation of *Acacia auriculiformis* on Java, Indonesia, Commonwealth Forestry Review 61(2):135-144. 1982.
66. WILLEY, R. W. The use of shade in coffee, cocoa and tea. Horticultural Abstracts 45(12):791-798. 1979.

8. APENDICE

Cuadro 1A. Análisis químico del suelo, de 0 a 15 cm de profundidad al comenzar el experimento.

	Materia orgánica (%)	Fósforo ug/ml	Potasio (m.e.q./100 ml de suelo)	Calcio	Magnesio	pH	Acidez extractable meg/100 ml	Azufre		Cobre		Zinc		Manganeso	
								(ug/ml de suelo)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Promedio	6.18	26.8	0.53	2.2	0.68	4.6	2.46	20.0	21.9	4.6	36.1				
Máximo	7.17	35.7	0.65	2.9	0.9	4.7	2.8	24.5	26.5	6.4	46.9				
Mínimo	5.57	14.1	0.45	1.3	0.4	4.5	2.1	18.1	17.9	3.2	27.7				
D.E.	0.6	7.9	0.08	0.54	0.2	0.075	0.3	3.1	3.7	1.1	6.2				
C.V.	10 %	30 %	16 %	24 %	28 %	2 %	13 %	15 %	17 %	24 %	17 %				

N - 6 bloques

D.E. - Desviación estándar

C.V. - Coeficiente de variación

Cuadro 2A. Análisis mecánico del suelo de los 6 bloques del experimento, de 0 a 15 cm de profundidad.

	Arena	Limo (%)	Arcilla
Promedio	21.0	30.3	48.7
Máximo	24.0	32.0	52.0
Mínimo	18.0	28.0	44.0
D.E.	2.1	1.5	3.0
C.V.	10 %	5 %	6 %

N = 6 bloques, 1 muestra compuesta por bloque.

D.E. = Desviación estándar.

C.V. = Coeficiente de variación.

Cuadro 3A. Implementos y equipo.

1	Barreno holandés.
1	Barreno sacabocados de 7.5 cm de diámetro interno y 12 cm de longitud útil.
2	Baldes plásticos de 20 lts.
2	Cribas finas.
1	Cinta métrica.
1	Cinta diamétrica.
1	Vara telescópica.
500	Bolsas de polietileno No. 7.
500	Bolsas de polietileno No. 9.
200	Bolsas de papel.
1.000	Etiquetas para muestras.
1	Calibre con vernier.
1	Horno de ventilación forzada.
48	Trampas para hojarasca de 1 m x 1 m.
4	Rollos cinta plástica.
1	Machete.
1	Escalera.
1	Pala angosta.
	Marcadores.
1	Romana para 20 kg.
1	Balanza electrónica de precisión.
10	Sacos grandes
6	Lienzos de 2,5 m x 2,5 m.
1	SERRUCHO.
1	Martillo.
2	kg de clavos de 1"
100	Placas identificatorias de aluminio

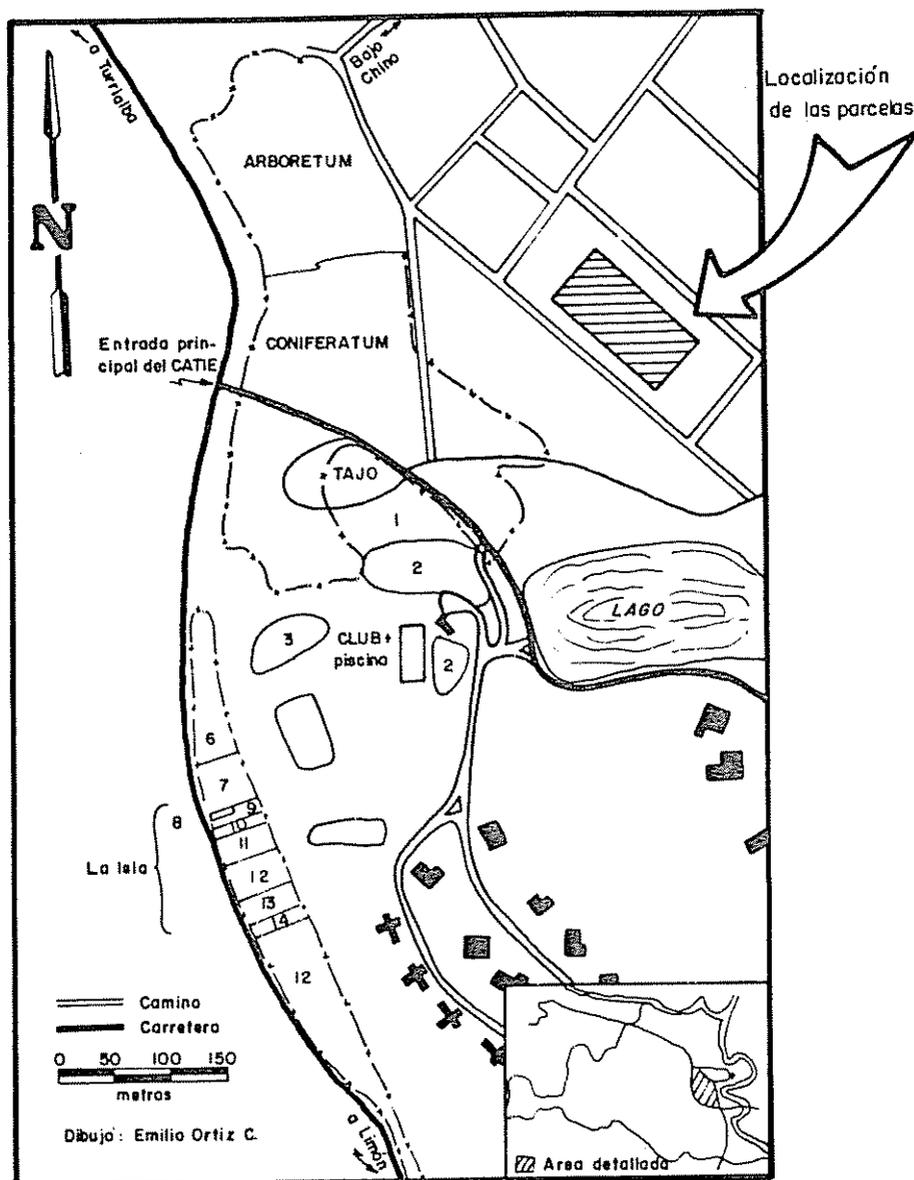


Fig. 1A Mapa de localización del experimento en el terreno del CATIE, Turrialba, Costa Rica

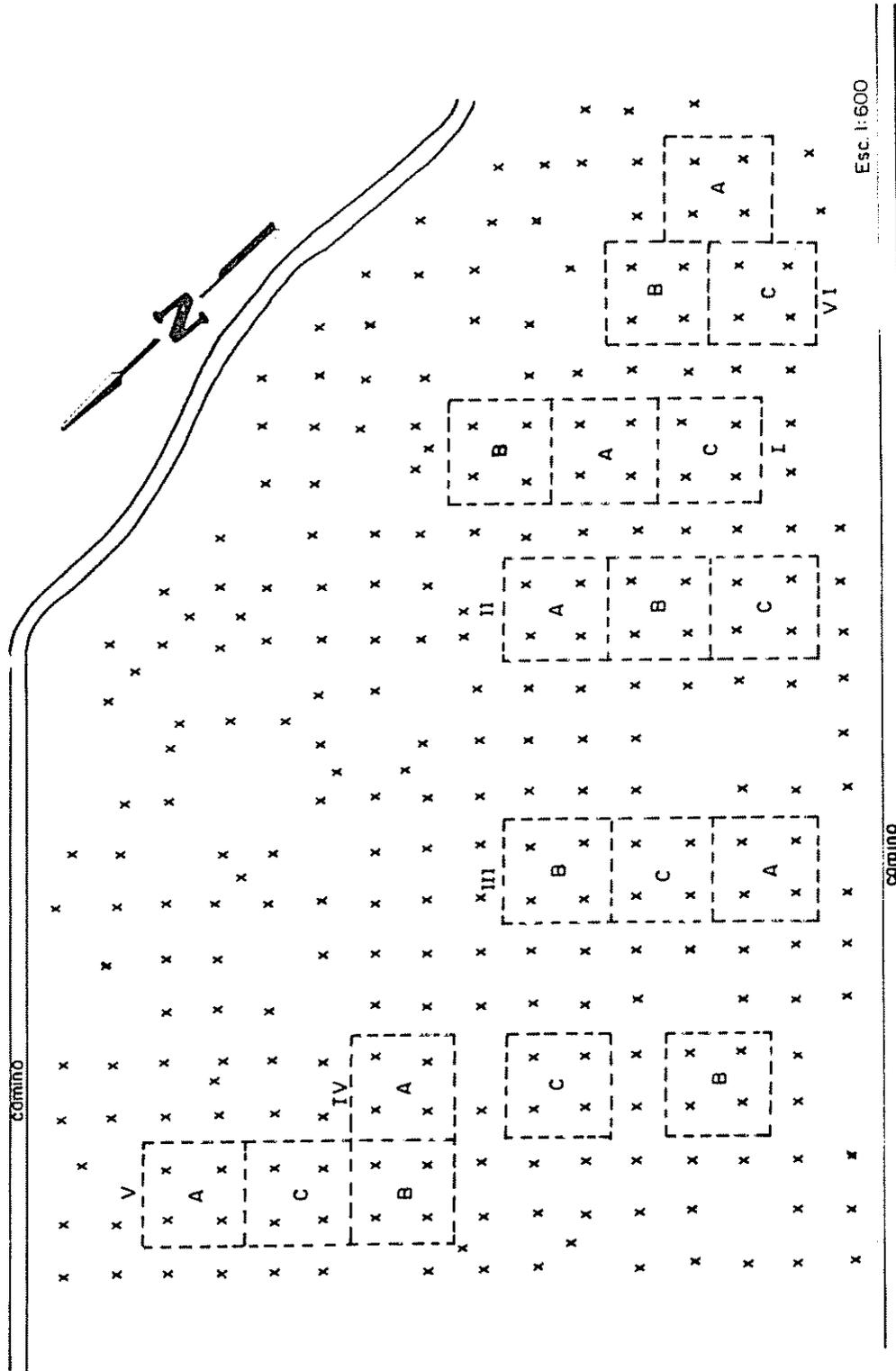


Fig. 2A Ubicación de los bloques y tratamientos en el campo

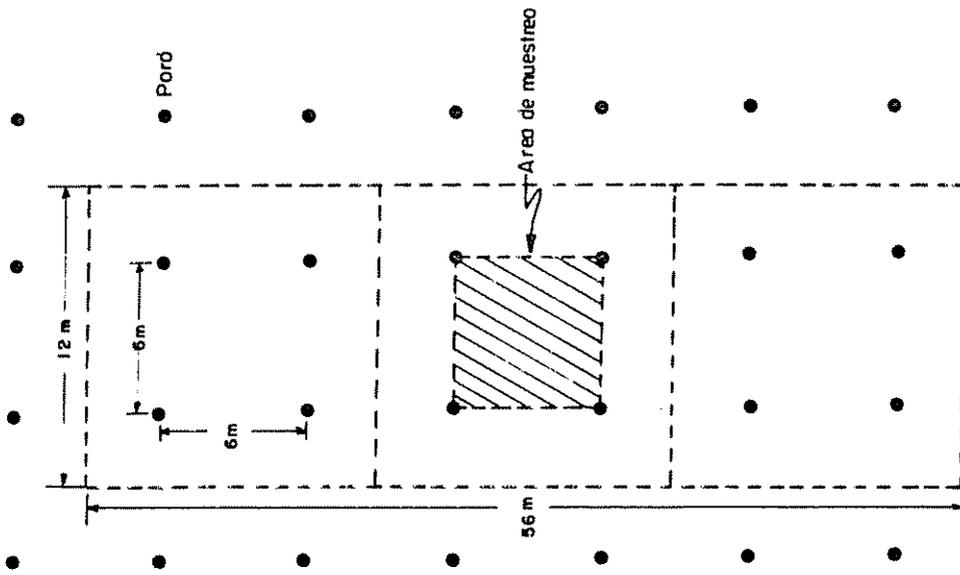


Fig. 3 A Ubicación de un bloque con tres parcelas de cuatro árboles cada una dentro de la plantación

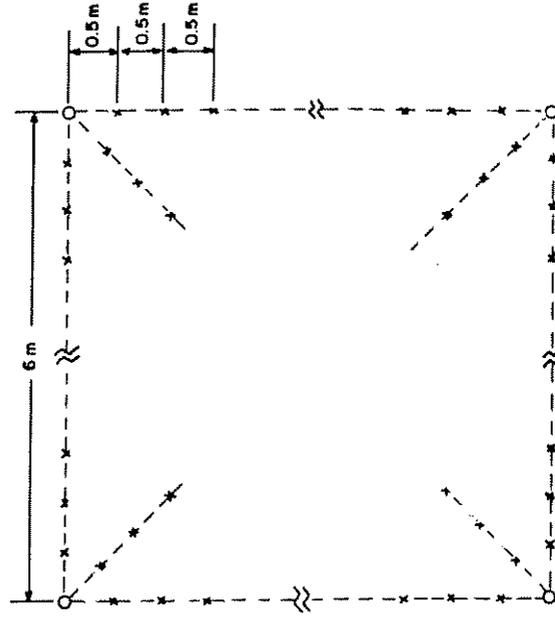


Fig. 4 A Posición de los puntos muestrales para análisis de nodulización y análisis de suelo

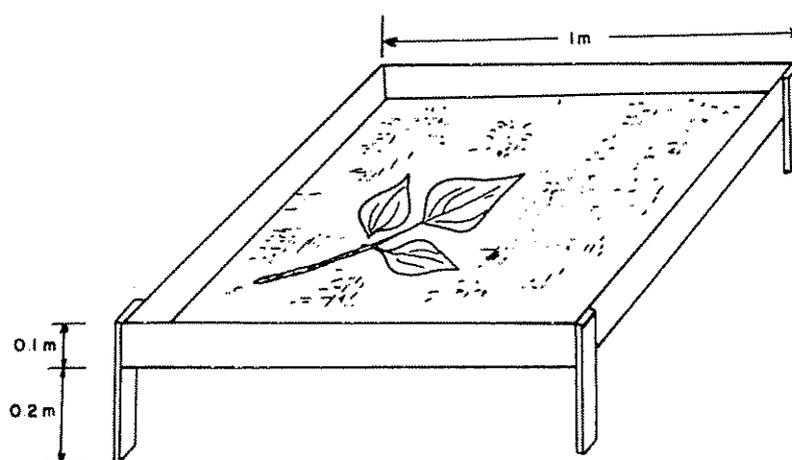


Fig. 5A Vista en perspectiva de una trampa de 1m^2 para hojas

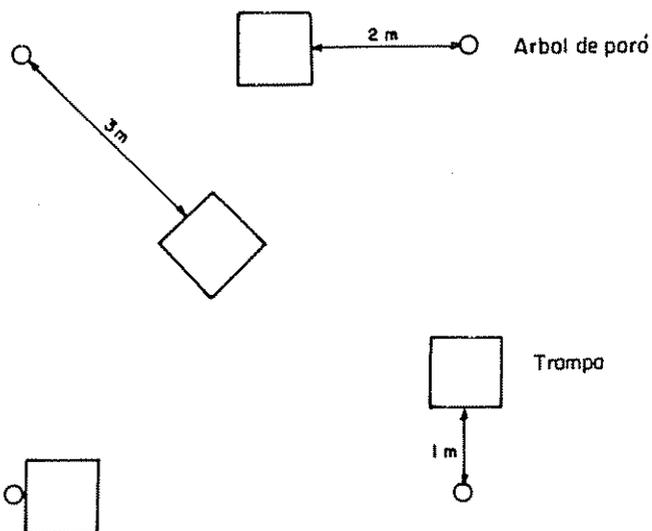


Fig. 6 A Distribución de las trampas en una parcela

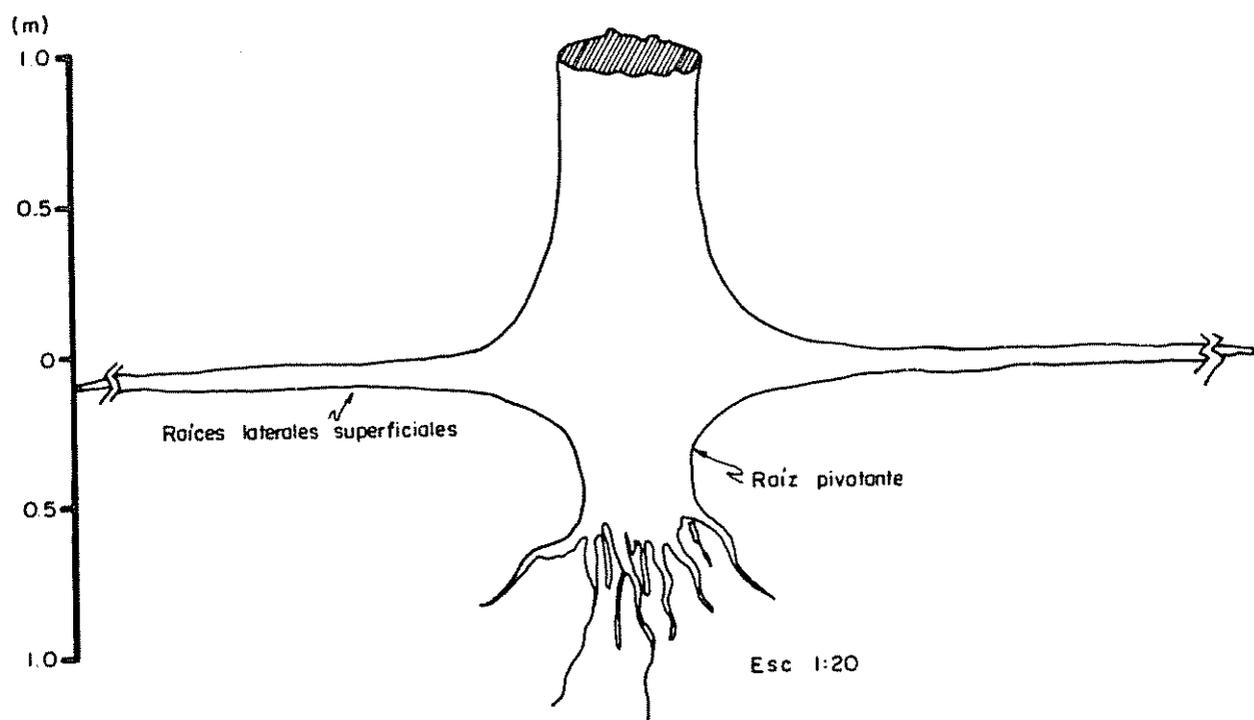


Fig. 7A Perfil esquematizado del sistema radical del poro'

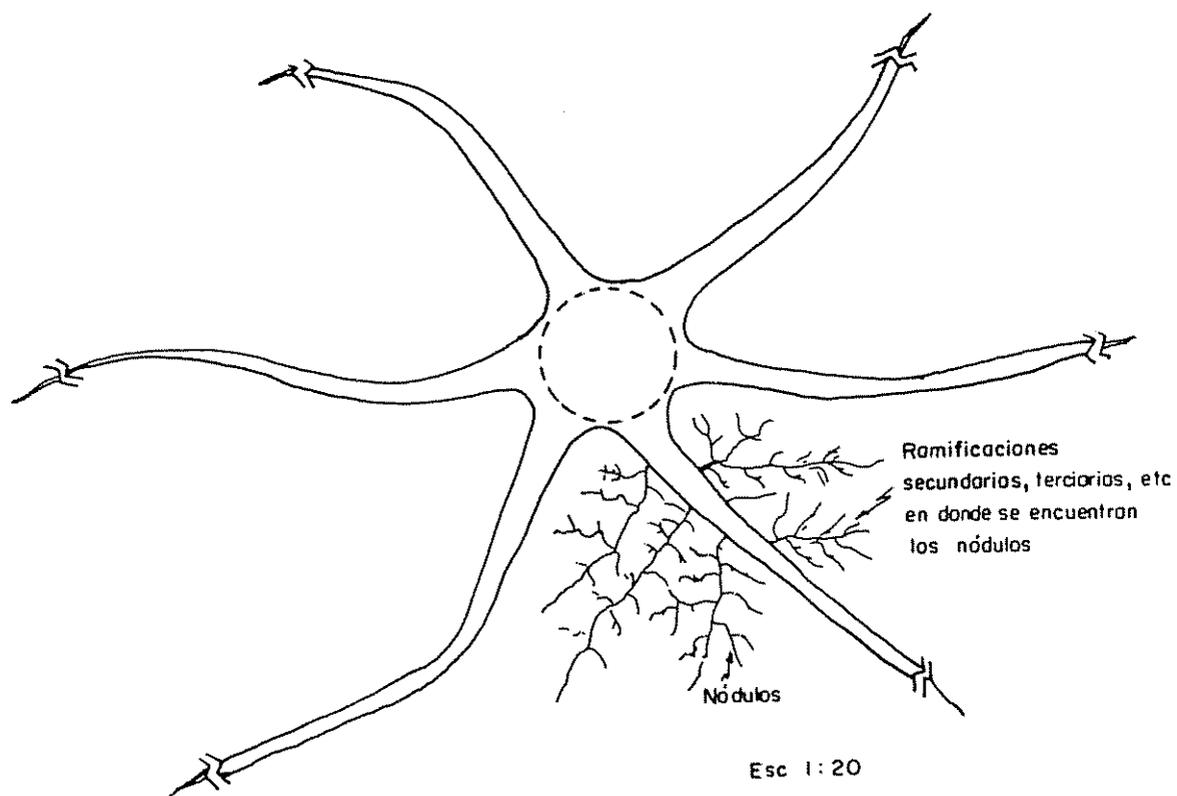


Fig. 8A Esquema del sistema radical del poro , vista en planta

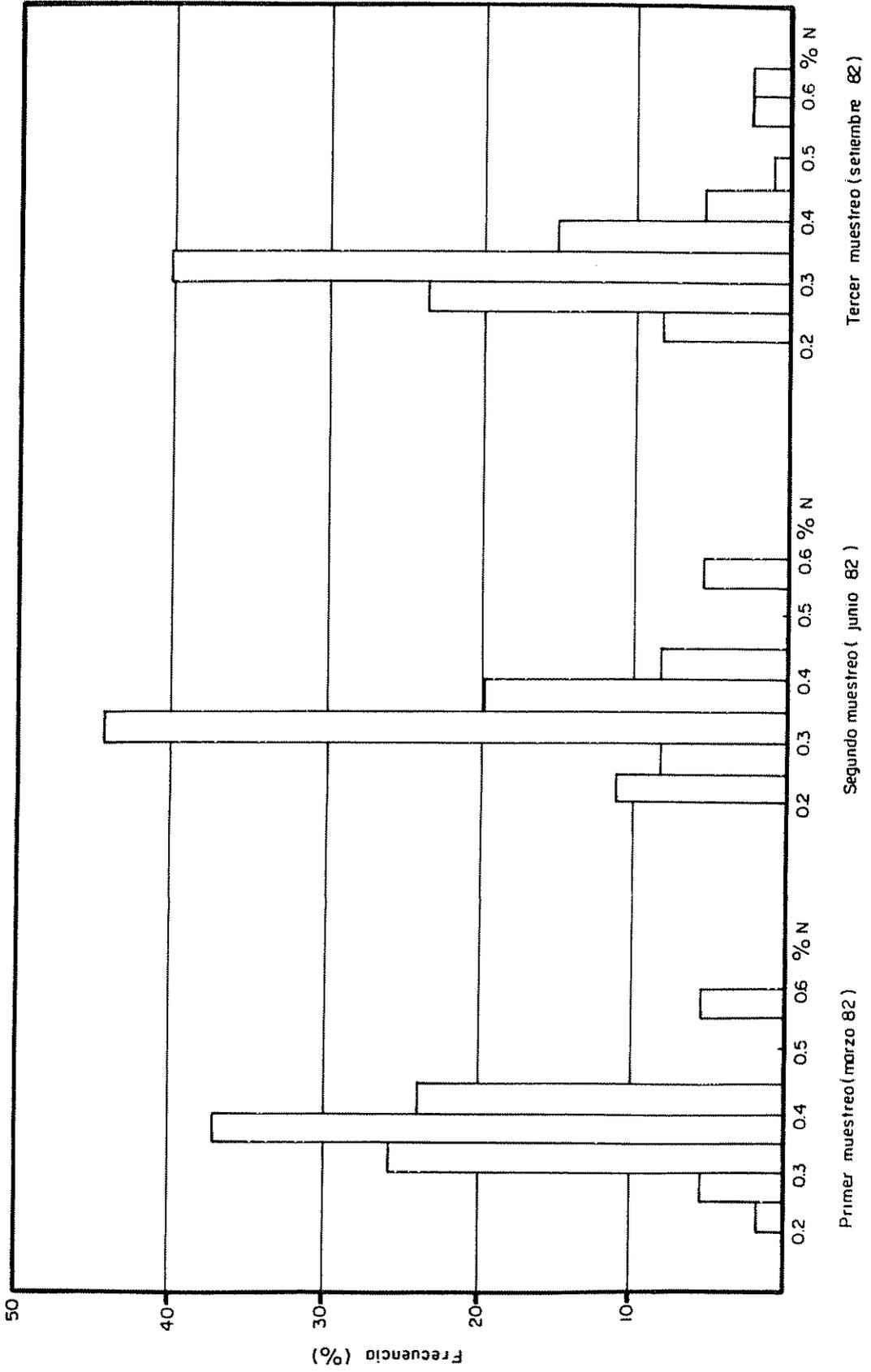


Fig. 9 A Distribución de frecuencias del contenido de nitrógeno total del suelo de 0 - 15 cm de profundidad en tres épocas de muestreo para 72 datos