

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMAS DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PRODUCCION COMPARADA DE UNA PASTURA DE
Cynodon plectostachyus ASOCIADA CON ARBOLES DE
Cordia alliodora, CON ARBOLES DE Erythrina
poeppigiana Y SIN ARBOLES

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

GUSTAVO EVARISTO BRONSTEIN

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA, CATIE
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Turrialba, Costa Rica

1984

DEDICATORIA

A mi esposa, por su comprensión

A mis padres, a mis hermanos, a mis hijos,
quienes me esperan

A mis amigos y compañeros

A mis maestros

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones, que de diferente manera hicieron posible su participación en el Programa de Posgrado de la Universidad de Costa Rica - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

A las autoridades del Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Córdoba y a las autoridades de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba, quienes facilitaron la licencia para desarrollar estos estudios. A los compañeros que asumieron el trabajo durante mi ausencia.

Al Dr. Jochen Heuveloop, Consejero Principal, por su interés, colaboración personal y apoyo en el desarrollo del presente trabajo.

Al Dr. Gerardo Budowski, miembro del Comité, quien me estimuló a investigar el problema planteado en el presente trabajo.

Al Dr. Rolain Borel, miembro del Comité, por su permanente asesoramiento durante el trabajo.

Al Dr. Julio Henao, miembro del Comité, por sus atinadas sugerencias para enfocar el trabajo y su colaboración en el análisis de los datos.

Al Dr. Tomás Schlichter, miembro del Comité, por su colaboración en la interpretación de los resultados, y antes aún, por su sincera amistad.

A todas aquellas personas que colaboraron en los trabajos de campo, en los análisis de laboratorio y en la mecanografía, especialmente a Jorge Alvarez y Lilliam Ugalde de Brenes, del Proyecto Agroforestal CATIE-GTZ.

A mis compañeros de estudio, hoy amigos.

A la Agencia Alemana para el Desarrollo, GTZ, por su apoyo en equipos, personal y financiación del trabajo.

Al CATIE, a la OEA y a la Universidad de las Naciones Unidas (UNU)
que financiaron mi estadía y viajes de estudio.

BIOGRAFIA

El autor nació en Córdoba, Argentina. Realizó sus estudios en la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, habiendo obtenido el título de Biólogo en el año 1971.

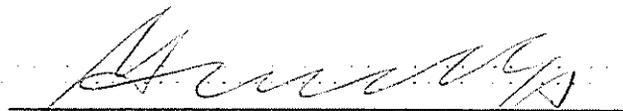
Siendo estudiante trabajó como auxiliar en Ecología y continuó como docente en la Facultad de Agronomía y como técnico en la Dirección de Recursos Naturales Renovables de Córdoba.

En marzo de 1982 ingresó al programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (UCR-CATIE), obteniendo el grado de Magister Scientiae en Recursos Naturales, en marzo de 1984.

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



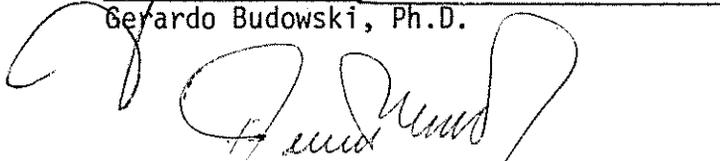
Jochen Heuvelop, Dr. Sc.

Profesor Consejero



Gerardo Budowski, Ph.D.

Miembro del Comité



Julio Henao, Ph.D.

Miembro del Comité



Rolain Borel, Dr. Sc.

Miembro del Comité



Tomás Schlichter, Dr. 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

Gustavo Evaristo Bronstein

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	x
SUMMARY.....	xiii
LISTA DE CUADROS.....	xvi
LISTA DE FIGURAS.....	xix
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xxi
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	4
2.1 LA COMBINACION DE ARBOLES CON PASTOS.....	4
2.2 EL ECOSISTEMA SILVOPASTORIL.....	5
2.2.1 Estructura.....	5
2.2.2 Principales efectos de los árboles en el suelo, la pastura, y los animales.....	5
2.3 EFECTOS DE LOS ARBOLES EN LAS CONDICIONES MICROAMBIENTALES Y EN LA PRODUCCION DE LAS PASTURAS.....	8
2.3.1 Disponibilidad de luz para las pasturas.....	8
2.3.1.1 Intensidad de luz y producción de biomasa de las pasturas.....	8
2.3.1.2 Intensidad de luz y calidad del forraje pro- ducido	10
2.3.2 Disponibilidad de nutrientes para las pasturas.....	13
2.3.3 Disponibilidad de agua para las pasturas.....	14
2.4 EL MATERIAL BIOLÓGICO EN ESTUDIO.....	16
2.4.1 <u>Erythrina poeppigiana</u> (Walpers) O. F. Cook.....	16
2.4.2 <u>Cordia alliodora</u> (Ruiz y Pavón) Oken.....	17
2.4.3 <u>Cynodon plectostachyus</u> (K. Schum) Pielger.....	18
2.5 RESUMEN E INTERPRETACION DE LA INFORMACION BIBLIOGRAFICA.....	19
3. MATERIALES Y METODOS.....	20
3.1 AREA DE ESTUDIO.....	20
3.1.1 Localización.....	20
3.1.2 Suelos.....	20
3.1.3 Clima.....	20
3.1.4 Antecedentes del experimento.....	22
3.2 MANEJO DE LAS PASTURAS Y LOS ARBOLES DURANTE EL PRESENTE TRABAJO (1983).....	24
3.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO.....	24
3.3.1 Diseño de campo y tratamientos.....	24
3.3.2 Variables evaluadas.....	26
3.3.3 Ubicación de las muestras.....	27

3.4 MUESTREO Y METODOS UTILIZADOS PARA LA EVALUACION DE LAS VARIABLES.....	27
3.4.1 Ingreso de radiación solar en las pasturas.....	27
3.4.2 Humedad gravimétrica y tensión de agua del suelo (0-10 cm).....	29
3.4.3 Contenido de nutrientes, materia orgánica, pH y densidad aparente del suelo (0-10 cm).....	30
3.4.4 Estimación del aporte y remoción de nutrientes por los árboles.....	31
3.4.5 Producción de biomasa de las pasturas.....	31
3.4.6 Proteína cruda y digestibilidad <u>in vitro</u> de las pasturas.....	32
3.4.7 Podas de <u>Erythrina</u>	33
3.4.8 Análisis de los datos.....	33
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	35
4.1 VARIABLES MICROAMBIENTALES.....	35
4.1.1 Ingreso de radiación solar (RS).....	35
4.1.2 Características del suelo.....	39
4.1.2.1 pH, Materia orgánica y nutrientes del suelo (0-10 cm).....	39
4.1.2.2 Densidad aparente de los suelos.....	42
4.1.3 Agua en el suelo (0-10 cm): humedad gravimétrica y tensión de agua.....	42
4.1.4 Estimación del aporte y remoción de nutrientes por los árboles.....	46
4.2 PRODUCCION DE LAS PASTURAS.....	50
4.2.1 Producción de biomasa de las pasturas.....	50
4.2.1.1 Producción de biomasa (MS) de la pastura asociada a <u>Cordia alliodora</u>	51
4.2.1.2 Producción de biomasa (MS) de la pastura asociada a <u>Erythrina poeppigiana</u>	55
4.2.1.3 Producción de biomasa (MS) de la pastura sin árboles.....	55
4.2.1.4 Análisis comparado de la producción de biomasa de las pasturas.....	55
4.2.2 Contenido de proteína cruda y digestibilidad <u>in vitro</u> de las pasturas.....	68
4.2.2.1 Contenido de proteína cruda (%PC) de las pasturas.....	68
4.2.2.2 Digestibilidad <u>in vitro</u> de las pasturas.....	71

4.2.3 Producción de proteína cruda de las pasturas.....	72
4.3 EFECTO DE LA DISTANCIA A LOS ARBOLES.....	76
4.3.1 Efecto de la distancia a los árboles de <u>Cordia alliodora</u>	76
4.3.1.1 Efecto sobre las variables microambientales.....	76
4.3.1.2 Efecto sobre las pasturas.....	77
4.3.1.2.1 Efecto en la producción de biomasa de la pastura (MS).....	77
4.3.1.2.2 Efecto en el contenido de proteína cruda (% PC), en la producción de proteína cruda, y en la digestibilidad <u>in vitro</u> (% DIVMS).....	77
4.3.2 Efecto de la distancia a los árboles de <u>Erythrina poeppigiana</u>	79
4.3.2.1 Efecto sobre las variables microambientales.....	79
4.3.2.2 Efecto sobre la pastura.....	80
4.3.2.2.1 Efecto en la producción de biomasa de la pastura (MS).....	80
4.3.2.2.2 Efecto en el contenido de proteína cruda (% PC), en la producción de proteína cruda, y en la digestibilidad <u>in vitro</u> (% DIVMS).....	81
5. SINTESIS.....	83
6. CONCLUSIONES.....	86
7. RECOMENDACIONES.....	88
8. BIBLIOGRAFIA.....	89
9. APENDICE.....	96

"Producción comparada de una pastura de Cynodon plectostachyus asociada con árboles de Cordia alliodora, con árboles de Erythrina poeppigiana y sin árboles.

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de dos especies arbóreas funcionalmente diferentes, sobre los factores de producción de una pastura y su rendimiento. El trabajo fue desarrollado durante el año 1983 en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) de Turrialba, Costa Rica, en parcelas experimentales con pasturas de "Estrella" Cynodon plectostachyus, asociada con árboles maderables de Cordia alliodora, asociada con árboles leguminosos de Erythrina poeppigiana y sin árboles; comprendió la medición de la producción de biomasa (MS), proteína cruda (PC) y la digestibilidad in vitro (% DIVMS) de la pastura, separada en los componentes gramíneas y plantas herbáceas de hoja ancha; se midió la radiación solar (RS), los factores edáficos - agua, densidad aparente, nutrientes y pH - y se estimó el ciclado de nutrientes por los árboles. Se utilizó un diseño de parcelas al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones, y dentro de estas se tomaron submuestras ubicadas sistemáticamente. Los datos fueron tratados mediante análisis de varianza y prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$).

Las parcelas del experimento fueron establecidas en el año 1977; Cordia fue aprovechado mediante raleos, y al iniciar el presente estudio tenía una densidad equivalente a 260 árboles/ha. Erythrina se plantó a 6 x 6, equivalente a 280 árboles/ha, y semestralmente se podó en forma intensa y se dejaron las hojas como abono verde. La pastura fue manejada como pasto de corte; durante el estudio se cortó y cosechó el material producido en un período de 5 meses y luego se practicaron 4 cosechas más en períodos de 54 ± 3 días; no se aplicaron fertilizantes, herbicidas ni insecticidas.

El experimento se desarrolló en las condiciones del trópico húmedo de Turrialba, en un año ligeramente seco; los registros para 1983 en la estación CATIE fueron 2 395 mm de precipitación con dos meses secos (febrero y abril), 1 280 mm de evaporación (Tanque A), 22.4°C de temperatura media, y 431 cal/cm²/día de radiación solar.

La radiación solar bajo las dos plantaciones tuvo una magnitud similar, próxima al 60% del testigo sin sombra; en Cordia tuvo un máximo de 80% RS en la época caducifolia (abril) y luego se mantuvo alrededor del 55%, en cambio en Erythrina la RS es prácticamente 100% al momento de la poda y descendió a 25-30% a los 6 meses. La humedad del suelo (0-10 cm) se mantuvo en capacidad de campo durante los meses lluviosos y en abril hubo deficiencias severas en las pasturas sin árboles y en la pastura asociada a Cordia, mientras que fue muy leve en las pasturas con Erythrina, que en ese momento presentaban un dosel bien desarrollado. La estimación de los nutrientes aportados con las hojas de Erythrina - poda y caída natural - indicó 186 kg N/ha/año, 12 kg P y 64 kg K, mientras que el aporte desde Cordia fue de 64 kg N, 6 kg P y 29 kg K; un análisis del contenido de nutrientes en el suelo (0-10 cm) no mostró tendencias entre los diferentes tratamientos y no se hallaron diferencias en la densidad aparente de los suelos.

Las modificaciones de las características microambientales debido a la presencia de los árboles, se manifestaron en todas las variables evaluadas en la pastura y los valores fueron los siguientes:

	Pastura/Cordia	Pastura/Erythrina	Pastura sin árboles
Producción de biomasa kg MS/ha/año	5 090 ^b	10 420 ^a	5 931 ^b
Proporción de gramíneas en la biomasa anual (%)	80	90	44
% PC gramíneas	7,9	10,1	7,7
% PC Pl. H. Ancha	14,4	15,5	13,8
% DIVMS gramíneas	47,3	46,9	45,1
% DIVMS P. H. Ancha	56,7	59,4	44,4
Producción de PC kg/ha/año	468 ^c	1 113 ^a	656 ^b

La mayor producción de biomasa de la pastura asociada a Erythrina (significativa) se relaciona con los nutrientes aportados con las hojas de los árboles, y su mayor % PC se relaciona con dicho aporte y con la atenuación de la radiación solar. La mayor producción de PC de la pastura sin árboles con respecto a la pastura asociada a Cordia, se deben a la alta proporción de plantas de hoja ancha que invadieron esta pastura.

Los resultados obtenidos en la pastura asociada a la leguminosa arbórea Erythrina poeppigiana son promisorias; además, la posibilidad de utilizar las hojas y tallos tiernos como un suplemento de forraje, permiten disponer de una técnica sencilla y económica para incrementar sensiblemente la producción de forrajes en las zonas tropicales húmedas. El rendimiento de la pastura asociada a Cordia alliodora fue el más bajo (significativo) y una evaluación del sistema requiere la cuantificación del componente arbóreo.

"Comparative production of Cynodon plectostachyus pasture associated with Cordia alliodora trees, with Erythrina poeppigiana trees and without trees".

SUMMARY

The main objective of this study was the evaluation of the effect of two functionally different tree species on the factors affecting production of a pasture and on its yield. The experimental work was carried out during 1983 in the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) in Turrialba, Costa Rica. Experimental plots of "Giant star grass" Cynodon plectostachyus pasture associated with the timber tree Cordia alliodora, with the periodically pollarded leguminous tree Erythrina poeppigiana and without trees (control) were investigated the biomass production in terms of dry weight (DW), crude protein (CP), and in vitro digestibility of dry matter (% IVDDM) of the grasses and broadleaf herb components of the pasture were measured. Moisture content, bulk density, nutrient status and pH of the soil and solar radiation (SR), were also measured. The rate of nutrient cycling by the trees was estimated. A completely randomized design with 3 treatments and 4 repetitions was used. Within the plots, sub-samples were taken at systematically located points. The data was processed through analysis of variance and Tukey range multiple test ($P < 0,05$).

The plots were established in 1977. The Cordia trees had been thinned so that by the beginning of the experiment there remained an equivalent of 260 stems/ha. The Erythrina trees were planted at a spacing of 6 x 6 m, giving a density equivalent to 280 stems/ha. All the Erythrina were heavily pollarded every 6 months, the leaves being left on the ground to serve as green manure. The pasture was managed under a mowing regime with all of the cut grass being removed. Five months after the initiation of the experiment, all herbage was cut and harvested. Thereafter four harvests took place at an interval of $54 \pm$ days. No fertilizers, herbicides nor insecticides were applied.

The experiment was carried out in the humid tropical climate of Turrialba in a slightly drier than usual year. Data from the CATIE meteorological station indicate for 1983, a total precipitation of 2 395 mm with two dry months (February and April), evaporation (Tank A) of 1 280 mm, mean temperature of 22.4°C and mean solar radiation of 431 cal/cm²/day.

The mean annual solar radiation (SR) measured under both tree species was found to be about 60% of that measured in the unshaded control. Under Cordia trees, SR intensity reached a maximum of 80% in comparison with the unshaded control in April, during the dry season, when leaf loss is most intense. During the remainder of the year the SR was about 55% of the control. In contrast, Erythrina recently pollarded, SR was practically 100%, decreasing to 25-30% at the end of 6 months when branches were fully grown. The soil moisture content was above field capacity during the rainy months for all treatments, but in April a severe water deficit developed in the pastures under Cordia and in the unshaded control, while only a slight water deficit was found in the pasture under Erythrina, which had a well developed canopy at the time. An estimate of the nutrients supplied by naturally falling leaves and pollarded branches of Erythrina gave an supply of 186 kg N/ha/year, 92 kg P, and 64 kg K, while fallen Cordia leaves were estimated to supply 64 kg N/ha/year, 6 kg P and 29 kg K to the pasture. Nutrient analysis of soil samples taken from the 3 treatments did not show any marked differences or trends among them.

The changes in the micro-environment brought about by the trees were reflected in the different values found for the pasture variables:

	Pasture/Cordia	Pasture/Erythrina	Pasture without trees
Biomass production kg DW/ha/year	5 090 ^b	10 420 ^a	5 931 ^b
Proportion of grasses in 1 year's biomass	80	90	44
% CP of grasses	7.9	10.1	7.7
% CP of broadleaves	14.4	15.5	13.8
% IVDDM grasses	47.3	46.9	45.1
% IVDDM broadleaves	56.7	59.4	44.4
CP production kg/ha/year	468 ^c	1 113 ^a	656 ^b

The significant production of the pasture associated with Erythrina is attributed to the nutrients supplied by the leaves, while the greater % CP is thought to be due to the leaf nutrient supply along with decreased solar radiation. In the pasture without trees, the greater production of CP as compared to that of the pasture in association with Cordia is due to the large proportion of broadleaf plants which invaded the control pastures.

The results obtained from the pasture associated with the leguminous tree Erythrina poeppigiana are even more attractive because of the possible addition use of the leaves and young shoots for forage supplement. Although the yield of the pasture associated with Cordia alliodora was the lowest (significant) of the 3 treatments, a careful evaluation of this system would require an economic quantification of the tree component.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° En el texto		Página
1	Producción y composición química de <u>Lolium perenne</u> para diferentes intensidades de luz y temperatura, según Deinum (35).....	12
2	Porcentaje de saturación por bases en los suelos (0-10 cm) de la pastura asociada a <u>Cordia alliodora</u> , de la asociada a <u>Erythrina poeppigiana</u> y de la pastura sin árboles.....	40
3	Análisis químico de los suelos (0-10 cm) de la pastura asociada a <u>Cordia alliodora</u> , de la asociada a <u>Erythrina poeppigiana</u> y de la pastura sin árboles.....	41
4	Densidad aparente (D.A.) del suelo (0-10 cm) de la pastura asociada a <u>Cordia alliodora</u> , de la asociada a <u>Erythrina poeppigiana</u> y de la pastura sin árboles. D. A. en gr/cm ³	42
5	% humedad gravimétrica y tensión de agua del suelo (0-10 cm) de la pastura asociada a <u>Cordia alliodora</u>	43
6	% de humedad gravimétrica y tensión de agua (0-10 cm) de la pastura asociada a <u>Erythrina poeppigiana</u>	44
7	% humedad gravimétrica y tensión de agua (0-10 cm) de la pastura sin árboles.....	45
8	Producción anual de la pastura asociada a <u>Cordia alliodora</u> en las diferentes repeticiones kg MS/ha/año.....	52
9	Producción anual de las gramíneas y plantas de hoja ancha de la pastura asociada a <u>Cordia alliodora</u> . kg MS/ha/año.....	52
10	Producción de la pastura asociada a <u>Cordia alliodora</u> durante los diferentes períodos del año. kg MS/ha/día..	53
11	Producción anual de la pastura asociada a <u>Erythrina poeppigiana</u> en las diferentes repeticiones. kg MS/ha/año	56
12	Producción anual de las gramíneas y plantas de hoja ancha de la pastura asociada a <u>Erythrina poeppigiana</u> . kg MS/ha/año.....	56

Cuadro N°		Página
13	Producción de la pastura asociada a <u>Erythrina poeppigiana</u> durante los diferentes períodos del año. kg MS/ha/día.....	57
14	Producción anual de la pastura sin árboles en las diferentes repeticiones. kg MS/ha/año.....	59
15	Producción anual de las gramíneas y plantas de hoja ancha de la pastura sin árboles. kg MS/ha/año.....	59
16	Producción de la pastura sin árboles durante los diferentes períodos del año. kg MS/ha/día.....	60
17	Producción anual de biomasa de la pastura asociada a <u>Cordia alliodora</u> , de la asociada a <u>Erythrina poeppigiana</u> , y de la pastura sin árboles. kg MS/ha/año....	62
18	Producción de biomasa de la pastura asociada a <u>Cordia alliodora</u> , de la asociada a <u>Erythrina poeppigiana</u> , y de la pastura sin árboles, durante cada período. kg MS/ha/período.....	67
19	Contenido de proteína cruda (% PC) de los componentes gramíneas y plantas de hoja ancha de la pastura asociada a <u>Cordia alliodora</u> , de la asociada a <u>Erythrina poeppigiana</u> y de la pastura sin árboles, durante el período de nivelación (146 días).....	69
20	Contenido de proteína cruda (PC%) de los componentes gramíneas y plantas de hoja ancha de la pastura asociada a <u>Cordia alliodora</u> , de la asociada a <u>Erythrina poeppigiana</u> y de la pastura sin árboles, durante el 2°, 3°, 4° y 5° períodos (54 + 3 días).....	70
21	Digestibilidad <u>in vitro</u> (%) de las gramíneas y de las plantas de hoja ancha de la pastura asociada a <u>Cordia alliodora</u> , de la asociada a <u>Erythrina poeppigiana</u> y de la pastura sin árboles.....	72
22	Producción de proteína cruda de la pastura asociada a <u>Cordia alliodora</u> , de la asociada a <u>Erythrina poeppigiana</u> y de la pastura sin árboles, durante cada período y en la cosecha anual. kg PC/ha.....	75
23	Producción de biomasa (MS), % PC, y producción de PC de los sitios a 1,0 m y a 3,6 m de distancia a los árboles de <u>Cordia alliodora</u>	78

Cuadro N°		Página
24	Producción de biomasa (MS), % PC, y producción de PC de los sitios a 1,0 m y a 3,6 m de distancia a los árboles de <u>Erythrina poeppigiana</u>	82
En el apéndice		
1A	Resumen de datos meteorológicos.....	97
2A	Balance hídrico para Turrialba según datos del período 1942-1982.....	98
3A	Resumen de datos meteorológicos año 1983.....	99
4A	Alcohol destilado por radiómetros Gunn-Bellani bajo sombra de <u>Cordia alliodora</u> y testigo sin sombra. Promedios decádicos expresados en ml/día, de observaciones realizadas entre el 16 de julio y el 12 de diciembre de 1983.....	100
5A	Alcohol destilado por radiómetro Gunn-Bellani bajo sombra de <u>Erythrina poeppigiana</u> y testigo sin sombra. Promedios decádicos expresados en ml/día, de observaciones realizadas entre el 16 de julio y el 12 de diciembre de 1983.....	101
6A	Retención de agua en el suelo (0-10 cm) a 6 tensiones de succión (valores para la curva de humedad gravimétrica - tensión de agua).....	102
7A	Estimación de la producción de biomasa (MS) y contenido de nutrientes (%) de los árboles de <u>Erythrina poeppigiana</u> y <u>Cordia alliodora</u>	103
8A	Aporte de nutrientes por los árboles de <u>Cordia alliodora</u> y <u>Erythrina poeppigiana</u> durante cada período de producción.....	104
9A	Luz fotosintéticamente activa registrada en pasturas bajo sombra de <u>Cordia alliodora</u> , bajo sombra de <u>Erythrina poeppigiana</u> y en el testigo sin árboles. Datos expresados en unidades cuánticas y en porcentaje del testigo.....	105

LISTA DE FIGURAS

Figura N° En el texto		Página
1	Diagrama simplificado de un sistema silvopastoril.....	6
2	Efecto del sombreado en la producción de tres gramíneas tropicales con dos niveles de fertilización nitrogenada N= 365 y N= 0. Según Eriksen y Whitney (41).....	9
3	Climograma del CATIE.....	21
4	Plano general (sin escala) del experimento central de plantas perennes. 1977. La Montaña, CATIE, Turrialba.	25
5	Ubicación de los sitios de muestreo en la parcela N° 25 con árboles de <u>Erythrina</u> . Proyección tentativa del follaje a 3-4 meses de la poda.....	28
6	Ingreso de radiación solar (%) en parcelas de pasto con <u>Cordia alliodora</u> y en parcelas de pasto con <u>Erythrina poeppigiana</u>	
7	Ingreso de radiación solar (%) a 1,0 m y a 3,6 m de los árboles en parcelas de <u>Cordia alliodora</u> con pasto.....	37
8	Ingreso de radiación solar (%) a 1,0 m y a 3,6 m de los árboles en parcelas de <u>Erythrina poeppigiana</u> con pasto .	38
9	Producción de materia seca y ciclado de nutrientes N-P-K por los árboles de <u>Cordia alliodora</u>	48
10	Producción de materia seca y ciclado de nutrientes N-P-K por los árboles de <u>Erythrina poeppigiana</u>	49
11	Producción de biomasa de pasturas de "Estrella", <u>Cynodon plectostachyus</u> asociado con árboles de <u>Cordia alliodora</u> , en las diferentes cosechas durante el año 1983.....	54
12	Producción de biomasa de pasturas de "Estrella", <u>Cynodon plectostachyus</u> asociado con árboles de <u>Erythrina poeppigiana</u> en las diferentes cosechas durante 1983.....	58
13	Producción de biomasa de pasturas de "Estrella", <u>Cynodon plectostachyus</u> sin árboles de sombra, en las diferentes cosechas durante 1983.....	61

Figura N°		Página
14	Producción de biomasa de las pasturas en los diferentes períodos del año. (C: Pastura/ <u>Cordia alliodora</u> ; E: Pastura/ <u>Erythrina poeppigiana</u> ; S: Pastura sin árboles).	66
15	Producción de proteína cruda de las pasturas en los diferentes períodos del año. (C: pastura/ <u>Cordia alliodora</u> ; E: pastura/ <u>Erythrina poeppigiana</u> ; S: pastura sin árboles).	74

En el apendice

1A	Curva de retención de la humedad del suelo. Obtenida de parcelas de pasto asociado a <u>Cordia alliodora</u>	106
2A	Curva de retención de la humedad del suelo. Obtenida de parcelas de pasto asociado a <u>Erythrina poeppigiana</u> ..	107
3A	Curva de retención de la humedad del suelo. Obtenida de parcelas de pasto sin árboles.....	108
4A	Distribución mensual de la caída natural de hojas y ramas de los árboles de <u>Cordia alliodora</u> . (Estimación según datos de Alpizar <u>et al</u> (4).....	109
5A	Distribución mensual de la caída natural de hojas de los árboles de <u>Erythrina poeppigiana</u> . (Estimación según datos de Alpizar, <u>et al</u> (4) y Russo (83) para árboles podados semestralmente).....	110

LISTA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	léase...
cc	centímetro cúbico
C ₄	tipo metabólico carbono cuatro
CV(%)	Coefficiente de variación expresado en porciento
DAP	Diámetro a la altura del pecho
%DIVMS	Digestibilidad <u>in vitro</u> de la materia seca expresada en porciento
ETP	Evapotranspiración potencial
EV	Evaporación
MS	Materia seca
msnm	Metros sobre el nivel del mar
Ly	Langley = caloría/cm ²
PC	Proteína cruda
PP	Precipitación (lluvia)
PRM Tukey	Prueba de rango múltiple de Tukey
RS	Radiación solar
T°C	Temperatura en grados centígrados
N,P,K, etc.	Símbolos químicos, idem tabla periódica
m, kg, ton, etc.	Unidades básicas, según Sistema Internacional de Unidades (SI) ^{1/}

^{1/} Publicado en: TURRIALBA (Costa Rica) 31(2):100, 120, 128. 1981.

1. INTRODUCCION

La incorporación de tierras de bosques a la actividad agropecuaria, especialmente a la ganadería, ocurre en extensas regiones en latinoamerica y responde a la necesidad de producir mayores cantidades de alimentos para una población creciente.

El procedimiento de eliminar la masa forestal para estimular la producción de las forrajeras herbáceas produce rendimientos iniciales sorprendentemente altos, basados en la acumulación de materia orgánica y nutrientes en los suelos forestales. El mantenimiento posterior de la productividad logrado en muchos casos en base a la utilización masiva de insumos agrícolas, coloca en situación de riesgo la rentabilidad de la empresa ganadera.

La combinación de pasturas con árboles, debidamente manejados y aprovechados para la producción de madera, leña, frutos o forraje, constituye una alternativa racional para aumentar la producción de una manera económica, basada en un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles en el suelo y en el espacio. No obstante ello, la presencia de árboles genera cambios en el tipo y magnitud de los productos cosechables del sistema, cuya conveniencia es decisiva para la adopción de esta tecnología. El cambio operado en el rendimiento de las pasturas es frecuentemente el factor decisivo para el productor ganadero, y para el diseño de sistemas silvopastoriles apropiados a las condiciones del ambiente y a las necesidades del productor, es de capital importancia poseer conocimientos sobre el efecto de los árboles en los factores de producción de las pasturas.

El efecto de los árboles difiere según las especies seleccionadas y manejo aplicado, y se proponen como objetivos del presente trabajo, determinar el rendimiento de una pastura y los cambios en las condiciones microambientales que lo explican, en combinaciones con dos especies arbóreas biológica y culturalmente diferentes, utilizando como comparador la pastura sin árboles.

Las especies seleccionadas se encuentran frecuentemente en los sistemas de producción del trópico americano; Cordia alliodora, es una especie maderable de rápido crecimiento y Erythrina poeppigiana, es una leguminosa arbórea fijadora de nitrógeno, que podada periódicamente aporta al suelo

sustanciales cantidades de materia orgánica rica en nitrógeno. La pastura, Cynodon plectostachyus, "pasto estrella africana" es una gramínea naturalizada de alto potencial productivo.

Los resultados de este experimento permitirán disponer de información representativa de dos estrategias biológicas comunes en el trópico húmedo y serán útiles para evaluar la aplicabilidad de algunas combinaciones silvopastoriles; sugieren por otra parte, la necesidad de ampliar la experimentación a otras especies y condiciones ambientales.

Hipótesis

La hipótesis general que anima este trabajo arguye que en los trópicos húmedos, donde con frecuencia los nutrientes se hallan en condiciones deficitarias, un mejor ciclado via árboles fijadores de nitrógeno mejorará las condiciones de fertilidad del suelo; por otra parte, la sombra de los árboles de E. poeppigiana regulada por la poda no resultará un obstáculo para la producción de las pasturas asociadas, dado que la alta capacidad de utilización de luz de las gramíneas tropicales sólo se manifestaría con la aplicación de altas dosis de fertilizantes. A su vez, debido a que altas intensidades de radiación solar afectan el metabolismo celular, se espera un mayor contenido de proteína en las pasturas con Erythrina, por un efecto conjunto de la sombra y el aporte de nitrógeno. En la pastura asociada a Cordia alliodora no se espera una deficiencia de luz debido a la escasa intercepción por estos árboles; sin embargo, el aporte de nutrientes con las hojas que caen es menor que el mencionado para Erythrina y la acumulación en los tallos tiende a ser mayor dado que se busca una producción maderable; por lo tanto, es esperable una menor producción que en las pasturas asociadas a E. poeppigiana y tentativamente se postula un rendimiento igual que en las pasturas sin árboles. El beneficio de C. alliodora en términos de madera producida escapa a los objetivos del presente trabajo.

La hipótesis de trabajo establecidas para las variables referidas al rendimiento (medido como producción de proteína cruda en kg/ha/año), se formulan del siguiente modo:

1. El rendimiento de la pastura asociada a Erythrina poeppigiana es mayor que en la pastura asociada a Cordia alliodora, y que en la pastura sin árboles.
2. El rendimiento de la pastura asociada a Cordia alliodora no difiere con el de la pastura sin árboles.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 LA COMBINACION DE ARBOLES CON PASTOS

La combinación de árboles con pastos organizada como sistema de producción, constituye una técnica utilizada desde hace mucho tiempo. Actualmente está difundida en casi todos los continentes, especialmente en las regiones tropicales y subtropicales, donde es practicada bajo diferentes condiciones sociales y escalas de producción (52, 56, 60, 88).

Estos sistemas de producción son denominados silvopastoriles y constituyen una de las numerosas técnicas de interés para la ciencia agroforestal, disciplina científica referida a la investigación y desarrollo de un conjunto de técnicas de manejo de la tierra, que de acuerdo a Combe y Budowski (31) implican la combinación de árboles con cultivos, con ganado, o con ambos, desarrollados en forma simultánea o secuencial y tienen como objetivo optimizar la producción. Según estos, y otros autores también, las diferentes combinaciones agroforestales surgen como una alternativa racional del uso de la tierra ante la necesidad de aumentar la producción biológica por unidad de área, mantener la capacidad productiva con bajos costos económicos, y como un medio para diversificar la cosecha (13, 25, 31, 81, 83).

Los árboles en los sistemas silvopastoriles además de su función como sombra y abrigo para el ganado, son seleccionados por su valor maderable (12), para la producción de leña (86), como árboles forrajeros (91, 92), para la alimentación humana (86, 89), o como mejoradores del suelo (1, 8, 13, 82) y en ocasiones son preferidos porque cumplen más de una función, inclusive porque son estéticamente agradables y valiosos para la vida silvestre (25, 62, 82).

Las dos especies arbóreas utilizadas en el experimento, son representativas de sistemas silvopastoriles que siguen dos vías diferentes para alcanzar el objetivo de producción alta y sostenida. La asociación de una pastura

con Cordia alliodora simboliza una alternativa por la vía de diversificación de la cosecha, en este caso mediante un árbol maderable de crecimiento rápido y alto valor comercial (26, 55, 93); en cambio, con Erythrina poeppigiana se ha representado una combinación que tiende a maximizar la producción de forraje, mediante un árbol que mejora el suelo (13, 26, 33, 82) y que además produce hojas y tallos tiernos comestibles de alto valor nutritivo para el ganado (15, 16, 26, 82, 83). Esta segunda alternativa guarda cierta afinidad de objetivos con las praderas asociadas de gramíneas y leguminosas herbáceas, que han resultado exitosas especialmente en las zonas templadas (53).

2.2 EL ECOSISTEMA SILVOPASTORIL

2.2.1 Estructura

En la figura 1 se diagrama en forma simplificada un sistema silvopastoril, realizado en base a descripciones de diversos autores (12, 13, 24, 34, 49, 62, 77, 81, 87).

Las entradas al sistema están representadas por ingresos naturales desde la atmósfera y desde el material parental del suelo, y por subsidios realizados por el productor agropecuario. Los componentes susceptibles de manejo son básicamente el microclima, el suelo, la pastura, los animales y los árboles. Las salidas del sistema están referidas a los productos cosechables, a beneficios intangibles, y a pérdidas de energía y materiales.

En los sistemas silvopastoriles los árboles pueden representar unos pocos ejemplares en cada potrero, hasta densidades de más de mil árboles por hectárea (15, 23); pueden ser seleccionados mediante el raleo de bosques naturales (24, 26, 67, 68, 69, 76), por manejo de la regeneración natural (24, 26), o haber sido especialmente plantados; dentro de los potreros, o alineados en cercas vivas y barreras cortavientos (12, 13, 24, 26, 76, 95).

2.2.2 Principales efectos de los árboles en el suelo, la pastura, y los animales

La presencia de los árboles en los sistemas silvopastoriles genera una serie de interacciones con el suelo, la pastura y los animales, cuyos efectos dependen principalmente de las especies seleccionadas, de su arreglo

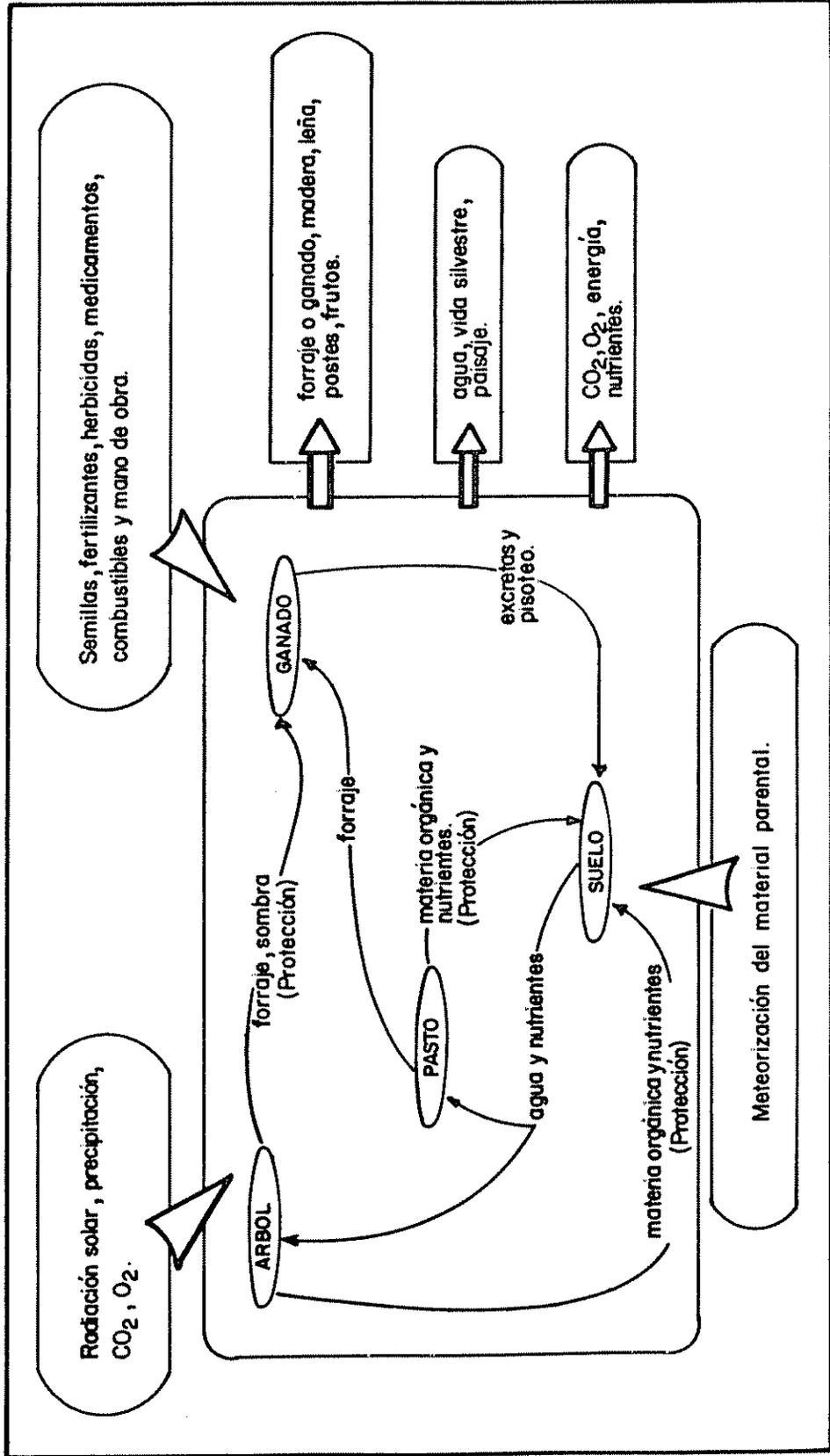


Figura 1. Diagrama simplificado de un sistema silvopastoril.

espacial y del manejo aplicado, dentro de un marco ambiental determinado. Los árboles modifican el balance energético, hídrico y de nutrientes del sistema, y esto se refleja en su producción total y en el rendimiento de la pastura y de los animales. Los principales efectos pueden resumirse en los siguientes:

a. Efectos de los árboles en el suelo: se manifiestan en el ciclado de nutrientes, en la estructura, y en el balance hídrico del suelo.

b. Efectos de la sombra de los árboles en la pastura: la atenuación de la radiación solar influye en la producción de biomasa, en la calidad del forraje, en el consumo de agua de la pastura, y en la distribución raíz/fo-llaje de la biomasa; estos efectos dependen a su vez del estado de las variables edáficas.

En el apartado 2.3 se discuten los efectos mencionados en a y b.

c. Efectos de la sombra en el ganado: se relacionan con el balance térmico de los animales. En ganado vacuno, altas temperaturas corporales provocan un menor consumo de forrajes (34), baja fertilidad, menor producción de carne y leche, y afectan la resistencia a ciertas enfermedades (61, 80). Por otra parte, si los árboles son escasos y no están bien distribuidos, inducen a los animales a concentrarse bajo ellos, y de este modo compactan el suelo y pueden afectar la cobertura herbácea y dar origen a focos de erosión (24, 26); además afectan la distribución de las excretas.

d. Forraje de los árboles para el ganado: si los árboles han sido escogidos con este propósito, pueden suministrar forraje abundante y de alta calidad nutritiva; Erythrina poeppigiana podada periódicamente produce 1 a 2 ton/ha/año de proteína cruda, con una digestibilidad in vitro del 60% (15, 83); Leucaena sp. produce 1 a 4 ton/ha/año de proteína cruda (19). Si el forraje es consumido por animales en pastoreo, una alta proporción de sus nutrientes retornan al suelo con las excretas.

2.3 EFECTOS DE LOS ARBOLES EN LAS CONDICIONES MICROAMBIENTALES Y EN LA PRODUCCION DE LAS PASTURAS

En el presente experimento no se utilizaron animales, por lo tanto se excluyen sus efectos en el análisis que sigue.

2.3.1 Disponibilidad de luz para las pasturas

La cantidad de luz que ingresa a las pasturas que se desarrollan bajo los árboles depende de la densidad de la plantación, del diámetro de las copas de los árboles y de la frondosidad del dosel. Daccarett y Blydenstein (33) midieron la intercepción de luz en cuatro especies de diferente arquitectura foliar plantadas a igual densidad (60 árboles/ha aproximadamente), y hallaron una atenuación de la luz entre 6% y 56%. El ingreso de luz bajo los árboles caducifolios cambia durante el año, y el manejo mediante podas altera drásticamente la época y magnitud del ingreso de luz a las pasturas. Erythrina poeppigiana con podas totales cada 6 meses cambia el diámetro de su copa desde prácticamente 0 a 6 metros (83).

2.3.1.1 Intensidad de luz y producción de biomasa de las pasturas

Este efecto ha sido ampliamente estudiado, especialmente en condiciones de laboratorio. De acuerdo a tales estudios, la producción neta aumenta con la intensidad de luz hasta alcanzar un máximo, y después tiende a mantenerse constante o descender ligeramente (36, 57, 70, 74, 96, 97). La intensidad de luz a la cual se alcanza la máxima producción depende de la especie; las gramíneas tropicales, plantas de tipo metabólico Carbono 4, alcanzan su máximo potencial productivo con intensidades de luz tan altos como las registradas al mediodía con cielo despejado, en condiciones no limitativas de otros factores (57, 70, 71). Sin embargo, esta respuesta difiere muchas veces con la hallada en condiciones de campo, y es explicada por una interacción entre los factores luz, nutrientes y agua disponibles. Eriksen y Whitney (41) estudiaron la respuesta de varias gramíneas tropicales en condiciones de campo

controladas, y encontraron una producción máxima entre 70% y 100% de luz en los tratamientos fertilizados (360 kg N/ha/año), en cambio, la máxima producción se situó entre 25% y 45% de luz en los que se eliminó la fertilización nitrogenada. La producción promedio en los no fertilizados fue menor, como se observa en la Fig. 2. Estos autores explican que en condiciones nutricionales deficitarias, altas intensidades de luz provocan una destrucción de la clorofila a una tasa más alta de la que resulta respuesta, y en consecuencia la fotosíntesis neta disminuye.

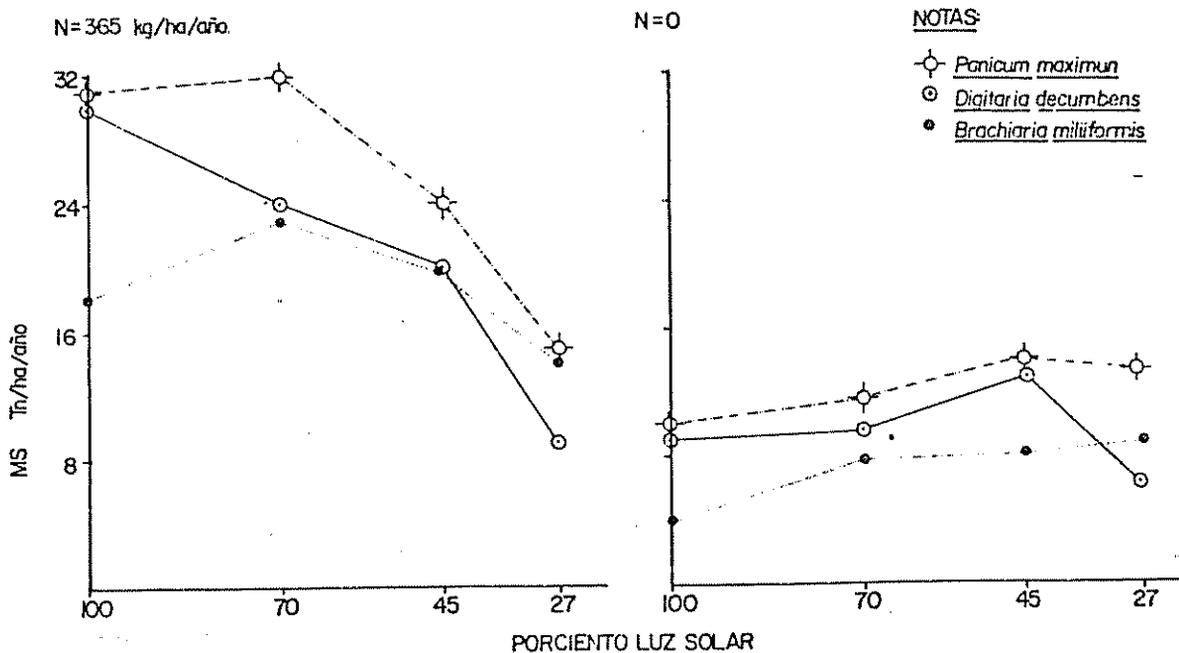


Fig. 2

Efecto del sombreado en la producción de tres gramíneas tropicales con dos niveles de fertilización nitrogenada: N=365 y N=0. Según Eriksen y Whitney (41).

En trabajos de campo y en sistemas de producción es muy frecuente hallar condiciones limitativas por agua y/o nutrientes; esto justifica la discrepancia entre los reportes de varios autores. Daccaret y Blydenstein (33) midieron la producción de pasturas asociadas a 4 especies arbóreas y no encontraron diferencias significativas entre ellas ni con el testigo no sombreado; Anderson (7) en pasturas asociadas con 3 especies de Eucaliptus, encontró mayor producción en las muestras más alejadas a los árboles y Jagoe (54) en cambio menciona incrementos en la producción de una pastura de Axonopus compressus asociada con árboles leguminosos de Enterolobium saman. En pasturas de leguminosas herbáceas se menciona que la producción decrece con el sombreado (18, 42).

2.3.1.2 Intensidad de luz y calidad del forraje producido

La intensidad de luz que recibe una pastura modifica la composición química del forraje, esto es, las cantidades relativas de sus componentes celulares (28, 35, 41, 74, 75). La composición química de un forraje determina su valor nutritivo y su palatabilidad, factores que a su vez afectan el consumo por los animales. Incrementos en el contenido de carbohidratos solubles aumentan la palatabilidad del forraje, mientras que el aumento de los carbohidratos estructurales y la menor cantidad de proteína cruda disminuyen su digestibilidad, también el consumo (63, 75), y pueden interpretarse como un desmejoramiento de su calidad.

Altas intensidades de luz se relacionan con incrementos de los carbohidratos solubles y disminución de la proteína cruda. Con intensidades de luz crecientes, y esto dentro de ciertos límites, la tasa fotosintética aumenta y con ello los carbohidratos solubles; la reducción de los nitratos celulares requiere de alta energía, y cuando la planta se halla sombreada o en la oscuridad, esta energía es tomada a partir de los carbohidratos solubles que son rápidamente metabolizados y en consecuencia disminuyen (14, 28, 35). Debido a que los componentes celulares están expresados en una relación porcentual, cambios en la magnitud de uno implican un cambio inverso del otro. La intensidad de luz también se relaciona con los carbohidratos estructurales; su aumento conduce a una menor elongación de los tallos lo cual implica menor contenido de tejidos estructurales; sin embargo, si la mayor intensidad de luz es acompañada por aumentos de temperatura, podría ocurrir que los

carbohidratos estructurales (fibras) se hallen aumentados a causa de la mayor tasa transpiratoria (35).

La sombra de los árboles al atenuar la intensidad de luz y la temperatura foliar de las plantas herbáceas, modifica apreciablemente los parámetros de calidad de los forrajes. El contenido de proteína cruda de las gramíneas tropicales, muchas veces en el límite de calidad para mantener un adecuado nivel de consumo y nutrición del ganado (53), se vió incrementado cuando las pasturas fueron asociadas con árboles de sombra, especialmente con leguminosas u otras con capacidad de fijar nitrógeno. Daccarett y Blydenstein (33) encontraron 8,4% de proteína cruda en una pastura mixta asociada a Erythrina poeppigiana (44% de luz) y 6.0% de proteína cruda en el testigo sin sombra. Venegas (95) encontró 10% de proteína cruda en el testigo (Pennisetum purpureum), 15% PC asociado con plantaciones jóvenes de Alnus jorullensis^{1/} y 20% PC asociado a las plantaciones más desarrolladas.

Deinum (35) en trabajos bajo condiciones controladas en invernadero, estudió la composición química en respuesta a cuatro niveles de luz y tres temperaturas, en Lolium perenne fertilizado. El efecto de ambas fue equivalente en cuanto al contenido de proteína cruda, aunque la causa no fue la misma. El incremento en la intensidad de la luz aumentó los carbohidratos solubles, y la temperatura los carbohidratos estructurales, como se aprecia en el Cuadro 1.

Eriksen y Whitney (41) hallaron las mismas tendencias relatadas por Deinum en lo referente al contenido de proteína cruda, en varias gramíneas tropicales. Cantliffe (28) también encontró incrementos en el contenido de proteína cruda en hojas de espinaca con el sombreado, y con la fertilización nitrogenada; concuerda con Deinum (35) en cuanto a que el aumento de la proteína cruda fue acompañado por aumentos en el contenido de nitratos y menciona que estos son tóxicos para la alimentación humana; aunque tal situación no resulta inconveniente para la alimentación de rumiantes (22), esto no debe dejar de considerarse si el forraje es suministrado a monogástricos.

1/ = Alnus acuminata H. B. K.

Cuadro 1. Producción y composición química de Lolium perenne para diferentes intensidades de luz y temperatura, según Deinum (35).

	MS g/pote	MS %	PC %	PC Dig %	NO ₃ % ³	FC %	CHS
Temperatura 25-20°C							
Luz alta intensidad	51,6	27,8	8,2	4,1	0,08	27,9	21,2
Luz normal	40,6	22,1	10,4	6,3	0,07	28,7	18,8
Baja intensidad	24,7	15,2	18,3	13,8	1,66	29,0	8,2
Temperatura 20-15°C							
Luz alta intensidad	38,7	23,9	8,8	4,8	0,09	23,3	26,7
Luz normal	37,2	19,7	11,9	7,7	0,09	26,8	21,2
Baja intensidad	21,0	12,7	20,1	15,6	2,60	27,9	7,9
Temperatura 15-10°C							
Luz alta intensidad	33,5	23,4	11,4	7,3	0,12	19,5	33,2
Luz normal	29,1	19,6	13,2	9,0	0,09	21,6	28,4
Baja intensidad	18,3	12,6	22,7	18,2	2,39	25,6	9,0

MS = Materia Seca. PC = Proteína Cruda. FC = Fibra Cruda.
 CHS = Carbohidratos Solubles NO₃ = Nitratos

2.3.2 Disponibilidad de nutrientes para las pasturas

El papel de los árboles en el ciclado de nutrientes ha sido estudiado en los bosques, y sus efectos se han tratado de imitar y mejorar en los sistemas agroforestales, mediante la selección y manejo de las especies arbóreas.

Los árboles exploran horizontes profundos del suelo, extraen nutrientes, y los retornan a la superficie con la caída natural de sus hojas, ramas, frutos, etc. (25, 73). En Ghana, Greenland y Kowal (46) mencionan para un bosque tropical virgen un aporte de hojarasca de 12, 5 ton/ha/año, con 199 kg de nitrógeno, 7 de fósforo, 68 de potasio y 206 de calcio; Lundgren (59) menciona como promedio para diferentes tipos de vegetación natural en el trópico, un aporte de hojarasca de 9 ton/ha/año con 134 kg Nitrógeno, 7 de fósforo, 53 de potasio y 111 de calcio. El abundante mantillo promueve la actividad de los macro y microorganismos del suelo, los cuales favorecen la descomposición y mineralización de la materia orgánica (44, 73, 74).

En los sistemas agroforestales con frecuencia se han elegido especies arbóreas que tienen la capacidad de fijar nitrógeno. Tales especies confieren un mayor contenido de este elemento a sus tejidos, especialmente al de sus hojas, las cuales llegarán posteriormente al suelo y constituirán un material orgánico enriquecido. El manejo de los árboles mediante podas intensas, práctica corriente en sistemas agroforestales, acelera el ciclado de nutrientes al limitar el crecimiento de los tallos y ramas y evitar que las hojas envejecan y trasloquen sus nutrientes a las estructuras de reserva (25, 44, 83).

Aranguren et al. (9) en Colombia, midieron el aporte de hojarasca y sus contenidos de nutrientes en un cafetal con sombra de Erythrina sp., Inga sp. y varias especies más; reportaron 11 ton MS/ha/año de hojarasca con 189 kg de nitrógeno. Russo (83) en CATIE midió la biomasa y los nutrientes aportados por los árboles de Erythrina poeppigiana manejados con podas anuales y semestrales (ver 2.4.1). Cuando los árboles están sujetos a un aprovechamiento maderable se busca un mayor crecimiento del fuste, y allí se retienen cantidades de nutrientes que serán exportados con la cosecha (3, 44). Detalles sobre la remoción y aporte de nutrientes por árboles de Erythrina poeppigiana y Cordia alliodora, se presentan en las figuras 9 y 10 calculados en base a datos de trabajos realizados en CATIE.

El efecto de diferentes niveles de fertilización en la producción de las pasturas es extensamente citado en la literatura (41, 47, 53, 64, 77, 78, 79), donde con frecuencia se menciona que los rendimientos se han duplicado con aplicaciones entre 200 y 300 kg de nitrógeno por ha/año. A pesar de que aún no se dispone de información rigurosa respecto a la eficiencia de la hojarasca como fertilizante, su aporte significa una economía en la aplicación de agroquímicos (1, 19, 25, 83) y explica los casos de mejor producción en las pasturas asociadas con árboles fijadores de nitrógeno (4, 54, 95).

2.3.3 Disponibilidad de agua para las pasturas

La interacción entre los árboles y las plantas del estrato inferior es compleja en lo referente al uso del agua, y un pronóstico del balance y de la disponibilidad para estas últimas parece un tanto arriesgado. Los árboles se constituyen en un factor de consumo de agua y al mismo tiempo de ahorro; se relatan estos aspectos.

El consumo de agua por los árboles puede implicar alguna competencia cuando estos tienen raíces superficiales, y es el caso de la mayoría de los árboles en las regiones tropicales húmedas (25, 66), aunque en tales condiciones el agua sólo llega a ser limitativa en los breves períodos secos. Daccarett y Blydenstein (33) en su experimento de pasturas con árboles en CATIE, encontraron más del 80% de las raíces de los árboles entre 10 y 20 cm de profundidad. Russo (83) también en CATIE, midió el sistema radical de *E. poeppigiana* y encontró que el pivote central alcanza 1,2 m de profundidad y las ramas laterales, superficiales, se extienden a 2,5 m y más aún. Además del consumo de agua por las raíces, el follaje intercepta la lluvia, de la cual parte se evapora sin llegar al suelo y la que escurre por las ramas tiende a concentrarse próxima a los tallos. El mantillo también intercepta y evapora el agua de lluvia, pero por otra parte disminuye la evaporación del agua del suelo y frena el escurrimiento superficial. Las pérdidas por evaporación desde el follaje son del orden del 10% y esta magnitud tiende a aumentar cuando ocurren lluvias de baja intensidad (44, 50); sin embargo, en los bosques nubosos el follaje actúa como condensador de agua (24). La materia orgánica agregada al suelo con el mantillo mejora la permeabilidad y los canales dejados por las raíces descompuestas facilitan el movimiento del agua en el suelo; la materia orgánica a su vez mejora la capacidad de retención de agua (25, 44, 73).

La atenuación de la radiación solar disminuye las pérdidas por evaporación desde el suelo. Además, las plantas sombreadas evapotranspiran menos y mejoran su eficiencia en el uso de agua (36, 57, 70, 96); altas intensidades de radiación solar se traducen en mayores incrementos de la tasa transpiratoria que de la tasa de asimilación neta. Medina (65) determinó en las gramíneas C_4 de las sabanas del trópico venezolano, índices de transpiración/producción de 1.400 litros/kg MS; menciona que son muy elevados y que son debidos a la intensa demanda evapotranspiratoria de la atmósfera local. Aún cuando la transpiración es un agente efectivo en la traslocación de los productos de la fotosíntesis y se correlaciona positivamente con la tasa de asimilación neta, cuando la tasa transpiratoria supera la tasa de absorción de agua del suelo se produce una deficiencia temporaria en los tejidos que reduce fuertemente la fotosíntesis (36, 57, 70, 96); esto puede ser crítico en tiempo seco. Venegas (95) relata que durante el período seco en Colombia, las pasturas de Pennisetum clandestinum no mostraron síntomas de deficiencia de agua bajo las plantaciones de Alnus, situación que si se presentó en iguales pasturas fuera de las plantaciones. Farnsworth y Male citados por Anderson (6) relatan que en pasturas bajo plantaciones de pino en Australia (250 árboles/ha y 900 mm de PP), mediciones realizadas durante varios años de la humedad del suelo en los primeros 10 cm de profundidad, arrojaron valores más altos bajo las plantaciones que en las pasturas fuera de ellas en la época seca, mientras lo contrario ocurrió en los períodos lluviosos. Bate et al (11) proponen en un modelo sobre el contenido de agua en los suelos de las sabanas africanas, que la profundidad de la capa de suelo seca fue mayor en los sitios abiertos que bajo los árboles, y esta situación se invertía en los momentos de lluvia.

Eriksen y Whitney (41) en su experimento con pasturas bajo sombra artificial suplementaron con riego, aplicando en el testigo no sombreado el doble de lo que se aplicó a la pastura más sombreada (27% luz), para compensar las diferencias evapotranspiratorias.

La respuesta de las plantas al agua ha sido extensamente relatada en la bibliografía botánica y agrícola. En experimentos con riego se ha determinado que para un crecimiento activo los potenciales hídricos del suelo deben mantenerse inferiores a 2 ó 3 bares, y el óptimo para diversas gramíneas se sitúa entre 0,3 y 1 bar (45, 48).

2.4 EL MATERIAL BIOLÓGICO EN ESTUDIO

2.4.1 Erythrina poeppigiana (Walpers) O. F. Cook

Características generales: Leguminosa arbórea perteneciente a la familia Papilionaceae; es originaria de Perú y se halla distribuida naturalmente en todo América tropical, preferentemente en zonas con lluvias abundantes. Se conoce con los nombres vulgares de "Poró" en Costa Rica, "bucare" en Venezuela, "Amasisa" en Perú y "Peñón" en Cuba, etc. Es de rápido crecimiento, pudiendo llegar a 20-30 metros a los 10 años (83). En condiciones naturales pierde sus hojas en la época seca, y se reproduce adecuadamente por semillas (20, 82, 83). Tiene capacidad de fijar nitrógeno mediante simbiosis con bacterias del género Rhizobium (83).

Uso: frecuentemente como árbol de sombra en cultivos, especialmente cafetales y cacaoales, donde es manejado mediante intensas podas periódicas para regular la sombra y aprovechar el material como abono verde (26, 32, 82). En los potreros es utilizado en asocio con pasto, y suele dejarse crecer libremente o bien es podado y suministrado como forraje a los animales; también se utiliza con frecuencia para la construcción de cercas vivas (13, 15, 82). Esta especie no es utilizada para leña ni para madera (83).

Producción: manejada mediante podas aporta sustanciales cantidades de biomasa y nutrientes. Russo (83) señala un aporte de biomasa de 23 ton MS/ha/año mediante una poda anual en plantaciones de 280 árboles/ha, que representaron 331 kg de nitrógeno, 32 de fósforo, 156 de potasio, 319 de calcio y 86 de magnesio, y con dos podas anuales los valores fueron respectivamente 14 ton MS/ha/año, 270 kg N, 21 de P, 150 de K, 126 de Ca y 51 kg de Mg, en ambos casos contabilizando las hojas caídas naturalmente durante el período entre podas. Utilizado como forraje, los animales comen las hojas, tallos tiernos y la corteza, cuyos contenidos de proteína cruda y digestibilidad son comparables a las leguminosas herbáceas (15, 16, 83). Benavides (15) señala un 31% de proteína cruda y 44% de digestibilidad in vitro para el limbo de las hojas, y 19% y 45% respectivamente para los tallos; señala además que en un ensayo para producción de forraje con E. poeppigiana plantado en altas densidades, asociado con Pennisetum purpureum "King Grass", obtuvo en la plantación de 3333 árboles/ha en tratamientos con podas cada 3 y 4 meses, 1 900

kg/ha/año de proteína cruda de E. poeppigiana más 1 700 kg PC/ha/año del pasto.

2.4.2 Cordia alliodora (Ruiz y Pavón) Oken

Características generales: especie arbórea de rápido crecimiento perteneciente a la familia Boraginaceae, nativa del trópico americano. Según Johnson y Morales (55), se halla distribuida desde los 25° de latitud norte en México, hasta los 25° altitud sur en Argentina^{1/}; la región óptima de desarrollo es el trópico húmedo y el trópico lluvioso (24° C y 2 000 a 5 000 mm de pp anual) aunque se encuentra también en zonas tropicales más secas y en zonas subtropicales. Se conoce con los nombres vulgares de "Laurel" en Costa Rica, "Nogal" en Colombia, "Bojón" en México y "Peterebi" en Paraguay y Argentina. Es un árbol pionero y raramente se encuentra en el bosque maduro; de porte alto, caducifolio, bota sus hojas durante todo el año y en la época seca las pierde totalmente (3, 5, 55). Su mayor actividad en Turrialba es de junio a diciembre (93), correspondiendo con el período más lluvioso. En condiciones naturales produce semillas que germinan perfectamente y la regeneración artificial es sencilla (55).

Usos: maderable de excelente calidad, resistente al comejen, y alto valor comercial (26, 55, 93). La principal aplicación es en ebanistería y además es utilizada para madera contrachapada y paneles; es apta para la fabricación de papel (27). Se cultiva en plantaciones puras y asociada a cultivos anuales y pasturas (26, 32, 93); su pequeña copa y follaje poco denso dejan pasar mucha luz (33).

Producción: en Costa Rica se reportan crecimientos del orden de 15 m³/ha/año (4, 26); diámetros (DAP) de 25 cm a los 10 años, 45-50 cm a los 20 años y más de 60 cm a los 30 años, con una altura de 35 metros (55). El aporte y recuperación de nutrientes fue estudiado por Alpízar et al (3, 4, 5) y sus valores se presentan en la Fig. 9.

^{1/} Johnson (55) considera que C. alliodora y la especie citada para Argentina C. trichotoma debiesen clasificarse como subespecies.

2.4.3 Cynodon plectostachyus (K. Schum) Pilger ^{1/}

Características generales: es una gramínea perenne, estolonífera y semierecta; es oriunda de África oriental y se ha naturalizado en América tropical; vulgarmente es denominada "pasto estrella africana". Produce abundantes semillas pero de baja fertilidad y es común que se propague vegetativamente; la resiembra se realiza habitualmente por estolones (18, 94). Es tolerante al calor, a la sequía, y se adapta a suelos ácidos y de baja fertilidad (17, 78). Es considerada una pastura de rápido crecimiento, de alto valor nutritivo y agresiva (17, 78, 94), no obstante suele enmalezarse (17, 21, 78). Responde muy bien a la fertilización nitrogenada (64, 77, 78, 79) y también al riego en zonas con largos períodos de sequía (17). Los intervalos largos entre cortes aumenta su producción de biomasa pero disminuyen pronuncialmente su calidad (77, 78, 94).

Uso: principalmente para pastoreo y ocasionalmente para corte; se cultiva sola o asociada con leguminosas (17, 78, 94). Bernal (17) en Colombia, recomienda la fertilización completa, encalado y fertilización nitrogenada o su mezcla con leguminosas, además del control de malezas.

Producción: sin fertilización se reportan valores desde 6 a 17 ton MS/ha/año (64, 79, 94), y con fertilización desde 20 (64) hasta 38 ton MS/ha/año (17). Rodríguez y Morillo (79) reportan 32 ton MS/ha/año aplicando 300 kg N/ha/año en cortes cada 56 días y Gutierrez Orellana (47) reporta también 32 ton, con pastoreo y aplicación de 240 kg N.

Calidad: la proteína cruda y la digestibilidad varían ampliamente con la edad al corte y la fertilización. Ulate Montero (94) reporta un contenido de proteína cruda de 24% en cortes de una semana a 10% en cortes de siete semanas, y una digestibilidad in vitro de 74% y 48% para las respectivas edades de corte. Rodríguez y Morillo (79) reportan un contenido de proteína cruda de 8% sin fertilización y de 11% con 600 kg N/ha/año, en cortes de 28 días.

^{1/} La especie establecida en este ensayo podría ser C. nlemfuensis; estas especies son confundidas con frecuencia a causa de su notable similitud.

2.5 RESUMEN E INTERPRETACION DE LA INFORMACION BIBLIOGRAFICA

Los sistemas silvopastoriles constituyen una técnica de producción ampliamente difundida, especialmente en las regiones tropicales y subtropicales. El árbol juega un papel de importancia en tales sistemas, brindando protección al ganado, como un recurso en si mismo - madera, leña, frutos, forraje - y como un factor que modifica los balances hídrico, energético y de nutrientes.

La producción biológica generalmente es mayor que en pasturas solas y puede explicarse por un mejor aprovechamiento del espacio vertical, tanto aéreo como subterráneo, lo cual supone una mayor captación de recursos materiales y de energía. No obstante, las pasturas reciben menores cantidades de luz y deben compartir con los árboles los recursos edáficos.

Las gramíneas tropicales tienen altos requerimientos en luz y alcanzan su máxima producción con las más altas intensidades de radiación disponibles, pero bajo la condición que los otros factores, especialmente nutrientes y agua, no se hallen en condiciones limitativas. Los árboles consumen agua pero a la vez promueven una utilización más económica por la pastura, habiéndose obtenido resultados variables sobre la cantidad de agua en la capa de suelo explorado por las raíces de las gramíneas. En sistemas con escasa aplicación de fertilizantes, hecho frecuente en la producción pecuaria en Latinoamérica, la presencia de los árboles, particularmente aquellos con capacidad de fijar nitrógeno, condiciona un ambiente equilibrado en cuanto a la cantidad de luz y nutrientes disponibles, que se ha traducido en una producción tan o más alta que en pasturas solas, y de un mayor contenido proteico.

El material biológico utilizado, dos especies arbóreas funcionalmente diferentes, y la pastura, una especie bien adoptada a las condiciones regionales y sensible a los niveles de nutrientes, especialmente nitrógeno, parecen apropiados para interpretar la calidad de las interacciones entre árboles y pasturas.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 AREA DE ESTUDIO

3.1.1 Localización

El presente trabajo fue desarrollado en el campo experimental del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, (CATIE), de Turrialba, Costa Rica.

Las coordenadas geográficas del CATIE son 9° 53' latitud norte y 82° 38' longitud oeste; se ubica en el valle de Turrialba, a una elevación de 602 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo a Holdridge (51) pertenece a la zona de vida denominada "bosque muy húmedo premontano".

3.1.2 Suelos

Son suelos aluviales de drenaje imperfecto, desarrollados sobre una antigua cuenca fluviolacustre. Según Aguirre (2) pertenecen a la serie "Instituto fase normal", y se clasifican como Typic Dystropepts.

La topografía es plana con microrelieve ondulado y con una pendiente general de 0 a 3%. La tabla de agua se mantiene de 0,40 m a 1,30 m. Son suelos de textura franco arcillosa; el pH es ácido, y en promedio se aproxima a 5; el contenido de materia orgánica es alto, entre 4 y 5% y el de nitrógeno varía entre 0,25 y 0,35%.

3.1.3 Clima

La característica general del clima es: relativamente cálido, húmedo y muy lluvioso; tiene una estación seca breve, cuando el anticiclón subtropical se desplaza hacia el sur en los meses de enero a abril (39).

Según los datos de la estación meteorológica del CATIE (29) (Cuadro 1.A), ubicada aproximadamente a 2 km del experimento, la temperatura media anual es de 21.7° C, con una máxima media anual de 26.9° C y una mínima media anual de 17.8° C. La precipitación media anual es de 2 636 mm, con un

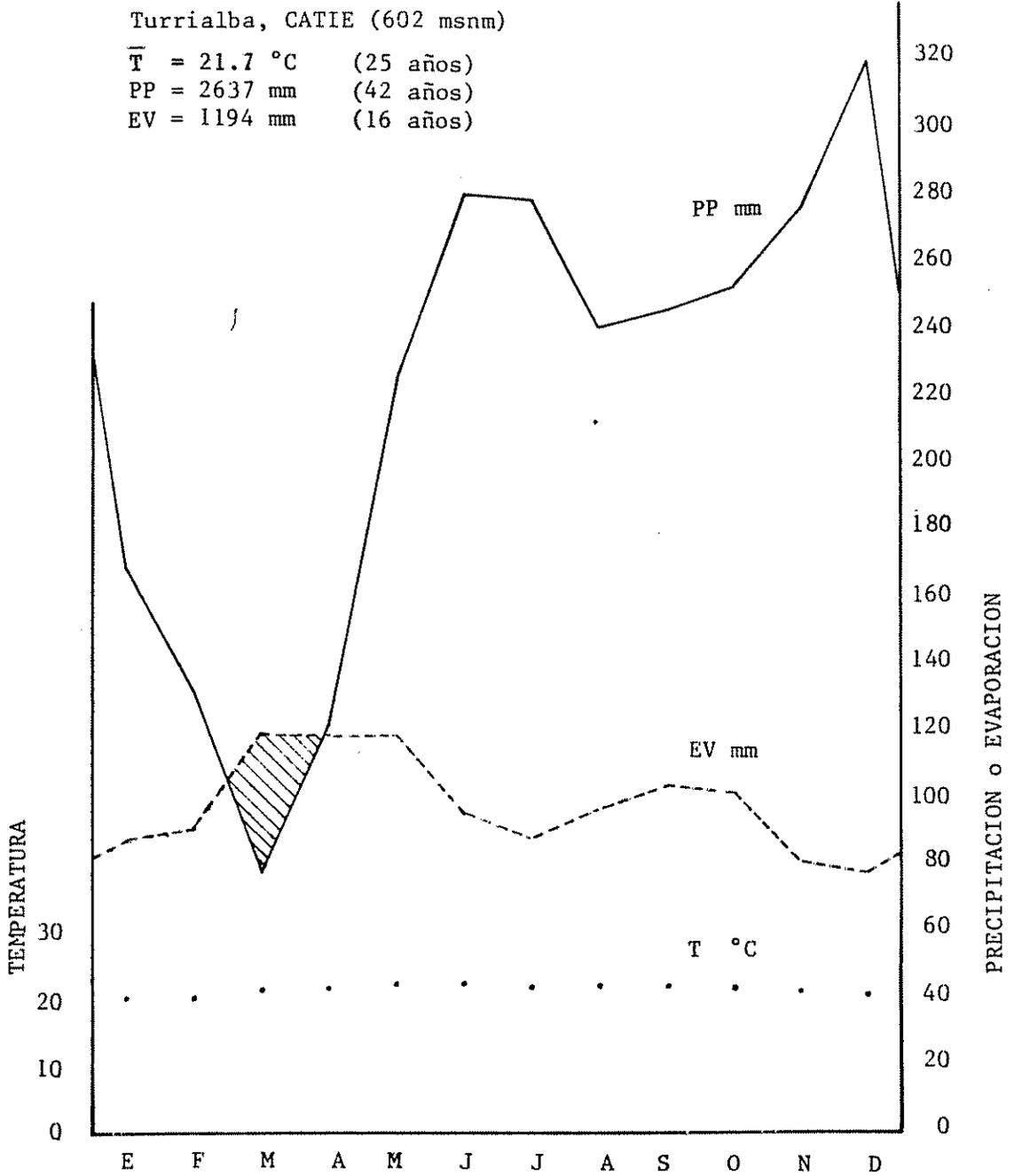


Fig. 3. Climograma del CATIE

promedio de 246 días de lluvia ($>0,1$ mm). La evaporación anual medida con Tanque Tipo A es de 1 194 mm. El balance hídrico para el período 1942-1982 (Cuadro 2.A) indica una deficiencia hídrica (precipitación $<$ evaporación) durante los meses de febrero, marzo y abril, y en función de las reservas de agua en el suelo, la deficiencia edáfica sólo se manifiesta en los meses de marzo y abril.

La humedad relativa es alta, con una media anual de 87% y con una variación mensual de $\pm 3\%$. La radiación solar media es de 420 Ly/día y el brillo solar medio es de 4,6 horas por día. Los vientos son de poca velocidad en Turrialba, y la estación meteorológica del CATIE no lleva registros continuos.

El diagrama del clima de CATIE en la Fig. 3 resume sus características principales.

Durante el experimento, en el año 1983 (Cuadro 3.A), la precipitación fue de 2 395 mm; la deficiencia hídrica fue de - 65 mm en febrero, - 135 mm en abril, mientras que los demás meses no tuvieron deficiencia; la radiación solar fue algo más alta que el promedio, alcanzando a 429 Ly/día, con un máximo en abril de 539 Ly/día y un mínimo en diciembre con 351 Ly/día.

3.1.4 Antecedentes del experimento

El presente trabajo es parte de un experimento más amplio, desarrollado conjuntamente por el Departamento de Producción Vegetal y el Departamento de Recursos Naturales del CATIE, denominado "Ensayo Central de Cultivos Perennes". Según Enríquez (40) el experimento fue iniciado en agosto de 1977 y programado para 8 años de duración; entre sus objetivos menciona la comparación de la producción por unidad de superficie de varios sistemas agrícolas comúnmente usados por los pequeños agricultores de la zona, y su evolución, durante el período establecido.

En el experimento fueron establecidos 18 tratamientos, entre los cuales, los árboles de Cordia alliodora y de Erythrina poeppigiana fueron combinados con plantas de café, de cacao y con pasto "estrella africana", Cynodon plectostachyus. Los tratamientos Cordia/estrella, Erythrina/estrella y el correspondiente testigo, "estrella" sin árboles, constituyen la base del presente trabajo.

Según Alpízar et al (3, 5) los árboles fueron plantados al iniciar el experimento y el pasto posteriormente, a principios de 1979. En las parcelas de Cordia se plantaron 49 árboles, con un distanciamiento de 3 x 3 m; fueron raleadas en 1980 a 16 árboles y poco después a 15 árboles. Estos valores corresponden a densidades de 1 111 árboles/ha, 280 árboles/ha y 260 árboles/ha aproximadamente. Los árboles de Erythrina fueron plantados a 6 x 6 m, o sea 280 árboles/ha, no fueron raleados y fueron podados totalmente cada seis meses. Las hojas de la poda fueron dejadas como abono verde, y las ramas retiradas de las parcelas.

El pasto estrella fue sembrado por estolones y recibió aplicaciones de herbicidas y hormiguicidas. El manejo consistió en cortes periódicos, extracción de la biomasa cortada, y aplicación de fertilizante NPK 10-30-10 en bajas dosis; esto fue, 1 kg/parcela cada 3 meses en las pasturas con árboles y 2 kg/parcela en la pastura sin árboles, que equivalen a 30 y 60 kg/ha respectivamente.

Según Alpízar et al (4), los árboles maderables de Cordia alliodora alcanzaron en febrero de 1982 un diámetro promedio de 18 cm, lo cual representa un incremento anual de 4,0 cm, y la altura media fue de 9,3 m. El volumen alcanzó a 71 m³/ha incluidos los raleos y representa un incremento anual de 15,8 m³/ha. De acuerdo a las comparaciones que los autores realizan con otros trabajos en la región, esta producción resulta elevada y es explicada en base a un adecuado tratamiento cultural y posible aprovechamiento del fertilizante aplicado a las pasturas.

La producción de las pasturas al siguiente año de la implantación, o sea en 1980, fue en promedio 25 ton/ha y este valor es llamativamente alto para la pequeña fertilización aplicada. Durante los años 1981 y 1982 la producción descendió a 14 ton/ha/año. Los autores destacan que en todos los años la producción fue menor en la pastura asociada a Cordia alliodora.

Borel (21) relata la invasión de malezas a estas pasturas; en enero de 1981 realizó una determinación de la composición botánica y obtuvo las siguientes proporciones en la biomasa: Cynodon nlemfuensis = C. plectostachyus 32 a 57%, Drymaria cordata 9 a 38%, Borrevia laevis 8 a 25% y seguidamente Tridax sp., Mimosa pudica, Spernanthe paniculata, y otras. Cynodon tuvo el

mayor valor, 57%, en la pastura asociada a Erythrina y es explicada por el nitrógeno adicionado con la caída de las hojas de Erythrina. El menor valor, 32%, se presentó en la pastura asociada a Cordia.

3.2 MANEJO DE LAS PASTURAS Y LOS ARBOLES DURANTE EL PRESENTE TRABAJO (1983)

Las pasturas fueron manejadas como "pasto de corte", es decir, la materia verde desarrollada fue cortada periódicamente y retirada de las parcelas. No se aplicaron herbicidas, insecticidas ni fertilizantes, aunque una pequeña cantidad de este último recibieron en noviembre de 1982, correspondiendo al último corte y fertilización del experimento anterior; esto fue, NPK (10-30-10) a razón de 15 kg/ha en las pasturas con árboles y 30 kg/ha en la pastura sin árboles.

Los árboles de Erythrina recibieron el mismo tratamiento anterior, es decir, fueron podados cada seis meses practicándose un desrame total dejando un muñón a 2,5 m de altura del tallo. Las ramas de las podas fueron retiradas de las parcelas y las hojas dejadas como abono verde. Las hojas caídas naturalmente también fueron dejadas.

Los árboles de Cordia no recibieron ningún tratamiento particular, y tampoco fueron raleados durante el trabajo. Las hojas caídas naturalmente y esporádicamente alguna rama, fueron dejadas en las parcelas.

3.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

3.3.1. Diseño de campo y tratamientos

El diseño consta de tres tratamientos con cuatro repeticiones, ubicadas en parcelas al azar. La unidad experimental está representada por la parcela; estas tienen 18 x 18 metros y se hallan orientadas con dirección nortesur. Esta orientación también tienen los árboles dentro de las parcelas (40). La superficie por tratamiento resulta igual a 1 296 m².

Los tratamientos y las correspondientes parcelas de repetición se presentan seguidamente; su ubicación en el campo se muestra en la Fig. 4.

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			
	1	2	3	4
1. Pastura/Cordia	21	22	23	24
2. Pastura/Erythrina	25	26	27	28
3. Pastura sin árboles	29	30	31	32

3.3.2 Variables evaluadas

De acuerdo a los objetivos del trabajo y apoyado en una revisión bibliográfica preliminar, se propuso la evaluación de algunas variables microambientales que reflejen el efecto de los árboles en la producción de las pasturas, y la evaluación de variables que permiten cuantificar la producción y calidad de la pastura. Se presenta un listado de las variables, y en el apartado 3.4. se describirán los métodos utilizados para su evaluación.

Variables Microambientales:

- Ingreso de radiación solar
- Humedad gravimétrica y tensión de agua del suelo de 0-10 cm de profundidad
- Contenido de nutrientes del suelo a 0-10 cm de profundidad: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Cobre, Zinc, Hierro y Manganeseo. El análisis químico comprende además: pH, materia orgánica, acidez extractable, y densidad aparente del suelo de 0-10 cm de profundidad
- Aporte y remoción de nutrientes por los árboles (estimación en base a datos bibliográficos)

La razón de presentar una estimación en lo referente al aporte y remoción de nutrientes por los árboles, responde a la dificultad de obtener datos propios completos y a la disponibilidad de información que se consideró calificada y representativa (Ver 3.4.4).

Variables Relativas a la Pastura

- Producción de materia seca, discriminada en dos componentes: gramíneas y plantas de hoja ancha

- Proteína cruda de la materia seca, (% PC), por componente
- Digestibilidad in vitro (% DIVMS), por componente

3.3.3 Ubicación de las muestras

Se utilizaron muestras fijas, señaladas en el campo mediante estacas numeradas. En las parcelas con árboles todas las variables fueron medidas a dos distancias del eje de los árboles: a 1,0 m, y a 3,6 m. La posición de las muestras fue trazada sobre plantillas con la distribución de los árboles y posteriormente emplazadas en el campo. En la expresión de los resultados por parcela se consideró que las muestras de cada distancia participan con la misma proporción areal. El criterio empleado se fundamenta en lo siguiente: en una plantación regular cada árbol representa un "polo de sombra" y la intersección de las diagonales entre cuatro árboles determinan un "polo de sol"; y a la inversa, cuatro polos de sol determinan la posición de un árbol, por lo tanto, ambos sitios se repiten igual número de veces. Los centros de cada muestra se desplazaron un metro de cada polo, lo que resultó en distancias de 1,0 m y 3,6 m del eje de los árboles, cuando estos se disponen en un distanciamiento de 6 x 6 m. La Fig. 5, correspondiente a la parcela 25 con árboles de Erythrina, ejemplifica los aspectos mencionados. En las parcelas de Cordia los árboles no presentan un arreglo regular a causa de los raleos, y se conservaron las dos distancias a los árboles. En las parcelas sin árboles las muestras fueron ubicadas utilizando las plantillas de las parcelas con árboles, seleccionadas al azar.

3.4 MUESTREO Y METODOS UTILIZADOS PARA LA EVALUACION DE LAS VARIABLES

3.4.1 Ingreso de Radiación Solar en las Pasturas

Las mediciones fueron tomadas con radiómetro integrador de destilación Gunn-Bellani, diariamente, a 0,25 m sobre el nivel del suelo, y se extendieron por un período de 5 meses desde el 16 de julio al 12 de diciembre de 1983^{1/}.

^{1/} Fechas en que se dispuso de los instrumentos y en que se dio por finalizado el experimento.

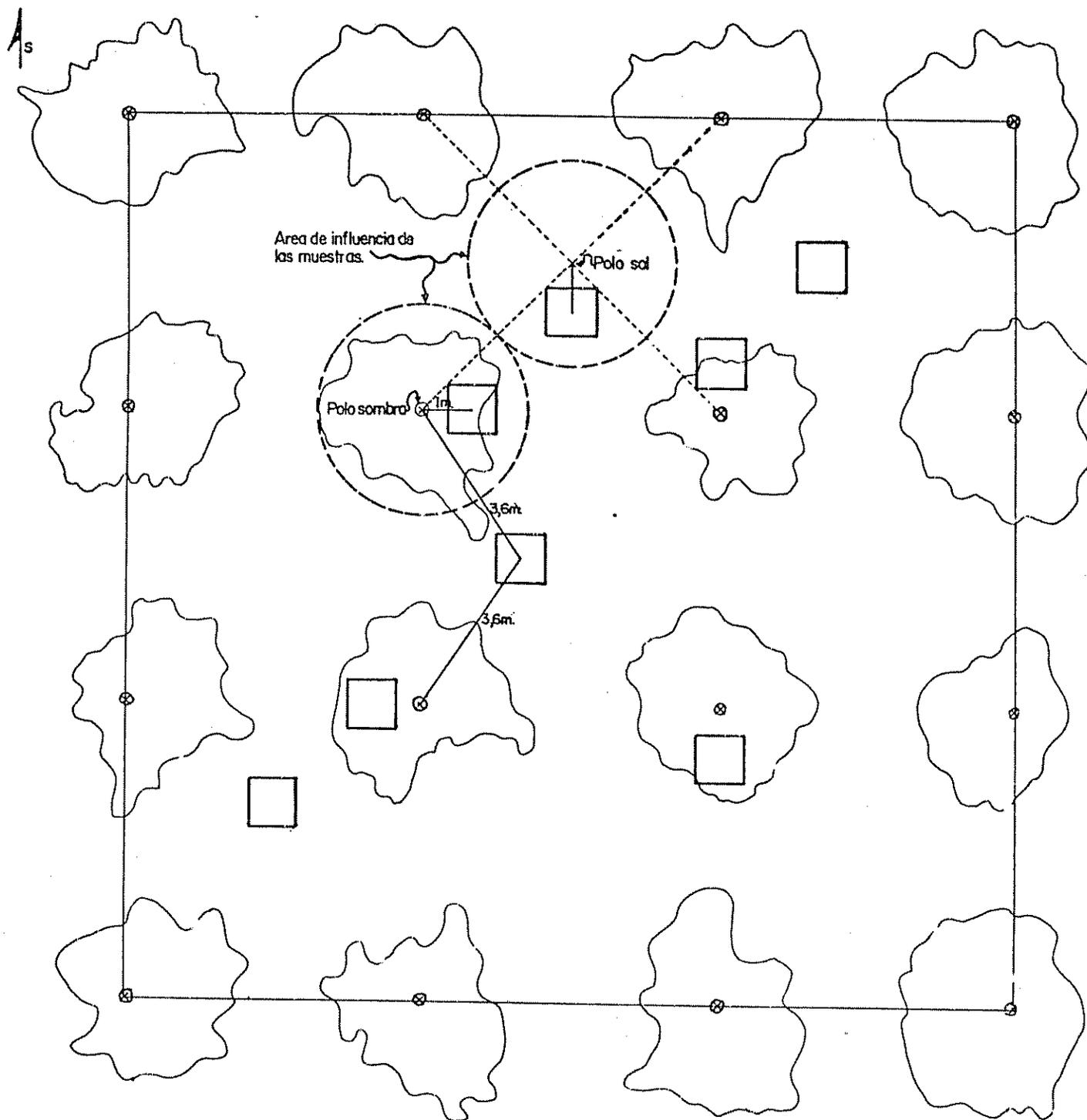


Fig. 5

Ubicación de los sitios de muestreo en la parcela no. 25 con árboles de *Erythrina*. Proyección tentativa del foliaje a 3-4 meses de la poda.

Una medición instantánea con radiómetro para luz fotosintéticamente activa (58) fue realizada en abril de 1983, a efectos de estimar su ingreso en el momento de máxima defoliación de Cordia, situación que no se repetiría durante el experimento.

Se utilizaron tres radiómetros Gunn-Bellani: uno fue instalado en una parcela de Cordia, otro en una con Erythrina, y el tercero fuera de los árboles, como testigo, y representa las parcelas sin árboles. En las dos parcelas con árboles, las mediciones a 1,0 m y a 3,6 m de distancia de un árbol fueron realizadas colocando el radiómetro un día en cada distancia.

Los radiómetros Gunn-Bellani registran ml de alcohol destilado proporcionales a la radiación solar recibida (10); previo a su instalación en el campo fueron comparados entre sí, en igualdad de condiciones, a efectos de obtener sus factores de corrección y además fueron contrastados con un radiómetro patrón Li-cor 200 SB (58) para estimar su precisión. Sus coeficientes de determinación r^2 fueron próximos a 0,9 y la estimación de la radiación resultó satisfactoria cuando se promediaron períodos de 10 días.

El porciento de radiación solar entrante en cada sitio fue obtenida dividiendo los ml destilados en el sitio por los ml destilados en el testigo en iguales períodos; al testigo se asigna siempre el 100% de luz y la radiación solar en unidades de energía puede obtenerse de los datos de la estación meteorológica del CATIE, (Cuadro 3.A). En los Cuadros 4.A y 5.A se presentan los valores registrados en las parcelas, expresados en ml de alcohol destilado y en porciento. A partir de estos datos se confeccionaron los gráficos que se muestran en las figuras 6, 7 y 8.

3.4.2 Humedad gravimétrica y tensión de agua del suelo (0-10 cm)

La determinación de humedad gravimétrica fue realizada en cuatro oportunidades; dos en el período seco, el 13 de abril y el 29 de abril, y dos en períodos lluviosos, el 25 de mayo y el 12 de junio de 1983. En cada fecha se tomaron ocho submuestras por parcela, extraídas mediante sacabocados de 340 CC. Fueron pesadas en balanza electrónica con una resolución de 0,001 g y secadas en horno a 100° C por 24 horas. La humedad gravimétrica % se estimó

como: $100 \text{ (Peso húmedo - peso seco) / Peso seco (45)}$.

La transformación de los datos de % de humedad gravimétrica a tensión de agua fue realizada utilizando los modelos gráficos obtenidos para los suelos de cada tratamiento (Fig. 1A, 2A y 3A). Los valores de retención de agua para cada tensión de succión (potencial mátrico) se observan en el Cuadro 6A y fueron obtenidos por el método de la mesa de succión, por desabsorción de una muestra alterada (45); esta muestra fue compuesta de 32 extracciones para cada tratamiento.

3.4.3 Contenido de nutrientes, materia orgánica, pH y densidad aparente del suelo (0-10 cm)

Las muestras fueron obtenidas el 26 de abril de 1983; se tomaron 32 submuestras por parcela para el análisis químico, y 8 submuestras por parcela para la determinación de la densidad aparente.

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos del CATIE, de acuerdo a la metodología propuesta por Díaz Romeau y Hunter (38):

- Nitrógeno total: analizado por el método semi-micro Kjeldahl según Díaz Romeau (37)
- Calcio, Magnesio y Acidez extractable: determinado con solución extractiva de KCl 1 N y espectrofotometría de absorción atómica (38)
- Fósforo, Potasio, Cobre, Zinc, Hierro y Manganeso: Determinado por el método de Olsen modificado por Hunter, con solución extractiva de NaHCO_3 pH 8,5, 0,5 N y EDTA - Disódico (38)
- Materia orgánica: determinada por el método de Walkley y Black, mediante la técnica propuesta por Saíz del Rfo y Bornemisza (84).
- Densidad aparente: fue determinada como peso seco/volumen (45). Se utilizó un sacabocados con cilindro interior de 340 cc y las muestras fueron secadas en horno a 100°C por 24 horas.

3.4.4. Estimación del aporte y remoción de nutrientes por los árboles

La estimación fue realizada en base a datos de trabajos en sistemas agroforestales llevadas a cabo en CATIE por Alpízar et al (3, 4, 5), por Russo (83), y a datos propios obtenidos de la poda de *Erythrina*. El cálculo incluye la biomasa aérea y los nutrientes nitrógeno, fósforo y potasio. Para estimar el aporte y remoción de los nutrientes se siguieron los siguientes pasos y cálculos:

- a. Producción anual de biomasa de los árboles de *Cordia alliodora* y de *Erythrina poeppigiana*
- b. Contenidos porcentual de Nitrógeno, fósforo y potasio en los diferentes tejidos vegetales de cada especie

Los valores calculados se presentan en el Cuadro 7 A y corresponden a promedios de los datos de los autores mencionados.

- c. Remoción y aporte de nutrientes: la remoción se calculó como la suma de los nutrientes contenidos en la biomasa aérea en pie, y del material que llegó al suelo por podas o caída natural. El aporte se calculó como la suma de los nutrientes contenidos en la biomasa que llega al suelo; en el caso de *E. poeppigiana* las ramas de la poda no se consideraron en el aporte, pues fueron retiradas de las parcelas. En la Fig. 9 se muestran los valores correspondientes para *C. alliodora* y en la Fig. 10 los de *E. poeppigiana*
- d. Aporte de biomasa y nutrientes a las pasturas en los diferentes períodos de cosecha: fue calculado en base a la distribución mensual de la caída natural de biomasa (Fig. 4A y 5A) y a las fechas de poda; los valores se muestran en el Cuadro 8A.

3.4.5. Producción de biomasa de las pasturas

Con este término se hace referencia al material vegetal en pie, acumulado en el estrato superior a 7 cm durante un tiempo dado. Los valores se expresan en kg/ha/tiempo.

Muestreo: se colectaron ocho submuestras de 1 m x 1 m por parcela, lo que representa 32 m² por tratamiento. La ubicación de las submuestras se hizo como fue enunciado en el punto 3,3,3.

Cosecha: se cortó la pastura con cuchilla a 7 cm sobre el nivel del suelo; el material fue colectado en forma separada para cada submuestra, y transportado directamente al Laboratorio de Producción Vegetal del CATIE. Después de obtener la muestra se cortó la pastura en toda la parcela, y se retiró el material cortado.

Separación de los componentes: el total de la muestra cosechada fue separada en dos componentes: gramíneas y plantas de hoja ancha. En el primer componente se incluyeron las cyperaceas presentes en una pequeña proporción, y en el segundo componente todas las demás especies del estrato herbáceo.

Pesada y secado: el peso fresco fue determinado sobre los componentes previamente separados, y el total de la muestra fue posteriormente secada. Se utilizó una balanza electrónica de 0,01 g de resolución y un horno con ventilación forzada mantenido a 70 - 75° C; el componente gramíneas se mantuvo en el horno durante 48 horas y las plantas de hoja ancha 72 horas.

Fechas y períodos de cosecha: las pasturas de los tres tratamientos fueron cortadas en iguales fechas, y estas fueron el 21 de marzo, 10 de mayo, 4 de julio, 30 de agosto y 26 de octubre de 1983. Los cuatro períodos comprendidos entre estas fechas de corte tuvieron una duración de 50, 55, 57 y 57 días respectivamente. El período que transcurrió entre la primera fecha de corte, 21 de marzo de 1983, y el último corte realizado durante el experimento anterior, tuvo una duración cercana a 5 meses. Debido que los cortes no se realizaban en la misma fecha para todas las pasturas, los datos se ajustaron a igual duración, 146 días, lo cual trasladó hipotéticamente el inicio de este experimento al 27 de octubre de 1982; a este período se denominó de nivelación de la pastura y a los que siguieron 2°, 3°, 4° y 5° respectivamente.

3.4.6. Proteína cruda y digestibilidad in vitro de las pasturas

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Producción Animal del CATIE.

Proteína cruda: se analizaron separadamente muestras de gramíneas y de plantas de hoja ancha, de cada período de producción. En las gramíneas se analizó una muestra compuesta por repetición para realizar las correspondientes pruebas estadísticas, y en las plantas de hoja ancha una muestra compuesta por tratamiento. El % de proteína cruda de la materia seca (% PC) se obtuvo como % de nitrógeno total x 6,25 (22) y este fue determinado por el método semi-micro kjeldahl (72). La producción de proteína cruda se obtuvo como % PC x producción de biomasa (MS).

Digestibilidad: se analizaron separadamente muestras de gramíneas y de plantas de hoja ancha, de un período de producción. El % de digestibilidad in vitro de la materia seca (% DIVMS) fue determinada por el método de Tilley y Terry (90).

3.4.7 Podas de Erythrina

Fueron realizadas el 8 de junio y el 21 de diciembre de 1983. Se practicó un desrame como se menciona en el apartado 3.2. y el material de los cuatro árboles centrales de cada parcela fue separado en ramas y hojas, y pesado in situ con una balanza de resorte. El peso seco fue determinado como peso fresco x 0,25 (83).

3.4.8 Análisis de los datos

La información referida a la producción de materia seca, proteína cruda y digestibilidad de la pastura, fue tratada mediante análisis de varianza y pruebas de rango múltiple de Tukey. Se aplicó un diseño factorial en Bloques completos al azar, con tres tratamientos, cuatro repeticiones y dos componentes.

El efecto de la distancia a los árboles fue analizado separadamente para cada tratamiento con árboles. El diseño fue un factorial en bloques completos al azar con dos tratamientos (1,0 m y 3,6 m), cuatro repeticiones y dos componentes.

El modelo estadístico en ambos casos fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = u + T_i + B_j + C_k + T_i B_j + T_i C_k + B_j C_k + E_{ijk} \quad (30)$$

La información fue procesada en la unidad de procesamiento de datos del CATIE, con un Equipo IBM 4331, utilizando programas del Palmer's Statistical Package.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 VARIABLES MICROAMBIENTALES

El estado de algunas variables medidas asume características diferentes en función de la presencia de los árboles. Se comentan los resultados de las observaciones de la radiación solar y de las variables edáficas, como así también la estimación del aporte y remoción de nutrientes por los árboles, destacándose las causas que colaboran a su explicación. La relación entre el estado de estas variables y la pastura será comentada con los resultados de producción.

4.1.1. Ingreso de radiación solar (RS)

El hecho más destacado en el ingreso de RS bajo los árboles de Cordia y Erythrina radica en su diferente patrón de distribución anual, condicionado en esta última por el manejo cultural. El porcentaje de RS bajo los árboles de Cordia, con respecto al testigo sin árboles, se mantuvo próximo al 55% y presentó un aumento hacia el período seco, cuando se produjo la mayor caída de hojas; una medición realizada en ese estado fenológico, indicó un 78% de luz^{1/}. En cambio bajo los árboles de Erythrina se produce una acentuada variación como resultado de las intensas podas que se practican a estos árboles. La RS es prácticamente 100% después de la poda, y descendió a un 30% a los seis meses. Estas tendencias pueden apreciarse en la figura 6.

El ingreso de RS aumentó con la distancia a los árboles, y la diferencia fue más constante en las parcelas de Cordia que en las de Erythrina, como se muestra en las figuras 7 y 8. El ingreso de RS a las parcelas de Cordia durante el período de mediciones fue de 43% a 1,0 m y de 66% a 3,6 m. En las parcelas de Erythrina la diferencia en el ingreso de RS % con la distancia a los árboles es nula al momento de la poda, tendió a ser máxima entre los 3 a 4 meses, y disminuyó nuevamente hacia el 5º y 6º mes, cuando las ramas de los árboles contiguos se tocaron y la cobertura de follaje fue completa.

^{1/} Luz fotosintéticamente activa. No obstante se trata de una medición con un instrumento diferente al utilizado para medir la RS, la expresión en porcentaje permite una razonable comparación (58).

NOTAS:

- * Medición realizada el 26 de Abril de 1983 con radiómetro para luz fotos. activa.
 1. Bajo Cordia (época caducifolia).
 2. Bajo Erythrina (dosel desarrollado).

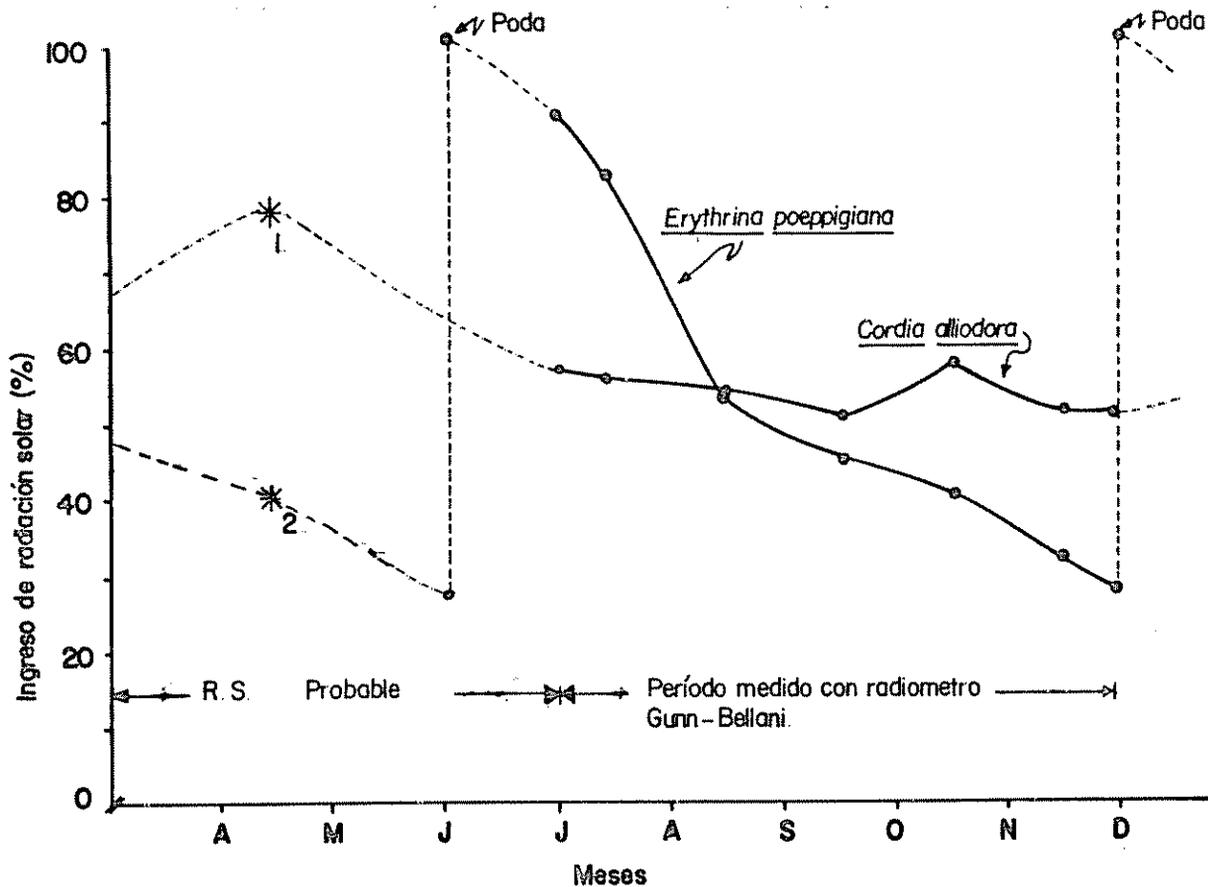


Fig. 6

Ingreso de radiación solar (%) en parcelas de pasto con Cordia alliodora y en parcelas de pasto con Erythrina poeppigiana.

NOTAS:

- * Medición realizada el 26 de Abril de 1983 con radiómetro para luz fotos. activa.
- 1. A 3,6m. de los árboles.
- 2. A 1,0m. de los árboles.

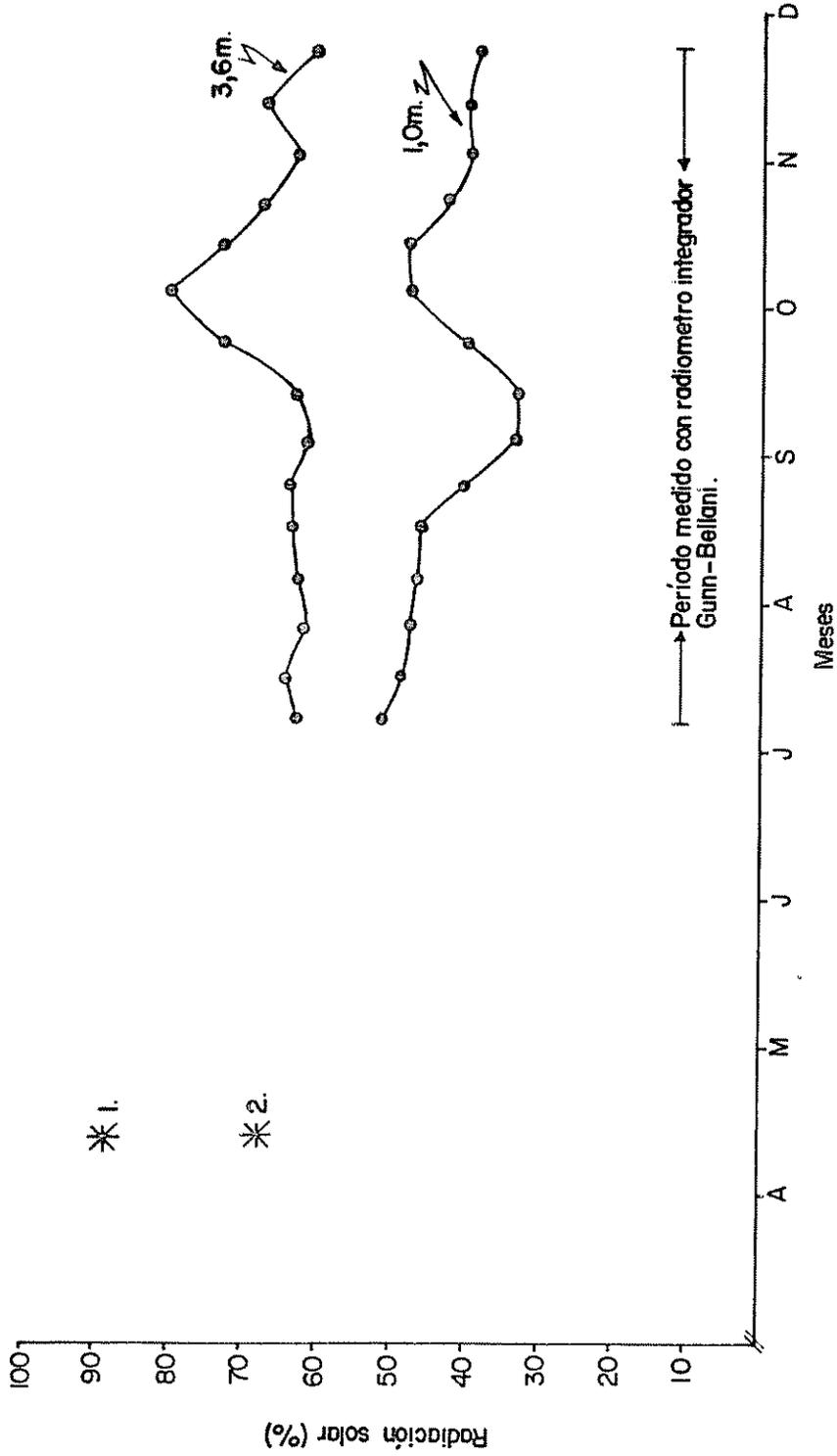


Fig. 7 Ingreso de radiación solar (%) a 1,0m. y a 3,6m. de los árboles, en parcelas de Cordia alliodora con pasto.

NOTAS:

* Medición realizada el 26 de Abril de 1983, con radiómetro para luz fotos. activa.

1. A 3,6 m. de los árboles.

2. A 1,0 m. de los árboles.

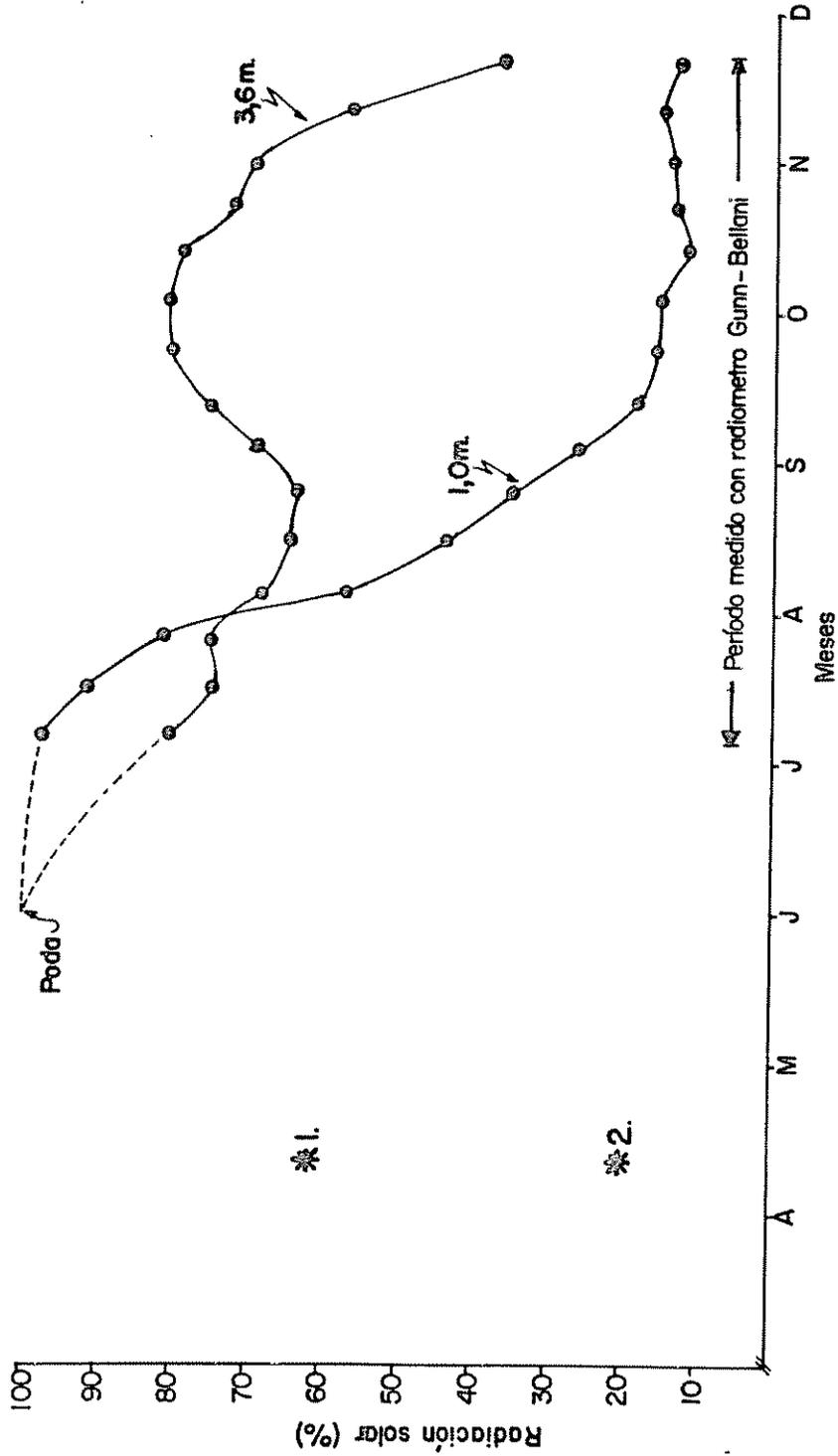


Fig. 8 Ingreso de radiación solar (%) a 1,0 m. y a 3,6 m. de los árboles en parcelas de Erythrina poeppigiana con pasto.

El patrón ilógico de la curva correspondiente al registro a 3,6 m de un árbol de Erythrina puede explicarse por los cambios en la inclinación del sol; esta situación no debiese presentarse si las mediciones fuesen realizadas simultáneamente en varios sitios con diferente orientación.

Los datos de las mediciones con radiómetros integradores Gunn-Bellani se presentan en los Cuadros 4 A y 5 A, y los correspondientes a mediciones con radiómetro Li-cor para luz fotosintética activa en el Cuadro 9 A.

4.1.2 Características del suelo

4.1.2.1. pH, Materia Orgánica y Nutrientes del suelo (0-10 cm)

Los resultados del análisis se muestran en el Cuadro 3; como puede apreciarse, el pH se halla próximo a 5 y no muestra diferencias entre los tratamientos; la materia orgánica fue levemente superior en el tratamiento con Erythrina, alcanzando a 5,1%. El nitrógeno se encuentra algo más alto en los dos tratamientos con árboles, ambos con 0,28%, en cambio el fósforo es más alto en la pastura sin árboles, y el calcio y Magnesio se hallaban en menores cantidades en el tratamiento con Cordia.

No obstante las diferencias mencionadas entre los tratamientos, la variación entre las repeticiones fue mayor y muestran algunas tendencias. Se observa que los nutrientes K, Ca, y Mg, se hallan en mayores cantidades en la repetición 1 y la acidez extractable en menor proporción en la misma repetición; se calculó el porcentaje de saturación por bases, que es un adecuado estimador de la disponibilidad de estos cationes (43, 85), y los valores resultaron más altos en esta repetición con 91% y el más bajo se halló para la repetición 4. La secuencia en el % de saturación por bases tal como se muestra en el Cuadro 2, se vería posteriormente reflejada en la diferente productividad de las parcelas de repetición; sin embargo este mismo parámetro no explicó las diferencias entre los tratamientos.

Cuadro 2. Porcentaje de saturación por bases ^{1/} en los suelos (0-10 cm) de la pastura asociada a Cordia alliodora, de la asociada a Erythrina poeppigiana y de la pastura sin árboles.

TRATAMIENTO	REPETICIONES				Promedio
	1	2	3	4	
1. Pastura/Cordia	91,4	83,8	77,8	70,2	80,8
2. Pastura/Erythrina	90,1	74,6	81,1	63,1	77,2
3. Pastura sin árboles	91,2	73,1	86,2	87,0	84,4
Promedio	91,0	77,1	81,7	73,0	

$$\frac{1}{\% \text{ de saturación por bases}} = \frac{K + Ca + Mg}{K + Ca + Mg + Ac.Ext.} \times 100$$

El análisis químico de estos suelos arroja resultados que no se han podido explicar satisfactoriamente por la presencia de los árboles. No obstante las dificultades inherentes a la interpretación de un análisis estático se estima que el tiempo transcurrido desde la plantación, 6 años, no ha sido suficiente para producir modificaciones de carácter permanente en el suelo. Fassbender (44) enfatiza que el efecto de los árboles, en estos sistemas, se pone en evidencia cuando se establece el ciclo de nutrientes de los componentes vegetales.

Cuadro 3. Análisis químico de los suelos (0-10 cm) de la pastura asociada a Cordia alliodora, de la asociada a Erythrina poeppigiana y de la pastura sin árboles^{1/}.

Parcela	pH	M.O. %	N.Total %	P ug/ml	K meq/100ml	Ca	Mg	Acid Ext. meq/ 100ml	Cu Zn Mn Fe			
									ug/ml			
<u>Cordia alliodora</u>												
21	5,28	4,56	0,27	9,5	0,60	4,5	1,50	0,4	27,6	4,7	16,9	302,0
22	4,98	5,03	0,26	10,5	0,35	3,2	1,10	0,9	22,7	3,2	12,7	316,0
23	4,86	4,96	0,29	16,5	0,34	2,6	1,27	1,2	27,2	3,4	8,5	422,0
24	4,80	5,56	0,32	9,5	0,21	1,9	0,95	1,3	22,3	2,8	10,2	304,0
\bar{X}	4,98	5,03	0,28	11,5	0,37	3,0	1,20	0,9	24,9	3,5	12,1	336,0
<u>Erythrina poeppigiana</u>												
25	5,15	4,49	0,27	11,0	0,56	3,6	1,29	0,6	23,7	3,6	10,6	272,0
26	4,81	5,49	0,31	13,0	0,35	2,4	0,77	1,2	22,5	2,9	10,9	381,0
27	4,87	6,03	0,33	11,0	0,18	2,7	0,97	0,9	23,7	2,9	6,6	413,0
28	4,65	4,36	0,23	8,5	0,17	1,7	0,69	1,5	22,4	2,4	9,3	325,0
\bar{X}	4,87	5,09	0,28	10,9	0,31	2,6	0,93	1,0	23,1	2,9	9,3	347,7
SIN ARBOLES												
29	4,92	4,02	0,27	14,0	0,40	3,6	1,17	0,5	27,9	4,7	16,3	357,0
30	4,91	4,56	0,27	10,0	0,24	2,6	0,96	1,4	24,1	4,0	13,1	301,0
31	5,01	5,09	0,27	13,0	0,24	2,9	1,25	0,7	24,8	3,8	9,9	335,0
32	5,16	5,63	0,26	15,5	0,39	3,4	0,91	0,7	22,4	3,3	10,4	373,0
\bar{X}	5,00	4,82	0,27	13,1	0,32	3,1	1,07	0,8	24,8	3,9	12,4	341,5

^{1/} Muestra compuesta de 32 extracciones por parcela tomadas con barreno sacabocados, el 13 de abril de 1983. Procesadas en el Laboratorio de Suelos del CATIE.

4.1.2.2 Densidad aparente de los suelos

En el Cuadro 4 se presentan los datos de la densidad aparente del suelo correspondiente a la capa de 0-10 cm de profundidad.

No se aprecian diferencias entre los tratamientos ni entre las repeticiones. Los promedios son muy próximos a 1 gr/cm^3 .

Cuadro 4. Densidad aparente (D.A.) del suelo (0-10 cm) de la pastura asociada a Cordia alliodora, de la asociada a Erythrina poeppigiana y de la pastura sin árboles. D.A. en gr/cm^3 .

Repetición	Pastura/Cordia	Pastura/Erythrina	Pastura sin árboles
1	1,075	1,140	1,136
2	1,166	0,994	1,018
3	1,057	0,089	0,958
4	<u>0,981</u>	<u>0,996</u>	<u>1,057</u>
Promedio ^{1/}	1,070	1,030	1,042
CV (%)	7,1	7,1	7,2

^{1/} = Promedios de 32 muestras por tratamiento, tomadas el 13 de abril de 1983.

4.1.3 Agua en el suelo (0-10 cm): humedad gravimétrica y tensión de agua

Las determinaciones de la humedad gravimétrica se realizaron en dos épocas secas y en dos lluviosas; en las parcelas con árboles las muestras fueron tomadas a 1,0 m y 3,6 m de distancia a los árboles. Los valores de humedad gravimétrica y la tensión de agua correspondiente, se presentan en los Cuadros 5, 6 y 7.

La primera determinación en la época seca, realizada el 13 de abril de 1983, mostró deficiencia moderada de agua en la parcela sin árboles y en los sitios próximos a los árboles de Cordia, con una tensión de aproximadamente 3 bar. En los sitios distantes de los árboles de Cordia, se observó

Cuadro 5. % humedad gravimétrica y tensión de agua del suelo (0-10 cm) la pastura asociada a Cordia alliodora.

Períodos Fecha	S E C O 13 de abril de 1983			M U Y S E C O 29 de abril 1983			L L U V I O S O 25 de mayo 1983			L L U V I O S O 12 de Junio 1983		
	H _{1,0}	H _{3,6}	H̄	H _{1,0}	H _{3,6}	H̄	H _{1,0}	H _{3,6}	H̄	H _{1,0}	H _{3,6}	H̄
% Humedad gra- vométrica/	30,3	25,8	28,1	26,2	24,0	25,1	35,1	34,8	35,0	39,7	39,7	39,7
CV(%)	35,9	37,8	37,1	8,6	4,9	20,4	6,7	8,9	7,7	4,5	7,0	5,8
Tensión de Agua (bar)	3,3	15,0	9,0	15,0	15,0	15,0	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Precipitación media de los 20 días ante- riores (mm/día)	0,82			0,34			15,27			7,69		
Estado fenológico de <u>Cordia alliodora</u>	Caducifolia			Caducifolia			Inicio foliación			Media foliación		

$$\frac{1}{\% \text{ Humedad gravimétrica}} = \frac{PH - PS}{PS} \times 100$$

H_{1,0} = Promedio de 16 muestras tomadas a 1,0 m del eje de los árboles

H_{3,6} = Promedio de 16 muestras tomadas a 3,6 m del eje de los árboles

H̄ = Promedio sobre las 32 muestras

Cuadro 6. % de humedad gravimétrica y tensión de agua (0-10 cm) de la pastura asociada a Erythrina poeppigiana

Períodos	SECO		MUY SECO		LLUVIOSO		LLUVIOSO	
Fecha	13 de abril 1983		29 de abril 1983		25 de mayo 1983		17 de junio 1983	
	H _{1,0}	H _{3,6}	H _{1,0}	H _{3,6}	H _{1,0}	H _{3,6}	H _{1,0}	H _{3,6}
% Humedad gravimétrica	37,1	35,7	33,4	31,0	40,3	39,5	42,9	42,6
Tensión de Agua (bar)	0,2	0,2	0,5	2,8	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Precipitación media de los 20 días anteriores (mm/día)	0,82		0,34		15,27		7,69	
Estado fenológico de <u>Erythrina poeppigiana</u>	Dose1 bien desarrollado		Dose1 bien desarrollado		Dose1 de máximo desarrollo		Dose1 reciente	

1/ % Humedad gravimétrica = $\frac{PH - PS}{PS} \times 100$

H_{1,0} = Promedio de 16 muestras tomadas a 1,0 m del eje de los árboles

H_{3,6} = Promedio de 16 muestras tomadas a 3,6 m del eje de los árboles

H̄ = Promedio sobre las 32 muestras

Cuadro 7. % humedad gravimétrica y tensión de agua (0-10 cm) de la pastura sin árboles.

Perfodo	S E C O	M U Y S E C O	L L U V I O S O	L L U V I O S O
Fecha	13 de abril 1983	29 de abril 1983	29 de abril 1983	17 de junio 1983
% Humedad gra- vimétrica ^{1/}	\bar{X} 29,7 CV(%) 23,4	22,9 11,8	31,9 6,9	37,9 5,2
Tensión de Agua (bar)	2,6	15,0	0,9	0,2
Precipitación media de los 20 días ante- riores (mm/día)	0,82	0,34	15,27	7,69

$$1/ \text{ \% Humedad gravimétrica} = \frac{PH - PS}{PS} \times 100$$

** Promedios sobre 16 muestras.

*** Promedios sobre 32 muestras.

marchitez permanente, 15 bar. En las parcelas con Erythrina no se observó deficiencia de agua. Una segunda determinación realizada el 29 de abril, momento de máxima sequía, mostró marchitez permanente en las parcelas sin árboles y en las parcelas con árboles de Cordia, mientras que en las parcelas con Erythrina la deficiencia fue leve en los sitios a 3,6 m y no hubo deficiencia a 1,0 m de los árboles. Con el inicio de las lluvias todas las parcelas alcanzaron la capacidad de campo y luego se mantuvieron entre este valor y saturación.

La mayor humedad hallada en las parcelas con Erythrina en la época seca, se relaciona con la sombra de estos árboles que en ese momento presentaban un extenso follaje (40% de luz, Cuadro 9A); esto posiblemente se manifestó en una disminución del consumo de agua por la pastura y en una menor evaporación directa desde el suelo. En cambio, el ingreso de radiación solar llega al máximo en las parcelas de Cordia, que se hallan en la época caducifolia; el hecho que la humedad en las muestras a 3,6 m de los árboles de Cordia haya sido aún menor que en las muestras de las parcelas sin árboles, se relaciona con un sombreado prácticamente nulo (88% de luz, Cuadro 9A) al que posiblemente se agrega el consumo de agua por los árboles.

4.1.4 Estimación del aporte y remoción de nutrientes por los árboles.

A raíz de la importancia que se asigna al aporte de nutrientes por los árboles (25, 44), y a la disponibilidad de información pertinente sobre Cordia alliodora y Erythrina poeppigiana, obtenida de trabajos realizados en sistemas agroforestales en CATIE (3, 4, 5, 83), se consideró oportuno estimar el aporte y la remoción de nutrientes por los árboles y extrapolar este cálculo a las parcelas con pasturas, asumiendo que en esta ocurriría en forma similar. El procedimiento de cálculo fue enunciado en el punto 3.4.4.

El aporte de nutrientes de Cordia proviene de las hojas caídas naturalmente, el cual se estimó en 2 900 kg MS/ha/año que contienen 62 kg de nitrógeno, 6 de fósforo y 28 de potasio y a esto se agrega una pequeña cantidad por las ramas que caen esporádicamente. En la Fig. 9 se muestra el ciclado de nutrientes por Cordia; se asume que los nutrientes aportados fueron previamente extraídos del suelo, y aún en una mayor cantidad para mantener el crecimiento de los árboles; para las hojas se considera que la remoción y

el aporte son iguales, debido que en el ciclo anual todas son renovadas. La remoción total de nitrógeno alcanza a 93 kg/ha/año, lo cual implica que unos 30 kg/ha/año se están acumulando en los tallos y ramas de Cordia. Esta acumulación parece proporcionalmente mayor para el potasio, del cual 64 kg fueron removidos del suelo y sólo retornaron 29 kg.

En el caso de Erythrina el ciclo es más dinámico; ocurre una remoción de mayor magnitud, se agrega la fijación de nitrógeno, y la acumulación en los tallos es muy pequeña. Esto condiciona un retorno también mayor que en Cordia, especialmente de nitrógeno y potasio. Como se aprecia en la Fig. 10, la recuperación total de nitrógeno alcanzó a 276 kg/ha/año, de los cuales 186 retornaron con las hojas, 79 kg fueron exportados con las ramas que se retiran y sólo una pequeña cantidad, 11 kg/ha/año, fueron acumuladas en los tallos. Cabe destacar que la exportación de las ramas implica una pérdida de nutrientes, especialmente de potasio que alcanzó a 87 kg/ha/año, siendo esto más del 50% de la cantidad que fuera extraída del suelo. También la pérdida de nitrógeno es importante, cerca de 80 kg/ha/año.

La distribución del aporte en el año es otro aspecto que asume distintas características en estas especies. En Cordia la caída de hojas ocurre durante todo el año, colectándose unos 300 kg MS/ha/mes - algo menos desde mayo a setiembre durante la nueva foliación- y representan pequeñas cantidades de nutrientes: unos 6 kg/ha de nitrógeno por mes, 2-3 kg de potasio, y menos de 1 kg de fósforo. En el Cuadro 8A se han calculado los aportes de biomasa y de N, P, y K para cada período de producción y en las Figuras 4A y 5A se muestran la distribución de la caída de hojas de Cordia y de Erythrina. En Erythrina el aporte de nutrientes asume valores significativos dos veces al año, con las podas, y en el resto de los meses son cantidades similares a las mencionadas para Cordia. Se calculó que con cada poda semestral se aportan cerca de 1 900 kg MS/ha de hojas, con 67 kg de nitrógeno, 4 a 5 kg de fósforo y 26 kg de potasio.

4.2 PRODUCCION DE LAS PASTURAS

En este capítulo se relata la cuantificación de las variables relacionadas a las pasturas, esto es, la producción de biomasa (MS), el contenido de proteína cruda (% PC) y la digestibilidad in vitro (% DIVMS); como expresión final del rendimiento de las pasturas los valores son analizados en términos de producción de proteína cruda. Estos parámetros son relacionados con la condición climática local y con el estado de las variables microambientales evaluadas; son discutidos con los argumentos teóricos formulados en la presente revisión bibliográfica, y comparados con los reportados en algunos trabajos citados.

4.2.1 Producción de Biomasa de las Pasturas

Se discute la producción de biomasa en función de los antecedentes del experimento, se presentan los valores hallados en la pastura asociada con árboles de Cordia, en la asociada con árboles de Erythrina y en la pastura sin árboles y finalmente se realiza el análisis comparado de la producción de cada pastura.

Como fue enunciado en el punto 3.1.4, estas pasturas fueron implantadas a comienzos del año 1979 con "pasto estrella africana". Al iniciar este experimento correspondiente al 5° año de producción, las pasturas mostraban una composición botánica heterogénea, producto de la colonización por especies que se desarrollan en lugares vecinos. Durante el presente trabajo, el término pastura hará referencia a todos los componentes del estrato herbáceo, y se distinguirán oportunamente los componentes gramíneas y plantas de hoja ancha.

La producción promedio de estas pasturas durante el período octubre 1982 - octubre 1983, año 1983 para mayor simplicidad, alcanzó a 7 ton/ha, y este valor se encuentra entre los más bajos reportados para "pasto estrella". En Costa Rica, en condiciones de crecimiento sin fertilización, Mata Pacheco (64) menciona 8 a 9 ton/ha/año y Ulate Montero (94) indica 11 ton/ha/año como promedio para diferentes edades de corte; Rodríguez y Morillo (79) reportan para Venezuela 17 ton/ha/año en cortes de 8 semanas. Alpízar et al (4) relatan la producción de estas pasturas desde su implantación, y sus valores fueron

apreciablemente mayores que los hallados en 1983; 25 ton/ha al segundo año y 14 ton/ha durante el tercero y cuarto años. Señalan también los autores que la baja dosis de fertilizante aplicado, unos 20 kg N/ha/año, no compensan la extracción por la cosecha, más de 200 kg N/ha/año, y seguramente esto explica la tendencia decreciente de la producción desde su inicio hasta el momento actual.

La producción durante el año 1983 mostró diferencias significativas en las parcelas de repetición, a pesar de los escasos metros que separan unas de otras. Los valores hallados en las diferentes repeticiones tuvieron la misma tendencia en los tres tratamientos (Cuadros 8, 11 y 14); los promedios por repetición en orden decreciente, fueron 9 671 kg/ha/año en la repetición 1, 7 497 kg en la 3, 5 776 kg en la 2 y 5 621 kg en la repetición 4; esta misma secuencia fue hallada en el porcentaje de saturación por bases de los suelos del experimento, como se mostró en el Cuadro 2. Seguramente estas variaciones ocultaron en algunos casos la validación estadística de las diferencias halladas en las pasturas de los tres tratamientos.

4.2.1.1 Producción de biomasa (MS) de la pastura asociada a Cordia alliodora

La producción de biomasa se presenta en los Cuadros 8, 9 y 10. La producción anual alcanzó a 5 090 kg MS/ha y el componente gramíneas constituyó el 80% de la biomasa acumulada. A pesar de que la separación del material no fue realizada por especies, pudo apreciarse un reemplazo evidente del "pasto estrella" por el "pasto gamalote", Paspalum fasciculatum. En la Fig. 11 se observa la tendencia de la producción durante los diferentes períodos de cosecha del año. La producción fue baja, aproximadamente 12 kg/ha/día durante el período de nivelación y en el 2° período, siendo este último el período más seco del año, y aumentó a 22 kg/ha/día con el inicio de las lluvias durante el tercer período (ver climograma, Fig. 3). La producción declina a valores a 15 kg y 10 kg en el 4° y 5° períodos a pesar que transcurren sin deficiencia de agua. En el análisis comparado, punto 4.2.1.4., se discuten estos aspectos.

Cuadro 8. Producción anual de la pastura asociada a Cordia alliodora en las diferentes repeticiones. kg MS/ha/año.

R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	Promedio	DS	CV (%)
7 539	3 145	6 080	3 598	5 090,5	2 080,6	40,9

Cuadro 9. Producción anual de las gramíneas y plantas de hoja ancha de la pastura asociada a Cordia alliodora. kg MS/ha/año.

	Gramíneas	Hoja Ancha	Total
Producción Kg MS/ha/año	4 087	1 003	5 090
Proporción (%)	80,3	19,7	100

Cuadro 10. Producción de la pastura asociada a Cordia alliodora durante los diferentes periodos del año. KgMS/ha/día .

Periodo de Producción	1° (nivelación) 27/10-21/3	2° 22/3-10/5	3° 11/5-4/7	4° 5/7-30-8	5° 31/8-26/10	Promedio anual
Producción gramíneas	9,4	11,1	19,0	11,6	7,9	11,2
Producción plantas hoja ancha	3,1	1,1	3,2	3,3	2,4	2,7
Producción total	12,5	12,2	22,2	14,9	10,3	13,9
Proporción plantas hoja ancha (%)	24,7	8,7	14,6	21,9	23,2	19,7

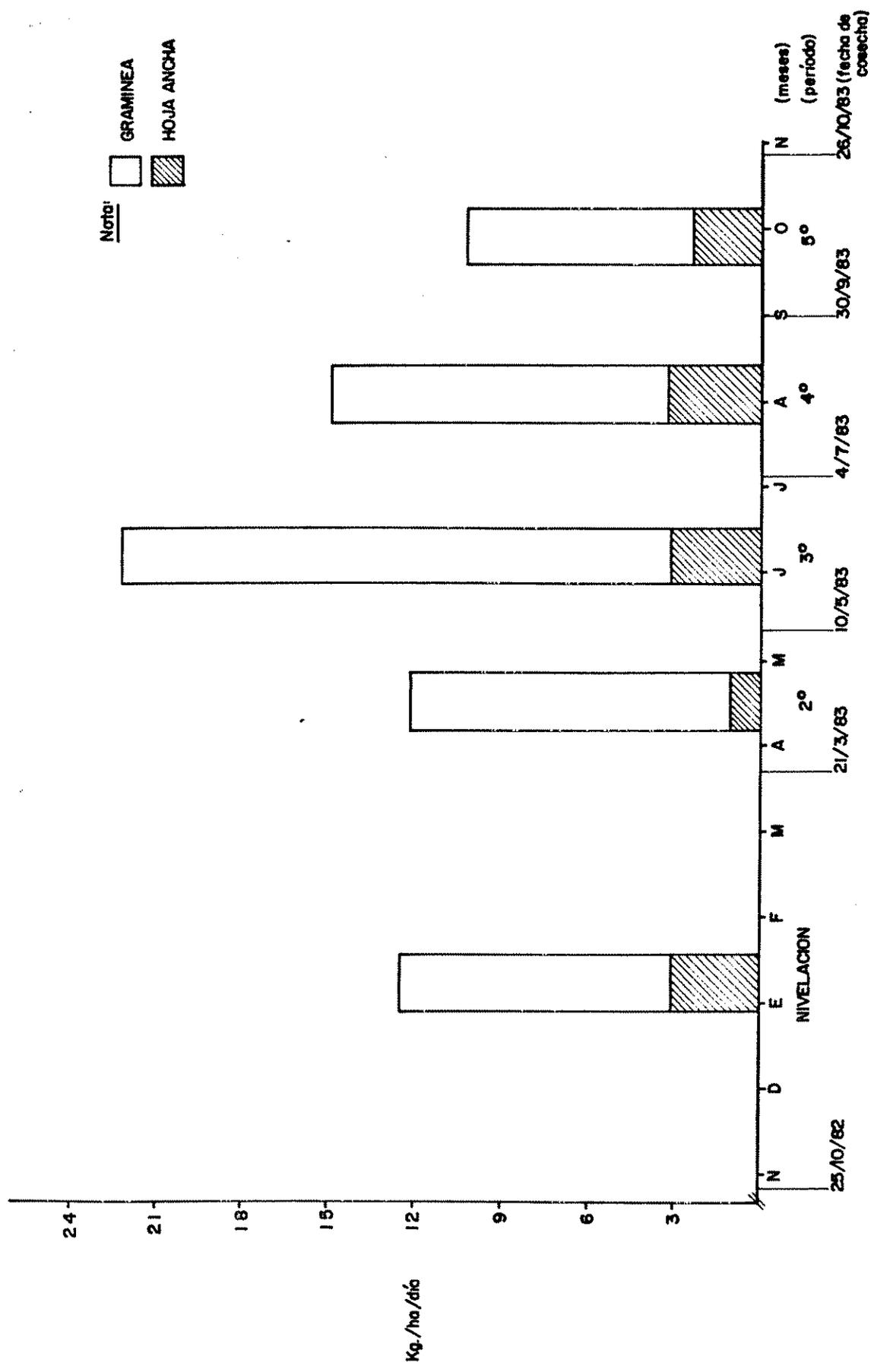


FIG.11 Producción de biomasa de pasturas de "Estrella", *Cynodon plectostachyus* asociado con árboles de *Cordia alliodora*, en las diferentes cosechas durante el año 1983.

4.2.1.2. Producción de biomasa (MS) de la pastura asociada a Erythrina poeppigiana

Los valores de producción de biomasa se presentan en los Cuadros 11 y 12. La producción anual de esta pastura alcanzó a 10 402 kg/ha y el componente gramíneas constituyó el 90% de la biomasa acumulada en el año. Fue observado, que el "pasto estrella" era prácticamente la única especie de gramínea en esta pastura.

En la Fig. 12 se observa la tendencia de la producción de biomasa de los diferentes períodos de cosecha del año. En esta pastura no se produce un incremento con el inicio de las lluvias en el tercer período, sino en el siguiente, alcanzando un valor próximo a 33 kg/ha/día, para descender a 21 kg en el 5° período. Este incremento, al igual que el observado durante el período de nivelación se relacionan con las fechas de poda, como se explicará en el análisis comparado.

4.2.1.3 Producción de biomasa (MS) de la pastura sin árboles

Los valores de producción de biomasa se presentan en los Cuadros 14, 15 y 16. La producción anual de esta pastura fue de 5 931 kg/ha y la mayor proporción de la biomasa estuvo constituida por plantas de hoja ancha, que alcanzaron el 56% de la cosecha acumulada en el año.

En la Fig. 13 se muestra la tendencia de la producción que los diferentes períodos de cosecha del año. Se observa claramente la reactivación con las lluvias en el tercer período, alcanzando a 26 kg/ha/día, para luego descender a 19 kg en el 4° período; no obstante esperarse un nuevo descenso hacia el 5° período, esto no ocurrió y puede ser explicado por el incremento de las plantas de hoja ancha, que llegaron a constituir el 81% de la biomasa en este período.

4.2.1.4 Análisis comparado de la producción de biomasa de las pasturas

En este apartado se presentan los datos de la producción anual y de cada período de cosecha; se discuten sus diferencias y significado estadístico,

Cuadro 11. Producción anual de la pastura asociada a Erythrina poeppigiana en las diferentes repeticiones. kg MS/ha/año

R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	Promedio	DS	CV (%)
14 278	8 948	9 486	8 896	10 402	2 598	25

Cuadro 12. Producción anual de las gramíneas y plantas de hoja ancha de la pastura asociada a Erythrina poeppigiana. kg MS/ha/año.

	Gramíneas	Hoja Ancha	Total
Producción (MS en kg/ha)	9 311	1 091	10 402
Proporción (%)	89,5	10,5	100

Cuadro 13. Producción de la pastura asociada a Erythrina poeppigiana durante los diferentes períodos del año. kg MS/ha/día.

Período de Producción	1° (nivelación) 27/10-21/3	2° 22/3-10/5	3° 11/5-4/7	4° 5/7-30/8	5° 31/8-26/10	Promedio anual
Producción gramíneas	34,5	19,9	14,6	27,6	15,8	25,5
Producción plantas hoja ancha	2,8	0,2	1,4	5,1	5,4	3,0
Producción total	37,3	20,1	16,1	32,7	21,2	28,5
Proporción plantas hoja ancha (%)	7,5	1,0	8,9	15,6	25,3	10,5

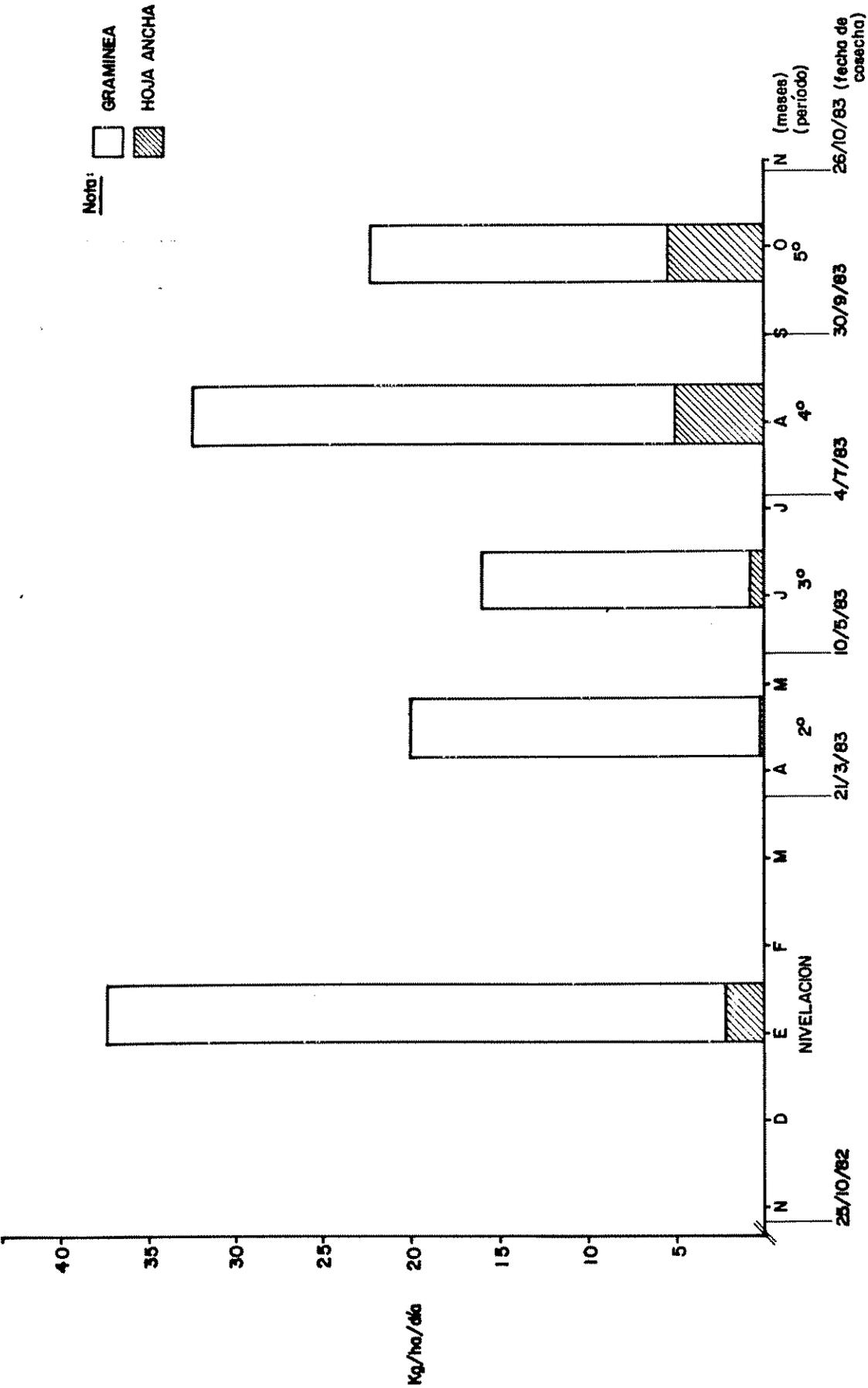


FIG.12 Producción de biomasa de pasturas de "Estrella", *Cynodon plectostachyus* asociado con árboles de *Erythrina poeppigiana* en las diferentes cosechas durante 1983.

Cuadro 14. Producción anual de la pastura sin árboles en las diferentes repeticiones. kg MS/ha/año.

R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	Promedio	D.S.	C.V. (%)
7 196	5 336	6 924	4 369	5 931	1 355	22,8

Cuadro 15. Producción anual de las gramíneas y plantas de hoja ancha de la pastura sin árboles. kg MS/ha/año.

	Gramíneas	Hoja Ancha	Total
Producción, (MS en kg/ha)	2 632	3 299	5 931
Proporción (%)	44,4	55,6	100

Cuadro 16. Producción de la pastura sin árboles durante los diferentes periodos del año. kg MS/ha/día.

Período de Producción	1° (nivelación) 27/10-21/3	2° 22/3-10/5	3° 11/5-4/7	4° 5/7-30/8	5° 31/8-26/10	Promedio anual
Producción-gramíneas	4,2	7,5	17,6	7,4	4,2	7,2
Producción-plantas hoja ancha	7,9	4,2	8,1	10,7	18,1	9,0
Producción total	12,1	11,7	25,7	19,1	22,3	16,2
Proporción plantas hoja ancha (%)	63,3	35,8	31,7	59,1	81,0	55,6

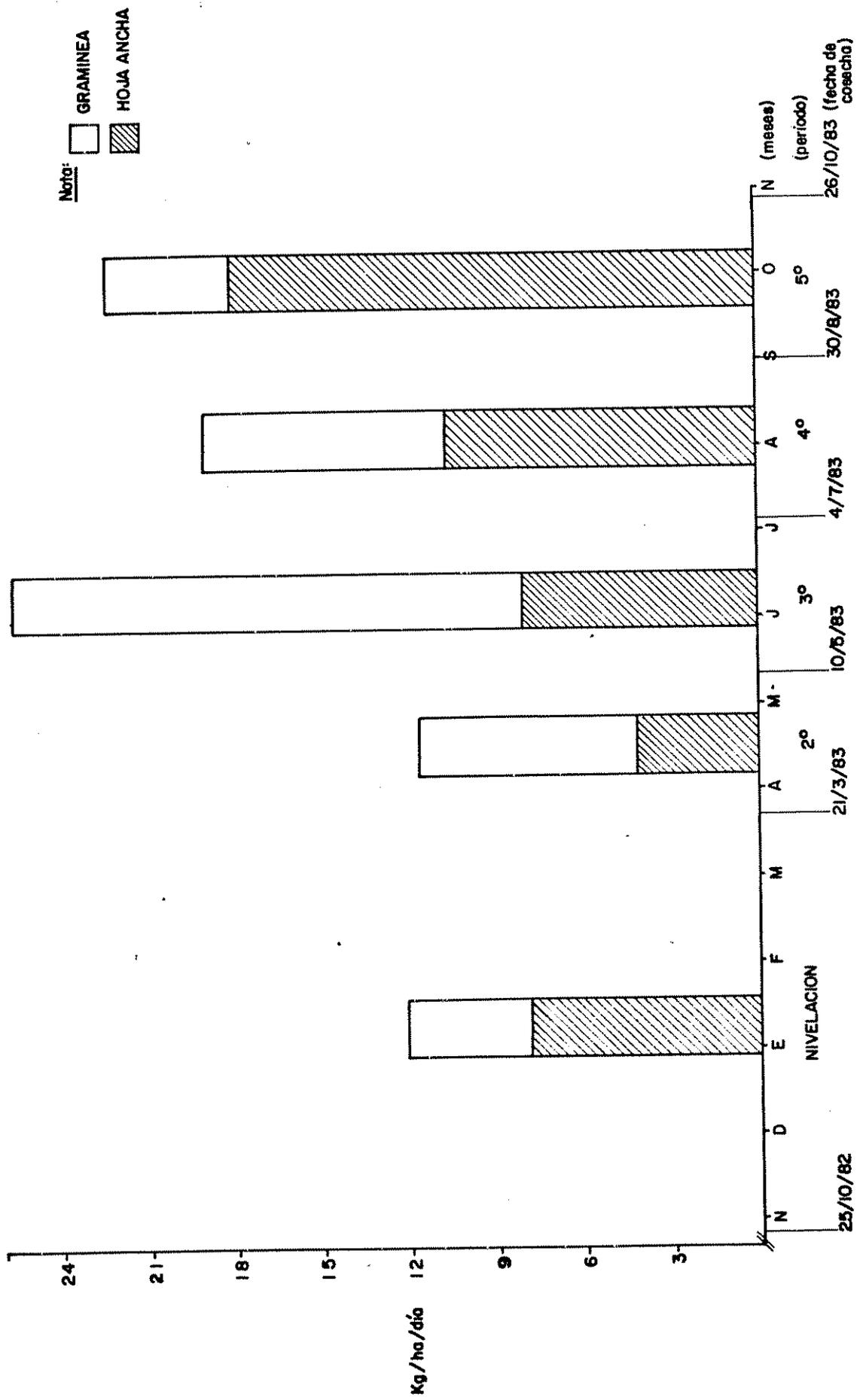


FIG.13 Producción de biomasa de pasturas de "Estrella", *Cynodon plectostachyus* sin arboles de sombra, en las diferentes cosechas durante 1983.

y se relacionan con la información ambiental disponible.

Los valores de producción anual de las pasturas y de sus componentes gramíneas y plantas de hoja ancha se presentan en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Producción anual de biomasa de la pastura asociada a Cordia alliodora, de la asociada a Erythrina poeppigiana, y de la pastura sin árboles. kg MS/ha/año.

TRATAMIENTO	GRAMINEAS	H. ANCHA	TOTAL
1. Pastura/Cordia	4 087 ^b	1 003 ^c	5 090 ^b
2. Pastura/Erythrina	9 311 ^a	1 090 ^c	10 420 ^a
3. Pastura sin árboles	2 632 ^b	3 299 ^b	5 931 ^b

Letras diferentes indican diferencia estadística,
P.R.M. TUKEY (P < 0,05).

La pastura asociada a Erythrina poeppigiana tuvo una producción cercana al doble de la obtenida en las otras pasturas; produjo un 76% más que la pastura sin árboles, y un 105% más que la pastura asociada a Cordia alliodora. La diferencia con ambas es significativa.

La producción de la pastura sin árboles superó en un 17% a la pastura asociada a Cordia alliodora, y esta diferencia no es significativa.

La producción de las gramíneas en la pastura asociada a Erythrina superó ampliamente a la hallada en las otras pasturas, en cambio, la producción de las plantas de hoja ancha fue mayor en la pastura sin árboles; la diferencia en ambos casos es significativa. La proporción de las plantas de hoja ancha sobre el total de la biomasa anual (MS) fue de 56%, 20% y 10%

para la pastura sin árboles, la pastura asociada a Cordia y asociada a Erythrina respectivamente.

Una discusión de los resultados de acuerdo a la información disponible, se presenta en los siguientes términos:

El hecho que una pastura sombreada haya tenido una producción mucho mayor que otra pastura similarmente sombreada, y que la pastura no sombreada, descarta en principio a la radiación solar como un factor que explique tales diferencias, las cuales parecen relacionarse con el aporte de nutrientes. La mayor producción de la pastura asociada a Erythrina podría ser explicada por el material aportado con las hojas, el cual fue estimado en 186 kg N/ha/año, 12 kg P y 64 kg K. Jagoe (54) en Malaya, encuentra aumentos en la producción de una pastura de Axonopus compressus asociada con árboles leguminosos de Enterolobium saman, también son hallados aumentos en cultivos perennes de granos y frutas asociadas con árboles leguminosos fijadores de nitrógeno (4, 19).

El aporte de nutrientes desde los árboles de Cordia fue estimado en 64 kg N/ha/año, 6 kg P y 29 kg K, y esto es aproximadamente un tercio del nitrógeno y la mitad en fósforo y en potasio del aportado por Erythrina (Fig. 9 y 10). La similar producción de la pastura asociada a Cordia con la hallada en la pastura sin árboles, que no está recibiendo estos aportes, podría indicar que los nutrientes depositados sobre el suelo y los removidos desde la capa superficial por los árboles de Cordia se compensan, y que las cantidades adicionales requeridas para su crecimiento son tomadas desde horizontes más profundos. Daccarett y Blydenstein (33) en su experimento de pasturas con árboles en CATIE, no encontraron diferencias en la producción de las pasturas asociadas a Cordia alliodora con las pasturas sin árboles; tampoco encontraron diferencias con las pasturas asociadas a Erythrina poeppigiana, pero en tal ensayo los árboles no eran manejados mediante podas.

El efecto de la sombra parece relacionarse estrechamente con el control de las plantas de hoja ancha, las cuales se encontraron en una baja proporción en las pasturas con árboles, 10% y 20% de la biomasa (MS) anual, en cambio alcanzaron al 56% en la pastura sin árboles. En esta última pastura se

observó la invasión de varias leguminosas rastreras, las cuales se hallaban en menor cantidad en la pastura asociada a Cordia y ausentes en la pastura con Erythrina, posiblemente por la baja cantidad de luz que ingresa en estas últimas en los meses previos a la poda. En ensayos con pasturas de leguminosas, Black (18) y Eriksen y Whitney (42), demostraron que el sombreado artificial disminuyó sensiblemente su producción; estos últimos autores (42), mencionan además que afectó la floración y la fructificación. En la pastura asociada a Erythrina se observó que el "pasto estrella" era la especie dominante; esta situación fue señalada anteriormente por Borel (21), cuando analizó en el año 1981 la composición botánica de las pasturas de este ensayo, y atribuye esta dominancia al aporte adicional de nitrógeno con las hojas de Erythrina.

La radiación solar registrada en las parcelas con árboles, aproximadamente un 60% del testigo, no fue indudablemente un obstáculo para alcanzar una producción de 10 ton/ha/año en la pastura asociada a Erythrina. En condiciones climáticas similares, Eriksen y Whitney (41) lograron una producción de 8 a 15 ton/ha/año en gramíneas sin fertilización nitrogenada, y entre 20 a 24 ton/ha/año con 360 kg N/ha/año, con un 45% de radiación solar (ver Fig. 2). Esto permite afirmar que con las intensidades de radiación disponibles en las parcelas con árboles, de 250 a 300 cal/cm²/día como promedio, la producción de las pasturas podría aumentarse aún mediante fertilización apropiada sin que se manifiesten deficiencias por luz.

La producción de la pastura asociada a Erythrina, no obstante fue mayor que en las otras pasturas, aún es baja para el adicional de nitrógeno que están recibiendo desde las hojas de los árboles, si se compara con los valores reportados para pasturas de "estrella" (47, 64, 77, 78, 79); esto podría ser explicado por una inadecuada reposición de algunos nutrientes, debido en parte a la exportación que se realiza al retirar las ramas de la poda de los árboles. La estimación realizada indicó una exportación de 79 kg N/ha/año, 9 kg P y 87 kg K, y esto es aproximadamente el 50% del total de Fósforo y Potasio removidos por los árboles (Fig. 10).

La producción de las pasturas tuvo variaciones en los diferentes períodos del año, cuyo análisis comparado revela detalles sobre el efecto de los árboles en los factores de producción. En la Fig. 14 se observan los cambios en la producción de las tres pasturas en los diferentes períodos, y en el

Cuadro 18 se presentan los valores de producción de las pasturas y de sus componentes gramíneas y plantas de hoja ancha, con la correspondiente prueba estadística.

Se destaca la mayor producción de la pastura asociada a Erythrina en el período de nivelación, durante el cual recibió los nutrientes aportados por una poda y la caída natural de las hojas, aproximadamente en 88 kg N, 6 kg P y 31 kg K; esto ocurre nuevamente en el 4° período, a expensas de los nutrientes de la poda de junio (Cuadro 8A); en ambos casos la producción fue significativamente mayor que la hallada en las otras pasturas. En cambio la producción fue menor en el tercer período, durante el cual se realizó la poda, debido a que el abundante material verde de las hojas, más de 10 ton/ha, ocultaron la pastura y deprimieron momentáneamente la producción.

En la pastura asociada a Cordia su período de mayor producción fue el tercero con 22 kg MS/ha/día, y es sin duda una respuesta al inicio de las lluvias ocurridas en el mes de mayo; en esta pastura se encontró una fuerte deficiencia de agua en las muestras tomadas en abril (Cuadro 5). La disminución a 15 kg MS/ha/día en el 4° período es atribuida a un agotamiento de nutrientes debido al mayor consumo por la pastura, mayor consumo por los árboles con el inicio de su actividad a partir de junio (93), y lixiviación de nutrientes por las lluvias que superaron los 200 mm en todos esos meses. Esta tendencia continúa y en el 5° período la producción desciende a 10 kg MS/ha/día. La mayor cantidad de hojas aportadas al suelo por los árboles de Cordia hacia la época seca, y la menor extracción de nutrientes en esta época, posiblemente provocaron una mayor disponibilidad de nutrientes que fue aprovechada por la pastura con el inicio de las lluvias.

En la pastura sin árboles también se encontró una fuerte deficiencia de agua en el mes de abril (Cuadro 7) y su respuesta a las lluvias fue similar a la encontrada en la pastura con árboles de Cordia, produciendo 26 kg MS/ha/día; disminuyó hacia el 4° período pero luego aumentó nuevamente en el 5° período, y este último cambio en la tendencia puede explicarse por el reemplazo manifiesto de las gramíneas por plantas de hoja ancha, entre ellas varias leguminosas; en estas plantas se observó un mayor desarrollo de raíces, y ello supone una diferente capacidad de exploración del suelo; incluso, es probable la fijación de nitrógeno en estas leguminosas herbáceas. Las gramíneas en

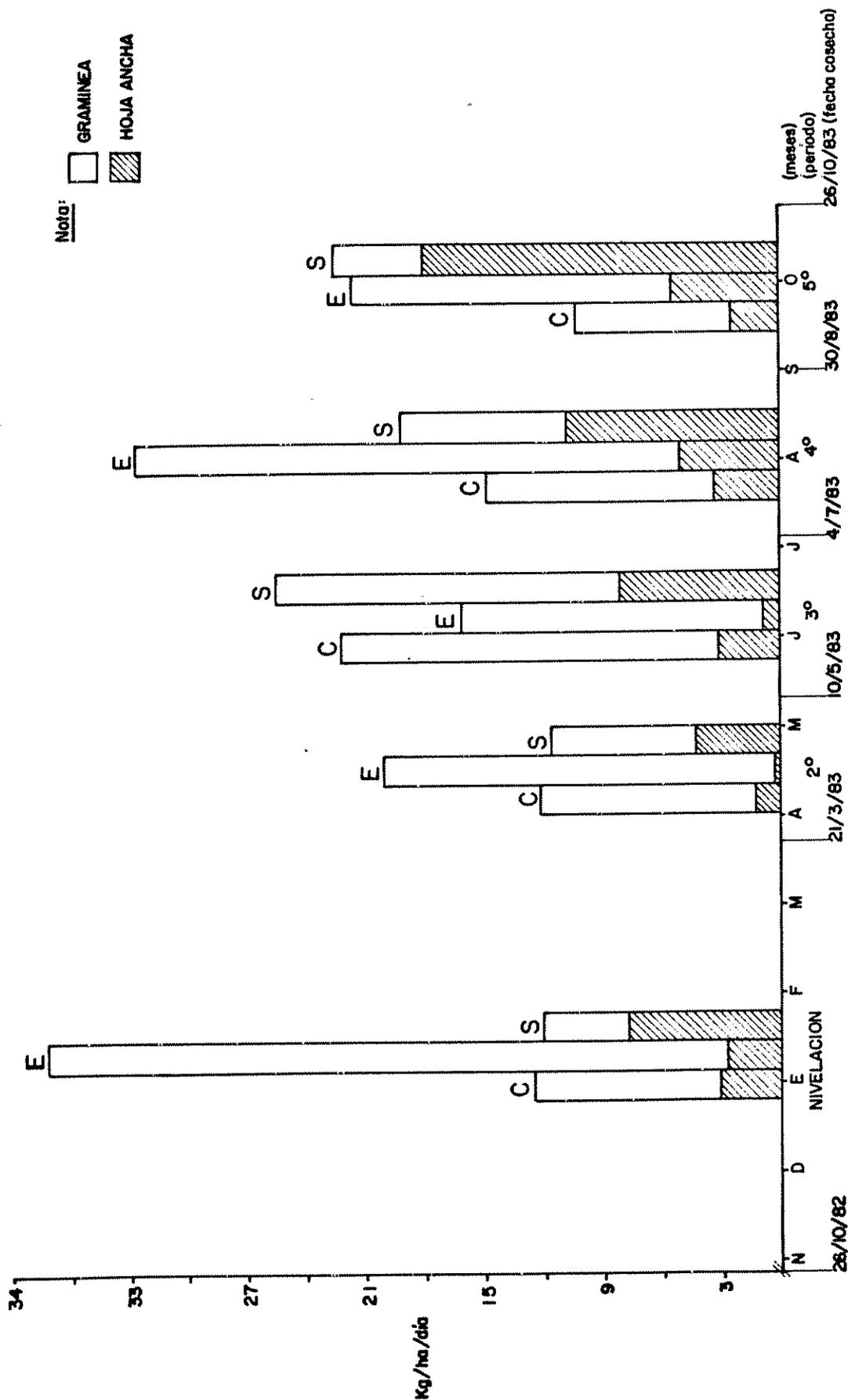


FIG. 14 Producción de biomasa de las pasturas en los diferentes periodos del año. (C: Pastura/*Cordia alliodora* ; E: Pastura/*Erythrina poeppigiana* ; S: Pastura sin árboles)

Cuadro 18. Producción de biomasa de la pastura asociada a Cordia alliodora, de la asociada a Erythrina poeppigiana, y de la pastura sin árboles, durante cada período. kg MS/ha/período.

PERIODO	TRATAMIENTO	PRODUCCION			PROPORCION (%)	
		GRAMINEAS	H. ANCHA	TOTAL	GRAM.	H. ANCHA
NIVELACION (146 días)	1. Pastura/Cordia	1 378 ^b	451 ^c	1 829 ^b	75	25
	2. Pastura/Erythrina	5 041 ^a	409 ^c	5 450 ^a	92	8
	3. Pastura sin árboles	612 ^c	1 151 ^b	1 763 ^b	35	65
2° (50 días)	1. Pastura/Cordia	555 ^b	53 ^d	608 ^b	91	9
	2. Pastura/Erythrina	995 ^a	10 ^d	1 005 ^a	99	1
	3. Pastura sin árboles	377 ^{bc}	210 ^{cd}	587 ^b	64	36
3° (55 días)	1. Pastura/Cordia	1 043 ^a	179 ^b	1 222 ^a	85	15
	2. Pastura/Erythrina	802 ^a	78 ^b	880 ^a	91	9
	3. Pastura sin árboles	968 ^a	448 ^b	1 416 ^a	68	32
4° (57 días)	1. Pastura/Cordia	661 ^b	186 ^b	847 ^b	78	22
	2. Pastura/Erythrina	1 574 ^a	290 ^b	1 864 ^a	84	16
	3. Pastura sin árboles	421 ^b	607 ^b	1 028 ^b	41	59
5° (57 días)	1. Pastura/Cordia	451 ^b	136 ^b	587 ^b	77	23
	2. Pastura/Erythrina	901 ^a	305 ^b	1 206 ^a	75	25
	3. Pastura sin árboles	242 ^b	1 032 ^a	1 274 ^a	19	81
ACUMULADO ANUAL	1. Pastura/Cordia	4 087 ^b	1 003 ^c	5 090 ^b	80	20
	2. Pastura/Erythrina	9 311 ^a	1 090 ^c	10 420 ^a	90	10
	3. Pastura sin árboles	2 632 ^b	3 299 ^b	5 931 ^b	44	56

Letras diferentes dentro del período indican diferencia estadística, PRM TUKEY (P < 0,05).

cambio, mostraron una tendencia descendente desde el tercer período; obviamente no tienen capacidad competitiva en tales condiciones de baja disponibilidad de nutrientes.

En la pastura asociada a Erythrina se observó una disminución después de los períodos de mayor producción, y si bien son acompañados por una disminución en el ingreso de luz, es más probable que la causa principal sea el agotamiento de nutrientes entre una poda y la próxima. Esto último se destaca al analizar el efecto de la distancia a los árboles de Erythrina (ver 4.3.2).

4.2.2. Contenido de proteína cruda y digestibilidad in vitro de las pasturas

4.2.2.1. Contenido de proteína cruda (% PC) de las pasturas

Se presentan aquí los resultados del contenido porcentual de proteína cruda de la pastura asociada a Cordia alliodora, de la asociada a Erythrina peoppigiana y de la pastura sin árboles; los datos corresponden al material separado en gramíneas y plantas de hoja ancha para cada uno de los períodos de cosecha. Se discuten los resultados en función de los factores ambientales, se justifican de acuerdo con algunos principios fisiológicos, y se comparan con resultados de otros autores.

En el Cuadro 19 se presentan los resultados del material cosechado durante el período de nivelación y en el Cuadro 20 las correspondientes a las cosechas 2a., 3a., 4a. y 5a.

De la observación de los datos se destacan dos hechos de importancia, que serán relatados brevemente pues no constituyen objeto de comparación durante el presente trabajo. El primero está referido al % PC de los componentes, el cual es mayor en plantas de hoja ancha que en gramíneas; en el Cuadro 19 se puede apreciar que las gramíneas tuvieron un 6,1% PC y las plantas de hoja ancha un 11,8% en la pastura sin árboles, y las mismas tendencias ocurren en las pasturas con árboles; diferencias similares son relatadas en otros trabajos

Cuadro 19. Contenido de proteína cruda (% PC) de los componentes gramíneas y plantas de hoja ancha de la pastura asociada a Cordia alliodora, de la asociada a Erythrina poeppigiana y de la pastura sin árboles, durante el período de nivelación (146 días).

TRATAMIENTO	GRAMINEAS ^{1/}	Pl. H. Ancha
1. Pastura/Cordia	6,4 ^b	12,4
2. Pastura/Erythrina	9,5 ^a	13,9
3. Pastura sin árboles	6,1 ^b	11,8

1/ Letras diferentes indican diferencia estadística, PRM TUKEY (P < 0,05).

(3, 5, 15, 54, 91, 92). El segundo aspecto se refiere al % PC del material cosechado en períodos de diferente duración. Si se comparan los valores del Cuadro 19 correspondientes al período de nivelación de 146 días, con los promedios obtenidos de las cosechas de 54 ± 3 días, en el Cuadro 20, se observará que el valor de 6,1% PC observado en las gramíneas sin sombra aumentó a 9,1% y de 6,4% aumentó a 9,2% en la asociada a Cordia, y esto es debido a que en el proceso de envejecimiento los vegetales traslocan materiales proteícos y minerales hacia los tejidos en formación; la disminución del % PC con la edad es hallada corrientemente tanto en gramíneas (47, 63, 77, 79, 94) como en latifoliadas (16, 83). En pasto "estrella" sin fertilización, Ulate Montero (94) determinó en cortes de 1 a 7 semanas los siguientes % PC: 23,9, 18,0, 14,4, 12,1, 10,4 y 9,8%; este último valor es comparable con los obtenidos en las gramíneas sin sombra de este experimento, en los cortes de 7 a 8 semanas.

En lo referente al efecto en los árboles, se destaca que el % PC es más alto en las pasturas con árboles, especialmente en la asociada a Erythrina. Como se observa en el Cuadro 20, esto ocurrió en la mayoría de las cosechas; el promedio para las gramíneas fue de 11,4%, 9,2% y 9,1% para las pasturas asociadas a Erythrina, a Cordia y sin árboles respectivamente, y de 18,6%, 16,3% y 14,5% en el mismo orden, en las plantas de hoja ancha.

Cuadro 20. Contenido de proteína cruda (PC%) de los componentes gramíneas y plantas de hoja ancha de la pastura asociada a Cordia alliodora, de la asociada a Erythrina poeppigiana y de la pastura sin árboles, durante el 2°, 3°, 4° y 5° períodos (54 + 3 días)

TRATAMIENTOS	2° período				3° período				4° período				5° período				Promedio los 4 períodos			
	GRAM.	P1.H.A.	GRAM.	P1.H.A.	GRAM.	P1.H.A.	GRAM.	P1.H.A.	GRAM.	P1.H.A.	GRAM.	P1.H.A.	GRAM.	P1.H.A.	GRAM.	P1.H.A.	GRAM.	P1.H.A.		
1. Pastura/Cordia	9,6 ^a	17,5	9,1 ^b	11,5	8,3 ^a	15,7	9,9 ^{ab}	16,5	9,2 ^b	16,3										
2. Pastura/Erythrina	12,9 ^a	20,7	14,7 ^a	21,8	7,8 ^a	15,8	10,9 ^a	16,5	11,4 ^a	18,6										
3. Pastura sin árboles	10,0 ^a	16,9	7,8 ^b	11,8	9,4 ^a	14,9	9,0 ^b	14,6	9,1 ^b	14,5										

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística, PRM TUKEY (P < 0,05)

El mayor % PC de los componentes de la pastura asociada a Erythrina se debe al efecto conjunto de la atenuación de la radiación solar y de la mayor disponibilidad de nutrientes, como fue discutido en el punto 2.3.1.2. Deinun (35) trabajando con Lolium perenne halló 10,4% PC con luz normal y 18,3% PC para 25% de luz, con temperaturas entre 20 y 25°C, y encontró 13,2% PC y 22,7% PC con temperaturas entre 10 y 15°C, como se mostró en el Cuadro 1. Eriksen y Whitney (41) también encontraron menores contenidos de proteína cruda con intensidades de luz y temperaturas crecientes. En su trabajo en Hawaii con varias gramíneas tropicales, citan los siguientes valores promedios de contenido de proteína cruda:

	% Luz			
	100	70	45	27
% PC ^{1/} en la estación calida:	6,2	7,1	7,3	10,1
% PC en la estación fría:	8,2	9,6	11,2	13,1

Daccarett y Bydenstein (33) en CATIE encontraron este efecto trabajando con pasturas sombreadas por árboles: el testigo sin sombra tuvo 6% PC y 8,4% hallaron en la pastura más sombreada (44% luz).

4.2.2.2 Digestibilidad in vitro de las pasturas

Los valores de la digestibilidad in vitro (%) de las gramíneas y de las plantas de hoja ancha se presentan en el Cuadro 21. Los datos corresponden al material cosechado en el 5° período y sólo se practicó la prueba estadística para las gramíneas.

La digestibilidad de las gramíneas fue levemente mayor en las pasturas con árboles que en la pastura sin árboles, pero las diferencias no fueron significativas. La menor digestibilidad en la pastura sin sombra podría

^{1/} Los valores originales están expresados como N-total y se han transformado a % PC = N-total x 6,25, para una mejor comparación con los datos ya citados.

Cuadro 21. Digestibilidad in vitro (%) de las gramíneas y de las plantas de hoja ancha de la pastura asociada a Cordia alliodora, de la asociada a Erythrina poeppigiana y de la pastura sin árboles

TRATAMIENTO	GRAMINEAS ^{1/}	Pl. H. Ancha
1. Pastura/Cordia	47,3 ^a	56,7
2. Pastura/Erythrina	46,9 ^a	59,4
3. Pastura sin árboles	45,1 ^a	44,4

^{1/} Letras diferentes indican diferencia estadística, PRM TUKEY (P < 0,05).

explicarse por una mayor tasa evapotranspiratoria, y ésta última se relaciona positivamente con el contenido de fibras, que son materiales de baja digestibilidad (35, 75, 94).

La digestibilidad de las plantas de hoja ancha de las pasturas con árboles fue mayor que el hallado en la pastura sin árboles; se trata de un material más succulento, habitualmente con bajo contenido de elementos estructurales, en cambio en las pastura sin árboles se halló una mayor cantidad de plantas con tallos lignificados.

4.2.3 Producción de proteína cruda de las pasturas

La producción de proteína cruda es un parámetro apropiado para medir el rendimiento de una pastura.

Cuando los factores involucrados en la producción de las plantas se hallan en cantidades apropiadas, la producción de biomasa y el contenido porcentual de proteína suelen aumentar, y con ellos la producción de proteína cruda. Cuando sólo algunos factores se hallan en cantidades apropiadas, puede ocurrir que aumente la producción de biomasa mientras que en el contenido de algunos minerales o materiales proteícos se hallen en baja proporción

(35). Este parámetro ofrece un balance entre la cantidad de biomasa y la concentración de sus constituyentes. En la Figura 15 se pueden observar los cambios de la producción de proteína cruda en los períodos de cosecha; la tendencia es similar a la observada en la producción de biomasa (Fig. 14) y muestra con más claridad el efecto de los factores. Así, la pastura asociada a Cordia muestra su más alta producción con el inicio de las lluvias en el tercer período, y una progresiva disminución hacia el 4° y 5° períodos probablemente por agotamiento de los nutrientes. La pastura asociada a Erythrina muestra el valor más alto en el período de nivelación, que incluyó una poda y una pequeña fertilización, y un pico productivo en el 4° período, que siguió a la poda, mientras que los otros períodos tienen prácticamente el mismo ritmo, próximo a 2,5 kg/ha/día. En la pastura sin árboles se observa el aumento progresivo de la producción de proteína cruda, en base a las plantas de hoja ancha que colonizaron esta pastura.

En el Cuadro 22 se presentan los datos de producción de proteína de la pastura asociada a Cordia alliodora, de la asociada a Erythrina poeppigiana y de la pastura sin árboles, en cada período de cosecha y en la acumulada anual.

La producción anual de proteína cruda en la pastura asociada a Erythrina superó en un 70% a la pastura sin árboles, y en un 137% a la pastura asociada a Cordia: la diferencia con ambas es estadísticamente significativa.

La pastura sin árboles fue colonizada fuertemente por plantas de hoja ancha, entre ellas varias leguminosas, que aumentaron la producción de biomasa y especialmente la producción de proteína cruda, diferenciándose significativamente de la pastura asociada a Cordia, a la cual superó en un 40%.

La producción de proteína del componente gramíneas fue siempre mayor en la pastura asociada a Erythrina seguido de la pastura asociada a Cordia mientras que la del componente hoja ancha fue siempre mayor en la pastura sin árboles.

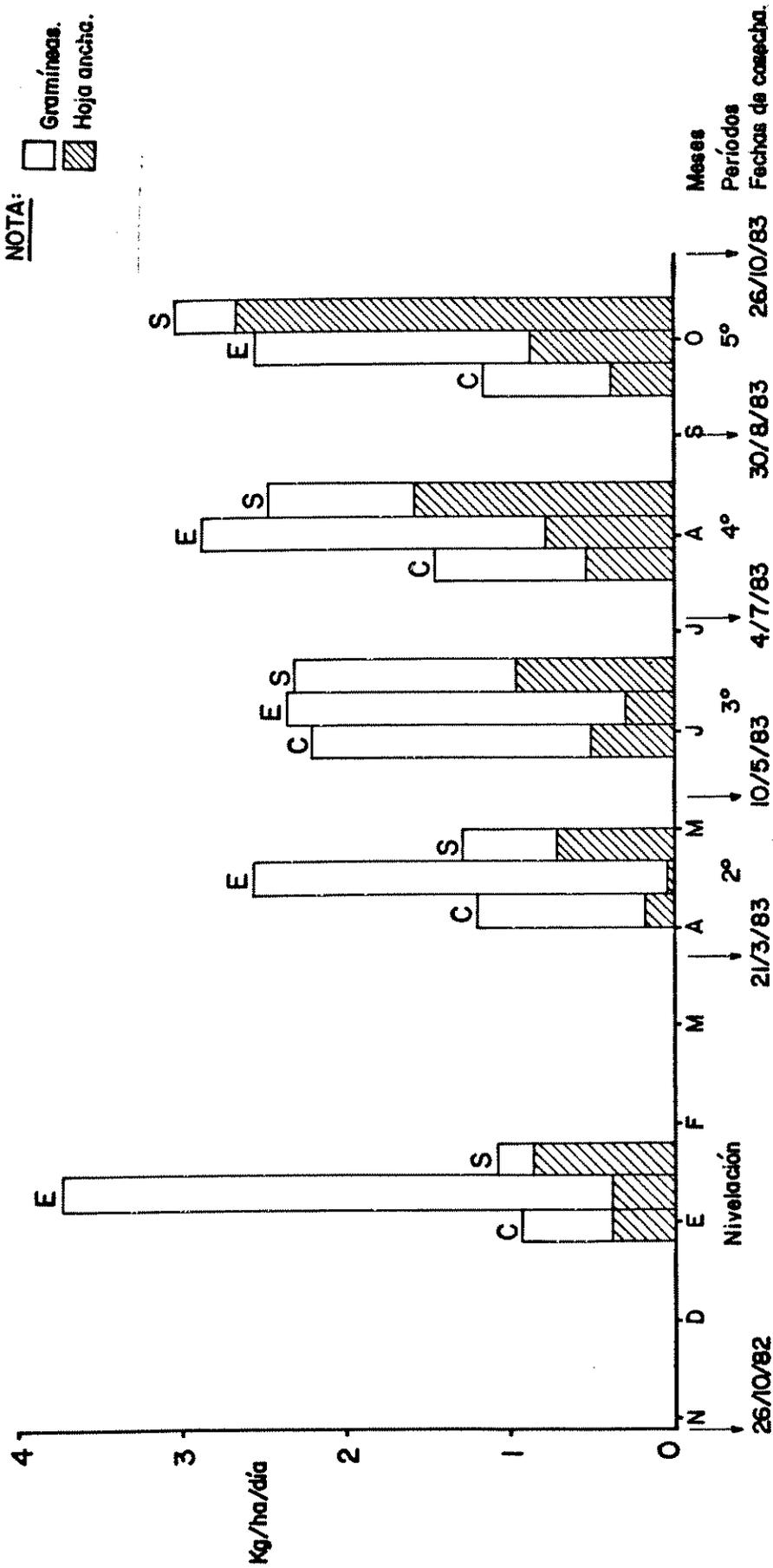


Fig.15 Producción de proteína cruda de las pasturas en los diferentes períodos del año. (C: pastura/*Cordia alliodora*; E: pastura/*Erythrina poeppigiana*; S: pastura sin árboles).

Cuadro 22. Producción de proteína cruda de la pastura asociada a Cordia alliodora, de la asociada a Erythrina poeppigiana y de la pastura sin árboles, durante cada período y en la cosecha anual. kg PC/ha.

PERIODO	TRATAMIENTO	GRAM. ^{1/}	H. ANCHA	TOTAL
Nivelación kg/ha/146 días	1. Past/Cordia	80,8 ^b	56,0 ^b	136,8 ^b
	2. Past/Erythrina	487,8 ^a	56,8 ^b	544,6 ^a
	3. Past/sin árboles	33,8 ^b	124,4 ^b	158,2 ^b
2° período kg/ha/50 días	1. Past/Cordia	51,1 ^b	9,1 ^c	60,2 ^b
	2. Past/Erythrina	126,4 ^a	2,1 ^c	128,5 ^a
	3. Past/sin árboles	32,6 ^{bc}	35,5 ^{bc}	68,1 ^b
3° período kg/ha/55 días	1. Past/Cordia	93,9 ^{ab}	27,8 ^d	121,7 ^a
	2. Past/Erythrina	114,6 ^a	16,3 ^d	130,9 ^a
	3. Past/sin árboles	74,7 ^{bc}	52,9 ^{cd}	127,6 ^a
4° período kg/ha/57 días	1. Past/Cordia	53,6 ^c	29,1 ^d	82,7 ^c
	2. Past/Erythrina	118,4 ^a	45,0 ^{cd}	163,4 ^a
	3. Past/sin árboles	39,0 ^{cd}	90,5 ^b	129,5 ^b
5° período kg/ha/57 días	1. Past/Cordia	44,5 ^c	22,4 ^c	66,9 ^b
	2. Past/Erythrina	96,9 ^b	48,4 ^c	145,3 ^a
	3. Past/sin árboles	21,9 ^c	150,7 ^a	172,6 ^a
Prod. anual kg/ha/año.	1. Past/Cordia	324,0 ^c	144,4 ^c	468,4 ^c
	2. Past/Erythrina	944,0 ^a	168,6 ^c	1 112,6 ^a
	3. Past/sin árboles	201,9 ^c	453,9 ^b	655,8 ^b

^{1/} Letras diferentes dentro del período indican diferencia estadística, PRM TUKEY (P < 0,05).

4.3. EFECTO DE LA DISTANCIA A LOS ARBOLES

En las parcelas con árboles la medición de las variables microambientales y las correspondientes a la pastura fueron realizadas a dos distancias de los árboles, a 1,0 metro y a 3,6 metros. Se relatan los valores y las diferencias halladas entre estos dos sitios en las parcelas con árboles de Cordia alliodora y en las parcelas con árboles de Erythrina poeppigiana.

4.3.1 Efecto de la distancia a los árboles de Cordia alliodora

4.3.1.1 Efecto sobre las variables microambientales

Radiación solar: mediciones realizadas durante 5 meses (julio/83 - diciembre/83) con radiómetro Gunn-Bellani, indicaron un ingreso de radiación solar del 43,1% colocado a 1,0 m del árbol y del 66,0% en el colocado a 3,6 m con respecto al testigo sin sombra (Cuadro 4A); en la Fig. 7 se observan las tendencias durante el período de mediciones. Mediciones con radiómetro para luz fotosintéticamente activa realizadas en el momento de máxima caducifolia (abril), indicaron 67,8% y 88,5% para los sitios a 1,0 m y 3,6 m de los árboles de Cordia (Cuadro 9A).

Agua en el suelo (0-10 cm): en los períodos lluviosos ambos sitios tuvieron valores similares y la tensión de agua se mantuvo en capacidad de campo o próxima a ella. En el período seco, las muestras a 1,0 m de los árboles tuvieron deficiencia moderada, con una tensión de 3,3 bar y las muestras a 3,6 m se hallaban en marchitez permanente, 15 bar. En el momento de máxima sequía, ambos sitios alcanzaron a 15 bar (Cuadro 5).

Densidad aparente del suelo (0-10 cm): no existen prácticamente diferencias entre los sitios próximos y distantes de los árboles, a 1,0 m fue de 1,057 gr/cm³ y a 3,6 m fue de 1,082 gr/cm³.

Hojas caídas naturalmente: no fueron estimados para cada distancia.

4.3.1.2 Efecto sobre las pasturas

4.3.1.2.1 Efecto en la producción de biomasa de la pastura (MS)

La producción de biomasa de la pastura fue prácticamente igual en ambas distancias. No hubo diferencias significativas en ningún período ni en el total anual, el cual alcanzó a 5 092 kg/ha en las muestras a 1,0 m y 5 088 kg/ha en las distantes a 3,6 m. Se halló una ligera diferencia en las cantidades de los componentes gramíneas y plantas de hoja ancha; la proporción de éstas últimas alcanzó al 18,8% y 20,6% en las muestras a 1,0 y 3,6 m respectivamente.

En el Cuadro 23 se presentan los datos de producción de biomasa para cada período de cosecha y el total anual; estos valores denotan que las diferencias apreciadas en las variables microambientales tuvieron un efecto poco acentuado; puede notarse no obstante una ligera diferencia en favor de las muestras a 1,0 m de los árboles en el período más seco, el 2º, con 587 kg MS/ha a 1,0 m y 522 kg MS/ha a 3,6 m; lo contrario ocurre en el 3er período, en el que se inician las lluvias, con 1 023 kg/ha a 1,0 m y 1 064 kg/ha en las muestras 3,6 m.

4.3.1.2.2 Efecto en el contenido de proteína cruda (% PC), en la producción de proteína cruda, y en la digestibilidad in vitro (% DIVMS)

En el Cuadro 23 se presentan los datos del % PC y de la producción de proteína cruda. El % PC en las gramíneas no muestra diferencias apreciables con la distancia a los árboles de Cordia, y los ligeros cambios de magnitud en favor de una u otra distancia parecen relacionarse con la cantidad de biomasa producida. El % PC anual ponderado ^{1/} fue ligeramente superior en las muestras a 1,0 m; los valores fueron 8,0% y 7,8% a

$$\frac{1}{\% \text{ PC anual ponderado}} = (\text{PC anual} / \text{MS anual}) \times 100$$

Cuadro 23. Producción de biomasa (MS), % PC, y producción de PC de los sitios a 1,0 m y a 3,6 m de distancia a los árboles de Cordia alliodora.

PERIODO	DISTANCIA	PRODUCCION DE BIOMASA kg MS/ha/perfodo			% DE PROTEINA CRUDA			PRODUCCION DE PROTEINA CRUDA kg/ha/perfodo		
		GRAM.	H. ANCHA	TOTAL	GRAM.	H. ANCHA	GRAM.	H. ANCHA	TOTAL	
Nivelación (146 días)	1,0	1 386 ^a	403 ^b	1 789 ^a	6,5 ^a	12,4 ^{1/}	86 ^a	50 ^a	136 ^a	
	3,6 m	1 370 ^a	499 ^b	1 869 ^a	6,5 ^a		76 ^a	62 ^a	138 ^a	
2° perfodo (50 días)	1,0 m	587 ^a	57 ^b	644 ^a	9,4 ^a	16,2	53 ^a	9 ^b	62 ^a	
	3,6 m	522 ^a	48 ^b	570 ^a	9,7 ^a	18,8	49 ^a	9 ^b	58 ^a	
3° perfodo (55 días)	1,0 m	1 023 ^a	185 ^b	1 208 ^a	9,2 ^a	16,3	94 ^a	30 ^b	124 ^a	
	3,6 m	1 064 ^a	171 ^b	1 235 ^a	9,0 ^a	14,8	94 ^a	25 ^b	119 ^a	
4° perfodo (57 días)	1,0 m	687 ^a	178 ^b	865 ^a	8,4 ^a	15,7	55 ^a	28 ^b	83 ^a	
	3,6 m	634 ^a	193 ^b	827 ^a	8,3 ^a	15,7	52 ^a	30 ^b	82 ^a	
5° perfodo (57 días)	1,0 m	451 ^a	135 ^b	586 ^a	9,8 ^a	17,1	44 ^a	23 ^a	67 ^a	
	3,6 m	450 ^a	137 ^b	587 ^a	9,9 ^a	15,9	45 ^a	22 ^a	67 ^a	
TOTAL	1,0 m	4 134 ^a	958 ^b	5 092 ^a	8,0 ^a	14,6	332 ^a	140 ^a	472 ^a	
Anual	3,6 m	4 040 ^a	1 048 ^b	5 088 ^a	7,8 ^a ^{2/}	14,1	316 ^a	148 ^a	464 ^a	

Letras diferentes dentro del perfodo, indican diferencia estadística, PRM TUKEY (P < 0,05).

1/ Muestra compuesta por material de 1,0 m y 3,6 m.

2/ % PC ponderado = (PC anual/MS anual) x 100.

1,0 y 3,6 en gramíneas, y 14,6% y 14,1% para las plantas de hoja ancha. En función de tales compensaciones entre producción de materia seca y % PC, la producción de proteína cruda es esencialmente igual en todos los períodos, alcanzando en el total anual a 472 kg/ha en las muestras a 1,0 m y 464 en las de 3,6 m.

La digestibilidad, obtenida únicamente del material de la última cosecha, fue de 49,2% y 45,6% para las muestras de gramíneas a 1,0 y 3,6 m y esta diferencia fue significativa; para las muestras de plantas de hoja ancha se hallaron valores de 56,7% y 56,6% para 1,0 y 3,6 m respectivamente.

4.3.2 Efecto de la distancia a los árboles de *Erythrina poeppigiana*

4.3.2.1. Efecto sobre las variables microambientales

Radiación solar: Las mediciones realizadas durante 5 meses (julio/83 diciembre/83) con radiómetro Gunn-Bellani colocado a 1,0 m del árbol, indicaron un ingreso de luz del 35% respecto al testigo, y del 71% en el colocado a 3,6 m (Cuadro 5A). A partir del momento de la poda los dos sitios tuvieron un elevado ingreso de luz, y posteriormente mostraron una disminución que fue más acentuada en el sitio próximo al árbol. En el mes previo a la poda de diciembre 1983, el registro fue de 17% y 57% para 1,0 m y 3,6 m respectivamente. En el semestre anterior, mediciones realizadas 40 días antes de la poda de junio con radiómetro para luz fotosintéticamente activa, indicaron 20,3% y 67,8% para 1,0 m y 3,6 m. (Cuadro 9A). En la Fig. 8 se aprecian la transmisión de luz para las dos distancias y la tendencia del % RS durante el período de registros continuos.

Agua en el suelo (0-10 cm): en los períodos lluviosos las muestras de los dos sitios se mantuvieron por encima de la capacidad de campo, esto es, menor a 0,2 bar, y en el período seco ambos estuvieron en capacidad de campo. En el período muy seco las muestras próximas a los árboles tuvieron más humedad, alcanzando a 0,5 bar y 2,8 bar para 1,0 m y 3,6 m respectivamente (Cuadro 6).

Densidad aparente del suelo (0-10 cm): no existen diferencias entre las dos distancias a los árboles. A 1,0 m esta fue 1,025 gr/cm³ y a 3,6 m fue 1,019 gr/cm³.

Hojas caídas al suelo; no fue estimado para cada distancia. No obstante, tanto el material de la poda como las hojas caídas naturalmente tienden a ser mayores en los sitios próximos a los árboles. Russo (83) midió las hojas caídas naturalmente a 4 distancias de los árboles; las proporciones resultaron las siguientes: de 0-1 m 50,2%, de 1-2 m 22,8%, de 2-3 m 15,3% y de 3-4 m 11,7%.

4.3.2.2. Efecto sobre la pastura

4.3.2.2.1. Efecto en la producción de biomasa de la pastura (MS)

La producción anual de biomasa de la pastura fue similar en las muestras a 1,0 m y en las muestras a 3,6 m de los árboles de Erythrina, alcanzando a 9 706 kg/ha/año y 8 916 kg/ha/año respectivamente. Se observó un ligero aumento en la biomasa de las plantas de hoja ancha en las muestras distantes; la proporción de estas fue 8,2% y 12,9% para las muestras a 1,0 y 3,6 m.

En el Cuadro 24 se presentan los datos de producción por componente, para cada distancia y período de cosecha. Se destacan los siguientes aspectos:

La producción de biomasa en las muestras próximas a los árboles fue mayor en el período de nivelación y en los que siguieron a la poda, (4° y 5°), y fue ligeramente menor en el que antecedió a la poda, (2°), y en el que incluyó la poda (3°). Las diferencias en ningún caso fueron significativas.

La producción de gramíneas fue superior en las muestras próximas a los árboles y las diferencias fueron significativas en los dos últimos períodos, pero no en la cosecha anual; inversamente, la producción de plantas de hoja ancha fue mayor en las muestras más alejadas de los árboles y sólo en el 5° período la diferencia fue significativa.

Obviamente la menor disponibilidad de luz no afectó la producción anual de la pastura en los sitios más próximos a los árboles, y su deficiencia sólo se manifestó en los momentos de máximo desarrollo de follaje, cuando el ingreso de RS fue menor que 20%. En cambio, tuvo un efecto en el control de las plantas de hoja ancha.

4.3.2.2.2, Efecto en el contenido de proteína cruda (% PC), en la producción de proteína cruda, y en la digestibilidad in vitro (% DIVMS)

En el Cuadro 24 se presentaron los datos del % PC y de la producción de proteína cruda.

El % PC en las gramíneas de las muestras próximas a los árboles fue siempre mayor que el de las muestras distantes y la diferencia es significativa en 4 de los 5 períodos; la mayor diferencia se obtuvo en el 3er. período, con 16,3% y 13,2%, y la menor diferencia en 4° período, el siguiente a la poda, con 8,0% y 7,6%. El % PC anual ponderado^{1/} fue también mayor, 10,4% a 1,0 m y 9,8% a 3,6 m, pero la diferencia no es significativa. El % PC de las plantas de hoja ancha también fue mayor en las muestras próximas a los árboles en todos los períodos y en el valor anual ponderado, el cual fue de 16,5% y 14,8% para 1,0 y 3,6 m respectivamente; sobre este material no se realizaron pruebas estadísticas, pues el análisis químico se hizo con muestras compuestas.

La atenuación de la radiación solar aumentó los % PC y estos resultados concuerdan con los hallados por Deinum (35) y Eriksen y Whitney (41) en gramíneas desarrolladas en condiciones de campo controladas, (ver 2.3.1.2) con los hallados por Daccarett y Blydenstein (33) en gramíneas bajo árboles de distinto sombreado y con los hallados por Cantliffe (28) en plantas de hoja ancha (espinaca), en condiciones controladas.

La digestibilidad in vitro correspondiente al material de la última cosecha únicamente, también fue mayor en las muestras próximas a los árboles, tanto en gramíneas como en plantas de hoja ancha. Los valores hallados en gramíneas fueron 50,2% y 43,7%, siendo esta diferencia significativa, y en plantas de hoja ancha 60,6% y 58,1%. La digestibilidad aumentó con el mayor contenido de proteína cruda y esto concuerda con lo mencionado por Ulate Montero (94), quien encontró una correlación positiva entre el porcentaje de proteína cruda y la digestibilidad in vitro en pasto estrella y en otras gramíneas tropicales.

^{1/} % PC anual ponderado = PC anual/MS anual x 100

Cuadro 24.

Producción de biomasa (MS), % PC, y producción de PC de los sitios a 1,0 m y a 3,6 m de distancia a los árboles de Erythrina poeppigiana.

PERIODO	DISTANCIA	PRODUCCION DE BIOMASA kg/ha/período			% PROTEINA CRUDA		PRODUCCION DE PROTEINA CRUDA kg/ha/período		
		GRAM.	H. ANCHA	TOTAL	GRAM.	H. ANCHA	GRAM.	H. ANCHA	TOTAL
Nivelación (146 días)	1,0 m	5 138 ^a	393 ^b	5 531 ^a	10,0 ^a	13,9 ^{1/}	514 ^a	55 ^b	569 ^a
	3,6 m	4 944 ^a	424 ^b	5 368 ^a	9,2 ^a		462 ^a	59 ^b	521 ^a
2° Período (50 días)	1,0 m	830 ^a	10 ^b	840	13,9 ^a	21,0	115 ^a	2 ^b	117 ^a
	3,6 m	1 160 ^a	10 ^b	1 170	11,9 ^b	20,4	138 ^a	2 ^b	140 ^a
3° Período (55 días)	1,0 m	733 ^a	52 ^b	785 ^a	16,3 ^a	24,9	116 ^a	13 ^b	129 ^a
	3,6 m	869 ^a	104 ^b	973 ^a	13,2 ^b	18,9	113 ^a	20 ^b	133 ^a
4° Período (57 días)	1,0 m	1 915 ^a	220 ^c	2 135 ^a	8,0 ^a	17,1	147 ^a	38 ^b	185 ^a
	3,6 m	1 232 ^b	360 ^c	1 582 ^a	7,6 ^a	14,5	90 ^b	52 ^b	142 ^a
5° período (57 días)	1,0 m	1 091 ^a	188 ^d	1 279 ^a	11,5 ^a	18,4	123 ^a	35 ^b	158 ^a
	3,6 m	711 ^b	421 ^c	1 132 ^a	10,4 ^b	14,8	71 ^b	62 ^b	133 ^b
Total	1,0 m	9 707 ^a	863 ^b	10 570 ^a	10,4 ^a	16,5	1 1015 ^a	143 ^b	1 158 ^a
Annual	3,6 m	8 916 ^a	1 319 ^b	10 235 ^a	9,8 ^a	14,9 ^{2/}	874 ^a	195 ^b	1 069 ^a

Letras diferentes en la misma columna, indican diferencia estadística, PRM TUKEY (P < 0,05)

1/ Muestra compuesta de material de 1,0 m y 3,6 m

2/ % PC anual ponderado = (PC anual/MS anual) x 100

5. SINTESIS

En la actividad agropecuaria de América Latina se plantea la necesidad de aplicar técnicas que permitan aumentar la producción con ahorro de insumos costosos y/o escasos. Se postula que los sistemas silvopastoriles ofrecen una alternativa racional basada en un aprovechamiento eficiente de los recursos del suelo y del espacio, y se sugiere que el conocimiento del efecto de los árboles en los factores que gobiernan la producción de las pasturas contribuirá al diseño de sistemas silvopastoriles, adecuados a las condiciones locales y a las necesidades del productor.

Se estudia la producción de una pastura "estrella" Cynodon plectastachyus y algunos factores ambientales seleccionados, en respuesta a su combinación con dos especies arbóreas funcionalmente diferentes; una maderable, Cordia alliodora aprovechada mediante raleos, y una leguminosa fijadora de nitrógeno periódicamente podada para la producción de abono verde, y se compara con la pastura sin árboles. Se trabaja en las condiciones del trópico húmedo, en parcelas experimentales establecidas 6 años atrás y se conduce el experimento mediante cortes y cosechas de la pastura sin aplicación de fertilizantes, herbicidas ni insecticidas.

Como resultados se obtiene que la pastura asociada a Erythrina poeppigiana tuvo una producción significativamente mayor que la asociada a Cordia alliodora y que la pastura sin árboles; además, el forraje producido fue de mayor calidad proteica y digestibilidad, y el pasto "estrella" originalmente sembrado tuvo mayor persistencia. En cambio la pastura asociada a Cordia tuvo una menor producción de biomasa y su calidad proteica y digestibilidad fue solo ligeramente superior que la hallada en pastura sin árboles. En estas dos últimas pasturas el pasto "estrella" fue remplazado por otras especies, principalmente gramíneas en la asociada con Cordia y plantas de hoja ancha en la pastura sin árboles.

La mayor producción de la pastura asociada a Erythrina es atribuida principalmente a la materia orgánica y nutrientes aportados con las hojas de estos árboles, y a la mayor humedad de esta pastura en la época seca; también la persistencia del "estrella" es atribuida a las mejores condiciones

edáficas, que le han permitido mantener su capacidad competitiva. Su mayor calidad proteica es debida al aporte de nutrientes con las hojas de los árboles, particularmente ricas en nitrógeno, y a la atenuación de la radiación solar, la cual modifica el metabolismo celular en favor de una mayor concentración de productos nitrogenados. El aumento en el contenido proteico del forraje con el agregado de nitrógeno y con el sombreado ha sido demostrado por numerosos autores (28, 33, 35, 41).

La radiación solar bajo las plantaciones, un 60 por ciento del testigo en promedio, no fue limitativa para alcanzar una mayor producción en la pastura asociada a Erythrina, y su efecto detrimental solo se observó en las muestras más próximas a los árboles (1,0 m), durante los periodos de cosecha que precedieron a la poda; en tal circunstancia la radiación solar descendía al 15% del testigo. Se estima que la producción anual de biomasa de esta pastura podría aún duplicarse con los niveles de radiación disponibles.

La producción de estas pasturas, 10,4 ton MS/ha/año en la asociada a Erythrina, 5,9 ton en la pastura sin árboles y 5,1 ton en la asociada a Cordia es baja comparada con los valores reportados para pasto "estrella", por una inadecuada reposición de los nutrientes extraídos con la cosecha. Aún la mayor producción hallada en la pastura asociada a Erythrina denota este aspecto; los nutrientes aportados con la poda y caída natural de las hojas de estos árboles estimados en 186 kg N/ha/año, 12 kg P y 64 kg K sugieren que la cantidad de nitrógeno puede ser apropiada pero no la de otros nutrientes, visiblemente el fósforo entre los estimados, para mantener un nivel de producción razonablemente alto.

Los datos aportados en el presente trabajo y la información bibliográfica disponible muestran con claridad el beneficio obtenido en la pastura asociada a una leguminosa manejado mediante podas, y permite aventurar la idea acerca de que es posible incrementar la producción con una fertilización moderada y dirigida a reponer los nutrientes deficitarios. La tolerancia a la atenuación de la radiación solar permitiría utilizar densidades de plantación más altas, aumentando a la vez la frecuencia de podas. El esquema de podas parece de vital importancia. Se sugiere que con podas más frecuentes se obtendría una mejor distribución del ingreso de nutrientes y de luz a

Las pasturas; sin embargo estas no debiesen ser podas totales, para permitir a los árboles mantener una producción más alta que luego será convertida en abono verde. Por otra parte, las podas más frecuentes evitarían el efecto depresivo del excesivo "mulch", como ocurrió en el 3er. período de cosecha correspondiente con la poda semestral (Fig. 14); además, las podas más frecuentes tienden a aumentar la producción de hojas y tallos poco lignificados, los cuales son más fácilmente descompuestos y/o susceptibles de aprovechamiento por el ganado. El momento de la poda también resulta importante; en la época seca los árboles de Erythrina presentaban un extenso follaje y no se observó deficiencia de agua en esta pastura, mientras que si fue observada bajo Cordia, sin hojas en ese momento, y en la pastura sin árboles. Este último aspecto podría ser de importancia en climas con períodos secos más prolongados y requiere investigación adicional.

La producción de la pastura asociada a Cordia alliodora fue algo menor que la hallada en la pastura sin árboles y se piensa que los nutrientes aportados por estos árboles con la hojarasca-estimados en 64 kg N/ha/año, 6 kg P y 30 kg K- son equivalentes a los nutrientes extraídos por estos árboles desde las capas superficiales del suelo. El beneficio de esta combinación estaría en la producción moderable, y esto requiere un análisis que escapa a los objetivos del presente trabajo. Sin embargo cabe destacar que las densidades de plantación utilizadas no disminuyeron la radiación a niveles críticos y por lo tanto podría aumentarse la producción de las pasturas con una adecuada fertilización, o bien, podrían utilizarse mayores densidades antes que este factor sea limitante.

La interacción entre los factores luz y nutrientes puede sugerir un camino para el diseño de estos sistemas: Si no se han de aplicar fertilizantes o se hará en una pequeña medida, la potencialidad de las gramíneas tropicales a altos niveles de luz no es posible de aprovechar y parece racional aumentar la producción forestal; por otra parte, si la decisión es aumentar los recursos forrajeros, deberá disminuirse la densidad de las plantaciones y aplicar una cantidad de fertilizantes que permitan aprovechar la mayor disponibilidad de luz. Si la decisión es maximizar la producción de forrajes parece clara la conveniencia de combinar las pasturas con leguminosas forrajeras. El presente estudio mostró este beneficio a través de la combinación con una leguminosa arbórea de fácil implantación y manejo.

6. CONCLUSIONES

1. La asociación de una pastura de Cynodon plectostachyus con Erythrina poeppigiana, leguminosa arbórea fijadora de nitrógeno, obtuvo beneficios que se manifestaron en una mayor producción de biomasa, mayor contenido de proteína y digestibilidad, y una mayor persistencia de la pastura a través del tiempo; en cambio, la pastura asociada con árboles maderables de Cordia alliodora tuvo una menor producción que el testigo sin árboles, aunque el contenido de proteína y digestibilidad de sus componentes fue algo mayor.
2. En las pasturas asociadas con árboles, el ingreso de radiación solar respecto al testigo sin árboles (60%) no constituyó un factor limitante de la producción, y se manifestó en un incremento del contenido de proteína cruda y en un control de las plantas de hoja ancha. Se estima que con tal disponibilidad de luz la producción podría aún duplicarse, con una adecuada fertilización.
3. La mayor producción de la pastura asociada a Erythrina poeppigiana se relaciona principalmente con el aporte de nutrientes con las hojas de la poda y las caídas naturalmente. Se estima que esta vía de fertilización provee adecuadas cantidades de nitrógeno pero resulta pobre en otros nutrientes.
4. La sombra densa de los árboles de Erythrina poeppigiana durante la época seca colaboró en mantener la humedad del suelo en la capa superficial (0-10 cm) y esto probablemente contribuyó a la mayor producción de la pastura, mientras que en la pastura asociada a Cordia alliodora y en la pastura sin árboles se verificó una marcada deficiencia de agua en ese período que afectó su producción.
5. El abundante material verde de las podas semestrales de los árboles de Erythrina poeppigiana deprimió momentáneamente la producción de la pastura. Se estima que con podas menos intensas y más frecuentes, se podría

lograr una mejor distribución de los nutrientes aportados durante el año y del ingreso de luz, y evitar el efecto del excesivo "mulch"

6. La asociación de pasturas con árboles de Erythrina poeppigiana permite disponer de una técnica sencilla para lograr una mejor producción. La asociación con árboles de Cordia alliodora provocó una menor producción de la pastura, y para determinar conveniencia del sistema se requiere de la evaluación de los costos y beneficios de la producción maderable.

7. RECOMENDACIONES

1. En base a las características sobresalientes de Erythrina poeppigiana para combinar con pasturas, se recomienda evaluar la producción del forraje del sistema pastura más Erythrina, utilizando densidades de plantación e intensidades y frecuencias de poda que permitan detectar los arreglos más convenientes .
2. Se recomienda evaluar la producción del sistema pastura más Erythrina utilizando el material de las podas para alimentar el ganado y también evaluar el sistema bajo pastoreo.
3. Debido que Erythrina representa una estrategia biológica interesante para combinar con pasturas en sistemas silvopastoriles, se recomienda estudiar y seleccionar otras especies arbóreas con potencial forrajero y/o mejorador de la pastura .
4. Debido a la trascendencia de los sistemas silvopastoriles en toda América tropical y subtropical, se recomienda estudiar la función de los árboles en la producción de las pasturas y en la disponibilidad de forrajes del sistema, en regiones con estacionalidad climática .
5. En base a la alta producción que pueden alcanzar algunas gramíneas con la disponibilidad de luz en las plantaciones, se recomiendan estudios tendientes a la selección de especies tolerantes y mejoramiento de su calidad forrajera .
6. Realizar una evaluación y comparación económica de los sistemas para producción de forraje (pastura sola y pastura más Erythrina) con el sistema para producción de forraje y madera (pastura más Cordia), resulta indispensable para definir la aplicabilidad de estos sistemas.

8. BIBLIOGRAFIA

1. AGBOOLA, A. A. et al. Gliricidia sepium: a possible means to sustained cropping. In Mc Donald, L. H., ed. Agroforestry in the African Tropics. Ibadan, Nigeria, United Nations University, 1982. pp. 141-143.
2. AGUIRRE A., V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, IICA-Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA-CTEI, 1971. 145 p.
3. ALPIZAR, L., FASSBENDER, H. W. y HEUVELDOP, J. Estudio de sistemas agroforestales en el "Experimento Central" del CATIE, Turrialba. I. Determinación de biomasa y acumulación de reservas nutritivas (N, P, K, Ca, Mg). Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1983. 28 p.
4. _____. Estudio de sistemas agroforestales en el "Experimento Central" del CATIE. III. Producción de residuos vegetales. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1983. 14 p.
5. _____. et al. Estudio de sistemas agroforestales en el Experimento Central del CATIE, Turrialba. II. Producción agrícola maderable. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1983. 26 p.
6. ANDERSON, G. W. Productivity of crops and pastures under trees. In Howes, K. M. W. y Rummery, R. A., eds. Integrating agriculture and forestry. Peth, Australia, CSIRO, 1978. pp. 58-63.
7. _____. Effects of eucalypt canopies on production and composition of annual pastures. In Howes, K. M. W. y Rummery, R. A., eds. Integrating agriculture and forestry. Peth, Australia, CSIRO, 1978. pp. 205-207.
8. APOLO, B. W. Control de escorrentia y erosión mediante sistemas silvo-pastoriles. In Taller de Sistemas Agroforestales en América Latina, Turrialba, Costa Rica, 1979. pp. 190-192.
9. ARANGUREN, J., ESCALANTE, G. y HERRERA, R. Ciclo del nitrógeno en cultivos tropicales permanentes bajo árboles de sombra. II. Cacao. Plant and soil 67:259-269. 1982.
10. BAIRD Y TATLOCK. Gunn-Bellani radiation integrator, and housing-instruction sheet. Essex, 1981. 5 p. (ref. no. 208).
11. BATE, G. C., FURNISS, P. R. y PENDLE, B. G. Water relations of southern African savannas. In Huntley, B. J. y Walker, B. H., eds. Ecology of tropical savannas. Berlin, Springer, 1982. pp. 309-336.
12. BEER, J. W. Alnus acuminata con pasto. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1980. 6 p.

13. BEER, J. W. Erythrina poeppigiana con pasto. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1980. 4 p.
14. BEEVERS, L. et al. The role of light and nitrate in the induction of nitrate reductase in radish cotyledons and maize seedlings. *Plant Physiology* no. 40:691-698. 1965.
15. BENAVIDES, J. E. Investigación en árboles forrajeros. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1983. 23 p.
16. _____. Utilización de forrajes de origen arbóreo en la alimentación de rumiantes menores. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1983. 11 p.
17. BERNAL, E. J. Manual de forrajes y pastos. Bogotá, FADEGAN, 1982. 169 p.
18. BLACK, J. N. The interrelationship of solar radiation and leaf area index in determining the rate of dry matter production of swards of subterranean clover (Trifolium subterraneum L.). *Australian Journal of Agricultural Research* 14:20-38. 1963.
19. BLOOM, P. S. Leucaena a promising versatile leguminous tree for the tropics. *Abstracts on tropical Agriculture* 6(3):9-17. 1980.
20. BORCHERT, R. Phenology and ecophysiology of tropical trees: Erythrina poeppigiana O. F. Cook. *Ecology* 61(5):1065-1074. 1980.
21. BOREL, R. Producción de MS y composición de praderas de pasto estrella asociado con poró y laurel. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1981. 5 p.
22. BOSCHINI, F., C. Tablas de requerimientos proteícos para ganado bovino. San José, Costa Rica, UCR, 1978. 158 p.
23. BRISCOE, C. B. Técnicas de investigación sobre pastoreo en plantaciones forestales. Turrialba, Costa Rica, 1983. 9 p.
24. BUDOWSKI, G. Sistemas agrosilvopastoriles en los trópicos húmedos. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1978. 29 p.
25. _____. Aplicabilidad de los sistemas agroforestales. Trad. del Inglés por E. Somarriba. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1981. 8 p.
26. _____. An attempt to quantify some current agroforestry practices in Costa Rica. In *Consultative meeting on Plant Research and Agroforestry. Proceedings*. Edited by P. A. Huxley. Nairobi, Kenya, 1983. pp. 43-62.
27. CAMACHO, M., P. Ensayos de adaptabilidad y rendimiento de especies forestales en Costa Rica. Cartago, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 1981. 287 p.
28. CANTLIFFE, D. Nitrate accumulation in spinach grown under different light intensities. *Journal of the American Society on Horticultural Science* 97(2):152-154. 1972.

29. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. Resumen de datos meteorológicos. Turrialba, Costa Rica, 1984. 3 p.
30. COCHRAN, W. C. y COX, G. M. Diseños experimentales. México, D. F., Trillas, 1980. 661 p.
31. COMBE, J. y BUDOWSKI, G. Clasificación de las técnicas agroforestales; una revisión de literatura. In Taller Sistemas Agroforestales en América Latina, Turrialba, Costa Rica, 1979. Actas. Editado por G. de las Salas. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1979. pp. 17-48.
32. _____ y GEWALD, N., eds. Guía de campo de los ensayos forestales de CATIE en Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1979. 378 p.
33. DACCARETT, M. y BLYDENSTEIN, J. La influencia de los árboles leguminosos y no leguminosos sobre el forraje que crece bajo ellos. Turrialba, (Costa Rica) 18(4):405-408. 1968.
34. DE ALBA, J. Influencia del clima y de la calidad de los forrajes en su consumo. Turrialba (Costa Rica) 9(3):79-84. 1959.
35. DEINUM, B. Influence of climatological factors on the chemical composition and feeding value of herbage. In International Grassland Congress, 10th, Helsinki, 1966. Proceedings. Helsinki, Finland, 1966. pp. 415-418.
36. DEVLIN, A. M. Fisiología vegetal. Trad. del inglés por Xavier Lliona Pagés. Barcelona, Omega, 1970. 614 p.
37. DIAZ ROMEU, R. Determinación del nitrógeno total en suelos; método semi-micro Kjeldahl. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1977. 2 p.
38. _____. y HUNTER, A. Metodología de análisis de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigaciones de invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos, 1978. 62 p.
39. DULIN, P. Distribución de la estación seca en los países centroamericanos. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1982. 8 p.
40. ENRIQUEZ, G. Ensayo central de cultivos perennes en comparación con algunos anuales. In Taller Sistemas Agroforestales en América Latina, Turrialba, Costa Rica, 1979. Actas. Editado por G. de las Salas. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1979. pp. 199-202.
41. ERIKSEN, F. I. y WHITNEY, S. A. Effects of light intensity on growth of some tropical species. I. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. Agronomy Journal 73(3):427-433. 1981.
42. _____. Growth and N fixation of some tropical forage legume as influenced by solar radiation regimes. Agronomy Journal 74(4):703-709. 1982.

43. FASSBENDER, H. W. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA, 1982. 422 p.
44. _____. Suelos y sistemas de producción agroforestales. Curso 1982-1983. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1983. 150 p.
45. FORSYTHE, W. Física de suelos; manual de laboratorio. San José, Costa Rica, IICA, 1980. 211 p.
46. GREENLAND, D.J. y KOWAL, J. L. M. Nutrient content of the moist tropical forests of Ghana. *Plant and Soil* 12:154-174. 1960.
47. GUTIERREZ ORELLANA, M. A. Comparación de dos métodos intensivos de utilización de pasto Estrella Africana (*Cynodon plectostachyus*) (K. Schum) Pilger) en la producción de leche. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1981. 71 p.
48. HANKS, R. J. y ASHCROFT, G. L. Applied soil physics. Berlín, Springer, 1980. 159 p.
49. HART, R. Agroecosistemas; conceptos básicos. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1979. 211 p. (Serie materiales de enseñanza #1).
50. HEWLETT, J. D. y NUTTER, W. L. An outline of forest hydrology. Georgia, University, 1969. 137 p.
51. HOLDRIDGE, L. R. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA, 1978. 216 p. (Serie de libros y materiales educativos no. 34).
52. HONES, K. M. W. y RUMMERY, R. A., eds. Integrating agriculture and forestry. Peth. Australia, CSIRO. Division of Land Resources Management, 1978. 238 p.
53. ITURBIDE, A. Rol de las leguminosas en praderas. In Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Producción y utilización de forrajes en el trópico. Compendio. Turrialba, Costa Rica, 1981. pp. 103-127.
54. JAGOE, R. B. Beneficial effects of some leguminous shade on grassland in Malaya. *Malaya Agricultural Journal* 32(2):72-91. 1949.
55. JOHNSON, P. y MORALES, R. A review of *Cordia alliodora* (Ruiz y Pav.) Oken. Turrialba (Costa Rica) 22(2):210-220. 1972.
56. LAGEMANN, J. y HEUVELDOP, J. Characterization and evaluation of agroforestry systems: the case of Acosta-Puriscal, Costa Rica. *Agroforestry Systems* 1(2):101-115. 1983.
57. LARCHER, W. Physiological plant ecology. Trad. del alemán por M. A. Biedermanthursen. Ed. Rev. Berlin, Springer, 1975. 252 p.
58. LI-COR. New products. Lincoln, Nebraska, 1979. p. irr.

59. LUNDGREN, B. Soil conditions and nutrient cycling under natural and plantation forests in Tanzania Highlands. Uppsala. Swedish University of Agricultural Science. Reports in Forest Ecology and Dorest Soils no. 31. 1978. 428 p.
60. MC DONALD, L. H., ed. Agroforestry in the African Humid Tropics. Ibadan, Nigeria. United Nations University, 1982. 163 p.
61. MC DOWEL, R. E. La fisiología de la regulación del calor en el ganado. Hacienda, 1970:23-30. Abril 1970.
62. MC QUEEN, I. P. M. Agroforestry in New Zealand. In Howes, K. M. W. y Rummery, R. A., eds. Integrating agriculture and forestry. Peth, Australia, CSIRO, 1978. pp. 71-79.
63. MARES, M. V. Bases fisiológicas para el manejo de pasturas tropicales. In Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Producción y utilización de forrajes en el trópico. Compendio. Turrialba, Costa Rica, 1981. pp. 21-38.
64. MATA PACHECO, J. Nuevos pastos de altura y su fertilización. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín técnico no. 44. 1963. 26 p.
65. MEDINA, E. Physiological ecology of neotropical savanna plants. In Huntley, B. J. y Walker, B. H., eds. Ecology of Tropical Savannas. Berlin, Springer, 1982. pp. 308-335.
66. MONTALDO, P. Agroecología del trópico americano. San José, Costa Rica, IICA, 1982. 207 p.
67. MORELLO, J. H. y SARAVIA TOLEDO, C. El bosque chaqueño I. Paisaje primitivo, paisaje natural y paisaje cultural en el oriente de Salta. Revista Agronómica del Noroeste Argentino 3(1-2):5-82. 1959.
68. _____. El bosque chaqueño. II. La ganadería y el bosque en el oriente de Salta. Revista Agronómica del Noroeste Argentino 3(1-2): 209-258. 1959.
69. _____. Modelo de relaciones entre pastizales y leñosas colonizadoras en el Chaco Argentino (Plan ecología, difusión y control del vinal). Idia. (Argentina). no. 276:31-52. 1972.
70. MOTA, F. S. DA. Meteorología agrícola. San Pablo, Brasil, Nobel, 1976. 376 p.
71. MOYSE, A. Les types métaboliques des plantes: C₄ et CAM; comparaison avec les plantes C₃. Physiologie Végétale 14(3):533-550. 1976.
72. MULLER, L. Un aparato micro-kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materiales vegetales. Turrialba (Costa Rica) 11(1):17-25. 1961.

73. NAIR, P. K. R. Some considerations on soil productivity under agroforestry land use systems. New Delhi, 1982. 15 p. (Paper no. 501).
Presentado en International Congress, of soil Science, 12th, New Delhi, 1982.
74. ODUM, E. P. Ecología. Trad. del inglés por C. G. Ottenwaelder. 3a. ed. México, Interamericana, 1972. 639 p.
75. PEZO, D. La calidad nutritiva de los forrajes. In Producción y utilización de forrajes en el trópico. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1981. pp. 70-102.
76. PLUCKNETT, D. L. y NICHOLLS, D. F. Integration of grazing and forestry, Buenos Aires, 1972. 20 p.
Presentado en Congreso Forestal Mundial, 7th, Buenos Aires, Argentina, 1972.
77. RAMIREZ PEREZ, A. Efecto del ciclo de uso, la presión de pastoreo y la fertilización nitrogenada en la producción de pasto estrella (Cynodon plectostachyus (K. Schum) Pilger). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE 1974. 111 p.
78. RICARDO, R. F. Efecto del nitrógeno y del corte en la producción y composición del pasto estrella (Cynodon plectostachyus (K. Schum) Pilger). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1973. 99 p.
79. RODRIGUEZ, C. S. y MORILLO, D. E. Influencia de la frecuencia de corte y fertilización sobre el mantenimiento y composición de Cynodon nlemfuensis. Agronomía Tropical (Venezuela) 27(6):613-619. 1977.
80. ROMAN PONCE, H. et al. Physiological and production responses of dairy cattle to a shade structure in a subtropical environment. Journal of Dairy Science 60(3):424-429. 1976.
81. RUSSO, R. O. Arboles con pasto; justificación y descripción de un caso en Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1981. 12 p.
82. _____. Erythrina: un género versátil en sistemas agroforestales; revisión bibliográfica. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1981. 10 p.
83. _____. Efecto de la poda de Erythrina poeppigiana (Walpers) O. F. Cook (Poró), sobre la nodulación, la producción de biomasa y contenido de nitrógeno en el suelo en un sistema agroforestal "Café-Poró". Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1983. 108 p.
84. SAIZ DEL RIO, J. F. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos; métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 107 p.
85. SANCHEZ, P. A. Los suelos del trópico; características y manejo. Trad. del inglés por E. Camacho, San José, Costa Rica, IICA, 1981. 634 p.
86. SOMARRIBA, E. Guayabo (Psidium guajava L.) asociado con pastos. Métodos de análisis volumétrico y potencial de producción de leña. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1982. 33 p.

87. SPEDDING, C. R. W. Ecología de los sistemas agrícolas. Trad. del inglés por J. M. Ibeas Delgado. Ed. rev. Madrid, Blume, 1979. 320 p.
88. TALLER SISTEMAS AGROFORESTALES EN AMERICA LATINA, Turrialba, Costa Rica, 1979. Actas. Editado por G. de las Salas. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1979. 226 p.
89. TCHOUME, T. Agro-forestry possibilities in oil palm plantations in the Ivory Coast. In Mc Donald, L. H., ed. Agroforestry in the African Humid Tropics. Ibadan, Nigeria, United Nations University, 1982. pp. 111-114.
90. TILLEY, J. M. A. y TERRY, R. A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. Journal of the British Grasslands Society 18(2):104-111. 1963.
91. TINTO, J. C. Recursos forrajeros leñosos para zonas áridas y semiáridas. Mendoza, Argentina, 1974. 29 p. Presentado a la Reunión Nacional para el Estudio de la Zona Arida y Semiárida, 5°, Mendoza, Argentina, 1974.
92. TORRES, F. Role of woody perennials in animal agroforestry. Agroforestry Systems 1(2):131-163. 1983.
93. TSCHINKEL, H. M. Annual growth rings in Cordia alliodora. Turrialba (Costa Rica) 15(1):73-80. 1966.
94. ULATE MONTERO, R. Efecto de la frecuencia de corte sobre el rendimiento, composición química y digestibilidad *in vitro* de cinco forrajes tropicales. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, 1975. 89 p.
95. VENEGAS, T. I. Resumen sobre algunos aspectos silviculturales del Alnus jorullensis H. B. K. III Foro de Corporaciones Forestales. Manizales, Colombia, 1971. 5 p.
96. WILLIAMS, C. N. y JOSEPH, K. T. Climate, soil and crop production in the humid tropics. Singapore, Oxford University, 1977. 177 p.
97. ZELITHCH, I. Photosynthesis and plant productivity. Chemical and Engineering News no. 57:18-28. 1979.

9. APENDICE

RESUMEN DE DATOS METEOROLÓGICOS

PREPARADO POR:

Desde la iniciación de Observaciones hasta diciembre de 19 83

ING. Francisco Jiménez O.
Sr. Rafael Salas D.

Mes	TEMPERATURA (C)			PRECIPITACION (mm)		BRILLO SOLAR (hrs.)		RADIACION		HUMEDAD RELATIVA		EVAPORACION (mm)			
	Promedio	Med.	Absoluta	Prom.	Max.	Promedio	mens.	Mensual	Diario	Prom.	Diaria	Prom.	Tanque A		
	Max.	Min.	Max.	Mens.	24 hr.	0.1 mm ó más	diario	cal/cm /mes	cal/cm /día	Mens.	Mens.	Mens.	Diario		
Enero	25.7	16.4	20.5	31.0	10.0	169.8	164.9	18.4	145.0	4.7	11979	386.4	86.8	89.1	2.9
Febrero	26.0	16.4	20.6	30.5	10.4	133.4	247.5	15.1	146.1	5.2	12052	430.4	84.7	92.3	3.3
Marzo	26.9	17.0	21.4	31.5	10.5	78.2	106.9	13.6	159.6	5.1	14491	467.6	84.7	120.3	3.9
Abril	27.2	17.7	21.9	31.7	11.8	122.4	287.9	15.1	151.7	5.1	14295	476.5	84.9	119.7	4.0
Mayo	27.9	18.6	22.5	32.0	13.5	227.2	76.4	23.0	149.4	4.8	14259	460.0	86.8	119.7	3.9
Junio	27.7	18.8	22.4	31.5	15.2	282.4	85.5	22.1	126.6	4.2	12420	414.0	88.6	96.8	3.2
Julio	27.1	18.6	22.0	31.5	14.1	279.7	114.9	25.4	116.3	3.8	11787	380.2	89.7	89.4	2.9
Agosto	27.4	18.4	22.1	30.2	14.9	242.4	126.7	24.5	133.7	4.3	13088	422.2	88.8	98.3	3.2
Setiembre	27.7	18.3	22.2	30.8	14.8	246.6	110.5	22.8	135.0	4.5	13214	440.5	88.1	105.6	3.5
Octubre	27.4	18.3	22.1	31.0	14.5	254.1	109.2	22.2	146.0	4.7	13434	433.4	88.8	102.4	3.3
Noviembre	26.4	18.1	21.5	32.0	13.7	278.1	150.3	22.1	127.1	4.2	11138	371.3	89.6	82.2	2.7
Diciembre	25.7	17.1	20.7	29.9	10.6	322.4	288.3	21.5	129.8	4.2	11098	358.0	88.8	78.7	2.5
TOTAL						2636.7		245.8	1666.3		153255			1193.7	
PROMEDIO	26.9	17.8	21.7			219.7		20.5	138.9	4.6	12771	420.0	87.5	99.5	3.3

Observaciones en el período: Temperatura 1959-83 (25 años)
Precipitación 1944-83 (42 años)
Brillo solar 1959-83 (27 años)

Radiación 1965- 83 (19 años)
Humedad R. 1957- 83 (25 años)
Evaporación 1968- 83 (16 años)

Estación Meteorológica: Lat 9°53' N. Long. 83°38'
Elevación: 602 msnm

Cuadro 2A. Balance hídrico para Turrialba según datos del período 1942-1982^{1/}.

MESES	Precipitación ^{2/} confiable	EVT ^{3/}	Déficit de agua	Exceso de agua	Almacenamiento ^{4/}	Escurrimiento	Precipitación efectiva
enero	100	86	0	14	100	14	86
febrero	48	88	40	0	60	0	48
marzo	32	117	85	0	0	0	32
abril	56	112	56	0	0	0	56
mayo	160	111	0	49	49	0	160
junio	233	90	0	143	100	92	141
julio	195	81	0	114	100	114	81
agosto	185	90	0	95	100	95	90
setiembre	190	96	0	94	100	94	96
octubre	188	98	0	90	100	90	98
noviembre	166	78	0	88	100	88	78
diciembre	168	75	0	93	100	93	75

^{1/} Preparado por Jiménez, F. y Salas, R. Datos en mm correspondientes a la Estación Meteorológica del CATIE

^{2/} Distribución gamma, probabilidad = 0,75

^{3/} Evapotranspiración. Valores del Tanque de Evaporación tipo A, con factores de corrección = 1

^{4/} Se asume una capacidad de almacenamiento del suelo de 100 mm, para un horizonte de 1,0 m

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
CATIE

TURRIALBA, COSTA RICA

RESUMEN DE DATOS METEOROLÓGICOS AÑO 19 83

PREPARADO POR:

Ing. Francisco Jiménez
Sr. Rafael Salas D.

Mes	TEMPERATURA (C)			PRECIPITACION (mm)		BRILLO SOLAR (hrs.)		RADIACION		HR	EVAPORACION		
	Promedio Max.	Min. Med. Hor.	Absoluta Max. Min.	Total mens. Días de 0.1 mm ó más	Max. en 24 hr.	Total Mens. Diaro	Prom. Diaro	Total Mens. cal/cm ² /mes	Prom. Diaro cal/cm ² /día	% Prom. Diaro	Total mens. mm	Total mens. mm	Total mens. ml.
Enero	25.9	17.8	21.4 29.5	17	35.4	123.2	4.0	1211	390.7	87.9	39.0	87.7	53.5
Febrero	27.1	18.7	22.2 30.5	12	8.5	139.8	5.0	12402	442.9	84.7	42.1	99.2	60.2
Marzo	27.3	19.4	22.6 30.5	15	106.0	137.0	4.4	13875	447.6	85.8	33.6	120.6	64.5
Abril	28.4	18.9	23.1 30.6	08	5.5	188.3	6.3	16179	539.3	83.2	49.6	143.9	83.2
Mayo	28.0	19.5	22.9 30.2	21	56.2	134.6	4.3	13881	447.8	87.8	34.5	115.7	65.3
Junio	28.6	19.6	23.3 30.0	23	41.2	150.4	5.0	13291	443.0	87.5	31.8	105.3	56.4
Julio	27.7	19.6	22.8 31.5	26	41.4	108.1	3.5	12193	393.0	87.8	25.2	93.2	50.7
Agosto	27.7	19.5	22.8 29.3	30	32.8	130.8	4.2	13587	438.3	88.0	31.3	101.8	50.8
Setiembre	27.9	19.2	22.7 29.0	24	61.3	120.5	4.0	14046	468.2	87.6	33.5	117.8	53.3
Octubre	27.1	19.0	21.8 28.5	26	88.5	135.9	4.4	13065	421.5	89.8	24.2	113.2	45.8
Noviembre	27.2	18.9	21.9 32.0	23	30.7	126.3	4.2	11505	383.5	89.1	27.6	90.4	47.0
Diciembre	26.5	17.2	21.0 28.2	20	28.5	106.9	3.4	10885	351.1	86.9	29.1	91.4	52.0
TOTAL				245	2395.5	1601.8		156660			401.5	1280.2	682.7
PROMEDIO	27.4	19.0	22.4	20.4		133.5	4.4	13055	430.6	87.2	33.5	106.7	56.9

Estación Meteorológica: Lat. 9°53' N, Long. 83°38'

Elevación: 602 msnm

Cuadro 4A. Alcool destilado por Radiómetros Gunn-Bellani bajo sombra de Cordia alliodora y testigo sin sombra. Promedios decádicos expresados en ml/día, de observaciones realizadas entre el 16 de julio y el 12 de diciembre de 1983.

Períodos decádicos	RADIOMETRO a 1,0 m del árbol			RADIOMETRO a 3,6 m del árbol			PROMEDIO		
	ml/día T _{1,0}	ml/día C _{1,0}	% C _{1,0} /T _{1,0}	ml/día T _{3,6}	ml/día C _{3,6}	% C _{3,6} /T _{3,6}	ml/día T	ml/día C	% C/T
16/7-25/7	12,01	6,16	51,3	12,91	8,0	62,2	12,46	7,10	57,0
26/7-4/8	14,03	6,87	48,9	15,59	9,8	64,0	15,25	8,55	56,0
5/8-14/8	11,91	7,12	47,8	14,83	9,1	61,5	14,87	8,12	54,6
15/8-24/8	17,05	7,87	46,2	14,53	9,0	62,2	15,79	8,46	53,6
25/8-3/9	16,38	7,64	46,6	15,11	9,5	63,2	15,75	8,59	54,6
4/9-13/9	18,21	7,41	40,7	16,30	10,4	63,6	17,26	8,89	51,5
14/9-23/9	17,44	5,83	33,4	16,66	10,2	61,0	17,08	7,99	46,9
24/9-3/10	17,84	5,88	33,0	15,23	9,6	62,9	16,54	7,73	46,8
4/10-13/10	19,28	7,72	40,0	16,49	11,9	72,4	17,88	9,83	55,0
14/10-23/10	16,41	7,78	47,4	17,21	13,6	79,2	16,81	10,71	63,7
24/10-2/11	17,99	8,62	47,9	15,53	11,2	72,4	16,76	9,93	59,3
3/11-12/11	17,64	7,53	42,7	14,46	9,7	67,3	16,05	8,63	53,8
13/11-22/11	16,54	6,48	39,2	10,14	6,3	62,4	13,34	6,40	48,0
23/11-2/12	12,80	5,05	39,4	11,59	7,8	67,2	12,20	6,42	52,6
3/12-12/12	11,07	4,26	38,5	10,97	6,6	60,0	11,02	5,42	49,2
SUMA	239,60	102,22	42,7%	217,55	143,0	65,7%	229,06	122,77	53,6

T = Radiómetro fuera de los árboles (testigo)

C = Radiómetro bajo los árboles de Cordia

Nota: Las mediciones para 1,0 m y 3,6 m corresponden a días diferentes.

Cuadro 5A. Alcohol destilado por Radiómetro Gunn-Bellani bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* y testigo sin sombra. Promedios decádicos expresados en ml/día, de observaciones realizadas entre el 16 de julio y el 12 de diciembre de 1983.

Períodos decádicos	RADIOMETRO a 1,0 m del árbol			RADIOMETRO a 3,6 m del árbol			PROMEDIO		
	ml/día T	ml/día E	% E/T	ml/día T	ml/día E	% E/T	ml/día T	ml/día E	% E/T
1. 16/7-25/7	12,01	11,73	97,7	12,91	10,41	80,7	12,46	10,07	88,9
2. 26/7-4/8	14,03	12,80	91,3	15,59	11,68	74,9	15,25	11,91	78,1
3. 5/8-14/8	14,91	12,14	81,4	14,83	11,23	75,7	14,87	11,68	78,6
4. 15/8-24/8	17,05	9,80	57,5	14,53	9,88	68,0	15,79	9,84	62,3
5. 25/8-3/9	16,38	7,19	43,9	15,11	9,77	64,7	15,75	8,48	53,9
6. 4/9-13/9	18,21	6,39	35,1	16,30	10,42	63,9	17,26	8,40	48,7
7. 14/9-23/9	17,44	4,65	26,7	16,66	11,36	68,2	17,08	8,00	46,9
8. 24/9-3/10	17,84	3,26	18,3	15,23	11,53	75,7	16,54	7,40	44,7
9. 4/10-13/10	19,28	2,96	15,4	16,49	13,22	80,2	17,88	8,09	45,2
10. 14/10-23/10	16,41	2,47	15,1	17,21	13,85	80,4	16,81	8,16	48,5
11. 24/10-2/11	17,99	1,98	11,0	15,53	12,29	79,1	16,76	7,13	42,6
12. 3/11-12/11	17,64	2,38	13,5	14,46	10,43	72,1	16,05	6,40	39,9
13. 13/11-22/11	16,54	2,23	13,5	10,14	7,09	69,9	13,34	4,66	34,9
14. 23/11-2/12	12,80	2,21	17,3	11,59	6,61	57,0	12,20	4,41	36,2
15. 3/12-12/12	11,07	1,41	12,7	10,97	3,98	36,2	11,02	2,69	24,4
SUMA	239,60	83,60	34,9%	217,55	153,75	70,7	229,06	117,32	51,2

T = Radiómetro fuera de los árboles (testigo)

E = Radiómetro bajo los árboles de *Erythrina*

Nota: Las mediciones para 1,0 m y 3,6 m corresponden a días diferentes.

Cuadro 6A. Retención de agua en el suelo (0-10 cm) a 6 tensiones de succión (valores para la curva de humedad gravimétrica - tensión de agua).

Tensión bar	Pastura/Cordia	Pastura/Erythrina	Pastura sin Arboles
	Porcentaje de Humedad Gravimétrica ^{1/}		
15	26,61	27,41	25,74
5	29,55	30,33	28,26
2	31,02	31,25	30,34
1	32,33	32,47	31,80
0,33	36,25	33,90	34,77
0,2	40,97	37,10	39,74

$$1/ \text{ \% Humedad gravimétrica} = \frac{\text{PH} - \text{PS}}{\text{PS}} \times 100 ; \text{ muestra compuesta de 32 extracciones por pastura.}$$

Cuadro 7A. Estimación de la producción de biomasa (MS) y contenido de nutrientes (%) de los árboles de Erythrina poeppigiana y Cordia alliodora^{1/}.

Promedios para <u>Erythrina poeppigiana</u>		Contenido de Nutrientes (%)		
	Biomasa (kg MS/ha/año)	N	P	K
Hojas aportadas por 2 podas semestrales	3 780	3,57	0,24	1,39
Hojas caídas naturalmente	2 110	2,40	0,15	0,55
Ramas aportadas por 2 podas semestrales	6 564	1,20	0,14	1,32
Tallos, incremento anual	1 830	0,62	0,07	0,56

Promedios para <u>Cordia alliodora</u>		Contenido de Nutrientes (%)		
	Biomasa (kg MS/ha/año)	N	P	K
Hojas caídas naturalmente	2 908	2,14	0,20	0,96
Ramas caídas naturalmente	193	1,07	0,11	0,73
Ramas en pie, incremento anual	994	0,91	0,19	1,18
Tallos, incremento anual	4 957	0,40	0,05	0,46

^{1/} Promedios obtenidos de datos reportados por Alpízar et al (3,4,5), Russo (83) y datos propios de la poda de Erythrina poeppigiana.

CUADRO 8.A. APORTE DE NUTRIENTES POR LOS ARBOLES DE CORDIA ALLIODORA Y ERYTHRINA POEPPIGIANA DURANTE CADA PERIODO DE PRODUCCION.

PERIODO DE PRODUCCION BIOMASA Y NUTRIENTES APORTADOS	NIVELACION (kg/ha/146 días)			2° PERIODO (kg/ha/50 días)			3° PERIODO (kg/ha/55 días)			4° PERIODO (kg/ha/57 días)			5° PERIODO (kg/ha/57 días)			AFO (kg/ha/año)								
	MS	N	P	K	MS	N	P	K	MS	N	P	K	MS	N	P	K	MS	N	P	K				
Hojas caídas natural- mente	1 448	30,99	2,90	13,90	523	11,19	1,05	5,02	204	4,37	0,41	1,96	216	4,62	0,43	2,07	517	11,06	1,03	4,96	2 908	62,23	5,62	27,91
Ramas caídas natural- mente	65	0,69	0,07	0,47	12	0,13	0,01	0,09	25	0,27	0,03	0,18	47	0,50	0,05	0,34	44	0,47	0,05	0,32	193	2,06	0,21	1,40
TOTAL	1 513	34,68	2,97	14,37	535	11,32	1,06	5,11	229	4,64	0,44	2,14	263	5,12	0,48	2,41	561	11,53	1,08	5,28	3 101	64,29	6,03	29,31

	MATERIAL APORTADO POR <u>CORDIA ALLIODORA</u>																							
	MS	N	P	K	MS	N	P	K	MS	N	P	K												
Hojas de la poda	1 890	67,47	4,54	26,27	1 890	67,47	4,54	26,27	1 890	67,47	4,54	26,27	1 890	67,47	4,54	26,27	1 890	67,47	4,54	26,27	1 890	67,47	4,54	26,27
Hojas caídas natural- mente	870	20,28	1,30	4,78	320	7,68	0,48	1,76	698	16,75	1,05	3,84	23	0,55	0,03	0,13	199	4,78	0,30	1,09	2 110	50,64	3,16	11,60
TOTAL	2 760	87,75	5,84	31,05	320	7,68	0,48	1,76	2 568	84,22	5,59	30,11	23	0,55	0,03	0,13	199	4,78	0,30	1,09	5 890	185,58	12,23	64,14

	MATERIAL APORTADO POR <u>ERYTHRINA POEPPIGIANA</u>																							
	MS	N	P	K	MS	N	P	K	MS	N	P	K												
Hojas de la poda	1 890	67,47	4,54	26,27	1 890	67,47	4,54	26,27	1 890	67,47	4,54	26,27	1 890	67,47	4,54	26,27	1 890	67,47	4,54	26,27	1 890	67,47	4,54	26,27
Hojas caídas natural- mente	870	20,28	1,30	4,78	320	7,68	0,48	1,76	698	16,75	1,05	3,84	23	0,55	0,03	0,13	199	4,78	0,30	1,09	2 110	50,64	3,16	11,60
TOTAL	2 760	87,75	5,84	31,05	320	7,68	0,48	1,76	2 568	84,22	5,59	30,11	23	0,55	0,03	0,13	199	4,78	0,30	1,09	5 890	185,58	12,23	64,14

Cuadro 9A. Luz fotosintéticamente activa registrada en pasturas bajo sombra de *Cordia alliodora*, bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* y en el testigo sin árboles. Datos expresados en unidades cuánticas y en porcentaje del testigo.

	Testigo		<i>Cordia alliodora</i> ^{2/}			<i>Erythrina poeppigiana</i> ^{3/}		
	\bar{R}	$R_{1,0}$	$R_{3,6}$	\bar{R}	$R_{1,0}$	$R_{3,6}$	\bar{R}	$R_{3,6}$
Luz F.A. ^{1/}	1 709	1 159	1 513	1 336	327	976	6 519	
CV%	3,2	23,2	7,0		50,9	28,1		
% del testigo	100	67,8	88,5	78,2	20,3	60,5	40,2	

Mediciones a 0,25 m de altura del suelo, realizadas simultáneamente en el testigo, a 1,0 m y a 3,6 m del eje de los árboles.

- ^{1/} En: $UE \cdot m^{-2} \cdot S^{-1}$ Promedios de 16 lecturas realizadas el 26 de abril de 1983, entre las 10 hs. 17' y las 11 hs. 35', con cielo de nubes muy tenues.
- ^{2/} En período caducifolio.
- ^{3/} Con el dosel bien desarrollado; \emptyset copa 5-6 m.

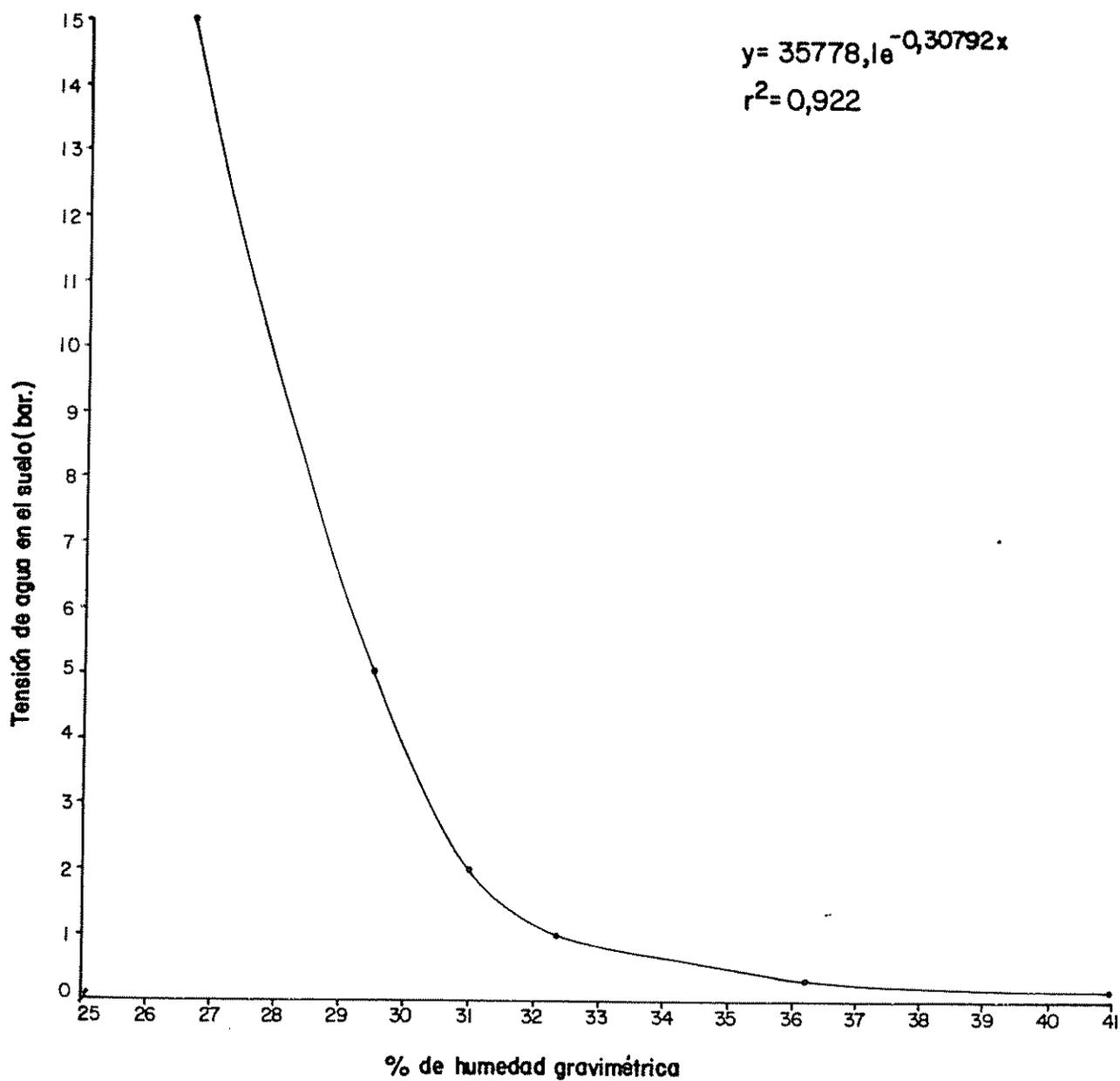


Fig.1A

Curva de retención de la humedad del suelo.
Obtenida de parcelas de pasto asociado a *Cordia alliodora*.

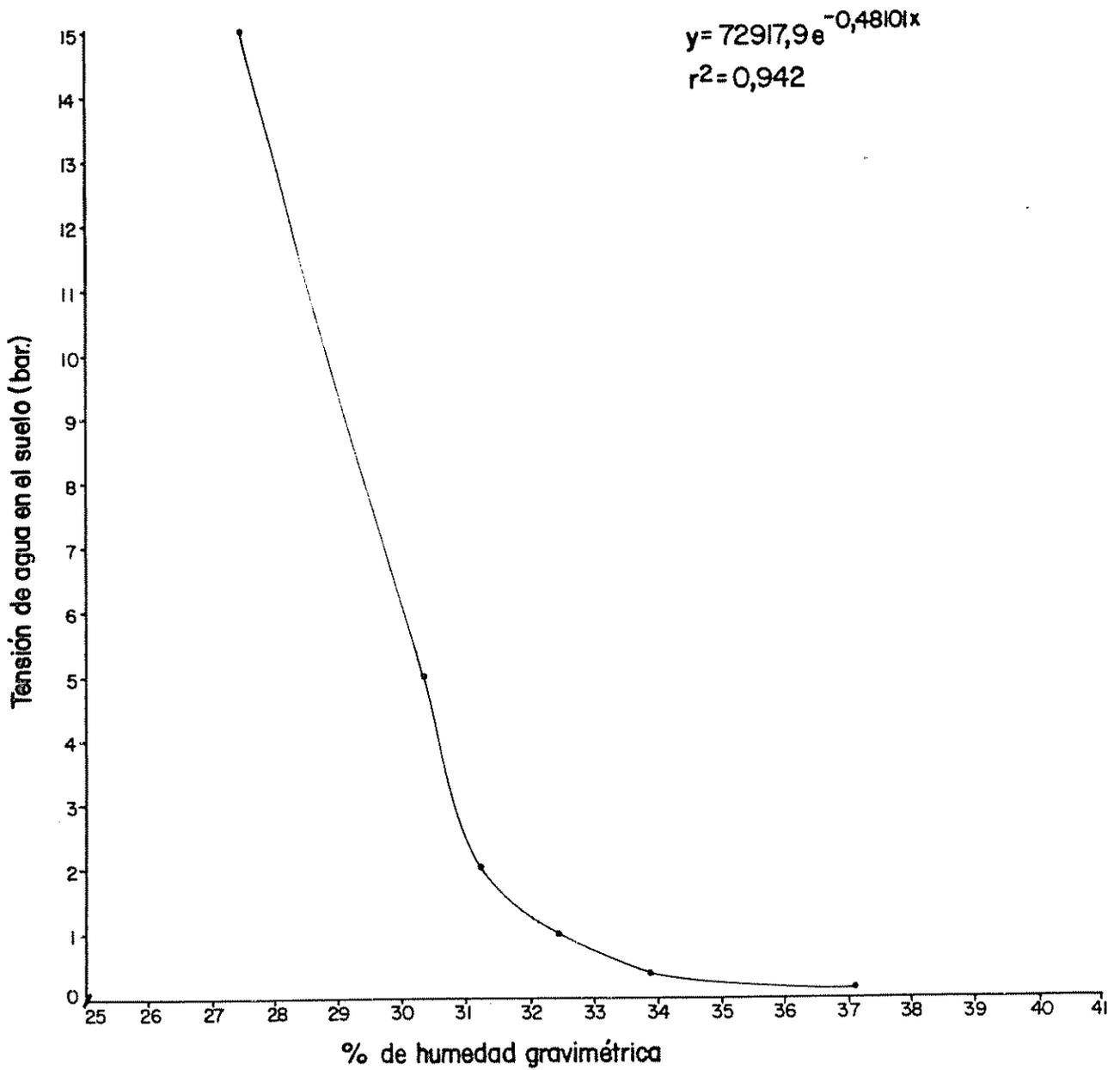


Fig. 2A

Curva de retención de la humedad del suelo.
Obtenida de parcelas de pasto asociado a *Erythrina poeppigiana*.

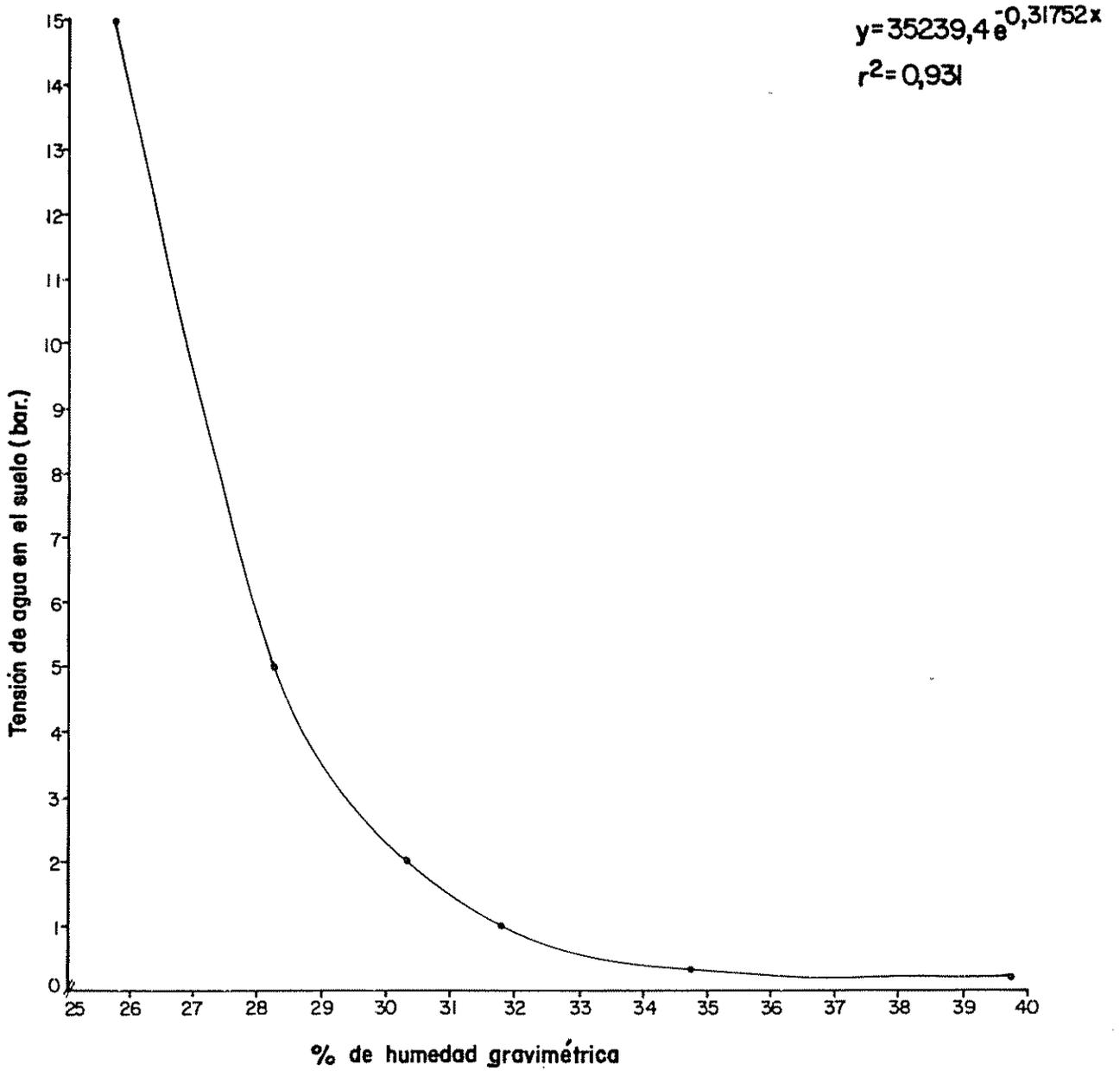


Fig. 3A

Curva de retención de la humedad del suelo.
Obtenida de parcelas de pasto sin árboles.

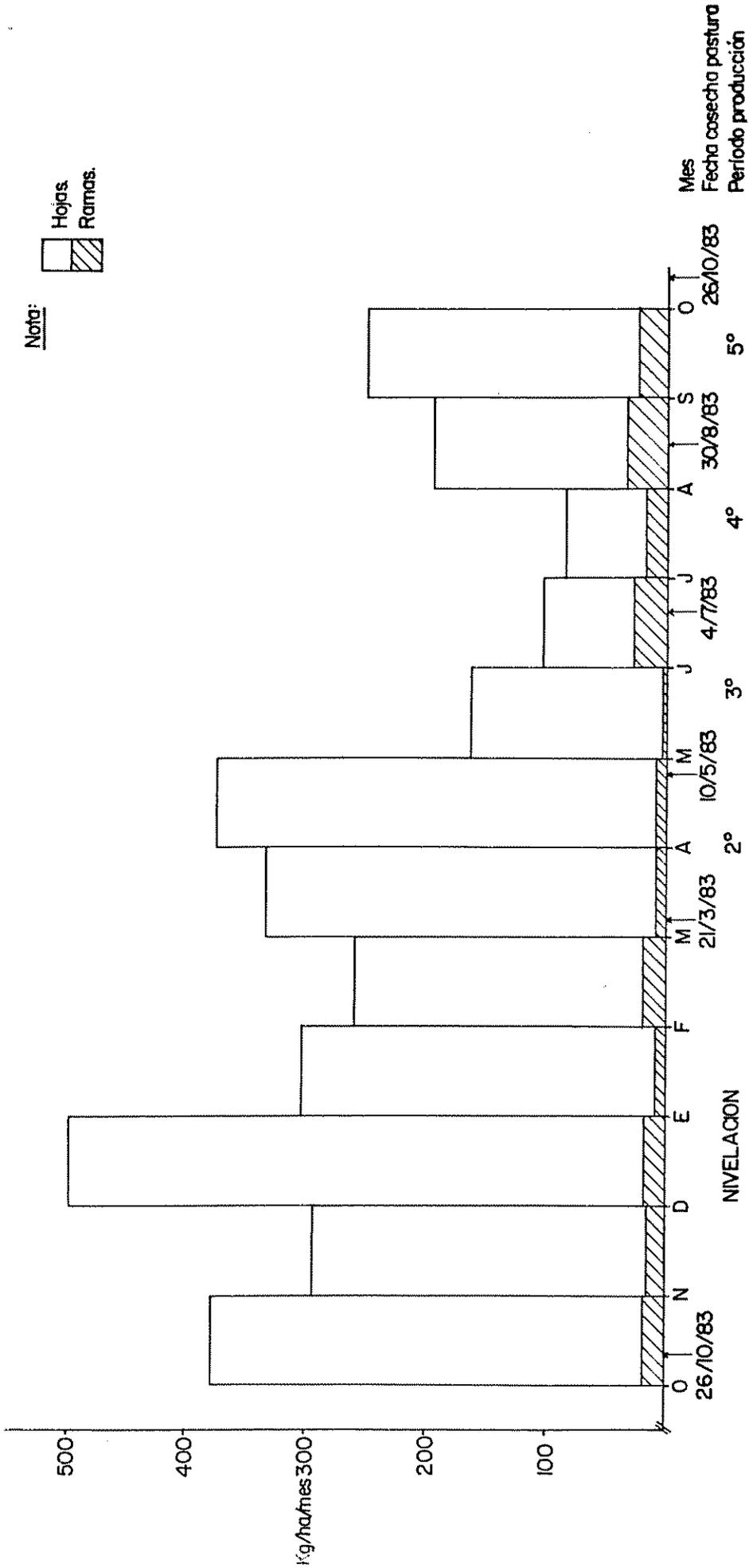


Fig. 4A. Distribución mensual de la caída natural de hojas y ramas de los árboles de *Cordia alliodora*. (Estimación según datos de Alpizar et al (4))

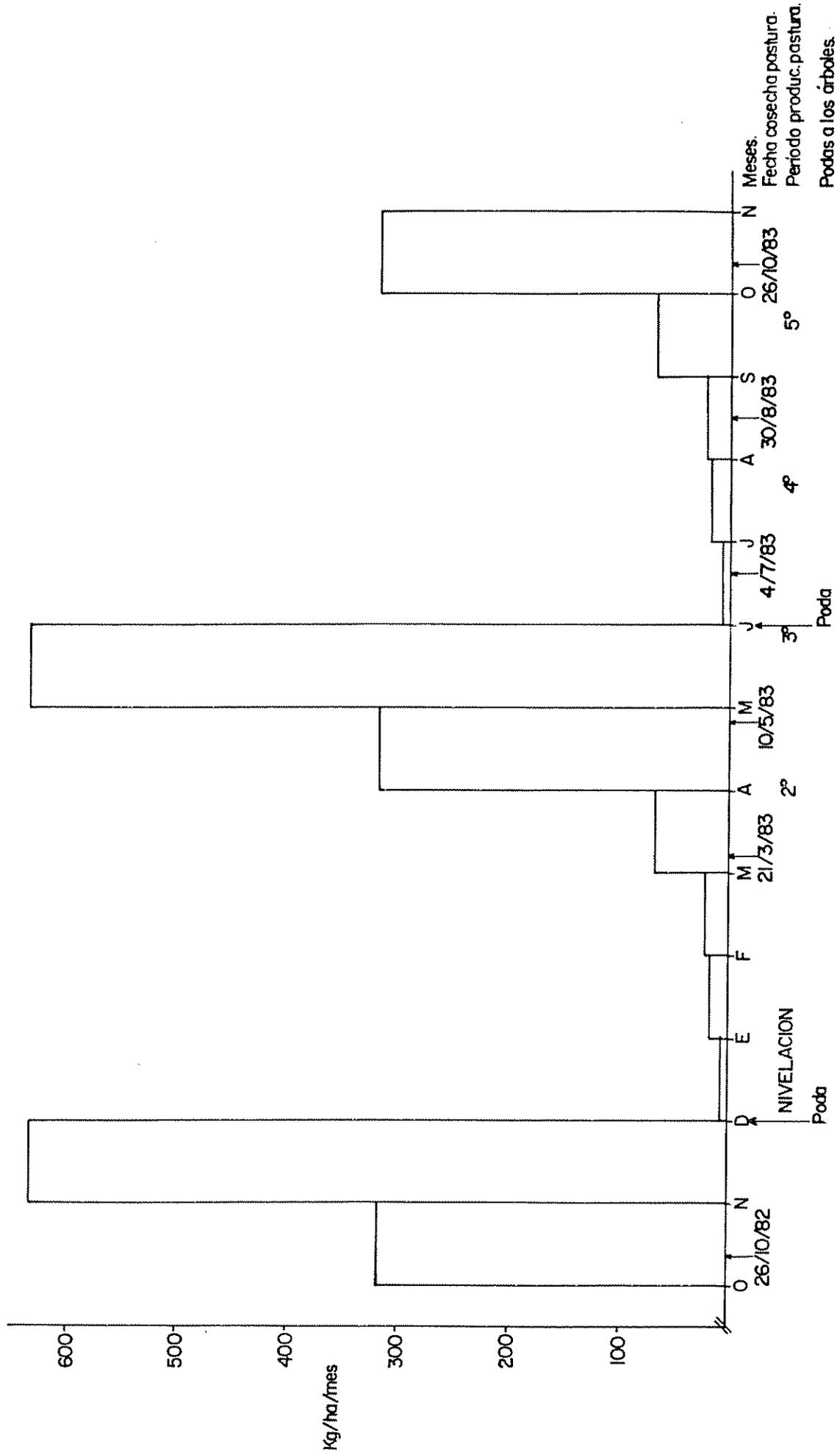


Fig. 5A Distribución mensual de la caída natural de hojas de los árboles de *Erythrina poeppigiana*. (Estimación según datos de Alpizar, et al (4) y Russo (83) para árboles podados semestralmente)