

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

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE MAIZ (*Zea mays* L.) O VIGNA
(*Vigna unguiculata* (L.) Walp) SOBRE EL CRECIMIENTO
DE TRES GRAMINEAS FORRAJERAS CUANDO SE ESTABLECEN
EN ASOCIO, EN TURRIALBA, COSTA RICA

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

MAGISTER SCIENTIAE

por

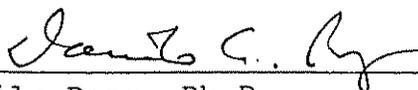
JOSE MARIA DUARTE GUTIERREZ

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

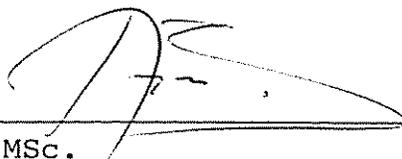
Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

COMITE ASESOR:



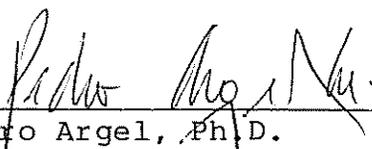
Danilo Pezo, Ph.D.
Profesor Consejero



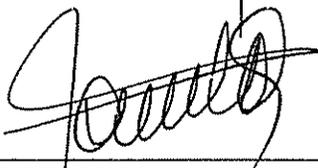
José Arze, MSc.
Miembro del Comité



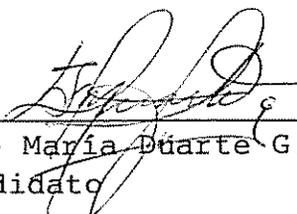
Francisco Romero, Ph.D.
Miembro del Comité



Pedro Argel, Ph.D.
Miembro del Comité



Ramón Lastra, Ph.D.
Coordinador Programa Posgrado



José María Duarte G.
Candidato

DEDICATORIA

A Dios: Todopoderoso.

A mi esposa: Magaly Salguero Medina.

A mi madre: Concepción Gutiérrez Vda. de Duarte.

A mi padre: Augusto A. Duarte Lima, que en paz descansa.

A mis hermanos.

Al pueblo de Guatemala.

AGRADECIMIENTOS

A Danilo A. Pezo, Ph.D. Profesor Consejero, por sus enseñanzas, amistad y su gran apoyo e interés en el trabajo de tesis.

A los miembros del comite asesor:

Franciso Romero, Ph.D. Por su amistad y su decidido apoyo en todo momento.

José Arze, MSc.; Pedro Argel, Ph.D. por el valioso aporte técnico, para el desarrollo del trabajo de tesis.

Al Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) de Guatemala y al Proyecto PROGETTAPS/BID, por contribuir en mi formación profesional, al financiar mis estudios de Maestría.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), por ser parte de mi formación profesional.

A Gilda Piaggio, Ph.D. Por las sugerencias en los análisis estadísticos.

Al pueblo de Costa Rica, por habernos permitido permener en su suelo, durante el periodo de estudios.

A mis compañeros de promoción, en especial a: Luis Corado, Alberto Camero, José Calzada, Alfonso Giraldo, Oscar Duarte, Julio Bustamante, Celina Merino y René Vásquez, por su amistad y compañerismo.

A la administración y personal de las estaciones experimentales del Area de Ganadería Tropical y de cultivos La Montaña; de CATIE, por su valiosa colaboración durante el desarrollo de la fase de campo del trabajo de tesis.

A todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron durante mis estudios de maestría.

BIOGRAFIA

El autor nació en la cabecera departamental de Zacapa, Republica de Guatemala, donde realizó sus estudios primarios y secundarios en el colegio San José y de diversificado en el colegio La Salle. Los estudios superiores los llevó a cabo en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo en el año de 1984.

En 1986 ingresó al curso de Adiestramiento en Producción Agrícola, impartido en el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) y en diciembre del mismo año, se incorporó como técnico de la disciplina de Prueba y Transferencia de Tecnología.

En septiembre de 1989 ingresó al Programa de Maestría del CATIE, en el Area de Ganadería Tropical, donde obtuvo el Grado de *Magister Scientiae* en septiembre de 1991.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN	xi
SUMMARY	xiii
LISTA DE CUADROS	xv
LISTA DE FIGURAS	xviii
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Competencia en los cultivos asociados.	3
2.2 Asociaciones de cultivos con especies forrajeras.	5
2.3 Efecto de la sombra en especies forrajeras.	9
2.4 Aspectos generales sobre el crecimiento	13
2.5 Análisis del crecimiento.	15
3. MATERIALES Y METODOS	17
3.1 Ubicación.	17
3.2 Clima.	17
3.3 Suelo.	17
3.4 Material Experimental.	18
3.5 Diseño Experimental.	19
3.6 Unidad experimental.	19
3.7 Toma de datos.	20

3.7.1	Cultivo de maíz y de vigna.	20
3.7.1.1	Análisis fisiológico.	20
3.7.1.2	Biomasa aérea.	21
3.7.1.3	Area foliar.	23
3.7.1.4	Rendimiento en grano.	23
3.7.2	Gramíneas forrajeras.	24
3.7.2.1	Análisis fisiológico.	24
3.7.2.2	Biomasa aérea.	24
3.7.2.3	Area foliar.	24
3.8	Análisis de crecimiento de los cultivos de maíz y vigna y de las gramíneas forrajeras.	25
3.9	Generación de Indices.	26
3.9.1	Componentes morfológicos.	26
3.9.1.1	Indice de aérea Foliar (IAF).	26
3.9.1.2	Relación Hoja/Tallo (H/T)	26
3.9.2	Componentes fisiológicos.	27
3.9.2.1	Indice de crecimiento relativo (ICR).	27
3.9.2.2	Indice de crecimiento relativo del área foliar (ICRAF).	27
3.9.2.3	Indice de Asimilación Neta (IAN).	27
3.9.3	Componentes agronómicos.	27

3.9.3.1	Tasa de producción de materia seca (TPMS).	27
3.9.3.2	Indice de cosecha (K).	28
3.9.3.3	Uso Equivalente de la tierra (UET).	28
3.10	Manejo general del ensayo.	28
3.11	Análisis de Varianza.	37
3.11.1	Para los cultivos de maíz y de vigna.	37
3.11.2	Para el caso de las gramíneas forrajeras.	38
3.12	Comparación de medias.	38
3.13	Análisis Económico.	39
4.	RESULTADOS	40
4.1	Crecimiento de las gramíneas forrajeras	40
4.1.1	Biomasa aérea total.	40
4.1.2	Análisis de tendencias para la producción de la biomasa aérea total en gramíneas.	42
4.1.2.1	Incremento promedio diario.	42
4.1.2.2	Ajuste de la biomasa aérea total a modelos de crecimiento.	43
4.1.3	Análisis de los componentes del rendimiento en biomasa aérea.	49
4.1.3.1	P. purpureum cv. Mott.	49
4.1.3.2	B. brizantha.	51

4.1.3.3 B. dictyoneura.	55
4.1.4 Relación Hoja/Tallo (H/T).	56
4.1.5 Indices de crecimiento.	62
4.1.5.1 P. purpureum cv. Mott.	62
4.1.5.2 B. brizantha.	63
4.1.5.3 B. dictyoneura.	66
4.2 Crecimiento de los cultivos de grano.	68
4.2.1 Biomasa aérea total.	68
4.2.2 Análisis de tendencia para la producción de biomasa aérea.	69
4.2.2.1 Incremento promedio diario	69
4.2.2.2 Ajuste de la biomasa aérea total a modelos de crecimiento	70
4.2.3 Relación Hoja Tallo (H/T) para los cultivos.	71
4.2.4 Producción de grano.	75
4.2.5 Indices de crecimiento.	76
4.2.5.1 Maíz.	76
4.2.5.2 Vigna.	79
4.3 Análisis conjunto del asocio.	81
4.3.1 Índice de uso equivalente de la tierra (UET).	81
4.3.2 Costo de producción de los cultivos de grano.	82
5. DISCUSION	85

5.1	Crecimiento y biomasa aérea total máxima en P. purpureum, B. brizantha y B. dictyoneura.	85
5.2	Modelos de crecimiento en las gramíneas forrajeras.	88
5.3	Componentes del rendimiento y relación H/T.	90
5.4	Respuesta fisiológica.	93
5.5	Crecimiento y biomasa aérea total máxima en los cultivos de maíz y vigna.	94
5.6	Producción de grano.	94
5.7	Uso equivalente de la tierra (UET).	96
5.8	Análisis económico.	97
6.	CONCLUSIONES	100
7.	RECOMENDACIONES	102
8.	BIBLIOGRAFIA	104
9.	APENDICE	109

DUARTE, J.M. 1991. Efecto de los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) o vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) sobre el crecimiento de tres gramíneas forrajeras cuando se establecen en asocio, en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 122 p.

Palabras claves: maíz, vigna, *Pennisetum purpureum* cv. Mott, *Brachiaria brizantha*, *B. dictyoneura*, asocio, curvas de crecimiento, competencia, costos de producción.

RESUMEN

El presente trabajo se efectuó con el objeto de estudiar el efecto de los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) o de la vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) sobre el crecimiento de *P. purpureum* cv. Mott, *Brachiaria brizantha* CIAT 6780 (cv. Marandú) y *B. dictyoneura* CIAT 6133 (cv. Llanero); así, como la factibilidad de establecimiento en asocio. El trabajo se condujo en la Estación Experimental del Area de Ganadería Tropical del CATIE, localizada en Turrialba (Costa Rica), entre diciembre de 1990 y julio de 1991. Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar, con cuatro repeticiones y los tratamientos estuvieron definidos por el arreglo factorial de los dos cultivos con las tres gramíneas forrajeras. Adicionalmente se tuvieron tratamientos de monocultivo de las especies forrajeras y de los cultivos. La siembra, tanto de los cultivos como de las gramíneas forrajeras, se hizo en forma simultánea.

En las especies forrajeras se midió la producción de biomasa aérea y el área foliar, en los estadios fenológicos de macollamiento, elongación de tallos, previo al inicio de la floración, inicio de floración y plena floración. En los cultivos, éstas mediciones se hicieron en los estados de crecimiento del maíz correspondiente a V1, R1, R4, R6, R7 y en vigna los correspondientes a V4, R4, R6, R7, R8. Adicionalmente, en los cultivos se midió el rendimiento en grano. Estos datos se utilizaron para generar los índices para los componentes morfológicos, fisiológicos y agronómicos.

La biomasa aérea total máxima, los incrementos en biomasa aérea y el rendimiento en grano, se analizaron utilizando el Análisis de Varianza. Los datos de producción de biomasa aérea y relación hoja/tallo, se ajustaron a diferentes modelos de regresión, con el fin de verificar sus tendencias a través del tiempo. Adicionalmente, se estimaron los costos de producción de los cultivos y los costos adicionales para el establecimiento de la pastura, cuando se cultivan en asocio.

Las gramíneas forrajeras respondieron en forma diferente al asocio con los cultivos de maíz o de vigna, en relación a las variables de respuesta. *P. purpureum* cv. Mott, *B. brizantha* y *B. dictyoneura* mostraron una reducción en biomasa aérea total máxima de 56 y 51%, 62 y 64%, y 32 y 90% con respecto al monocultivo, cuando se establecieron en asocio con maíz o vigna, respectivamente. En todos los tratamientos, excepto el asocio *B. dictyoneura*/vigna, los cambios en la producción de biomasa aérea y el área foliar en función del tiempo, quedaron definidos por modelos de regresión exponencial. El asocio con maíz o vigna retrasó el momento de la manifestación de las diferentes fases del crecimiento en las gramíneas forrajeras, así como la floración en *B. brizantha* y *B. dictyoneura*. En el caso de *P. purpureum* la floración no se manifestó durante el periodo experimental.

En los cultivos de maíz y vigna, la biomasa aérea total y el rendimiento de grano no fueron afectados por el asocio con las gramíneas forrajeras; sin embargo, el monocultivo superó a los socios, obteniendo un rendimiento de grano de 5,954.21 y 2,564.17 kg/ha en maíz y vigna, respectivamente. Las reducciones en grano fueron como máximo de 7 y 6% para el maíz y vigna, respectivamente. Se considera que a nivel comercial, para cubrir los costos de producción de los cultivos y los costos adicionales para el establecimiento de la pastura (punto de equilibrio), cuando se cultivan en asocio, se requerirá obtener como mínimo un rendimiento de 3,747 y 1,443 kg/ha (68 y 60%) del rendimiento obtenido a nivel experimental para maíz y vigna, respectivamente.

En términos generales las especies forrajeras compitieron más eficientemente por los recursos limitantes con el cultivo de maíz que con el cultivo de vigna. El establecimiento de las tres gramíneas forrajeras en asocio con maíz es factible y se considera como una opción aceptable, debido a que permite el crecimiento de las especies forrajeras y a la vez, la producción de grano, lo cual permite cubrir los costos adicionales del establecimiento de la pastura.

Se recomienda que al establecer pasturas en asocio con cultivos de leguminosas de grano, no se utilicen cultivares con hábito de crecimiento indeterminado como la vigna de la variedad Chiricano, debido a que interfieren fuertemente la penetración de luz a la copa de las especies forrajeras, reduciendo su eficiencia fotosintética y consecuentemente su crecimiento. Se recomienda continuar los estudios de la respuesta fisiológica en la asociación maíz-pasto, modificando algunas prácticas agronómicas de siembra, como son los arreglos topológicos y cronológicos.

DUARTE, J.M. 1991. The effect of corn (*Zea mays* L.) or "vigna" (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) on the growth of three grasses when established intercropped in Turrialba, Costa Rica. Mag. Sc. Thesis. Turrialba, C.R., CATIE. 122 p.

Key words. corn, vigna, *Pennisetum purpureum* cv. Mott, *Brachiaria brizantha*, *B. dictyoneura*, intercropping, growth curves, competition, production costs.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the effect of corn (*Zea mays* L.) or "vigna" (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) on the growth of *P. purpureum* cv. Mott, *Brachiaria brizantha* CIAT 6780 (cv. Marandú) or *B. dictyoneura* CIAT 6133 (cv. Llanero), when they were intercropped, as well as the economical feasibility of this method of pasture establishment. The field work was carried out from December 1990 to July 1991, at the Tropical Livestock Experimental Station, in CATIE, Turrialba, Costa Rica. The experiment was set up using a randomized complete block design, with four replications. Treatments were defined by a factorial arrangement of the two crops with the three grasses. In addition, there were treatments with the grass species and the crops grown in monoculture. The planting of both the crops and grasses was done simultaneously.

Total aerial biomass yield and leaf area were measured at five phenological stages, for all the grass species, as well as for corn and vigna. In the case of the grasses the phenological stages considered for measurements were: shoot formation, stem elongation, pre-flowering, flowering initiation, and full flowering. These measurements were done in corn at the V1, R1, R4, R6, and R7 growth stages, whereas for vigna the corresponding stages were V4, R4, R6, R7, and R8, respectively. Additionally, grain yield was measured in both corn and vigna. Based on these data, some morphological, physiological, and agricultural indexes were generated.

In the case of the grasses and crops, analysis of variance were run for the maximum total aerial biomass yield and total aerial biomass growth rate. Also, analysis of variance were carried out for grain yields in corn and vigna. In order to describe the trends for aerial biomass yield and leaf/stem ratio, as a function of time after planting, different regression models were adjusted to the. Additionally, economical analysis were conducted for the different grass/crop intercropping systems.

The grasses responded differently when intercropped with either corn or vigna. The maximum total aerial biomass yield in *P. purpureum* cv. Mott, *B. brizantha* cv. Marandú and *B. dictyoneura* cv. Llanero, associated to corn showed a relative decrease of 56, 62 and 32%, with respect to the grass monoculture treatments. The corresponding figures for associations with vigna were 51, 64 and 90%, respectively. For all treatments, except the association *B. dictyoneura/V. unguiculata*, the changes in aerial biomass yield and leaf area, as a function of time, were defined by an exponential regression model. Intercropping of grasses with both corn and vigna delayed the expression of the different phenological stages in the grasses. The appearance of flowers was retarded in the case of *B. brizantha* and *B. dictyoneura*; whereas in *P. purpureum* flowering did not occur during the whole experimental period.

In corn and vigna, total aerial biomass and grain yields were not significantly affected by the association with the grasses; however, grain yields were slightly higher in monoculture than in intercropping treatments, but the maximum decline in grain yields were only 7 and 6%, for corn and vigna, respectively. Grain yields for corn and vigna grown in monoculture were 5,954 and 2,564 kg/ha, respectively. The break even grain yields, to cover the production costs of the crops and the additional costs for the establishment of the pasture, were 3,747 and 1,443 kg/ha, for corn and vigna, respectively. These correspond to 68 and 60% of the yield obtained at experimental level, for corn and vigna, respectively.

In general terms, the grasses were able to compete for the limiting resources more effectively with corn than with vigna. It is feasible to establish either one of the three grasses intercropped with corn, and this option is considered acceptable, since the detrimental effect of corn on the grass growth is small, and the grain production allows to cover all the costs for the establishment of the grasses.

The results obtained also suggest not to use grain legumes with an undetermined type of growth, such as the *Vigna unguiculata* cv. Chiricano used in this study, since these interfere strongly light penetration to the grass canopy, reducing photosynthetic efficiency, and consequently its growth. It is recommended to continue studies on the physiological responses in the corn-pasture intercropping system, modifying some of the agronomic practices, such as the topological and chronological arrangements.

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro No</u>	<u>Página</u>
1. Características del suelo del sitio experimental.	18
2. Características del germoplasma de gramíneas forrajeras evaluadas.	19
3. Descripción de los tratamientos resultantes de la combinación de dos cultivos anuales y tres especies de gramíneas forrajeras, y de los tratamientos adicionales (monocultivos).	20
4. Estadios vegetativos (V) y reproductivos (R) para el cultivo de maíz, IBSNAT-1988.	21
5. Estadios vegetativos (V) y reproductivos (R) para el cultivo de soya y de frijol (IBSNAT, 1988).	22
6. Estadios fenológicos identificados en gramíneas.	22
7. Ecuaciones de regresión creadas para predecir el área foliar (Y) de tres gramíneas forrajeras con base en el peso seco de hojas (X).	25
8. Fechas de preparación del terreno y siembra de las especies.	29
9. Número de aplicaciones, dosis y época de aplicación de los pesticidas empleados en los cultivos de vigna y maíz.	36
10. Resumen del Análisis de Varianza para la producción de biomasa aérea total máxima de las tres gramíneas forrajeras, establecidas en monocultivo y en asocio con maíz o vigna.	40
11. Medias de producción en la biomasa aérea total máxima y rendimiento relativo de las gramíneas forrajeras en monocultivo y asociadas.	41
12. Valores de los incrementos en la biomasa aérea (g/m ² /día) de las tres gramíneas forrajeras establecidas en monocultivo y en asocio.	43
13. Parámetros de las ecuaciones de regresión de mejor ajuste para la biomasa aérea total de las gramíneas forrajeras en asocio y en monocultivo	49

14. Parámetros de las ecuaciones de los modelos de regresión de mejor ajuste para la relación H/T en las gramíneas forrajeras en asocio y en monocultivo.	62
15. Índices morfológicos, fisiológicos y agronómicos para <i>P. purpureum</i> cv. Mott en asocio con maíz o con vigna y en monocultivo.	64
16. Índices morfológicos, fisiológicos y agronómicos para <i>B. brizantha</i> en asocio con maíz o con vigna y en monocultivo.	65
17. Índices morfológicos, fisiológicos y agronómicos para <i>B. dictyoneura</i> en asocio con maíz o con vigna y en monocultivo.	67
18. Resumen del Análisis de Varianza para la biomasa aérea total máxima para el maíz y para la vigna, en monocultivo y en asocio con tres gramíneas forrajeras.	69
19. Parámetros de las ecuaciones de los modelos de regresión de mejor ajuste para los valores promedio de la relación H/T en los cultivos de maíz y vigna.	75
20. Producción de grano en los cultivos de maíz y de vigna en monocultivo y en asocio con tres gramíneas forrajeras, evaluados en Turrialba, Costa Rica, 1991.	75
21. Índices morfológicos, fisiológicos y agronómicos para el cultivo de maíz en asocio y en monocultivo.	77
22. Índices morfológicos, fisiológicos y agronómicos para el cultivo de vigna en asocio y en monocultivo.	80
23. Índice de Uso Equivalente de la Tierra (UET) para los diferentes sistemas de cultivo estudiados.	81
24. Costos de Producción (Colones/ha) estimados para los cultivos de maíz y vigna.	82
25. Costos adicionales por hectárea en el establecimiento de las gramíneas forrajeras asociadas con los cultivos de maíz o con vigna	83
26. Rendimiento en grano de los cultivos de maíz y vigna, estimados para cubrir los costos de producción de los cultivos y establecimiento de las gramíneas forrajeras.	84

En el Apéndice.

<u>Cuadro No.</u>	<u>Página</u>
1A. Area foliar en <i>P. purpureum</i> cv. Mott, <i>B. brizantha</i> y en <i>B. dictyoneura</i> en asociados con maíz o vigna y en monocultivos para cada uno de los tiempos de muestreo.	110
2A. Valores medios y porcentuales de los componentes de la biomasa aérea en <i>P. purpureum</i> cv. Mott cultivado solo y asociado con maíz o vigna	111
3A. Valores medios y porcentuales de los componentes de la biomasa aérea total en <i>B. brizantha</i> cultivada sola y en asocio con maíz o vigna.	112
4A. Valores medios y porcentuales de los componentes de la biomasa aérea total en <i>B. dictyoneura</i> cultivada sola y en asocio con maíz o vigna.	113
5A. Valores medios y porcentuales de los componentes de la biomasa aérea total en maíz cultivado solo y en asocio con gramíneas forrajeras.	114
6A. Valores medios y porcentuales de los componentes de la biomasa aérea total en vigna cultivada sola y en asocio con gramíneas forrajeras.	115
7A. Resumen del Análisis de Varianza para el rendimiento en grano de los cultivos de maíz y vigna, en monocultivo y en asocio con tres gramíneas forrajeras.	116
8A. Costos de producción por hectárea estimados para el cultivo de maíz en Turrialba, Costa Rica, 1991.	117
9A. Costos de producción por hectárea estimados para el cultivo de vigna en Turrialba, Costa Rica, 1991.	119

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura No.</u>	<u>Página</u>
1. Arreglo topológico en la asociación del maíz con <i>B. brizantha</i> y con <i>B. dictyoneura</i> .	31
2. Arreglo topológico de la asociación del maíz con <i>Pennisetum purpureum</i> cv. Mott.	32
3. Arreglo topológico de la asociación del cultivo de vigna con <i>B. brizantha</i> y con <i>B. dictyoneura</i>	33
4. Arreglo topológico de la asociación del cultivo de vigna con <i>Pennisetum purpureum</i> cv. Mott.	34
5. Biomasa aérea total de <i>P. purpureum</i> cv. Mott en monocultivo y asociado con maíz o vigna.	45
6. Biomasa aérea total de <i>Brachiaria brizantha</i> en monocultivo y asociada con maíz o vigna.	45
7. Biomasa aérea total de <i>Brachiaria dictyoneura</i> en monocultivo y asociada con maíz o vigna.	47
8. Componentes de la biomasa aérea para <i>P. purpureum</i> cv. Mott en asocio con maíz (a), con vigna (b) y en monocultivo (c).	53
9. Componentes de la biomasa aérea para <i>B. brizantha</i> en asocio con maíz (a), con vigna (b) y en monocultivo (c).	54
10. Componentes de la biomasa aérea para <i>B. dictyoneura</i> en asocio con maíz (a), con vigna (b) y en monocultivo (c).	57
11. Relación hoja/tallo en elefante enano (<i>P. purpureum</i>) en función del tiempo y sistema de cultivo.	60
12. Relación hoja/tallo en <i>Brachiaria brizantha</i> en función del tiempo y sistema de cultivo.	60
13. Relación hoja/tallo en <i>Brachiaria dictyoneura</i> en función del tiempo y sistema de cultivo.	61
14. Biomasa aérea total de maíz promedio de los cuatro sistemas de cultivo.	71
15. Biomasa aérea total de vigna promedio de los cuatro sistemas de cultivo.	73

16. Relación hoja/tallo en maíz y vigna promedio de los cuatro sistemas de cultivo en función del tiempo.	74
En el Apéndice.	
1A. Respuesta fisiológica y momento de la manifestación de las fenofases en <i>P. purpureum</i> cv. Mott en monocultivo y en asocio con maíz o vigna.	120
2A. Respuesta fisiológica y manifestación de las fenofases inicio de la floración (IF) y plena floración (PF) en <i>Brachiaria brizantha</i> en monocultivo y en asocio con maíz o vigna.	121
3A. Respuesta fisiológica y manifestación de las fenofases inicio de la floración (IF) y plena floración (PF) en <i>Brachiaria dictyoneura</i> en monocultivo y en asocio con maíz o vigna.	122

1. INTRODUCCION

Un alto porcentaje de las áreas de pastoreo se encuentran severamente degradadas, lo cual, resulta en la obtención de bajos niveles de productividad animal. Esto ha conducido a que en muchos casos se pretenda compensar la menor productividad animal resultante de dichas pasturas, con la expansión de la frontera ganadera.

Una de las opciones para la recuperación del potencial productivo de las pasturas degradadas es su renovación o reemplazo por nuevas pasturas, con especies de probada adaptación a las condiciones bióticas y abióticas imperantes en el medio. Sin embargo, el establecimiento de estas nuevas pasturas implica costos, básicamente en la preparación del terreno, mano de obra, semillas y fertilizantes. El retorno esperado a este tipo de inversión es a largo plazo; por ello, el uso de asociaciones cultivo-pasto constituye una alternativa para el financiamiento o recuperación rápida de la inversión.

Por estas razones, en el presente trabajo se establecieron las gramíneas forrajeras *Pennisetum purpureum*, *Brachiaria brizantha* y *B. dictyoneura* asociadas con maíz o con vigna, en una área de pastura degradada constituida básicamente por especies naturales. Para la ejecución de la investigación se plantearon los siguientes objetivos:

General:

- Estudiar el efecto de la competencia que se establece entre los cultivos de maíz o de vigna con gramíneas forrajeras, durante la fase de establecimiento de la pastura.

Específicos:

- Analizar los patrones de crecimiento de tres gramíneas forrajeras con diferente hábito de crecimiento: Elefante enano (*Pennisetum purpureum* cv. Mott), *Brachiaria brizantha* CIAT 6780 (cv. Marandú) y *B. dictyoneura* CIAT 6133 (cv. Llanero), cuando se establecen en asocio con maíz (*Zea mays* L.) o vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp).

- Evaluar el crecimiento y el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) y vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) cuando se cultivan en asocio con gramíneas de diferente hábito de crecimiento.

- Determinar si el rendimiento en grano del maíz o el de la vigna, permiten financiar el establecimiento de la pastura, cuando se cultivan en asocio.

2. REVISION DE LITERATURA

La competencia es la respuesta de una planta individual o una especie a su medio ambiente modificado por la presencia de otra planta individual u otra especie, cuando uno o más factores de crecimiento son limitantes (Sánchez, 1981).

Baruch y Fisher (1988), indican que el fracaso de las especies cuando se siembran en comunidades de plantas existentes es comunmente adjudicada a la competencia, aunque la naturaleza de ésta, es rara vez investigada.

Existe la necesidad de tener un conocimiento más profundo de los componentes bióticos y de las interacciones que se dan en el complejo sistema de cultivos asociados, a fin de diseñarlos y manejarlos ventajosamente (Gliessman, 1986). Por lo tanto, estudios fisiológicos en estos sistemas son necesarios para poder entender la competencia entre especies, el crecimiento y el uso de los recursos disponibles. Tales estudios facilitarían la identificación de las posibles opciones para obtener incrementos en la producción, a través del manejo agronómico (Morgano y Rao, 1986).

2.1 Competencia en los cultivos asociados.

Una forma de asocio de cultivos es el sistema de cultivos intercalados, en el cual ocurre la siembra de dos o más cultivos simultáneamente en el mismo terreno, y la competencia

entre los cultivos puede darse durante parte o todo el ciclo de crecimiento (Sánchez, 1981; Ofori y Stern, 1987).

La naturaleza de la competencia entre plantas en los cultivos intercalados puede ser por agua, nutrientes, por luz o por una combinación de dos o más de estos factores (Spitters, 1983; Baruch y Fisher, 1988). Ellos y Vandermeer (1989) indican que la competencia inicialmente puede ser por nutrientes, pero luego la especie de mayor éxito reduce la luz que recibe la especie menos exitosa y el comportamiento de esta última puede ser dirigido por los niveles de los factores de suministro escaso. Por otro lado, Spitters (1983) indica que la competencia más simple se presenta entre plantas de la misma especie, la cual se expresa como biomasa producida en respuesta a la densidad de siembra.

En los cultivos asociados, la luz se convierte pronto en un factor limitante, ya que por efecto del sombramiento, se reduce la cantidad de luz que llega al cultivo dominado y esto produce variaciones en temperatura y humedad dentro de los cultivos, con lo cual origina un microclima que puede ser, dependiendo de las condiciones particulares, favorable o desfavorable para el crecimiento y desarrollo de las especies asociadas (Fuenmayor, 1985).

Fuenmayor (1985), al evaluar cultivos solos y asociados de maíz, soya y caupí, encontró que los patrones de crecimiento de la biomasa aérea total de maíz eran alterados al asociarse

con caupí o con soya y que las mayores modificaciones se daban cuando se asociaba con caupí, en siembra simultánea o a 20 días después de la siembra del maíz. La biomasa aérea de caupí y soya disminuyeron al asociarse con maíz. Algo similar ocurrió en el caso de la producción de grano de estas especies. Sin embargo, Valdivia (1989) al evaluar el asocio de maíz con soya o con frijol y el efecto de sombra de mallas, encontró que el rendimiento del maíz no fue afectado significativamente. Mientras que el rendimiento de la soya disminuyó en 43 y 24%, lo cual considera es consecuencia de la intercepción de la radiación solar producida por el cultivo dominante (maíz) y por la sombra de la malla calibrada, respectivamente. El rendimiento del frijol se redujo en 25% al asociarse con el maíz.

2.2 Asociaciones de cultivos con especies forrajeras.

Los sistemas pasto-cultivo intercalados, son más eficientes por la mayor utilización de la radiación solar disponible, la mayor eficiencia en el uso de los nutrientes del suelo, los menores problemas en el control de malezas, insectos y enfermedades y el mejor empleo de la mano de obra y otras tecnologías de baja energía. Adicionalmente, los costos de establecimiento son cubiertos en alguna medida por la venta de la cosecha del cultivo (Sánchez y Salinas, 1981).

Otra ventaja de la siembra simultánea del cultivo y el pasto, en las fases tempranas del establecimiento de estos, es

que el crecimiento rápido del cultivo protege el suelo contra la erosión y optimiza el uso de la tierra (Ayarza y Spain, 1988). Ellos consideran además, que ésta puede ser una opción para hacer más atractiva la fertilización en la fase de establecimiento de la pastura, ya que las dosis de fertilizantes deben ser ajustadas para obtener una buena producción del cultivo, dejando que los pastos aprovechen el efecto residual del fertilizante.

Numerosos trabajos (Sánchez y Salinas, 1983; Ayarza y Spain, 1988; Ferrufino, 1988), demuestran que la siembra intercalada y simultánea de cultivos de ciclo corto y pastos es específica para una localidad y extremadamente dependiente de las condiciones climáticas, de las características del cultivo y de las especies forrajeras, de las densidades de siembra y de los niveles de fertilidad del suelo.

Ayarza y Spain (1988), mencionan que los trabajos realizados en varios tipos de suelo y ecosistemas indican que en general, las leguminosas afectan menos el rendimiento de los cultivos, que las gramíneas.

Veiga (1986) menciona que la producción de arroz no fue afectada al sembrarse asociado con *Brachiaria*, *Centrosema* y *Stylosanthes*. Las mejores respuestas de las forrajeras fueron en siembras efectuadas en el mismo surco o en surcos intercalados con el arroz.

También, en otra evaluación realizada por Veiga (1986) en un suelo Oxisol de la Amazonía de Brasil, con el objetivo de renovar una pastura degradada mediante la siembra de los cultivos de maíz o arroz, con las especies forrajeras *Panicum maximun*, *Brachiaria humidicola* o *Andropogon gayanus*; utilizando varios métodos de siembra determinó que la producción de grano de maíz no fue afectada por la asociación con los pastos y concluyó que esta práctica es recomendable para el establecimiento exitoso de *P. maximun* y *A. gayanus*. Sin embargo la producción de grano de arroz fue reducida drásticamente como consecuencia de la competencia con las gramíneas forrajeras evaluadas.

Ferrufino (1988) en Bolivia, al establecer una pastura de *Brachiaria decumbens* en asocio con cultivos anuales como el arroz o maíz después de la tumba y quema del bosque, concluyó que es factible el establecimiento de esta gramínea forrajera en asocio con el arroz o el maíz, debido a que los rendimientos de los componentes de la asociación no son afectados por su cultivo intercalado.

También en otra investigación (CIAT, 1989), al establecer simultáneamente el arroz asociado con *B. dictyoneura* + *C. acutifolium* y con *A. gayanus* + *S. capitata*, no se observó ninguna reducción en el rendimiento del cultivo y al final de la cosecha, las pasturas se encontraban bien establecidas. Por otro lado, se comprobó que *B. dictyoneura* + *C. acutifolium* sólo se establecieron bien cuando se sembraron simultáneamente

con el arroz; mientras que *A. gayanus* + *S. capitata* se establecieron bien simultáneamente o a 30 días después de la siembra del arroz.

La siembra de otro cultivo de ciclo corto como el frijol (*Phaseolus vulgaris*), con una leguminosa forrajera o con una mezcla gramínea-leguminosa (*Brachiaria decumbens* y *S. guianensis*), no afectó los rendimientos del cultivo, aunque el crecimiento de los pastos fue retardado por la presencia del cultivo de frijol; sin embargo, la pastura quedó bien establecida después de la cosecha del cultivo asociado (Sánchez y Salinas, 1981).

Pérez (1990), al establecer las especies forrajeras *Brachiaria brizantha* CIAT 6780 y *B. dictyoneura* CIAT 6133 en asocio con el cultivo de soya (*Glycyne max* L.) y bajo sombra simulada, encontró que el rendimiento del cultivo en grano se redujo en 45 y 7% con respecto al cultivo puro, al asociarse con *B. brizantha* y *B. dictyoneura*, respectivamente; y que *B. brizantha* se comportó como cultivo dominante.

El mismo autor determinó que el rendimiento de la biomasa aérea máxima de *B. brizantha* se redujo en 34% al asociarse con soya y en 52% bajo sombra simulada, mientras que en *B. dictyoneura* se redujo en 87 y 50% asociada con soya y bajo sombra simulada, respectivamente; con respecto al cultivo puro.

2.3 Efecto de la sombra en especies forrajeras.

La mayoría de los pastos tropicales son plantas de "sol"; por lo tanto, con una capacidad limitada para aclimatarse o tolerar la sombra (Ludlow, 1980), de manera que reducen su rendimiento cuando se someten a bajas intensidades de luz, especialmente las plantas C₄ que son más susceptibles al sombreado (Crowder y Chheda, 1982). Por lo tanto, su éxito en los pastizales va a depender de su capacidad de crecer a mayor altura (como es el caso de las gramíneas) o de apoyarse y enrollarse sobre sus competidores, como es el caso de algunas leguminosas como *Macroptilium atropurpureum* (Ludlow, 1980).

Wong y Wilson (1980) consideran que existe la necesidad de investigar el comportamiento de las pasturas tropicales bajo condiciones de sombra. Entre las razones que dan, se encuentra la práctica de sembrar árboles en las áreas de pasturas, para intensificar y diversificar la producción por unidad de tierra, la necesidad de establecer pasturas con bajo costo y evitar el desbosque completo.

En un experimento conducido por Ludlow et al (1974), con el objetivo de estudiar las respuestas comparativas de las gramíneas *Brachiaria ruziziensis* cv. Kennedy y *Panicum maximum* var. trichoglume cv. Petrie y las leguminosas *Calopogonium muconoides* y *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro, al efecto de la sombra encontraron que a medida que se aumentaba la intensidad de sombreado, se incrementaba la proporción de

hojas y disminuía la proporción de raíces, el área foliar y el peso seco de la biomasa aérea total, y a la vez se incrementaba la relación biomasa aérea/radicular en todas las especies, excepto en *P. maximum* donde ocurrió lo contrario. Además, observaron que la sombra tuvo un efecto severo sobre el número de macollos.

En el trabajo realizado por Wong y Wilson (1980), bajo condiciones de sombra de 60 y 40% de la luz solar plena con el empleo de mallas calibradas, y defoliación de dos frecuencias, en pasturas puras y asociadas de *Panicum maximum* var. *trichoglume* cv. Petrie y *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro, encontraron que la gramínea bajo sombra tuvo un mayor índice de área foliar, más bajos coeficientes de extinción de luz, mejor distribución del área foliar en altura, mayor acumulación de nitrógeno en todas las fracciones de la planta, y las hojas individuales presentaban una mayor actividad fotosintética, mientras que en la leguminosa sucedió lo contrario.

Ludlow (1980) dice que en ausencia de otros estreses ambientales, tanto las leguminosas como las gramíneas parecen ser igualmente sensibles al sombreado. Sin embargo, Wong y Wilson (1980) indican que a niveles de nitrógeno en el suelo bajos o moderados, algunas gramíneas parecen ser menos susceptibles que las leguminosas; debido a que aparentemente el sombreado estimula la absorción de nitrógeno y el crecimiento de las gramíneas; mientras que en las leguminosas

el crecimiento es reducido, debido a que la sombra deprime la fijación de Nitrógeno por los rizobios.

Al respecto, con el objetivo de verificar si la sombra estimulaba la liberación de nitrógeno a la solución del suelo en pasturas degradadas de *Panicum maximum*, Wilson et al (1986) compararon parcelas a plena luz y con 37% de transmisión de luz. Concluyeron que la sombra estimulaba un crecimiento extra, debido a un incremento en la liberación de nitrógeno y que este efecto beneficioso de la sombra, estaría relacionado con una alteración en el balance de movilización/inmovilización del nitrógeno en el suelo.

Por otro lado, Eriksen y Whitney (1981), al investigar el efecto de la intensidad de luz (100, 70, 45 y 25% de luz), con 365 kg de N y sin fertilización, sobre el crecimiento de seis pastos, encontraron que en ausencia de fertilización nitrogenada, el N fué un factor más limitante del crecimiento que la luz. Concluyeron que bajo condiciones de sombra y sin fertilización, los rendimientos de materia seca se incrementan, mientras que cuando se aplica fertilización nitrogenada bajo intensidades de luz reducidas sucede lo contrario. Mencionan que este comportamiento es debido a que el N aplicado a plena luz, no fué suficiente para soportar los máximos rendimientos en función a la radiación incidente. Así mismo, consideran que en algunas especies el rendimiento potencial fué afectado por otros factores, entre ellos una

pobre adaptación o a la poca disponibilidad de N, más que por efecto de la sombra.

Crowder y Chheda (1982), mencionan que en *Cynodon dactylon* cv. Coastal, el rendimiento del forraje, la producción de raíces y rizomas, las reservas de nutrientes para el crecimiento y la disponibilidad de los carbohidratos totales disminuyen cuando se reduce la luz. Los mismos autores encontraron que este efecto fué más severo con altas tasas de aplicación de Nitrógeno y que las disminuciones fueron proporcionales a la disminución de la luz.

Wilson y Wong (1982) informan que la digestibilidad de la materia seca (DMS) de *P. maximum* disminuyó por efecto del sombreado y que esta disminución es más marcada cuando la defoliación es menos frecuente. Esto fue atribuido a una disminución de la DMS en la lámina de la hoja y tallo y en la relación hoja/tallo. También dicha disminución fué asociada con más bajos contenidos de carbohidratos solubles y con más altos contenidos de lignina en los tejidos sombreados. Por el contrario, en el Siratro la composición química y la DMS no fueron afectados por la sombra. Crowder y Chheda (1982), también informan que la sombra incrementó significativamente el contenido de lignina de la gramínea *Cynodon dactylon* cv. Coastal, con lo cual se disminuyó su digestibilidad.

Según Eriksen y Whitney (1981), el incremento en la calidad del forraje bajo condiciones de sombra moderada tiene gran importancia práctica, especialmente para aquellas áreas del trópico donde se utilizan asociaciones de árboles con especies forrajeras o donde la fertilización nitrogenada no es posible. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta que para evitar la reducción de las reservas de carbohidratos de las raíces, se requiere manejar estas pasturas con períodos de recuperación más largos después del pastoreo o manteniendo un alto índice de área foliar, a base de pastoreos moderados.

Wilson et al (1990), al evaluar el crecimiento del pasto *Paspalum notatum* bajo sombra en una plantación de árboles de *Eucalyptus grandis* y a pleno sol, encontraron que bajo los árboles, el pasto presentó mayor proporción de hojas, N, P y humedad que el pasto que creció a plena exposición solar.

2.4 Aspectos generales sobre el crecimiento.

Generalmente se relaciona el término crecimiento con un aumento irreversible en tamaño o materia seca (Noggle y Fritz, 1983; Fernández et al., 1985); sin embargo, el vocablo es limitado a las células vivas, pues es llevado a cabo por procesos metabólicos que involucran la síntesis de macromoléculas, tales como ácidos nucleicos, proteínas, lípidos y polisacáridos, a expensas de la energía metabólica (Noggle y Fritz, 1983).

Estos mismos autores, indican que las actividades metabólicas de una célula, tejido u órgano en crecimiento; no están distribuidas uniformemente, a pesar de estar localizadas en centros con diferencia en actividad bioquímica, metabólica y en organización estructural, que dan origen a nuevos patrones de crecimiento.

Contrariamente el término desarrollo incluye procesos de diferenciación o cambios estructurales y fisiológicos en las plantas, donde se manifiestan una secuencia de eventos, de manera ordenada, y que culminan en una planta completa de forma y composición química característica, en respuesta a su información genética (Noggle y Fritz, 1983; Fernández et al, 1985).

El patrón de desarrollo, durante las fases de crecimiento vegetativo y reproductivo, está influenciado por factores internos (genéticos y hormonales) y externos (nutricionales, ambientales, competencia), de manera individual o como el producto de interacciones (Noggle y Fritz, 1983).

El crecimiento de la mayoría de plantas sigue generalmente un patrón en forma sigmoideal. Es decir, se inicia con un crecimiento relativamente lento; posteriormente la tasa de crecimiento se incrementa conforme las plantas crecen, lo cual, coincide con el inicio de la elongación de los tallos (fase exponencial del crecimiento); y finaliza con una disminución en los incrementos, denominada fase de

senescencia del crecimiento (Crowder y Chheda, 1982; Noggle y Fritz, 1983; Fargas, 1985; Brown, 1988).

2.5 Análisis del crecimiento.

El análisis del crecimiento es definido por Fargas (1985), como la descripción matemática del crecimiento de las plantas o sus órganos durante el ciclo de vida. Donde, con el empleo correcto de ecuaciones se pueden obtener valores que representados por medio de curvas, permiten visualizar el efecto de los factores ambientales o genéticos, sobre el crecimiento y el rendimiento de los cultivos.

El crecimiento de las plantas puede ser medido de muchas maneras, a saber: como el incremento en altura de la planta, en longitud, ancho y área de hojas individuales, o en peso seco de la planta (Noggle y Fritz, 1983; Brown, 1988). Sin embargo, la medición del incremento en peso, puede considerarse como la de mayor importancia en el análisis del crecimiento de las especies forrajeras, aunque para el caso de los cultivos de grano, esta única medida (componentes del rendimiento sin el grano), solamente es importante en la producción de una planta de alto rendimiento en grano (Brown, 1988).

Los datos básicos para el análisis del crecimiento de plantas individuales corresponden a una serie de mediciones secuenciales de tamaño, área foliar, peso de la planta entera

o de sus órganos; tomados a intervalos regulares, durante el ciclo de vida o al finalizar éste (Fargas, 1985).

Una manera de analizar el crecimiento, su tendencia y el comportamiento, se refiere a los métodos que permiten explicar el rendimiento en función de las variables o componentes que influyen sobre él. Una de las técnicas empleadas es el ajuste de curvas, las que permiten describir y efectuar comparaciones entre distintas modalidades de procesos biológicos. En esta metodología no solamente es importante obtener una expresión matemática adecuada, sino también que la misma tenga sentido biológico (Arze et al, 1985).

Otra manera, es por medio de los índices o parámetros fisiológicos y morfológicos. Los primeros sirven para describir procesos fisiológicos dentro de los cuales se encuentran los índices de: Crecimiento Relativo (ICR), Crecimiento Relativo del Area Foliar (ICRAF) y la Asimilación neta (IAN), considerados los tres parámetros más importantes para describir el patrón de crecimiento vegetal (Arze, 1975; Fargas, 1985). Entre los segundos, cuyo objetivo es revelar como la planta distribuye su biomasa a través del tiempo o en relación con el área foliar, se encuentran: La Razón de Peso Foliar (RPF), la Razón de Area Foliar (RAF), el Area Foliar Específica (AFE), el Indice de Area Foliar (IAF), la Razón de Peso Radical (RPR) y el Indice de Cosecha (K) (Fargas, 1985).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación.

El ensayo fué conducido en la Estación Experimental del Area de Ganadería Tropical del CATIE, localizada en Turrialba (Costa Rica), a 9° 53' Latitud Norte y 83° 38' Longitud Oeste y a una altitud de 602 m.s.n.m.

3.2 Clima.

La localidad presenta características climáticas generales de una temperatura media máxima de 26.5 °C y una media mínima de 18.0 °C. La precipitación anual es de 2641 mm y la radiación solar media es de 424.2 ly. Según el sistema de clasificación de Holdridge (1982), el área corresponde a la zona de vida Bosque Muy Húmedo Premontano Tropical.

3.3 Suelo.

El suelo es de origen aluvial fluvio-lacustre, con drenaje natural pobre e imperfecto. La densidad aparente es baja, textura arcillosa, con una fertilidad de media a baja y con un pH fuertemente ácido (5.1 - 5.6). Corresponde a la serie Instituto, fase normal, orden Inceptisol, suborden Trocept, Gran grupo Humitrocept, subgrupo Tipic Humitrocept, familia Humitrocept, Fine, Hallostic, Isohipertermic (Aguirre, 1971). El suelo del sitio experimental posee una textura

arcillosa y se encontraba antes del experimento cubierto de pasto, básicamente con especies naturales. Las características químicas propias del sitio experimental, obtenidas mediante el muestreo del suelo a la profundidad de 0-0.20 m realizado antes del establecimiento del experimento, se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características del suelo del sitio experimental.

pH H ₂ O	P* ug/ml	meq/100 ml de suelo				Cu mg/l	Zn mg/l	Mn mg/l	M.O. %
		Ca	Mg	K	Acid Extr.				
4.8	8.7	3.12	1.1	0.43	1.37	30.6	3.53	22.88	10.5

* Solución extractora: Olsen modificada.

3.4 Material Experimental.

Se utilizó maíz del cultivar Tuxpeño, un maíz de porte medio y 65 días a la floración. En vigna se sembró la variedad Chiricano, un material de hábito de crecimiento indeterminado. Por otro lado, en el caso de las gramíneas forrajeras se utilizaron tres especies con diferentes hábitos de crecimiento, tal como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características del germoplasma de gramíneas forrajeras evaluadas.

Características	<i>Pennisetum purpureum</i> cv. Mott	<i>Brachiaria brizantha</i> CIAT 6780	<i>Brachiaria dictyoneura</i> CIAT 6133
Hábito Crec.	erecto	semierecto	rastrero
Altura planta (m)	1.0-1.5	0.8 - 1.5	0.4 - 0.9

3.5 Diseño Experimental.

El ensayo se estableció con un diseño de Bloques Completos al Azar, con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron definidos por un arreglo factorial de los cultivos (Factor A, con dos niveles) con las gramíneas forrajeras (Factor B, con tres niveles). Adicionalmente, se tuvieron tratamientos de monocultivo de las tres gramíneas forrajeras y de los dos cultivos (maíz y vigna). El detalle de los tratamientos se presenta en el Cuadro 3.

3.6 Unidad experimental.

Las parcelas donde se ubicaron los tratamientos tenían una superficie de 40.0 m² (8.0*5.0 m), mientras que el área útil donde se efectuaron las observaciones fenológicas y los muestreos sucesivos fueron de 22.5 m² (7.5*3.0 m), 31.0 m² (7.75*4 m), 30.0 m² (7.5*4m) y 22.5 m² (7.5*3m); para maíz, vigna, Brachiarias y *Pennisetum purpureum*, respectivamente.

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos resultantes de la combinación de dos cultivos anuales y tres especies de gramíneas forrajeras, y de los tratamientos adicionales (monocultivos).

No.Trat	Cultivo anual	Gramínea forrajera
1	Maíz	P. purpureum
2	"	B. brizantha
3	"	B. dictyoneura
4	Vigna	P. purpureum
5	"	B. brizantha
6	"	B. dictyoneura
7*	Maíz	No
8	Vigna	No
9	No	P. purpureum
10	No	B. brizantha
11	No	B. dictyoneura

* Tratamientos del 7 al 11, monocultivo.

3.7 Toma de datos.

3.7.1 Cultivo de maíz y de vigna.

3.7.1.1 Análisis fisiológico: Se registró la fenología de las plantas por parcela, tanto de los cultivos puros como de los asociados y se anotaron los estadios vegetativos y reproductivos de acuerdo a lo descrito por IBSNAT (1988) en los Cuadros 4 y 5, para maíz y soya, respectivamente.

En el estudio se asumió que los estadios fenológicos para soya y frijol podrían aplicarse para vigna. La determinación de los diferentes estadios se hizo observando diez plantas en cada parcela y se consideró que la parcela corresponde a un estadio determinado, cuando al menos el 50% de las plantas evaluadas manifestaban características de dicho

estadio fenológico. Esta información sirvió para definir el momento de cosecha de las plantas que se muestrearon para hacer las determinaciones de área foliar, peso seco y cosecha del grano.

Cuadro 4. Estadios vegetativos (V) y reproductivos (R) para el cultivo del maíz, IBSNAT-1988.

Estadio	Descripción de los diferentes estadios
VE	Plantas visibles en la superficie del suelo
V1	Plantas con el collar de la 1ra. hoja visible
V2	Plantas con el collar de la 2da. hoja visible
Vn	Plantas con el collar de la n hoja visible
- Vt	Plantas con las ramas de la flor masculina visible, pero sin la presencia de cabellos fuera de la flor femenina
R1	Plantas con algunos cabellos visibles fuera la flor femenina
R2	Granos con endosperma líquido, claro y brillante (10 días después de R1 aprox.)
R3	Granos en estado de "leche". 18-22 días después de R1
R4	Granos con endosperma "pastoso", 24 a 28 días de R1
R5	Granos en estado de "diente", mazorca cambia de color y el grano inicia la forma de diente en su punta
R6	Madurez fisiológica. si el grano es seccionado longitudinalmente, existe una absición de color oscuro en la base del embrión. 55 a 65 días después de R1
R7	Madurez de cosecha

3.7.1.2 Biomasa aérea: La determinación de la producción de biomasa aérea se hizo en los estados de crecimiento del maíz correspondientes a V1, R1, R4, R6, R7 y en la vinya correspondientes a V4, R4, R6, R7, R8. Para tal propósito, se seleccionaron aleatoriamente tres plantas por parcela para cada estadio, para hacer las mediciones correspondientes.

Cuadro 5. Estadios vegetativos (V) y reproductivos (R) para el cultivo de soya y de frijol (IBSNAT, 1988).

Est.	Descripción de los diferentes estadios
VE	Emergencia
V1	Foliolos desarrollados, en el nudo unifoliado
V2	Hojas desarrolladas arriba del primer nudo
V3	Plantas con 3 nudos en el tallo principal, contados desde el nudo unifoliado
V4	Plantas con 4 nudos en el tallo principal
Vn	Plantas con n nudos en el tallo principal
R1	Plantas con una flor en cualquier nudo
R2	Plantas con flor en el penúltimo nudo, con una hoja completamente desarrollada en el último nudo
R3	Vainas de 0.5 cm entre los cuatro nudos superiores, con hojas completamente desarrolladas
R4	Vainas de 2 cm entre los cuatro nudos superiores, con hojas totalmente desarrolladas
R5	Inicio del desarrollo del grano, en los cuatro nudos superiores
R6	Granos desarrollados que llenan toda la vaina, en los cuatro nudos superiores
R7	Vainas y hojas amarillas. Madurez fisiológica
R8	Vainas color marrón. Madurez de cosecha

La biomasa aérea de cada planta muestreada fue fraccionada en sus componentes. En el caso del maíz se tomó el peso seco de hojas, tallo (incluyendo la vaina de la hoja), espiga y fruto. En los dos últimos estadios reproductivos, el fruto se fraccionó en grano, olote y tuza. Por otro lado, en la vigna se consideró el peso seco de hojas, tallos (incluyendo los peciolos) y fruto. Además en los dos últimos estadios reproductivos, el fruto se fraccionó en vaina (cáscara), grano y se anotó el número de vainas por planta y granos por vaina.

Los pesos secos fueron obtenidos colocando las muestras en estufa de aire forzado a 65 °C, hasta peso constante. Se

secó todo el material cosechado de cada componente y para cada planta muestreada.

3.7.1.3 Area foliar: En maíz, se usó la relación largo por ancho de cada hoja de las plantas muestreadas, multiplicada por el factor 0.73 como constante (McKee, 1964). Para la expresión del área foliar de la planta, se sumó el área de todas las hojas.

$$A = (l * a) * 0.73$$

Donde:

A = Area foliar de una hoja de maíz, (cm²).

l = Largo de hoja, cm.

a = Ancho máximo de la hoja, cm.

0.73 = Constante.

En el caso de la vinya se utilizó la metodología propuesta por Pérez (1990) para soya. En este caso se tomaron los foliolos centrales en cada una de las tres plantas muestreadas, y se utilizaron como estimadores del área foliar total. En la determinación del área foliar correspondiente a los foliolos se utilizó un medidor automático de área foliar (*).

3.7.1.4 Rendimiento en grano: Se tomó el peso seco del grano con 14% de humedad, en cada parcela neta; el cual se llevó a rendimiento por hectárea.

(*) Portable area meter LI-COR, model LI-3000. Land Instruments Corporation. Lincoln, Nebraska, U.S.A.

3.7.2 Gramíneas forrajeras.

3.7.2.1 **Análisis fisiológico:** Se observó la fenología de las tres especies utilizadas, de acuerdo al Cuadro 6.

Cuadro 6. Estadios fenológicos identificados en gramíneas (Adaptado de Heath et al, 1980)

Estadio	Características fenológicas
1. Emergencia	Visible el coleóptilo
2. Vegetativo	Vástagos con hojas únicamente
3. Elongación	Vástagos con nudos y entrenudos
4. Iniciación floración	Inflores. dentro de la hoja bandera
5. Plena floración	Inflores. fuera de la hoja bandera

3.7.2.2 **Biomasa aérea:** Para la determinación del peso seco de la biomasa aérea se muestrearon tres plantas por parcela, las cuales fueron seleccionadas al azar. Los muestreos se efectuaron al macollamiento, elongación de los tallos, previo al inicio de la floración, inicio de la floración y a la plena floración. Cada una de las plantas muestreos se fraccionó en hojas verdes, hojas secas, tallos e inflorescencia.

3.7.2.3 **Area foliar:** En las gramíneas forrajeras, el área foliar se determinó para cada una de las plantas muestreadas, utilizando ecuaciones de regresión para predecir el área foliar en función del peso seco de hojas.

Las ecuaciones de regresión se generaron a partir del área foliar y del peso seco de las hojas de cada uno de 40 tallos muestreados, considerándose plantas con un rango amplio

de tamaños. Los datos obtenidos del área foliar y de peso seco, se analizaron utilizando el modelo de regresión lineal sin intercepto ($Y=ax$); considerando que a cero peso seco de hojas, corresponde cero área foliar. Las ecuaciones desarrolladas para predecir el área foliar se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Ecuaciones de regresión creadas para predecir el área foliar (Y) de tres gramíneas forrajeras con base en el peso seco de hojas (X).

Gramíneas forrajeras	Ecuaciones de regresion	R ²
Pennisetum purpureum	$Y = 1174.5431X$	0.97
Brachiaria brizantha	$Y = 194.7048X$	0.98
Brachiaria dictyoneura	$Y = 160.3465X$	0.98

3.8 Análisis de crecimiento de los cultivos de maíz y vigna y de las gramíneas forrajeras.

Los datos de la biomasa aérea obtenidos para cada tratamiento en cada repetición se graficaron con del objeto de determinar el punto de mayor diferencia, y con base a esto, se realizó un Análisis de Varianza considerando los rendimientos máximos; según el modelo propuesto. En el caso de los cultivos de maíz y de vigna, debido a que no se detectó significancia para bloques ni tratamientos, los análisis de crecimiento se efectuaron considerando únicamente la media de 16 valores correspondientes a los cuatro tratamientos en cada cultivo.

Los incrementos de la biomasa aérea para cada tratamiento en cada repetición, se determinaron mediante el análisis de regresión lineal simple y los valores obtenidos, se analizaron por medio de un Análisis de Varianza para un diseño de Bloques Completos al Azar. Las medias de los incrementos se compararon mediante la utilización de la prueba de contrastes ortogonales.

Los datos de la biomasa aérea y de la relación H/T se ajustaron mediante análisis de regresión a diferentes modelos de crecimiento, con el fin de verificar sus tendencias a través del tiempo, utilizando el programa Palmer.

3.9 Generación de Indices.

Los datos biológicos que se tomaron fueron analizados mediante índices de crecimiento para los componentes morfológicos, fisiológicos y agronómicos.

3.9.1 Componentes morfológicos.

3.9.1.1 Índice de Area Foliar (IAF).

$$IAF = \frac{\text{Area foliar por planta}}{\text{Area de suelo por planta}}$$

3.9.1.2 Relación Hoja/Tallo (H/T).

$$H/T = \frac{\text{Peso seco de hojas}}{\text{Peso seco de tallos}}$$

3.9.2 Componentes fisiológicos.

3.9.2.1. Índice de crecimiento relativo (ICR).

$$\text{ICR} = \frac{\log_e W_{i+1} - \log_e W_i}{t_{i+1} - t_i}$$

Donde:

W_i = Peso seco en el muestreo "i", g/planta

W_{i+1} = Peso seco en el muestreo "(i+1)",
g/planta

$t_{i+1} - t_i$ = Intervalo de tiempo entre muestreos,
días

3.9.2.2 Índice de crecimiento relativo del área foliar (ICRAF).

$$\text{ICRAF} = \frac{\log_e A_{i+1} - \log_e A_i}{t_{i+1} - t_i}$$

Donde:

A_i = Área foliar en el muestreo "i"

A_{i+1} = Área foliar en el muestreo "(i+1)"

$t_{i+1} - t_i$ = Intervalo de tiempo entre muestreos,
días

3.9.2.3 Índice de Asimilación Neta (IAN).

$$\text{IAN} = \frac{W_{i+1} - W_i}{A_{i+1} - A_i} * \frac{\log_e A_{i+1} - \log_e A_i}{t_{i+1} - t_i}$$

3.9.3 Componentes agronómicas:

3.9.3.1 Tasa de producción de materia seca (TPMS).

$$\text{TPMS} = \frac{W_{i+1} - W_i}{S(t_{i+1} - t_i)}$$

Donde:

S= Superficie de terreno por planta, m²

3.9.3.2 Índice de cosecha (K).

$$K = \frac{\text{Peso seco del grano}}{\text{Peso seco biomasa aérea total}}$$

3.9.3.3 Uso Equivalente de la tierra

$$\text{UET} = \frac{Y_{1j}}{Y_{11}} + \frac{Y_{j1}}{Y_{jj}}$$

Donde:

Y_{1j} = Rendimiento del cultivo asociado

Y_{11} = Rendimiento del cultivo solo

Y_{j1} = Rendimiento del pasto asociado

Y_{jj} = Rendimiento del pasto solo.

Para el caso de la gramínea se consideró el rendimiento en biomasa aérea máxima, mientras que para los cultivos de maíz y de vigna se tomó la biomasa aérea presente en el último muestreo (R7 y R8), respectivamente; donde está incluido el peso del grano, que representa el valor comercial de la producción. También se estimó el UET contemplando únicamente la producción de grano de los cultivos.

3.10 Manejo general del ensayo.

La preparación del terreno se hizo con una aplicación a la pastura degradada de Gramoxone 20 SA (Paraquat) a razón de

5.0 l/ha, dos pasos de arado de disco, dos pasos de rastra y el surqueado. Las fechas de cada operación se muestran en el Cuadro 8.

El maíz se sembró con un distanciamiento de 1.0 m entre surcos y 0.50 m entre golpes, colocando 3 semillas por golpe. Quince días después de la siembra se realizó un raleo dejando 2 plantas por postura, con lo cual se obtiene una población de 40,000 plantas por hectárea; tanto para el cultivo puro como para el asocio con las gramíneas forrajeras (Figura 1).

Cuadro 8. Fechas de preparación del terreno y siembra de las especies.

Actividad	Fecha
Aplicación de Paraquat	2-11-90
Primer paso de arado	6-11-90
Segundo paso de arado	22-12-90
Pasos de rastra y surqueado	23-12-90
Siembra especies forrajeras	26,27,28-12-90
Siembra de los cultivos	29-12-90

La vigna fué sembrada a 0.50 m entre surcos y a 0.25 m entre golpes, dejando 2 plantas por golpe, con lo cual se obtuvo una población de 160,000 plantas por hectárea tanto para el cultivo puro como para el asocio con las gramíneas forrajeras (Figura 3).

En la siembra de las gramíneas forrajeras se utilizó material vegetativo (cepas), el cual fue sembrado intercalado

entre los surcos de los cultivos (a 0.25 m de cada uno), manteniendo un distanciamiento de 0.50 m entre surcos y de 0.50 m entre plantas (Figuras 1 y 3). En el caso del elefante enano (*Pennisetum purpureum*) se sembró a 1.0 m entre surcos y a 0.50 m entre plantas (Figuras 2 y 4).

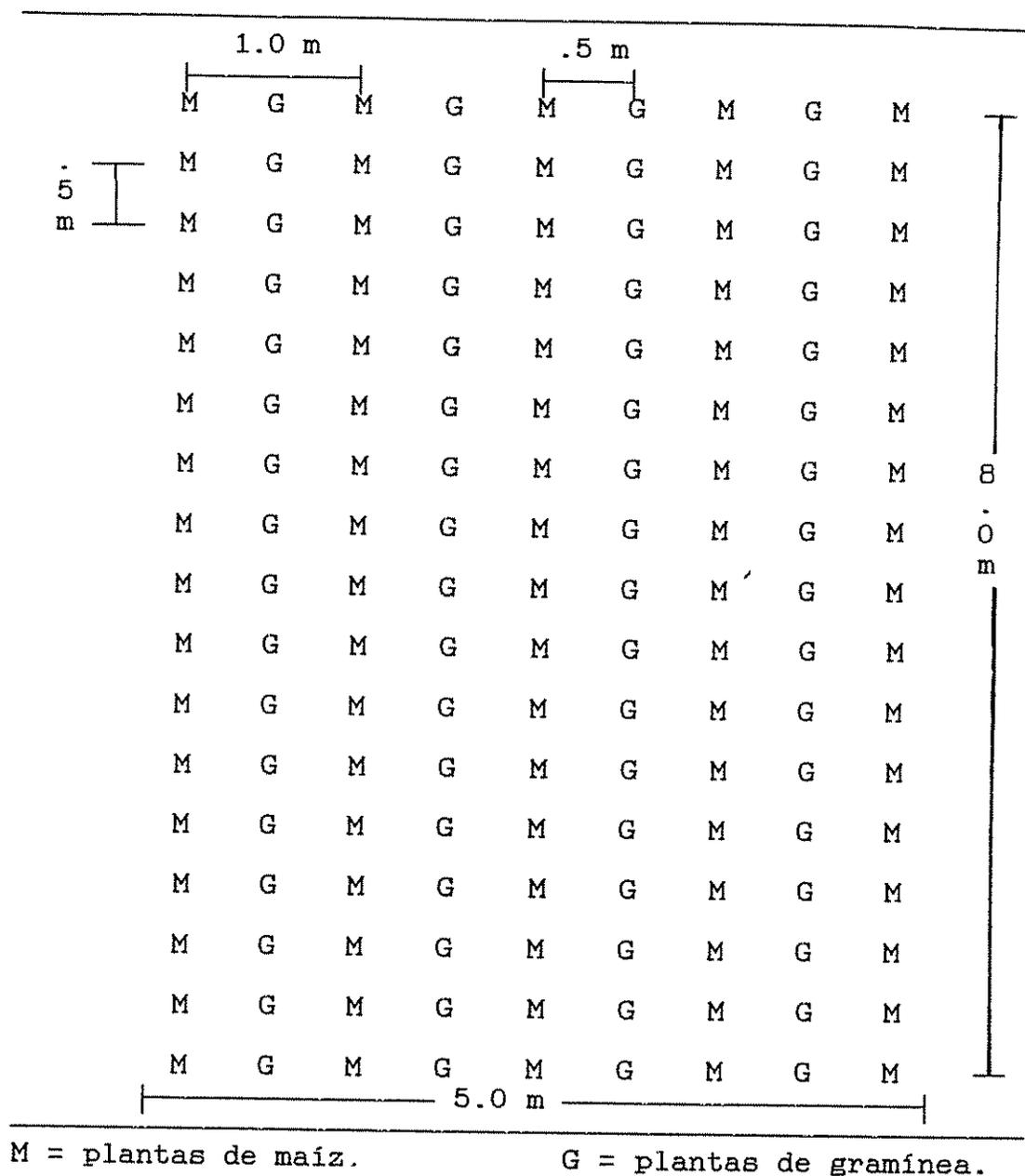
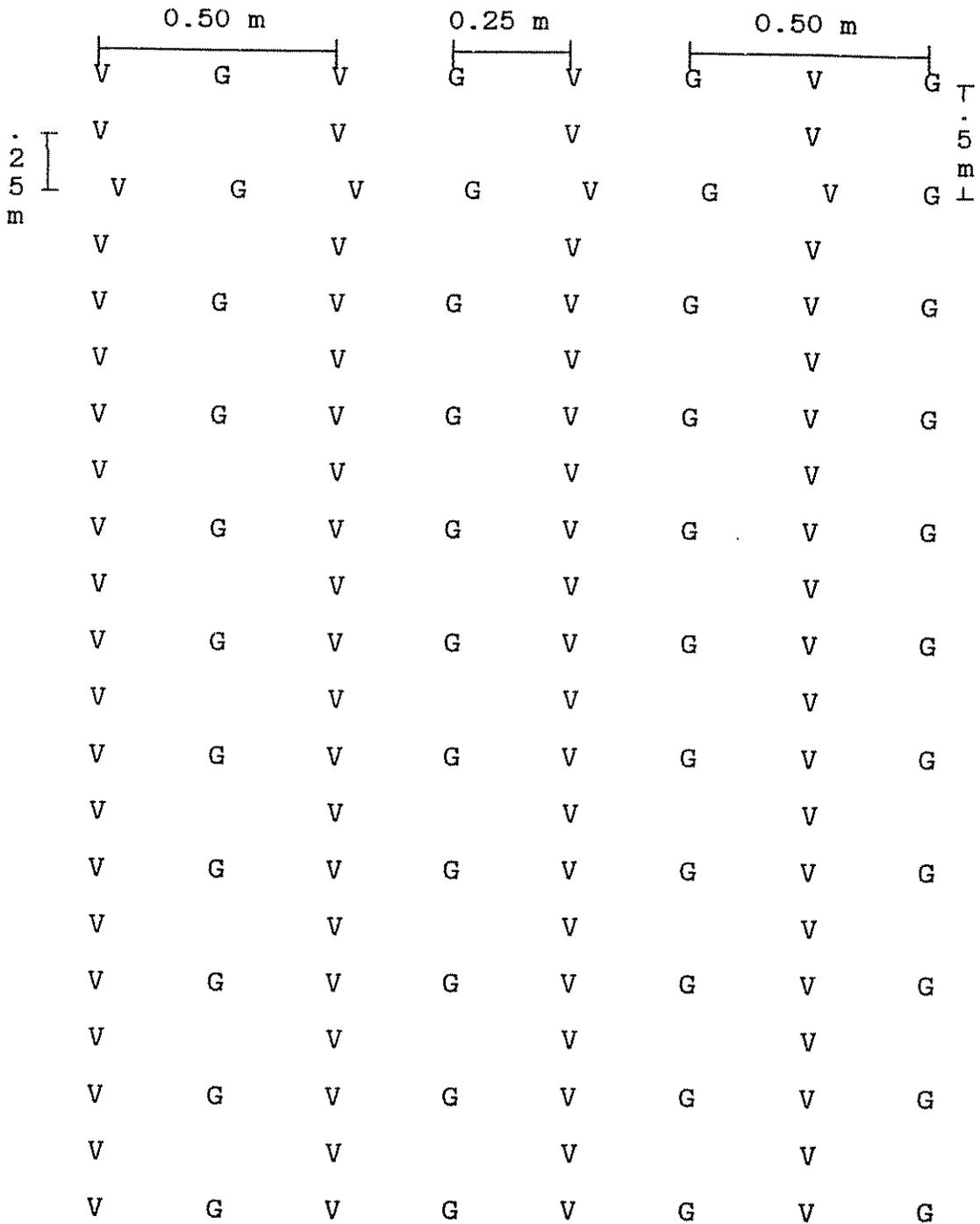


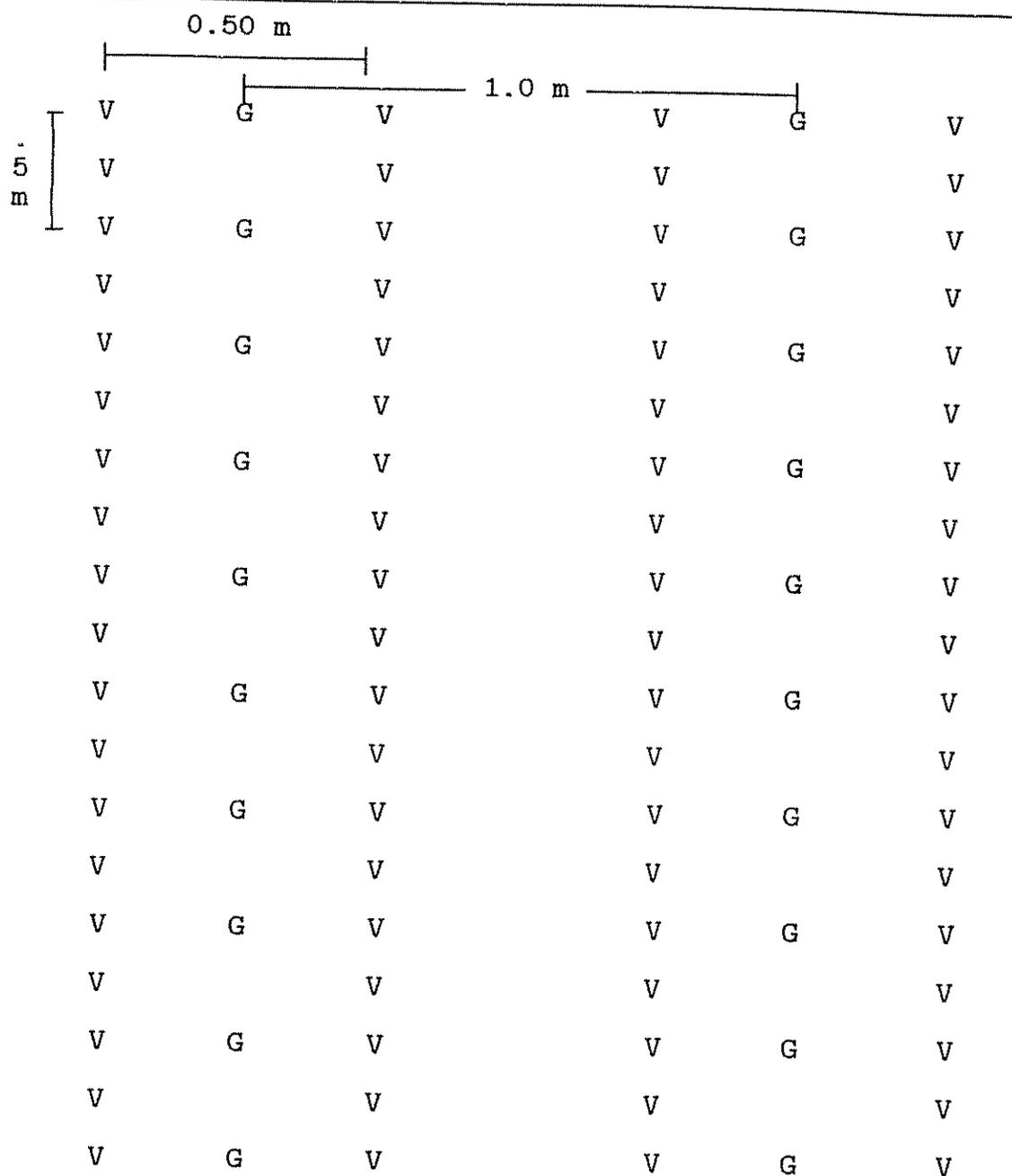
Figura 2. Arreglo topológico de la asociación del maíz con *Pennisetum purpureum* cv. Mott.



V = plantas de vigna.

G = plantas de gramínea.

Figura 3. Arreglo topológico de la asociación del cultivo de vigna con *B. brizantha* y con *B. dictyoneura*.



V = plantas de vigna.

G = plantas de gramínea.

Figura 4. Arreglo topológico de la asociación del cultivo de vigna con *Pennisetum purpureum* cv. Mott.

La fertilización fué dirigida a los cultivos, basada en el análisis químico del suelo y en sus respectivos requerimientos. El cultivo de maíz se fertilizó con 130 kg/ha de Nitrógeno; fraccionados en dos aplicaciones, 100 kg/ha de P_2O_5 y 60 kg/ha de K_2O ; al momento de la siembra. En la primera aplicación se utilizaron 416.7 kg/ha de la fórmula comercial 12-24-12, y a los 40 días después de la siembra se aplicaron 238.8 kg/ha de Nitrato de Amonio. Las aplicaciones se hicieron en forma localizada.

El cultivo de vigna se fertilizó con 65 kg/ha de Nitrógeno, 100 kg/ha de P_2O_5 y 60 kg/ha de K_2O al momento de la siembra en forma localizada. Se emplearon 416.7, 44.8 y 16.2 kg/ha de las fórmulas comerciales 12-24-12, nitrato de amonio y cloruro de potasio, respectivamente.

Las gramíneas forrajeras sembradas en monocultivo se fertilizaron con 66 kg/ha de Nitrógeno, 33 kg/ha de P_2O_5 y 33 kg/ha de K_2O , 2/3 partes de la fertilización anual recomendada por el CIAT para el establecimiento de gramíneas (CIAT, 1982). El Nitrógeno y el Potasio se fraccionaron en dos aplicaciones. En la primera fertilización se aplicaron 137.5 y 49.3 kg/ha de las fórmulas comerciales 12-24-12 y Nitrato de Amonio, respectivamente y a los 3 meses después de la siembra se realizó la segunda fertilización con 100 y 27.5 kg/ha de Nitrato de Amonio y Cloruro de Potasio, respectivamente.

El control de malezas se hizo en forma manual utilizando azadón. En el caso del cultivo de maíz se realizó el control

a los 22 y 39 días después de la siembra. En el cultivo de vigna se realizó únicamente una limpia a los 22 días después de la siembra. Las gramíneas forrajeras se limpiaron a los 45 días y un entresaque de malezas a los 90 días después de la siembra.

Los controles fitosanitarios en los cultivos se efectuaron de la manera descrita en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Número de aplicaciones, dosis y época de aplicación de los pesticidas empleados en los cultivos de vigna y maíz.

Aplicación	Pesticida	Dosis/ha	d.d.s.
Vigna			
1ra.	Terbufos	10.00 kg	m.s
2da.	Metil Parathión	0.75 lt	12
3ra.	Metamidofos	1.50 lt	24
	Poliglicol Ester	0.20 lt	24
4a.	Metamidofos	1.50 lt	37
	Benomil	0.35 kg	37
	Poliglicol Ester	0.20 lt	37
Maíz			
1ra.	Terbufos	10.00 kg	m.s
2da.	Metil Parathión	0.75 lt	15
3ra.	Metamidofos	0.80 lt	27
4a.	Phoxín	10.00 kg	40

d.d.s.= días después de la siembra

m.s.= momento de siembra

El Terbufos se aplicó para el control de plagas del suelo. El Metil Parathión y el Metamidofos se aplicaron para el control de insectos defoliadores y para insectos

chupadores, el Benomil se utilizó como preventivo de enfermedades fungosas en vinya y el Poliglicol Ester como surfactante; mientras que el Phoxím se aplicó para controlar al gusano cogollero (*Spodoptera sp.*)

Por otro lado, debido a que durante el ciclo de los cultivos se presentaron varios períodos de sequía, se hizo necesario aplicar riego tanto a los cultivos como a las gramíneas forrajeras, cuando se presentaron los síntomas de estrés hídrico.

La cosecha del grano de los cultivos se efectuó cuando estos alcanzaron la madurez fisiológica. El maíz se cosechó a los 135 días después de la siembra. En el caso de la vinya, debido a su tipo de crecimiento indeterminado se efectuaron dos cosechas cortando las vainas en estado de madurez. La primera se efectuó a los 95 días y la segunda a los 103 días después de la siembra.

3.11 Análisis de Varianza:

En el análisis estadístico de los datos se utilizaron los modelos lineales siguientes:

3.11.1 Para los cultivos de maíz y de vinya.

$$Y_{1j} = \mu + \tau_1 + \beta_j + \epsilon_{1j}$$

Donde:

Y_{ij} = Variables de respuesta.

μ = Media general.

β_j = Efecto del j-ésimo bloque, $j= 1, 2, 3, 4$.

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento*, $i= 1, 2, 3, 4$.

ϵ_{ij} = Efecto del error aleatorio.

* Incluye asociados con las gramíneas, así como el cultivo puro.

3.11.2 Para el caso de las gramíneas forrajeras.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variables de respuesta

μ = Media general

τ_i = Efecto del i-ésimo bloque, $i= 1, 2, 3, 4$.

α_j = Efecto del j-ésimo sistema de cultivo*, $j= 1, 2, 3$.

β_k = Efecto de la k-ésima gramínea forrajera, $k= 1, 2, 3$.

ϵ_{ijk} = Efecto del error aleatorio.

* Incluye asociados con maíz o vigna, así como el cultivo puro de gramínea..

3.12 Comparación de medias.

Las comparaciones de las medias de rendimiento de la biomasa aérea total máxima en las gramíneas forrajeras, se hicieron separadamente para cada especie, dentro de cada sistema gramínea-cultivo, utilizando la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan. Asimismo, las comparaciones de los incrementos en la biomasa aérea total, se hicieron también separadamente para cada especie, utilizando los contrastes ortogonales.

3.13 Análisis Económico.

Se estimaron los costos de producción de los cultivos y los costos adicionales para el establecimiento de la pastura, cuando se cultivan en asocio, utilizando la metodología del presupuesto total.

4. RESULTADOS

4.1 Crecimiento de las gramíneas forrajeras.

4.1.1 Biomasa aérea total.

En el Cuadro 10 se presenta el resumen del Análisis de Varianza para la biomasa aérea total máxima de las tres gramíneas forrajeras evaluadas. Se observa que las fuentes de variación tipo de gramínea, modalidad de siembra y la interacción tipo de gramínea * modalidad de siembra, resultaron ser altamente significativas. Esto indica que las especies forrajeras se comportaron de manera diferente, según la modalidad de siembra bajo la cual se establecieron.

Cuadro 10. Resumen del Análisis de Varianza para la producción de biomasa aérea total máxima de las tres gramíneas forrajeras, establecidas en monocultivo y en asocio con maíz o vigna.

F. V.	G.L.	P > F
Bloque	3	0.3760
Gramínea forrajera	2	0.0001
Modalidad de siembra	2	0.0001
Gramínea*modal. siembra	4	0.0001
Error	24	
Total	35	

C.V. = 34.01%

Las medias de producción en biomasa aérea total máxima y el rendimiento relativo de las tres gramíneas forrajeras, en función del sistema de cultivo, se presentan en el Cuadro 11. En él se observa que en las tres gramíneas, la producción

media de biomasa en el monocultivo superó ($P < 0.05$) a los asociados. Así también se observa que tanto *P. purpureum* cv. Mott como en *B. brizantha* se obtuvieron valores similares de biomasa, para los asociados con maíz o con vigna; mientras que en *B. dictyoneura* hubo un mayor efecto detrimental en el rendimiento de la gramínea, cuando estuvo asociada con vigna que con maíz; incluso el rendimiento en asocio con maíz no difirió del monocultivo.

Cuadro 11. Medias de producción en la biomasa aérea total máxima y rendimiento relativo de las gramíneas forrajeras en monocultivo y asociadas.

Sistema siembra	Gramíneas forrajeras					
	P. purpureum		B. brizantha		B. dictyoneura	
	g/m ²	R.R**	g/m ²	R.R	g/m ²	R.R
Monocultivo	1338.42 a*	100	3378.24 a	100	623.69 a	100
Maíz	592.04 b	44	1281.73 b	38	422.35 a	68
Vigna	661.74 b	49	1199.63 b	36	62.50 b	10

* a,b= Medias con letras iguales no difieren significativamente ($P < 0.05$), según la prueba de Duncan.

**RR = Rendimiento relativo.

Lo anterior se manifiesta al considerar los rendimientos relativos en la producción por efecto del asocio con respecto al monocultivo. En el caso de *P. purpureum* cv. Mott, el rendimiento disminuyó en 51 y 56% con respecto al monocultivo, cuando creció en asocio con vigna o con maíz, respectivamente.

Para el caso de *B. brizantha* el rendimiento en biomasa se redujo en 62 y 64% con respecto al monocultivo, cuando se

estableció en asocio con maíz o con vigna, respectivamente. En cambio, el rendimiento de *B. dictyoneura* se redujo en 32% cuando creció en asocio con maíz y en 90% cuando estuvo asociado con vigna, con respecto al monocultivo. En este caso el rendimiento de *B. dictyoneura* asociada con vigna fué afectado drásticamente, mientras que en monocultivo y asociada con maíz se comportó estadísticamente igual ($P > 0.05$).

4.1.2. Análisis de tendencias para la producción de la biomasa aérea total en gramíneas.

4.1.2.1 Incremento promedio diario.

Los valores del incremento promedio de la biomasa aérea a través del tiempo ($\text{g/m}^2/\text{día}$) de las tres gramíneas forrajeras, obtenidos mediante el uso de modelos de regresión lineal simple se presentan en el Cuadro 12. En las tres gramíneas bajo estudio, el incremento promedio diario de biomasa aérea fue superior en el monocultivo que en los asocios; en cambio, la respuesta al asocio con vigna o maíz difirió en función de las gramíneas. *B. brizantha* y elefante enano mostraron incrementos diarios de biomasa similares cuando estuvieron asociados con maíz o vigna; mientras que el incremento diario de biomasa aérea de *B. dictyoneura* fue menor cuando estuvo asociada a vigna.

Cuadro 12. Valores de los incrementos en la biomasa aérea (g/m²/día) de las tres gramíneas forrajeras establecidas en monocultivo y en asocio.

Sistema siembra	Gramíneas forrajeras		
	B. brizantha	B. dictyoneura	P. purpureum
Monocultivo	24.290	6.075	12.098
Con Maíz	8.124	3.315	5.314
Con Vigna	6.995	1.134	5.057
Contrastes	P>F	P>F	P>F
Mono vr + maíz	0.0004	0.0119	0.0028
Mono vr + vigna	0.0003	0.0003	0.0023

4.1.2.2 Ajuste de la biomasa aérea total a modelos de crecimiento.

Aún cuando las tendencias para el cambio en la biomasa aérea total en función del tiempo pareció ser similar, los modelos que mostraron el mejor ajuste difirieron en función de la especie y el sistema de cultivo (Cuadro 13).

En la Figura 5 se presentan las tendencias de crecimiento y los ajustes logrados para elefante enano (*P. purpureum*) en monocultivo y asociado. Cuando el elefante enano fue establecido en asocio con maíz o en monocultivo, el mejor ajuste ($R^2=0.99$) correspondió al modelo exponencial de la forma:

$$\text{Biomasa} = e^{A+C \cdot \text{Tiempo}} \cdot \text{Tiempo}^B$$

mientras que cuando se asoció con el cultivo de vigna se ajustó mejor ($R^2=0.99$) al modelo siguiente:

$$\text{Biomasa} = e^A + B \cdot \text{Tiempo}$$

En elefante enano, el crecimiento de la biomasa aérea a través de todo el período experimental fué superior en el monocultivo que en los asociados. En esta especie, la fase de crecimiento lento se prolongó por los primeros 74 días después de la siembra en el caso del monocultivo y el asocio con maíz; en cambio, en el caso del asocio con vigna esta fase de crecimiento lento fue más duradera (aproximadamente durante los primeros 105 días después de la siembra). En este último sistema de cultivo (elefante enano/vigna), el crecimiento de la gramínea después de los 105 días posteriores a la siembra fue tan acelerado que alrededor de los 167 días, logró superar al obtenido en el asocio con maíz. Esto puede visualizarse mejor al considerar la producción de biomasa aérea total en g/planta (Figura 1A).

En *P. purpureum* cv. Mott la floración no se presentó durante los 187 días que duró la evaluación.

En el caso de la *B. brizantha* (Figura 6), los modelos que mejor describieron los cambios en biomasa aérea en función del tiempo fueron:

$$\text{Biomasa} = e^A \cdot \text{Tiempo}^B$$

para el asocio con maíz ($R^2=0.99$), mientras que en el caso del asocio con vigna y en el monocultivo, los datos se ajustaron mejor ($R^2=0.99$) al modelo:

$$\text{Biomasa} = e^{A+C \cdot \text{Tiempo}} \cdot \text{Tiempo}^B$$

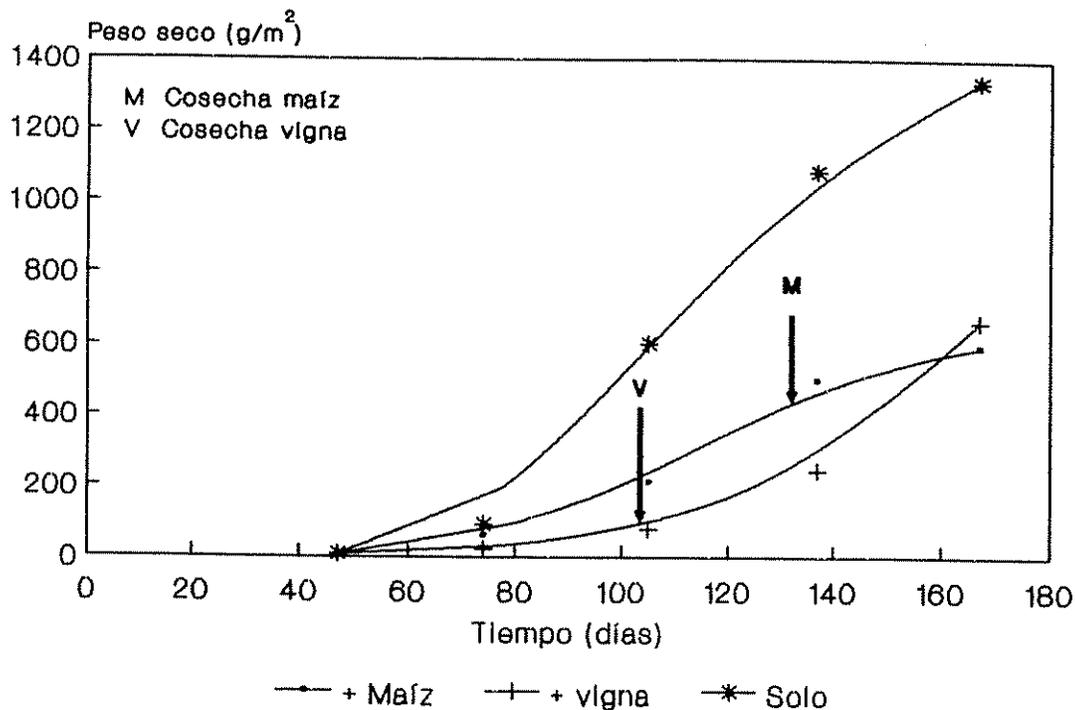


Figura 5. Biomasa aérea total de *Pennisetum purpureum* cv. Mott en monocultivo y asociado con maíz o con vigna.

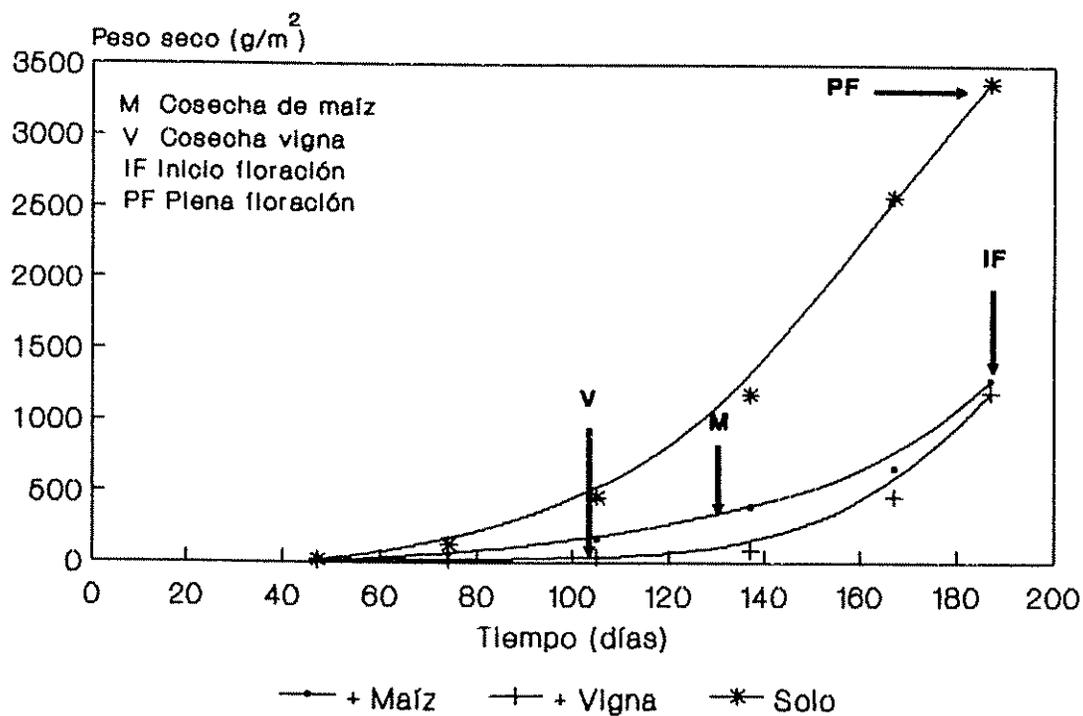


Figura 6. Biomasa aérea total de *Brachiaria brizantha* en monocultivo y asociada con maíz o con vigna.

B. brizantha en monocultivo mostró una fase de crecimiento lento menos prolongada (hasta alrededor de los 105 días después de la siembra) que en las modalidades de siembra en asocio y a partir de este momento se inició una fase de crecimiento acelerado. El asocio con vigna fue el que provocó el efecto detrimental más fuerte sobre el crecimiento inicial de la especie, pues durante los primeros 137 días, los cambios en producción de biomasa aérea fueron mínimos, para luego iniciar un crecimiento acelerado, el cual llevó a que a los 187 días prácticamente no tenga diferencias en producción de biomasa al asocio con maíz. Aspecto que también puede observarse en la producción de biomasa aérea total por planta (Figura 2A).

En la *B. brizantha* en el sistema monocultivo, la fase de plena floración se presentó a los 187 días posteriores a la siembra. Mientras que en el asocio con maíz o vigna, durante el período experimental únicamente se manifestó el inicio de la floración.

En el caso de *B. dictyoneura* (Figura 7), para el monocultivo y el asocio con maíz, el crecimiento de la biomasa aérea en función del tiempo quedó descrita ($R^2=0.98$ y 0.99 , respectivamente) por el modelo:

$$\text{Biomasa} = e^A \cdot \text{Tiempo}^B$$

en cambio, cuando la especie fue cultivada en asocio con vigna, no fué posible obtener un ajuste aceptable con ninguno de los modelos de regresión probados.

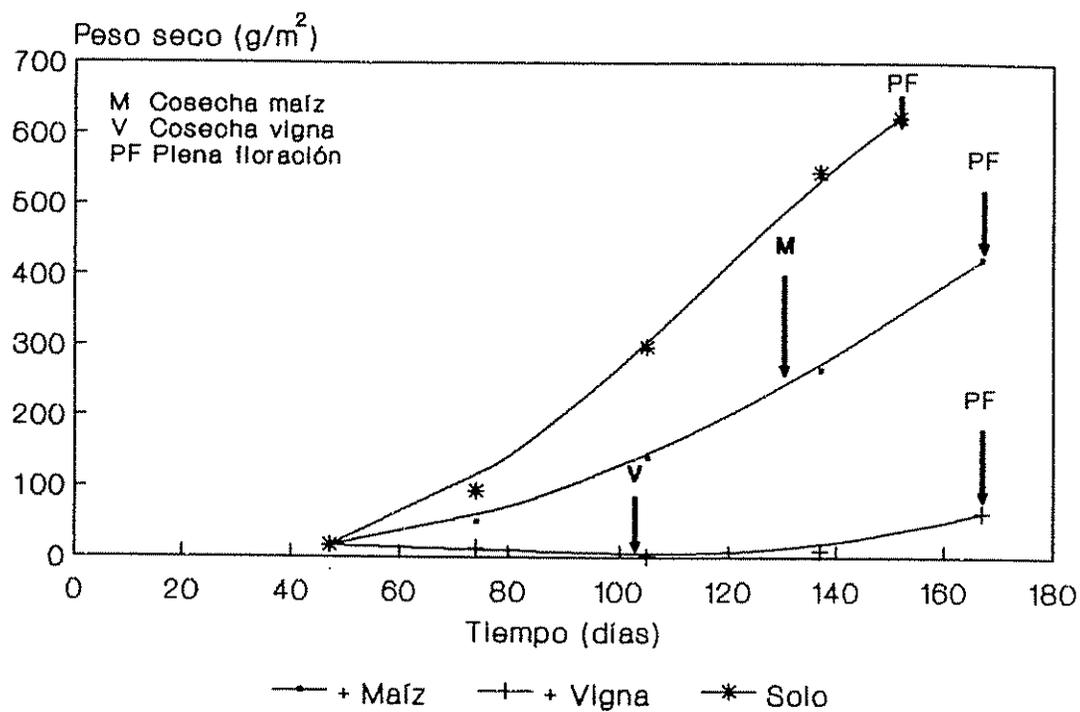


Figura 7. Biomasa aérea total de *Brachiaria dictyoneura* en monocultivo y asociado con maíz o vigna.

El monocultivo de *B. dictyoneura* presentó un crecimiento lento durante los primeros 74 días después de la siembra, pero a partir de este momento mostró un crecimiento mucho más rápido, tendiendo a la estabilización después de los 137 días. Esta modalidad de siembra obtuvo una mayor producción de biomasa, comparado con los asociados. La fase de plena floración se presentó a los 152 días después de la siembra.

En el asocio con maíz, *B. dictyoneura* mostró un crecimiento lento hasta los 74 días. A partir de este momento inició la fase de crecimiento rápido, pero con tasas de crecimiento menores a las observadas para el monocultivo. Por otra parte, cuando esta gramínea forrajera estuvo asociada con vigna, presentó un crecimiento casi no detectable en los primeros 137 días, mostrando luego un ligero incremento hasta los 167 días. Esto también puede visualizarse al considerar la producción de biomasa aérea por planta (Figura 3A).

En esta especie, tanto en el asocio con maíz como con vigna, la fase de plena floración se manifestó alrededor de los 167 días posteriores a la siembra.

Los modelos de regresión de mejor ajuste para la biomasa aérea total en elefante enano, *B. brizantha* y *B. dictyoneura*, se presentan en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Parámetros de las ecuaciones de regresión de mejor Ajuste para la biomasa aérea total de las gramíneas forrajeras en asocio y en monocultivo.

Sistema de cultivo	Modelo*	Parámetros			R ²
		A	B	C	
<i>P. purpureum</i> +maíz	1	-19.3224	5.9275	-0.02736	0.99
<i>P. purpureum</i> +vigna	2	0.5779	0.0356	-	0.99
<i>P. Purpureum</i> solo	1	-30.2372	9.0033	-0.05157	0.99
<i>B. brizantha</i> +maíz	3	- 1.1075	3.4644	-	0.99
<i>B. brizantha</i> +vigna	1	14.6260	-4.0584	0.077307	0.99
<i>B. brizantha</i> sola	1	-17.6021	5.4254	-0.01419	0.99
<i>B. dictyoneura</i> +maíz	3	- 6.9825	2.5505	-	0.99
<i>B. dictyoneura</i> sola	3	- 8.9309	3.0974	-	0.98

* 1. Biomasa= $e^{A+c \cdot \text{Tiempo}} \cdot \text{Tiempo}^B$

2. Biomasa= $e^{A+B \cdot \text{tiempo}}$

3. Biomasa= $e^A \cdot \text{Tiempo}^B$

4.1.3 Análisis de los componentes del rendimiento en biomasa aérea.

La contribución en peso seco de los diferentes componentes que integran la biomasa aérea para las gramíneas forrajeras, tanto en monocultivo como en asocio con maíz o vigna se presentan en la Figuras 8, 9 y 10.

4.1.3.1 *P. purpureum* cv. Mott.

En *P. purpureum* cv. Mott asociado a maíz o vigna, los componentes hoja verde, tallo y hoja senescente presentaron comportamientos diferentes. En el caso del asocio con el maíz (Figura 8a), la fracción hoja verde hizo el mayor aporte a la biomasa aérea total, alcanzando un valor máximo de 328.31 g/m² a los 167 días después de la siembra, seguido de la fracción

tallo; situación que se da a través de todo el período experimental. La mayor contribución del componente hoja verde (78%) ocurrió a los 47 días posteriores a la siembra y tendió a disminuir a través del tiempo hasta un valor de 52%, mientras que en la fracción tallo ocurrió lo contrario, pues tendió a aumentar su contribución hasta alcanzar un valor de 42% a los 137 días. La fracción hoja senescente apareció recién a partir de los 105 días después de la siembra, pero su aporte fue pequeño (menos de 6% a los 137 días).

Por otro lado, en *P. purpureum* cv. Mott asociado con vigna (Figura 8b) la fracción hoja verde fue también el mayor contribuyente a la biomasa aérea total, presentando un valor máximo de 398.66 g/m² a los 167 días después de la siembra. A los 47 días representó 83% y tendió a disminuir hasta un valor de 49% a los 105 días y luego incrementó su contribución, pero sin alcanzar al valor máximo observado a los 47 días. Por su parte, el componente tallos representó 17% de la biomasa aérea total a los 47 días y se incrementó hasta el 47% a los 105 días, a partir de los cuales tendió a disminuir en términos porcentuales. Asimismo, la fracción de hoja senescente se presentó a partir de los 74 días después de la siembra, sin embargo sus valores fueron mínimos (2.5% a los 137 días).

El elefante enano en monocultivo presentó un patrón similar al observado para el asocio con maíz, en lo que respecta a la contribución de cada una de las fracciones a través del tiempo en que se condujo el experimento (Figura

8c). La fracción hoja verde presentó un valor más alto (1,338.41 g/m²) a los 167 días, que el asociado con maíz. Por otro lado, la contribución de la fracción hoja senescente fué más importante en este sistema de siembra que en los asociados.

4.1.3.2 *B. brizantha*.

En el caso de *B. brizantha* se presentaron tendencias distintas en los aportes de cada fracción, en función del sistema de cultivo utilizado. Cuando se encontraba asociado con maíz (Figura 9a), las hojas verdes contribuyeron a la biomasa aérea total en mayor proporción hasta los 105 días (51%), pero a partir de este momento, los tallos se constituyeron en el principal contribuyente (54 a 59%) y alcanzó un valor máximo de 750,08 g/m² a los 187 días después de la siembra. La fracción de hoja senescente apareció recién a los 105 días y continuó aumentando, pero su contribución es baja.

Cuando la *B. brizantha* estuvo asociada a vigna (Figura 9b), durante los primeros 74 días la fracción de hojas verdes contribuyó en mayor proporción a la biomasa aérea, pero a partir de este momento y hasta los 137 días, tanto el componente hojas verdes como el componente tallos contribuyeron en proporciones similares; sin embargo hacia el final del ciclo experimental el aporte de la fracción tallo se hizo cada vez mayor (60 a 65%), siendo el valor más alto de 779.96 g/m² a los 187 días. La fracción hoja senescente

apareció a los 74 días después de la siembra y se mantuvo durante los siguientes muestreos, pero su contribución relativa con respecto a los otros componentes tendió a disminuir.

En el monocultivo de *B. brizantha* (Figura 9c) se observó una tendencia similar a la descrita para el asocio con maíz. El componente hojas verdes hizo la mayor contribución a la biomasa aérea hasta los 105 días, con valores que variaron de 77 a 53% y el peso relativo de esta fracción continuó disminuyendo a través del tiempo.

En cambio, a partir de este momento (105 días posteriores a la siembra), la fracción tallos superó a las hojas verdes y su contribución relativa continuó incrementándose hasta el 64% (2,278.39 g/m²) en el último muestreo efectuado (187 días después de la siembra). En este sistema de cultivo, el componente de hojas senescentes tuvo alguna incidencia a partir de los 105 días y continuó incrementándose a través del resto de la evaluación, representando el 10% de la biomasa aérea presente a los 187 días después de la siembra. Solo en el monocultivo de la *B. brizantha* se observó la floración, la cual ocurrió a los 187 días después de la siembra, y en este momento la inflorescencia representó el 3% de la biomasa aérea total.

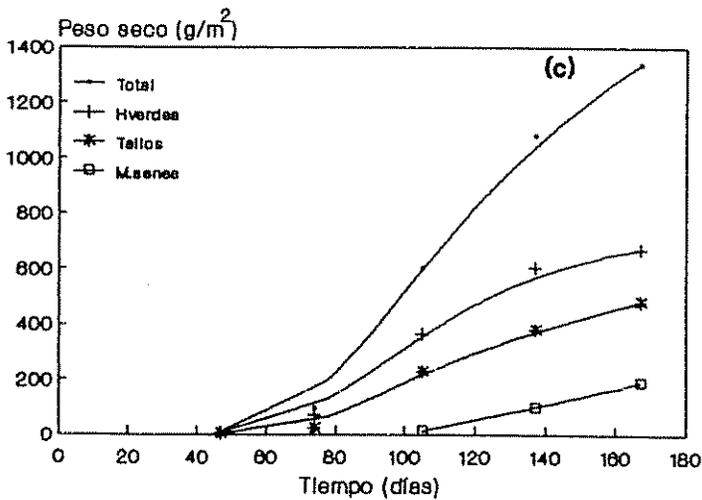
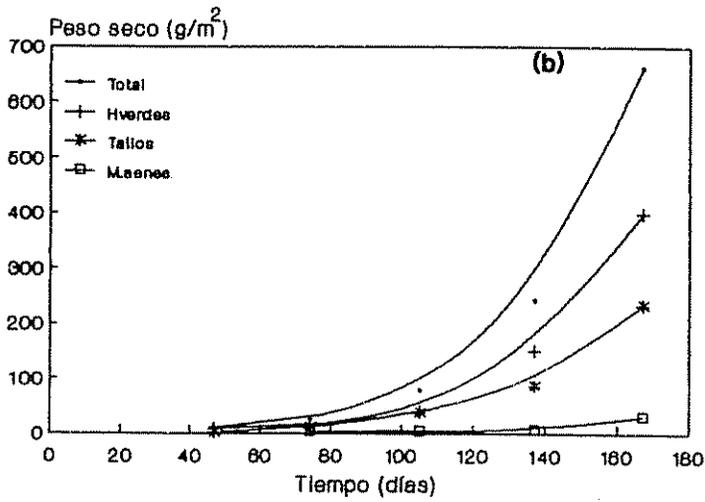
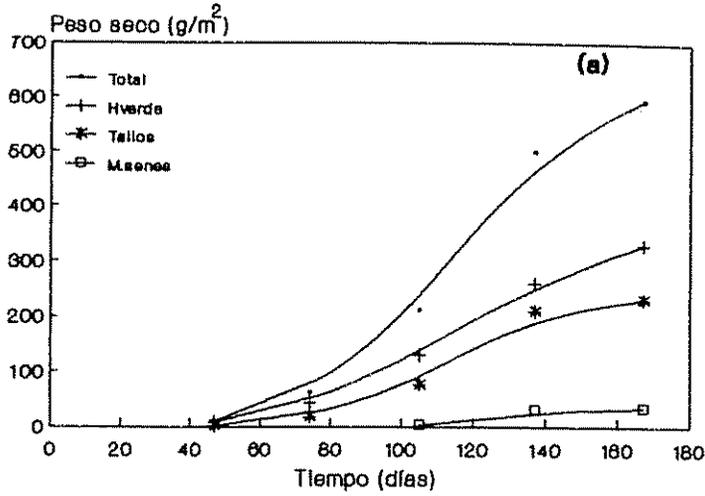


Figura 8. Componentes de la biomasa aérea para *P. purpureum* cv. Mott en asocio con maíz (a), con vigna (b) y en monocultivo (c).

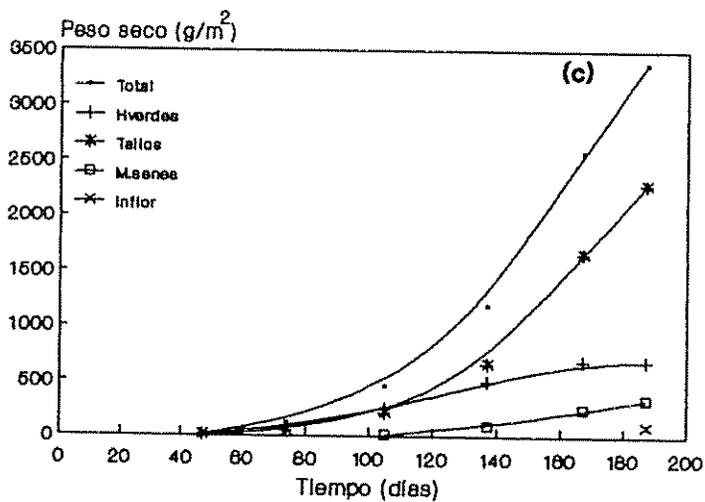
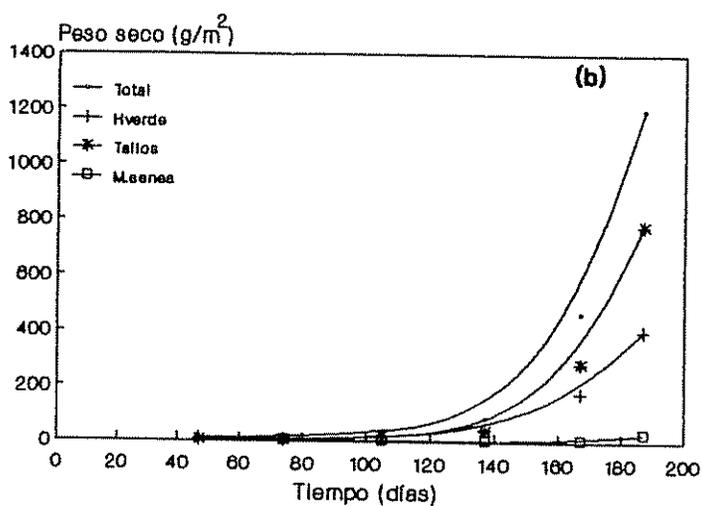
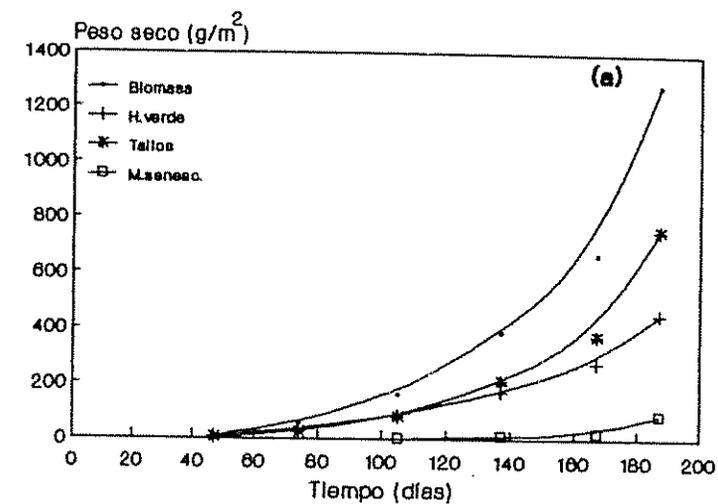


Figura 9. Componentes de la biomasa aérea para *B. brizantha* en asocio con maíz (a), con vinya (b) y en monocultivo (c).

4.1.3.3 *B. dictyoneura*.

Los componentes de la biomasa aérea de *B. dictyoneura* presentaron comportamientos diferentes en función del sistema de cultivo. Cuando esta forrajera se encontraba creciendo en asocio con maíz (Figura 10a), las fracciones de tallo y de hoja verde aportaron cantidades similares hasta los 137 días, contribuyendo cada uno con valores alrededor del 48%. Sin embargo, a los 167 días la fracción tallos representó el 53% (223.50 g/m²), mientras que las hojas sólo un 39%. Asimismo el componente de hoja senescente apareció a los 137 días después de la siembra, contribuyendo con un 4% a la biomasa aérea total. En esta modalidad de siembra la inflorescencia se hizo presente a los 167 días, contribuyendo con el 4% del peso total de la biomasa aérea..

En *B. dictyoneura* asociada con vigna (Figura 10b), las fracciones de hoja y tallo contribuyen con cantidades similares (cada una con alrededor del 45% del peso de la biomasa aérea total), hasta los 137 días después de la siembra; sin embargo, a partir de este momento, el peso seco del componente tallos se incrementó de manera importante hasta contribuir con el 61% (38.42 g/m²), a los 167 días. En cambio, la contribución de la fracción de hojas verdes disminuyó, siendo su aporte a la biomasa aérea total de 29% a los 165 días. Asimismo las hojas senescentes aparecieron a los 74 días y su contribución relativa tendió a disminuir a través del tiempo, siendo su aporte muy bajo (menos de 22%).

La inflorescencia apareció a los 167 días, aportando con el 8% al peso seco total de la biomasa aérea.

En el monocultivo de *B. dictyoneura* (Figura 10c), la contribución del componente tallos a la biomasa aérea total fué mayor durante todo el periodo experimental, aportando alrededor del 58% en promedio y en el último muestreo (152 días después de la siembra) alcanzó un peso seco de 347.42 g/m², mientras que las hojas verdes contribuyen en promedio con el 38%. Las hojas senescentes se presentaron a partir de los 137 días, contribuyendo con el 5% al peso seco total. Por otro lado, en esta modalidad de siembra la inflorescencia apareció más temprano que en los otros sistemas de cultivo (152 días después de la siembra), aportando con el 8% del peso total de la biomasa aérea.

4.1.4 Relación Hoja/Tallo (H/T).

Los valores obtenidos para la relación H/T en *P. purpureum* cv. Mott, tanto en monocultivo como en asocio con maíz, y en *B. brizantha*, en los tres sistemas de cultivo fueron ajustados (Cuadro 14) al modelo de regresión siguiente:

$$H/T = A + B*1/Tiempo$$

Mientras que en *B. dictyoneura* asociada a vigna se ajustaron (Cuadro 14) al modelo cuadrático:

$$H/T = A + B*Tiempo + C*Tiempo^2$$

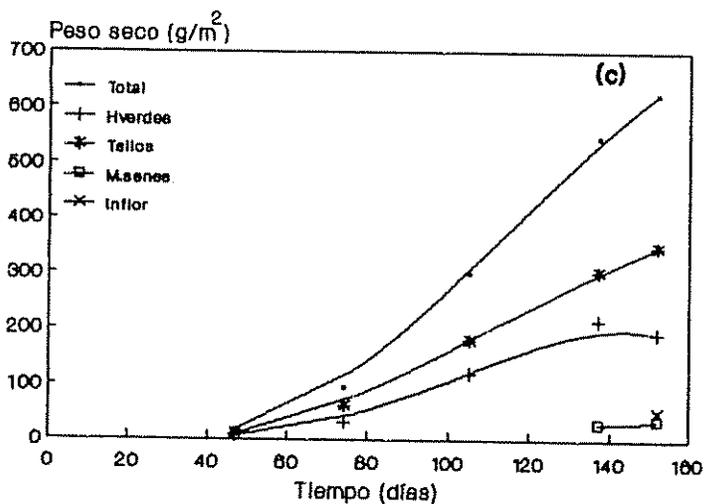
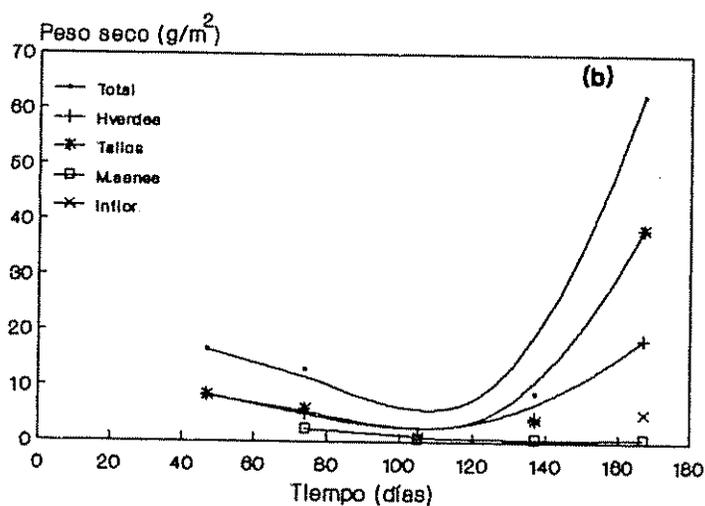
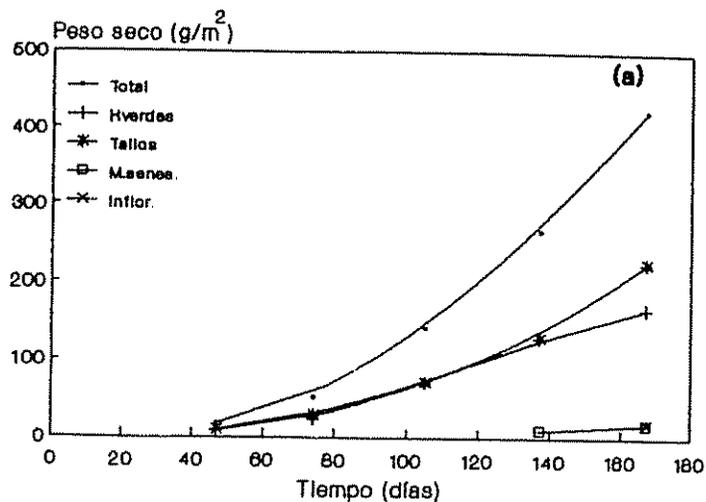


Figura 10. Componentes de la biomasa aérea para *B. dictyoneura* en asocio con maíz (a), con vigna (b) y en monocultivo (c).

Por otro lado, en elefante enano en asocio con vigna y en la *B. dictyoneura* en el sistema monocultivo y asocio con maíz, no fue posible encontrar un modelo que se ajustara a los datos obtenidos.

Las curvas de la relación H/T para *P. purpureum* cv. Mott (Figura 11) siguen un patrón general, en el que, los mayores valores se presentan en las primeras etapas de crecimiento y esta relación tiende a disminuir en función del tiempo, debido a que el tallo cada vez hace una mayor contribución al peso seco de la biomasa aérea total.

Asimismo, se puede observar que cuando el elefante enano se encontraba asociado con maíz y en monocultivo, en la primera evaluación (47 días posteriores a la siembra) se obtuvieron valores similares para la relación H/T (alrededor de 4.0), mientras que en el asocio con vigna se presentó una relación H/T mayor (5.6). Por otra parte, con el tiempo hubo una declinación marcada en la relación H/T de *P. purpureum* cv. Mott cuando estuvo asociado con vigna, mientras que donde la declinación fue menos pronunciada es el caso del monocultivo y el asocio con maíz. Sin embargo al final del ciclo experimental la relación H/T es similar en los tres tratamientos, siendo este valor en promedio de (1.5).

En *B. brizantha* (Figura 12), las tendencias observadas para los cambios en relación H/T en función del tiempo, fueron similares en los tres sistemas de cultivo. Es más, no se

detectaron diferencias importantes en los valores de relación H/T. En la última evaluación (187 días posteriores a la siembra) los valores para la relación H/T variaron entre 0.30 y 0.60.

En el caso de *B. dictyoneura* (Figura 13) se observaron diferencias entre los sistemas de cultivo, en cuanto a las variaciones de la relación H/T en función del tiempo. En términos generales, durante la primera evaluación (47 días posteriores a la siembra), para los tres sistemas de cultivo los valores de relación H/T estuvieron alrededor de 1.0. En el asocio con maíz, la *B. dictyoneura* presentó al inicio la menor relación H/T con un valor de 0.85 y a partir de este momento tendió a incrementarse levemente hasta un valor de 1.01 a los 137 días, para disminuir posteriormente, alcanzando un valor de 0.74 a los 167 días después de la siembra.

Asimismo, cuando se encontraba en asocio con vigna presentó un patrón similar, pues a los 47 días tuvo un valor de 1.01; luego se incrementó hasta un valor de 1.33 a los 105 días y a partir de este momento tiende a disminuir, presentando un valor de 0.50 a los 167 días. Por otro lado, la *B. dictyoneura* en monocultivo mostró un comportamiento diferente, pues a los 47 días presentó una de relación H/T de 0.91 y tendió a disminuir, llegando a un valor de 0.54 a los 74 días. A partir de este momento la relación H/T tendió a mantenerse constante por el resto del período experimental.

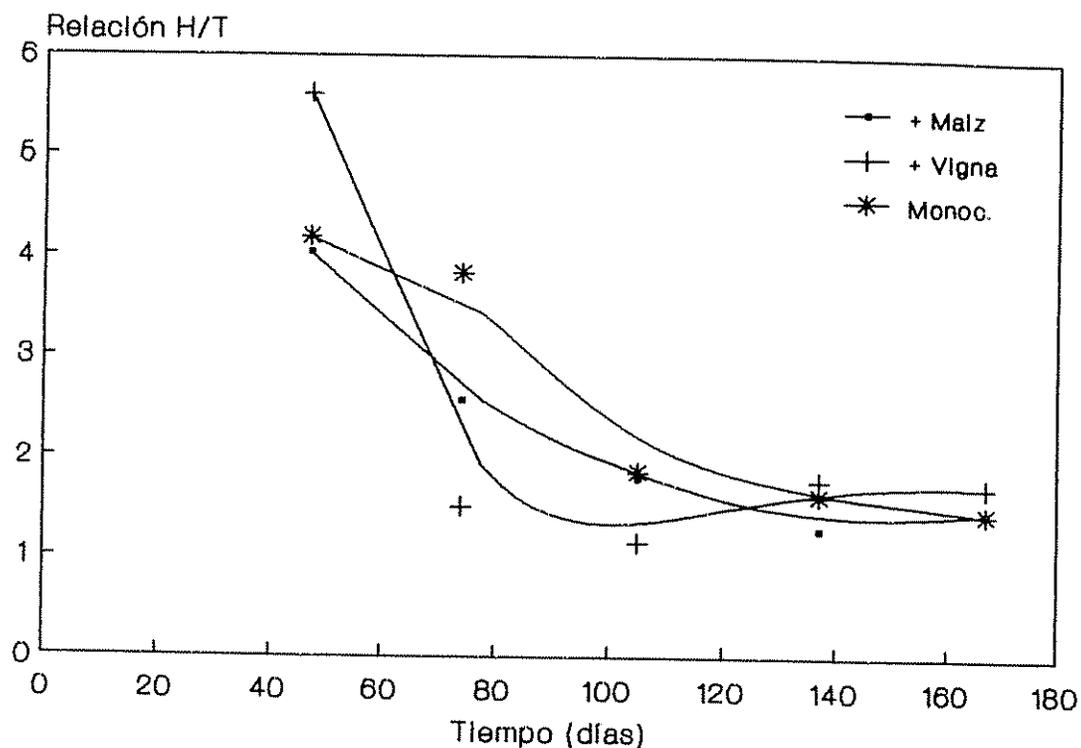


Figura 11. Relación hoja/tallo en elefante enano (*P. purpureum*) en función del tiempo y sistema de cultivo.

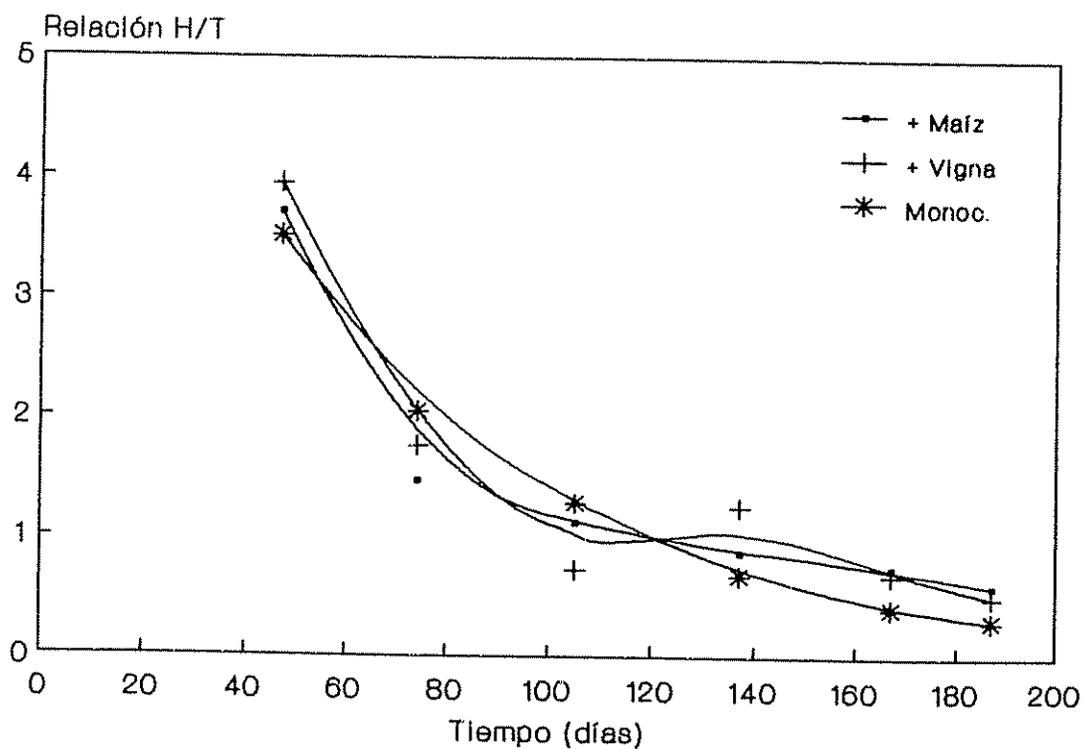


Figura 12. Relación hoja/tallo en *Brachiaria brizantha* en función del tiempo y sistema de cultivo.

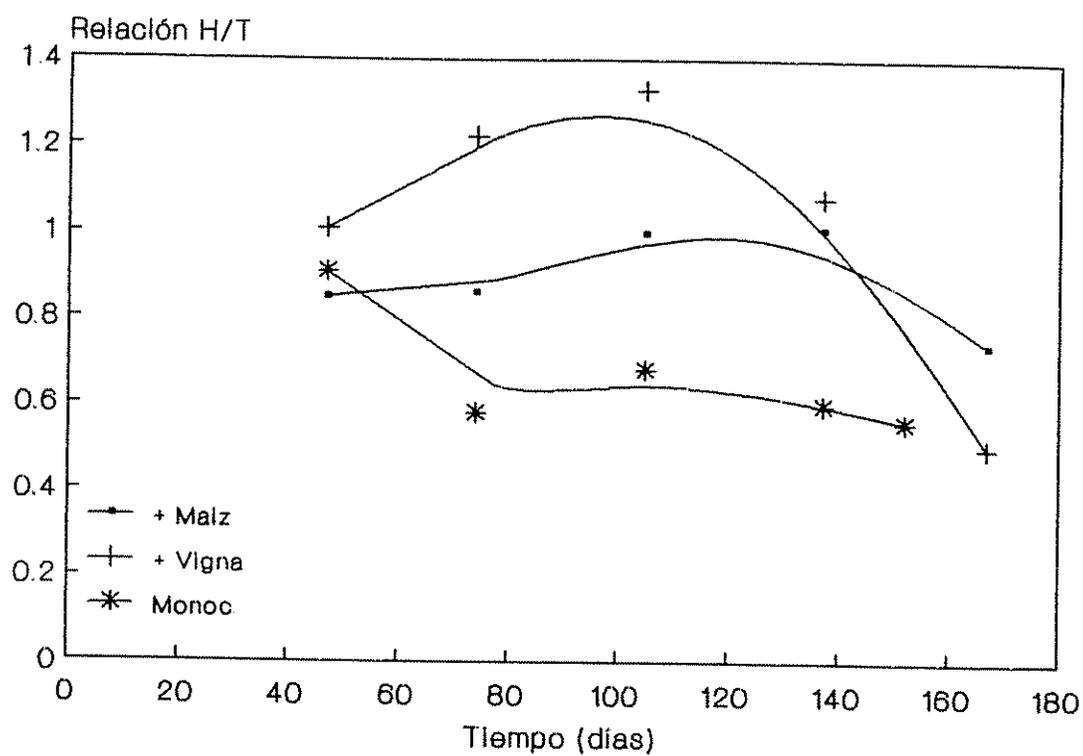


Figura 13. Relación hoja/tallo en *Brachiaria dictyoneura* en función del tiempo y sistema de cultivo.

Los modelos de regresión de mejor ajuste para relación H/T en elefante enano, *B. brizantha* y *B. dictyoneura* se presentan en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Parámetros de las ecuaciones de regresión de mejor ajuste para la relación H/T en las gramíneas forrajeras en asocio y en monocultivo.

Sistema de cultivo	Modelo*	Parámetros			R ²
		A	B	C	
<i>P. purpureum</i> +maíz	1	0.1432	180.56	-	0.97
<i>P. purpureum</i> solo	1	0.3095	197.26	-	0.81
<i>B. brizantha</i> +maíz	1	-0.4667	177.77	-	0.93
<i>B. brizantha</i> +vigna	1	-0.6561	203.75	-	0.89
<i>B. brizantha</i> sola	1	-0.7580	202.99	-	0.99
<i>B. dictyoneura</i> sola	2	-0.0473	0.0293	0.00016	0.98

*1. $H/T = A + B \cdot 1/\text{Tiempo}$

2 $H/T = A + B \cdot \text{Tiempo} + C \cdot \text{Tiempo}^2$

4.1.5 Índices de crecimiento.

4.1.5.1 *P. purpureum* cv. Mott.

Los índices de crecimiento para los componentes morfológicos, fisiológicos y agronómicos en el pasto elefante enano se muestran en el Cuadro 15.

Los mayores valores de IAF se presentan para el pasto elefante enano sembrado en monocultivo que para los asociados. Esto ocurrió en todos los muestreos, excepto en el primero, efectuado a los 47 días después de la siembra. Cuando el pasto elefante enano estuvo asociado con vigna, ocurrieron aumentos importantes en el IAF después de los 105 días, tiempo

en que ocurrió la cosecha de la vigna. En el asocio con maíz ocurrieron cambios importantes prácticamente en todos los muestreos, excepto después de los 137 días, donde el incremento relativo fue menor que en periodos anteriores.

Por otro lado, el índice de asimilación neta (IAN) en los sistemas monocultivo y asocio con maíz, tendió a declinar con el tiempo transcurrido después de la siembra, mientras que en el caso del asocio con vigna, este tendió a mantenerse constante; mostrando una baja disminución en el último periodo. Un comportamiento similar se observó en el caso del índice de crecimiento relativo (ICR) y del índice de crecimiento relativo del área foliar (ICRAF).

En cuanto a la tasa de producción de materia seca (TPMS) en elefante enano, ésta varió en función de la modalidad de siembra. Los promedios más altos de TPMS corresponden al monocultivo, pero los valores máximos de TPMS se presentan a los 105 días en el monocultivo, a los 137 días en el asocio con maíz y a los 167 días (último muestreo) en el asocio con vigna.

4.1.5.2 *B. brizantha*.

Los índices de crecimiento para los componentes morfológicos, fisiológicos y agronómicos para *B. brizantha* se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 15. Índices morfológicos, fisiológicos y agronómicos para *P. purpureum* cv. Mott en asocio con maíz o con vigna y en monocultivo.

D.D.S	IAF	ICR	ICRAF	IAN	TPMS
Monocultivo					
47	0.107	-	-	-	-
47-74	1.246	9.64	9.56	7.05	3.154
74-105	6.349	6.05	5.29	5.17	16.404
105-137	10.560	1.92	1.62	1.85	15.022
137-167	11.688	0.58	0.25	0.66	8.541
Asociado con maíz					
47	0.127	-	-	-	-
47-74	0.762	7.01	6.62	5.46	1.949
74-105	2.275	4.00	3.58	3.50	4.798
105-137	4.527	2.66	2.11	2.68	8.997
137-167	5.731	0.64	0.81	0.63	3.114
Asociado con vigna					
47	0.138	-	-	-	-
47-74	0.220	3.96	2.25	3.74	0.540
74-105	0.675	3.51	3.37	3.91	1.748
105-137	2.637	3.74	4.37	3.71	5.122
137-167	6.958	3.45	3.34	3.24	13.985

ICR = * 10^{-2} g/g/día.

ICRAF = * 10^{-2} cm²/cm²/día.

IAN = * 10^{-2} g/dm²/día.

TPMS = g/m²/día.

Cuadro 16. Índices morfológicos, fisiológicos y agronómicos para *B. brizantha* en asocio con maíz o con vigna y en monocultivo.

D.D.S	IAF	ICR	ICRAF	IAN	TPMS
Monocultivo					
47	0.200	-	-	-	-
47-74	1.487	7.83	7.24	5.83	3.988
74-105	4.669	4.62	3.98	4.03	10.802
105-137	8.637	3.04	1.90	3.53	22.769
137-167	13.287	2.53	1.36	4.18	46.379
167-187	12.632	1.43	-0.20	3.33	38.671
Asociada con maíz					
47	0.136	-	-	-	-
47-74	0.603	6.54	5.50	5.14	1.617
74-105	1.592	3.59	3.20	3.42	3.433
105-137	3.303	2.57	2.15	2.78	7.041
137-167	5.310	2.02	1.72	2.33	9.238
167-187	8.718	3.24	2.41	4.42	31.014
Asociada con vigna					
47	0.163	-	-	-	-
47-74	0.130	1.26	-0.63	0.97	0.110
74-105	0.398	1.52	2.71	1.79	0.632
105-137	0.857	3.00	2.26	2.83	1.596
137-167	3.423	6.44	5.48	7.46	12.603
167-187	7.581	5.15	4.17	7.36	36.848

ICR = * 10^{-2} g/g/día.

ICRAF = * 10^{-2} cm²/cm²/día.

IAN = * 10^{-2} g/dm²/día.

TPMS = g/m²/día.

B. brizantha en el sistema de cultivo en monocultivo obtuvo mayores valores de IAF que los asociados, lo cual se presentó en todos los muestreos. Cuando creció en asocio con maíz ocurrieron aumentos importantes de IAF después de los 105 días posteriores a la siembra. En el caso del asocio con vigna se dieron cambios importantes a partir de los 137 días después de la siembra, cuando el cultivo ya había sido cosechado.

Por otro lado, el índice de crecimiento relativo (ICR), de crecimiento relativo del área foliar (ICRAF) y el de asimilación neta (IAN), tanto en el monocultivo como en el asocio con maíz, tendieron a disminuir a través del tiempo, mientras que en el caso del asocio con vigna ocurrió lo contrario.

Asimismo, la tasa de producción de materia seca (TPMS) en *B. brizantha* varió en función del sistema de cultivo. Los promedios más altos de TPMS corresponden al monocultivo y en esta modalidad de siembra el valor máximo de TPMS se presentó a los 167 días, mientras que en el asocio con maíz o vigna se alcanzó en el último muestreo (187 días después de la siembra)

4.1.5.3 *B. dictyoneura*.

En el Cuadro 17 se presentan los índices de crecimiento para los componentes morfológicos, fisiológicos y agronómicos para *B. dictyoneura*.

Cuadro 17. Índices morfológicos, fisiológicos y agronómicos para *B. dictyoneura* en asocio con maíz o con vigna y en monocultivo.

D.D.S	IAF	ICR	ICRAF	IAN	TPMS
Monocultivo					
47	0.127	-	-	-	-
47-74	0.524	6.30	5.23	10.16	2.847
74-105	1.924	3.75	4.22	6.19	5.427
105-137	3.431	1.83	1.79	2.98	7.681
137-152	3.067	0.62	-0.98	1.06	5.245
Asociada con maíz					
47	0.127	-	-	-	-
47-74	0.362	3.80	3.84	5.27	1.216
74-105	1.125	3.31	3.60	4.30	2.925
105-137	2.052	2.06	1.97	2.62	3.899
137-167	2.658	1.60	0.90	2.29	5.220
Asociada con vigna					
47	0.135	-	-	-	-
47-74	0.080	-1.01	-1.81	-1.20	-0.135
74-105	0.015	-6.03	-6.00	-10.40	-0.260
105-137	0.071	4.18	4.82	5.73	0.203
137-167	0.295	6.48	4.55	11.79	1.790

ICR = * 10^{-2} g/g/día.

ICRAF = * 10^{-2} cm²/cm²/día.

IAN = * 10^{-2} g/dm²/día.

TPMS = g/m²/día.

Cuando la *B. dictyoneura* se estableció en monocultivo mostró valores del índice de área foliar (IAF) más altos que para los asociados. Esto ocurrió en todos los muestreos, excepto en el primero, realizado a los 47 días después de la siembra. En el asocio con maíz ocurrieron aumentos importantes en el IAF después de los 74 días, mientras que cuando se asoció con vigna no ocurrieron cambios importantes.

Por otro lado, el índice de crecimiento relativo (ICR) en los sistemas de cultivo en monocultivo y en asocio con maíz, tendió a declinar a través del tiempo, mientras que en el asocio con vigna, los incrementos importantes se presentaron después de los 105 días posteriores a la siembra. En los índices de crecimiento relativo del área foliar (ICRAF) y de asimilación neta (IAN) se observó un comportamiento similar.

En cuanto a la tasa de producción de materia seca (TPMS) en la *B. dictyoneura*, ésta fue superior en el monocultivo. Los valores más altos de TPMS se presentaron a los 137 días en el monocultivo, y a los 167 días tanto en el asocio con maíz como en con vigna.

4.2 Crecimiento de los cultivos de grano.

4.2.1 Biomasa aérea total.

En el Cuadro 18 se presenta el resumen del Análisis de Varianza para el rendimiento máximo de biomasa aérea total

tanto para maíz como vigna. Ahí se observa que en ninguno de los cultivos de grano, se detectó significancia para las fuentes de variación bajo estudio. En resumen, se puede indicar que el asocio de estos cultivos con las gramíneas forrajeras no afectó la producción de biomasa aérea total de los cultivos de grano.

Cuadro 18. Resumen del Análisis de Varianz para la biomasa aérea total máxima para el maíz y para la vigna, en monocultivo y en asocio con tres gramíneas forrajeras.

F.V.	GL.	SC.	CM.	F	P>F	Sig.
Cultivo de maíz						
Bloque	3	8366.617	2788.872	2.46	0.1293	N.S
Sist. siembra	3	249.850	83.283	0.07	0.9727	N.S
Error	9	10200.617	1133.402			
Total	15	18817.084				
C.V. = 7.59%						
Cultivo de vigna						
Bloque	3	97.000	32.333	0.40	0.7548	N.S
Sist. siembra	3	447.317	149.016	1.86	0.2074	N.S
Error	9	722.985	80.332			
Total	15	1267.302				
C.V. = 16.41%						

4.2.2 Análisis de tendencia para la producción de biomasa aérea.

4.2.2.1 Incremento promedio diario.

Considerando que tanto en el cultivo de maíz como en el de vigna, no se detectaron diferencias significativas en los

incrementos de biomasa aérea ($P > 0.05$), a continuación se presentan los valores promedio para dichos sistemas de cultivo. En el caso del maíz el incremento diario en la biomasa aérea fue de $14.8 \text{ g/m}^2/\text{día}$, mientras que el valor correspondiente para vigna fue de $13.0 \text{ g/m}^2/\text{día}$.

4.2.2.2 Ajuste de la biomasa aérea total a modelos de crecimiento.

En el cultivo de maíz, debido a que no se encontraron diferencias significativas para el rendimiento máximo de biomasa aérea entre los sistemas de siembra (Cuadro 18), se consideró que tanto el monocultivo como los asociados con las gramíneas forrajeras, presentan tendencias de crecimiento similares; por lo que en la Figura 14 sólo se presentan los promedios de las cuatro modalidades de siembra y los límites de confianza para dichas medias. Ahí se observa que el maíz presentó un crecimiento de la biomasa aérea muy rápido en el período de los 13 a 66 días después de la siembra. A partir de este momento continúa aumentando la biomasa, pero a un ritmo más lento; presentando su punto máximo a los 117 días para luego decrecer ligeramente.

En el cultivo de vigna al igual que en el cultivo de maíz, no se encontraron diferencias significativas entre los sistemas de siembra bajo los cuales se estableció (Cuadro 18). Por lo tanto, en la Figura 15 únicamente se presenta la curva de crecimiento, promedio de las cuatro modalidades de siembra

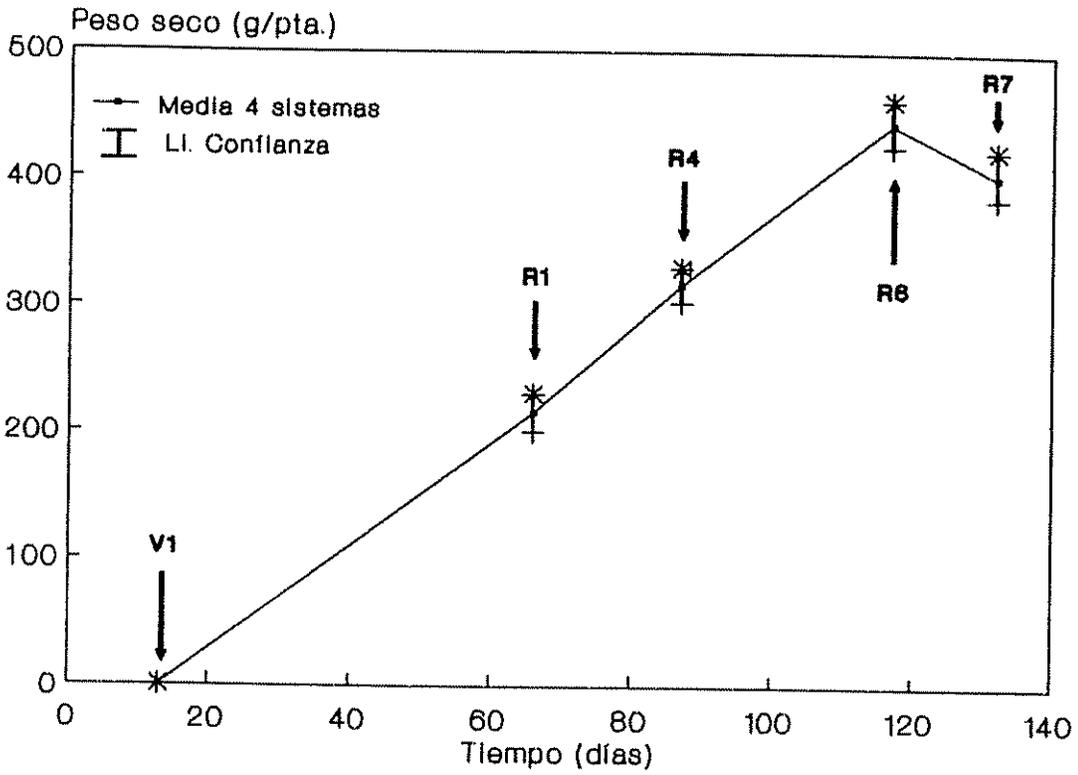


Figura 14. Biomasa aérea total de maíz promedio de los cuatro sistemas de cultivo.

y los respectivos límites de confianza. En la figura se observa que la vigna mostró un incremento muy rápido en la biomasa aérea, en el período de los 27 a 56 días después de la siembra y continuó aumentando, pero a un ritmo más lento; para luego estabilizarse alrededor de los 83 días.

4.2.3 Relación Hoja Tallo (H/T) para los cultivos.

Los datos obtenidos para la relación H/T en los cultivos de maíz y de vigna (Figura 16), muestran que las curvas de tendencia siguen un patrón general; con los mayores valores en las primeras fases de crecimiento y luego esta relación tiende a disminuir en función del tiempo. En ambos casos, para los valores promedio de los cuatro sistemas de cultivo, el modelo de regresión de mejor ajuste (Cuadro 19) es el siguiente:

$$H/T = A + B * 1/\text{tiempo}$$

En el maíz, se obtuvo un valor promedio para la relación H/T de 4.0, a los 13 días después de la siembra (primer muestreo) y continuó disminuyendo en función del tiempo hasta un valor de 0.27, correspondiente al último muestreo (117 días posteriores a la siembra).

En el caso de la vigna, durante la primera evaluación (27 días después de la siembra) el valor promedio de la relación H/T fue de 5.0 y luego tendió a declinar en función del tiempo, alcanzando un valor 0.19 a los 93 días (último muestreo).

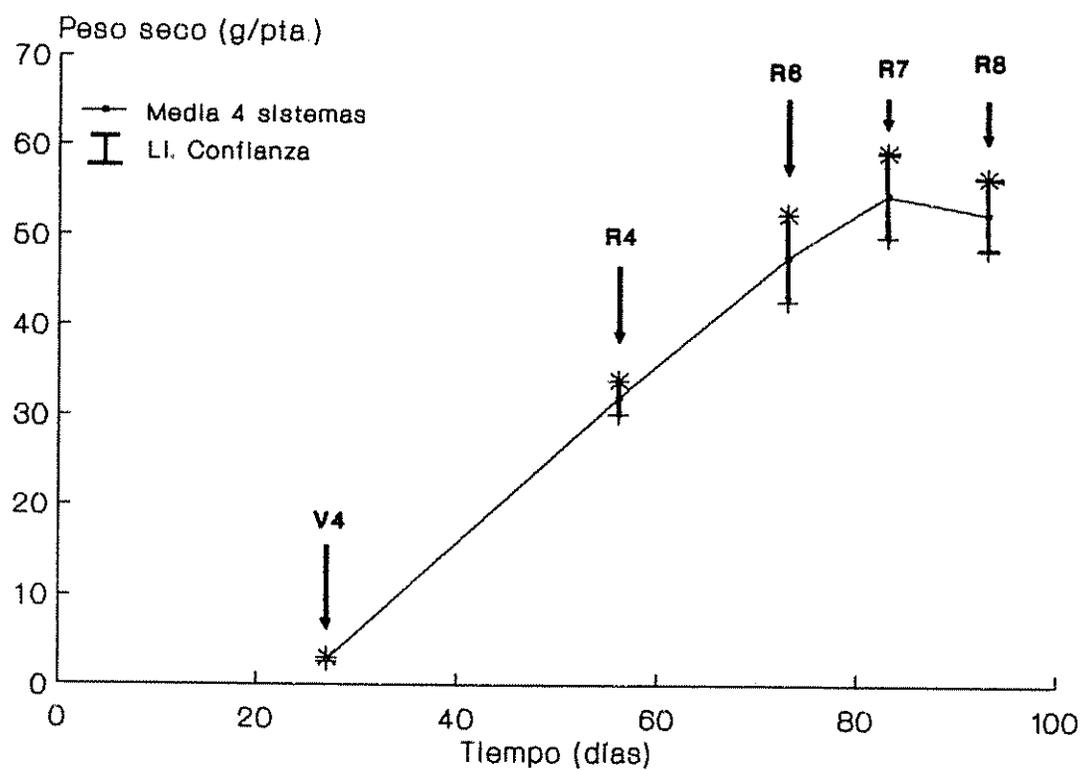


Figura 15. Biomasa aérea total de vigna promedio de las cuatro modalidades de siembra.

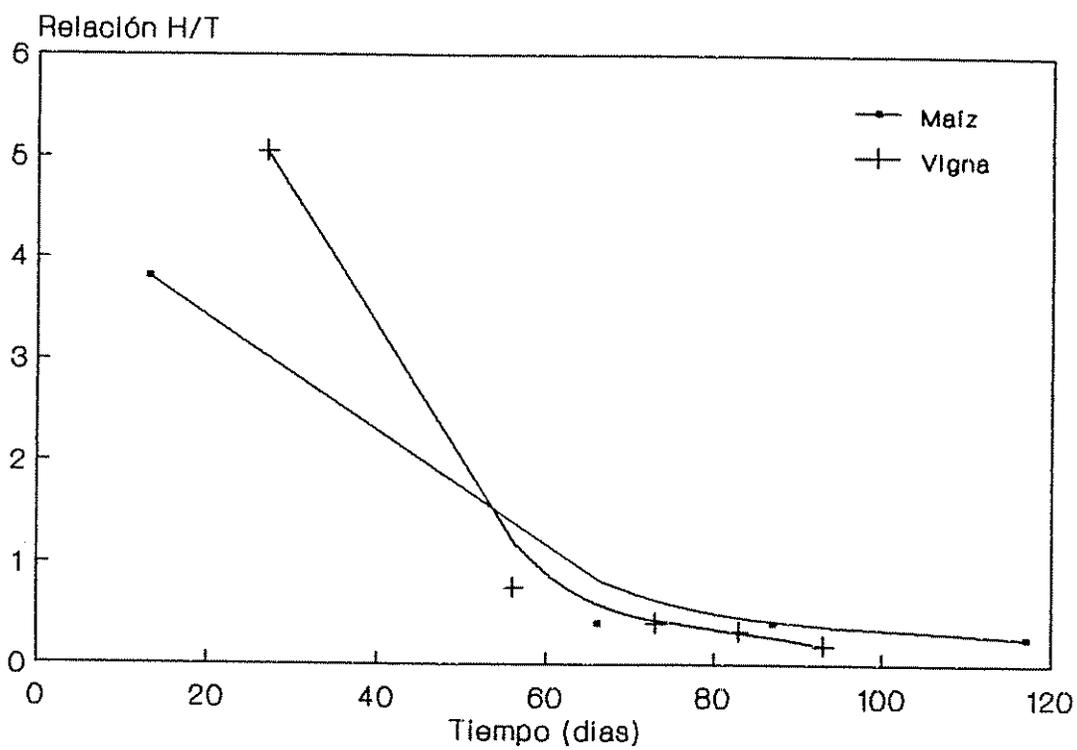


Figura 16. Relación hoja/tallo en maíz y vigna promedio de las cuatro modalidades de siembra en función del tiempo.

En el Cuadro 19 se presentan los modelos de regresión de mejor ajuste para los valores promedio de la relación H/T en los cultivos de maíz y de vigna.

Cuadro 19. Parámetros de las ecuaciones del modelo* de regresión de mejor ajuste para los valores promedio de la relación H/T en los cultivos de maíz y vigna.

Cultivo	Parámetros		R ²
	A	B	
Maíz	- 0.25060	52.6476	0.99
Vigna	- 2.12127	189.9080	0.97

* $H/T = A + B \cdot 1/Tiempo$

4.2.4 Producción de grano.

El Cuadro 20 muestra las medias de producción en grano y el rendimiento relativo de los cultivos de maíz y de vigna.

Cuadro 20. Producción de grano en los cultivos de maíz y de vigna en monocultivo y en asocio con tres gramíneas forrajeras, evaluados en Turrialba, Costa Rica, 1991.

Modalidad de siembra	Maíz		Vigna	
	kg/ha*	R.R.**	kg/ha*	R.R.**
Monocultivo	5954.21 a	100	2564.17 a	100
B. brizantha	5757.94 a	97	2418.81 a	94
B. dictyoneura	5696.23 a	96	2424.33 a	95
P. purpureum	5521.51 a	93	2428.50 a	95

a = Estadísticamente iguales.

* = Rendimiento al 14% de humedad.

**= Rendimiento relativo.

Se puede observar que en el cultivo de maíz, no se encontraron diferencias significativas entre modalidades de siembra ($P=0.2411$), lo que también puede verificarse en el Cuadro 7A. Sin embargo, el rendimiento relativo (Cuadro 19) muestra que el monocultivo superó a los asociados; pero, las reducciones en rendimiento de grano sufridas por los asociados, fueron como máximo de 7%.

En el cultivo de vigna se presentó una situación similar a la descrita para el cultivo de maíz, pues tampoco se detectaron diferencias significativas ($P=0.2764$) en el rendimiento de grano de vigna, que pudieran ser atribuidas al sistema de cultivo (monocultivo o en asocio con gramíneas forrajeras). Los rendimientos relativos (Cuadro 20) indican también que las reducciones en producción de grano de vigna, debido al asocio con gramíneas forrajeras fue de 6% o menos.

4.2.5 Índices de crecimiento.

4.2.5.1 Maíz.

Los índices de crecimiento para los componentes morfológicos, fisiológicos y agronómicos para el maíz se presentan en Cuadro 21.

Cuadro 21. Índices morfológicos, fisiológicos y agronómicos para el cultivo de maíz en asocio y en monocultivo.

D.D.S	IAF	ICR	ICRAF	IAN	TPMS	K
Monocultivo						
V1	0.032	-	-	-	-	-
R1	3.515	12.77	8.89	22.41	16.61	-
R4	3.151	1.83	-0.52	5.62	18.85	-
R6	1.873	1.06	-1.75	6.51	16.02	-
R7		-0.48			-8.03	0.47
Asociado con <i>P. purpureum</i>						
V1	0.029	-	-	-	-	-
R1	3.631	12.86	9.11	20.92	15.68	-
R4	3.449	1.83	-0.24	5.21	18.39	-
R6	1.899	1.21	-2.01	7.06	18.05	-
R7		-0.70			-11.43	0.46
Asociado con <i>B. brizantha</i>						
V1	0.029	-	-	-	-	-
R1	3.525	13.04	9.15	23.23	16.77	-
R4	3.326	1.92	-0.29	6.06	20.64	-
R6	1.892	1.01	-1.91	6.16	15.60	-
R7		-0.87			-14.53	0.46
Asociado con <i>B. dictyoneura</i>						
V1	0.030	-	-	-	-	-
R1	3.340	12.90	8.89	22.63	15.93	-
R4	3.164	1.83	-0.27	5.77	18.85	-
R6	1.643	1.23	-0.23	8.10	18.28	-
R7		-0.50			- 8.76	0.43

ICR = * 10^{-2} g/g/día

ICRAF=* 10^{-2} cm²/cm²/día

IAN = * 10^{-2} g/dm²/día

TPMS = g/0.25 m²/día.

En el maíz, tal como se describió anteriormente (Cuadro 18) no se detectaron diferencias significativas para los rendimientos máximos de biomasa aérea, atribuibles al efecto del sistema de cultivo, lo que también se observa en los valores obtenidos para los diferentes índices usados para describir el crecimiento de los cultivos.

En tal sentido, el índice de área foliar (IAF) en el maíz mostró un comportamiento similar en todas las modalidades de siembra, ocurriendo un aumento importante en el estadio reproductivo R1 y luego tendió a declinar.

Por otro lado, los índices fisiológicos de crecimiento relativo (ICR), de crecimiento relativo del área foliar (ICRAF) y el de asimilación neta (IAN) en el sistema monocultivo y asociado con las gramíneas forrajeras tendieron a declinar a través del tiempo.

En cuanto a la tasa de producción de materia seca (TPMS) en el maíz, ésta presentó valores de TPMS similares en todos los sistemas de cultivo y los valores máximos se presentaron en el estadio reproductivo R4.

Asimismo, el maíz tanto en el sistema en monocultivo como en los asociados presentó valores de índice de cosecha (K) similares; sin embargo, el valor más alto (0.47) lo obtuvo cuando se estableció en monocultivo.

4.2.5.2 Vigna.

Los índices de crecimiento para los componentes morfológicos, fisiológicos y agronómicos para el maíz se presentan en el Cuadro 22.

En la vigna, al igual que lo descrito para el maíz, en general se observa que los diferentes índices utilizados para describir el crecimiento, no mostraron grandes diferencias por efecto del sistema de cultivo.

Los valores del índice de área foliar (IAF) tendieron a incrementarse fuertemente en el estadio reproductivo R4, para luego declinar en función del tiempo.

Asimismo, el índice de crecimiento relativo (ICR), de crecimiento relativo del área foliar (ICRAF) y el de asimilación neta (IAN), en todas las modalidades de siembra tendieron a disminuir en función del tiempo.

En cuanto al índice de cosecha (K), el menor valor lo obtuvo el monocultivo (0.34), mientras que el mayor valor de K lo presentó cuando se asoció con *P. purpureum* cv. Mott (0.39). Sin embargo, debe señalarse que los valores de K obtenidos son similares para todas los sistemas de cultivo.

Cuadro 22. Índices morfológicos, fisiológicos y agronómicos para el cultivo de vinya en asocio y en monocultivo.

D.D.S	IAF	ICR	ICRAF	IAN	TPMS	K
Monocultivo						
V4	0.847	-	-	-	-	-
R4	9.212	8.82	8.20	5.03	17.55	-
R6	7.077	1.99	-1.56	1.62	13.95	-
R7	5.669	2.32	-2.11	3.09	18.52	-
R8	3.184	-0.60	-5.82	-1.40	-5.98	0.34
Asociada con <i>P. purpureum</i>						
V4	0.900	-	-	-	-	-
R4	9.055	8.43	8.02	4.57	16.05	-
R6	7.137	2.17	-1.55	1.67	14.23	-
R7	4.723	1.13	-4.05	1.57	8.49	-
R8	2.068	-0.23	-8.32	-0.30	- 2.71	0.39
Asociada con <i>B. brizantha</i>						
V4	1.031	-	-	-	-	-
R4	8.921	7.86	7.50	4.18	15.14	-
R6	6.992	2.91	5.78	-7.90	18.86	-
R7	5.629	1.45	-2.15	1.88	11.97	-
R8	2.342	-1.31	-9.37	-3.10	- 9.59	0.38
Asociada con <i>B. dictyoneura</i>						
V4	0.891	-	-	-	-	-
R4	8.818	8.23	7.92	4.50	15.64	-
R6	6.640	1.99	-1.67	1.54	11.62	-
R7	4.692	0.74	-3.58	0.96	5.87	-
R8	2.091	0.72	-8.02	2.02	5.06	0.35

ICR = g/g/día

ICRAF = cm²/cm²/día

IAN = g/dm²/día

TPMS = g/0.0625 m²/día.

4.3 Análisis conjunto del asocio.

4.3.1 Índice de uso equivalente de la tierra (UET).

Los valores del índice de uso equivalente de la tierra (UET) utilizado para la comparación de los socios, se presentan en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Índice de Uso Equivalente de la Tierra (UET) para los diferentes sistemas de cultivo estudiados.

Asocio	UET	
	Bio+Bio*	Bio+Grano**
<i>B. dictyoneura</i> + maíz	1.71	1.62
<i>P. purpureum</i> + maíz	1.41	1.39
<i>P. purpureum</i> + vigna	1.38	1.53
<i>B. brizantha</i> + maíz	1.34	1.32
<i>B. brizantha</i> + vigna	1.27	1.35
<i>B. dictyoneura</i> + vigna	0.98	1.02

* = con base en la biomasa aérea total de la gramínea y cultivo.

**= con base en la biomasa aérea total de la gramínea y grano del cultivo.

Se observa que la mayoría de los socios presentaron valores de UET mayores a 1.0, con excepción del asocio de *B. dictyoneura* con vigna que obtuvo un valor ligeramente inferior de 1.0. El asocio que mostró el más alto UET fue el de *B. dictyoneura* con maíz (UET=1.71 y 1.62), cuando se consideró la biomasa aérea y el grano de maíz, respectivamente.

4.3.2 Costo de producción de los cultivos de grano.

En el Cuadro 24 se presenta el resumen de los costos de producción de los cultivos, así como la contribución de cada rubro. El detalle de dichos costos se presenta en los Cuadros 8A y 9A.

Cuadro 24. Costos de Producción (Colones/ha) estimados para los cultivos de maíz y vigna.

Concepto	Maíz				Vigna			
	Monto (Colones)		%		Monto (Colones)		%	
	1/	2/	1/	2/	1/	2/	1/	2/
Mano de obra	31800.00	45156.00	41.93	50.62	37516.00	53272.72	47.53	56.26
Servicios contratados	21725.70	21725.00	28.65	24.36	16688.00	16688.00	21.14	17.62
Insumos	22315.64	22315.64	29.43	25.02	24727.07	24727.07	31.33	26.12
Costos totales	75831.34	89197.34	100.00	100.00	78931.61	94688.33	100.00	100.00
Ingreso Bruto	123033.65	123033.65			145128.60	145128.60		
Ingreso Neto	47202.31	33836.31			66196.99	50440.27		

1/ Sin incluir las cargas sociales.

2/ Incluyendo las cargas sociales.

Se puede observar que los costos directos por hectárea para la producción de maíz ascienden a la suma de C 75,831.34 obteniendo un ingreso neto de C 47,202.31. Pero si en los costos se incluyen las cargas sociales, el ingreso neto se reduce a C 33,836.31/ha.

También, al analizar los diferentes rubros se aprecia que la mano de obra constituye el mayor desembolso en el establecimiento del cultivo de maíz, mientras que los

servicios contratados (p.e. preparación del terreno, trilla del grano) y los insumos contribuyeron en las mismas proporciones.

Por otro lado, los costos directos en el cultivo de vigna fueron de C 78,931.61, con lo cual se obtuvo un ingreso neto por hectárea de C 66,196.99, pero al incluir las cargas sociales el ingreso neto se redujo a C 50,440.27. Al igual que en el cultivo de maíz, la mano de obra representó el mayor porcentaje de los costos de producción, con valores del 50% aproximadamente, mientras que los insumos constituyeron el segundo rubro.

En el Cuadro 25 se presentan los costos adicionales en los que se incurrirían para establecer los pastos en asocio con los cultivos. En este se incluyen el costo de la semilla y el de la mano de obra necesaria para efectuar la siembra. El costo es de C 7,656.73.

Cuadro 25. Costos adicionales por hectárea en el establecimiento de las gramíneas forrajeras asociadas con los cultivos de maíz o con vigna.

* Concepto	Cantidad/ha	Subtotal (Colones)	Total
1. Semilla sexual	2.5 kg	4,044.25	
2. Siembra	4.0 jorn.	2,544.00	6,588.25
3. Cargas sociales			1,068.48
4. Total			7,656.73

- * 1. Con base en el precio de la semilla nacional, proporcionado por el CNP.
3. Dato proporcionado por la oficina de planillas de CATIE.

Por otro lado, en el Cuadro 26 se presenta el rendimiento en grano de los cultivos de maíz y vigna, necesario para lograr el punto de equilibrio entre los costos de producción y el ingreso por concepto del grano del cultivo.

adro 26. Rendimiento en grano de los cultivo de maíz y vigna, estimados para cubrir los costos de producción de los cultivos y establecimiento de las gramíneas forrajeras.

Cultivo	kg/ha	%*	Ingreso bruto (Colones)	Costo** (Colones)
Maíz	3,747.22	68	83,488.22	83,488.22
Vigna	1,443.14	60	86,588.34	86,588.34

* Porcentaje con respecto al rendimiento obtenido en el presente trabajo.

**Costo de producción del cultivo + costo adicional para el establecimiento de la gramínea, al sembrarse en asocio.

En el caso del asocio de las gramíneas forrajeras con maíz, para cubrir tanto los costos de producción estimados para el cultivo como el costo adicional para establecer el pasto, se requerirá obtener el 68% (3,747.22 kg/ha) del rendimiento en grano obtenido en el cultivo a nivel experimental. Mientras que para establecerlo en asocio con vigna, sería necesario obtener un rendimiento de 1,443.14 kg/ha, equivalente al 60% del rendimiento a nivel experimental.

5. DISCUSION

5.1 Crecimiento y biomasa aérea total máxima en *P. purpureum*, *B. brizantha* y *B. dictyoneura*.

Las diferencias en los incrementos y en las producciones máximas de biomasa aérea total obtenidas en las tres gramíneas forrajeras, tanto asociadas como en monocultivo, como lo mostró la interacción tipo de gramínea por modalidad de siembra (Cuadro 10), es consecuencia de la diferente habilidad de adaptación de cada una de las especies a las condiciones de competencia bajo las cuales fueron evaluadas.

En tal sentido, entre las gramíneas tropicales existe una gran variación en la habilidad para tolerar condiciones de sombra, sin embargo; en términos generales todas tienden a mostrar una reducción en el crecimiento bajo condiciones de sombra (Ludlow, 1980; Shelton et al., 1987). El comportamiento de las gramíneas en este estudio coinciden con este concepto, considerando que el monocultivo siempre mostró una mayor producción de biomasa, comparado con los asociados con maíz o con vigna.

Cuando las gramíneas forrajeras crecen en monocultivo, como era de esperarse, tanto los incrementos como la producción en biomasa fueron mayores, principalmente por la existencia de un solo tipo de competencia (intraespecifica). Puesto que para las gramíneas forrajeras se mantuvo la misma

densidad de siembra en el asocio que para el monocultivo, el espacio efectivo destinado para cada planta se redujo, debido a que tuvo que ser compartido con las plantas del cultivo asociado; así también la sombra proyectada por el cultivo (especie dominante) disminuyó la capacidad fotosintética de las especies forrajeras (dominadas) (Zelaya, 1985), lo cuál afectó la producción de las mismas.

Por otro lado, las fuertes reducciones en producción de biomasa aérea observadas en las gramíneas forrajeras cuando crecieron asociadas, demuestran que estas especies fueron las de menor éxito en el asocio (Baruch y Fisher, 1988; Vandermeer, 1989), y por lo tanto mostraron poca habilidad para competir con los cultivos por los recursos limitantes, especialmente por luz.

Sin embargo, al explicar los diferentes comportamientos de las gramíneas forrajeras, no solamente se debe considerar la competencia por luz, sino a la vez el hábito de crecimiento de las especies y el efecto favorable o desfavorable del asocio en relación a otros factores limitantes propios de un asocio, como la competencia por espacio físico, nutrimentos, agua y otros más.

Por otro lado, cuando se asociaron *P. purpureum* y *B. brizantha* con maíz o con vigna, se obtuvieron producciones e incrementos en crecimiento similares. Este comportamiento puede ser atribuido a una cierta similitud en el hábito de

crecimiento de estas gramíneas, las cuales son clasificadas como erecta y semi-erecta, respectivamente.

En cambio, *B. dictyoneura* al asociarse con maíz presentó una mayor producción e incremento en biomasa que cuando creció en asocio con vigna. La *B. dictyoneura* es una especie con hábito de crecimiento rastrero, lo que ayudó a ocupar el espacio horizontal con ventaja. Por otra parte, debe considerarse la diferencia en la morfología y hábito de crecimiento de cada cultivo, puesto que el cultivo de maíz permitió mayor penetración de la luz que el cultivo de vigna y por lo tanto *B. dictyoneura* recibió mayor radiación solar incidente, aspecto que influyó significativamente en el comportamiento presentado por dicha especie.

Este aspecto puede reforzarse al considerar los altos valores del índice de área foliar (IAF) presentados por la vigna (valores máximos alrededor de 9); (Cuadro 22), los cuales casi triplican a los valores encontrados para el cultivo de maíz (Cuadro 21).

Es importante indicar que las tres gramíneas forrajeras podrían ser aprovechadas por los animales, después de la cosecha del maíz, con un pastoreo ligero. Por el contrario, el establecimiento de estas especies en asocio con vigna de la variedad Chiricano y a la densidad de siembra utilizada para el cultivo en este estudio; no es recomendable, debido a que esta variedad por su hábito de crecimiento indeterminado

ejerció una competencia muy fuerte sobre las gramíneas, la cual causó la muerte de gran parte de las plantas, efecto que fué aún más severo en *B. dictyoneura*.

5.2 Modelos de crecimiento en las gramíneas forrajeras.

Las tendencias de crecimiento y los modelos a los cuales ajustaron cada una de las gramíneas forrajeras, indican que difieren tanto en los incrementos como en la manifestación de las etapas clásicas del crecimiento.

En tal sentido, mientras que los monocultivos de las tres especies forrajeras alcanzaban la etapa de crecimiento rápido (exponencial), los asociados se encontraban aún en la fase de crecimiento lento, situación que se prolongó por mucho más tiempo; básicamente en los asociados con el cultivo de vigna. Comparativamente a los asociados, los monocultivos siempre presentaron los mayores incrementos en biomasa.

El monocultivo de *P. purpureum* y el asocio con maíz, a pesar de que no alcanzaron la fase de estabilización, posiblemente hayan alcanzado su máximo rendimiento en biomasa, ya que muestran al final del ciclo experimental una ligera tendencia a la estabilización. Mientras que en el asocio con vigna, a los 167 días posteriores a la siembra el pasto elefante enano se encontraba aún en pleno crecimiento, debido básicamente a poca competencia intraespecífica bajo la cual se encontró después de la cosecha de la vigna. De manera que

bajo esas condiciones debe requerir de mucho más tiempo para llegar al nivel de estabilización.

B. brizantha al igual que las otras especies, durante el período experimental solamente alcanzó la fase de crecimiento exponencial, sin embargo se observó que esta fase se inició mucho más temprano cuando creció en monocultivo y por lo tanto, posiblemente alcance la etapa de estabilización más rápido. Esto evidencia el efecto de los socios en la manifestación de las etapas de crecimiento de la especie forrajera.

El monocultivo de *B. brizantha* a pesar de que se ajustó a un modelo exponencial, mostró una ligera tendencia a la estabilización y posiblemente también haya alcanzado al final del ciclo experimental, su máxima producción de biomasa. Por otro lado, la falta de ajuste presentado en el asocio con vigna, es debido a que por la fuerte competencia ejercida por el cultivo, ésta gramínea no mostró un crecimiento normal.

En general, las gramíneas forrajeras asociadas con maíz, aunque mostraron un crecimiento más lento con respecto al monocultivo, compitieron más exitosamente que cuando crecieron asociadas con el cultivo de vigna. Tendiendo al final del ciclo experimental a la estabilización.

Sin embargo, cuando se asociaron con vigna; la fase de crecimiento lento fué más prolongada y por lo tanto, la manifestación de las subsiguientes etapas fueron retrasadas.

Esto podría también ser apoyado al considerar las TPMS, puesto que en los socios con maíz, los incrementos importantes en crecimiento ocurrieron después de los 105 días posteriores a la siembra, cuando aún se encontraban en competencia con el maíz. Mientras que en los socios con vigna, estos aumentos ocurrieron después de los 137 días, como consecuencia de la eliminación completa de la interferencia de la luz por el cultivo (eliminación de las plantas al momento de la cosecha), una mejor utilización en los recursos por parte de la gramínea y posiblemente al enriquecimiento del suelo con materia orgánica y nitrógeno por la caída de hojas y las partes de la planta no cosechadas, básicamente las raíces con sus nódulos (Vandermeer, 1989).

5.3 Componentes del rendimiento y relación H/T.

Los tallos y las hojas en *P. purpureum* y en *B. brizantha* siempre mostraron comportamientos inversos. Al inicio del crecimiento, la biomasa aérea estuvo constituida básicamente por hojas y un pseudotallo, presentando en este momento la mayor relación H/T.

A medida que avanzó el ciclo de las gramíneas, el tallo comenzó su crecimiento en altura (elongación) y por lo tanto

hizo una mayor contribución a la biomasa, haciendo disminuir rápidamente la relación H/T. En *B. brizantha* la caída de la relación H/T fué mayor, debido tanto al mayor crecimiento en altura, como a la mayor lignificación de los tallos.

Los socios parecen haber influenciado en el crecimiento rápido de los tallos en las primeras etapas de crecimiento de las gramíneas forrajeras, debido a que por efecto del sombreado tendieron a elongarse en busca de luz. Este concepto se fundamenta por el hecho de que la luz afecta la fenología y morfología de una planta (White, 1985). Lo cuál se evidencia en la rápida caída de la relación H/T en las fases iniciales de crecimiento de *P. purpureum* y de *B. brizantha*.

Por otra parte, en *B. dictyoneura* los bajos valores de la relación H/T (0.85 a 1.01) obtenidos al inicio del crecimiento, indican que en esta especie los tallos tienen un crecimiento mucho más rápido y que su aporte a la biomasa es mayor que el de las hojas. En el monocultivo la contribución de los tallos se hizo cada vez mayor, debido al hábito de crecimiento rastrero de esta especie, donde prevaleció la producción de estolones y nuevos tallos sobre las hojas.

La competencia ejercida por el maíz y la vigna sobre la *B. dictyoneura*, parece haber causado un efecto benéfico al hacer que la contribución de la fracción hojas aumentara. Este comportamiento podría relacionarse con la producción de

tallos más delgados y livianos, acompañado de una reducción en su número.

Fuentes (1989) registró valores de relación H/T más altos para el pasto elefante enano, a partir de los 115 días posteriores a la siembra. Asimismo, Vallejos (1988) y Pérez (1990) encontraron valores inferiores para *B. brizantha* y superiores para *B. dictyoneura*, a los encontrados en este estudio.

La relación H/T siempre ha sido relacionada con la calidad nutritiva de la planta, siendo alta al inicio del crecimiento, cuando tanto las hojas como los tallos poseen la misma calidad y baja cuando las plantas han madurado (Crowder y Chheda, 1982; Wilson y Wong, 1982).

Considerando estos aspectos es de esperarse que *P. purpureum* presente una mayor calidad nutritiva al momento de su aprovechamiento por el ganado, mientras que en *B. brizantha* y *B. dictyoneura* se daría lo contrario. Lo cual, estaría basado en los valores de PC y DIVMS encontrados por Fuentes (1989) en elefante enano (*P. purpureum* cv. Mott) y Vallejos (1988) en *B. brizantha* y *B. dictyoneura*; para las fracciones hoja, tallo, y planta entera.

5.4 Respuesta fisiológica.

Las gramíneas forrajeras mostraron ser afectadas severamente por la competencia con los cultivos, principalmente por el asocio con vigna, pero una vez eliminada la interferencia producida por los cultivos (eliminación de las plantas de vigna al momento de la cosecha y dobla de las plantas de maíz) mostraron una buena recuperación, presentando éstas un rápido crecimiento, aspecto que fué más relevante en el asocio con vigna. Este comportamiento puede relacionarse con el hecho de que el asocio con vigna, causó en las especies forrajeras la muerte de un alto porcentaje de plantas, de manera que las pocas plantas presentes después de la cosecha del cultivo, no tuvieron ningún efecto de competencia por luz ni espacio físico, lo que les permitió crecer a un ritmo muy acelerado.

Esto podría llevar a pensar que al establecer pasturas asociadas con cultivos, deben utilizarse los cultivares de ciclo más corto o bien utilizar el producto antes de que llegue a su madurez, es decir, en el caso de maíz cosecharlo en elote y para la vigna podrían cosecharse las vainas en verde, con el objeto de comercializarlos como verduras.

La manifestación de la floración también fué afectada por la competencia. De tal manera que tanto *B. brizantha* como *B. dictyoneura*, especies que alcanzaron la fase de floración durante el ciclo experimental, mostraron que cuando crecen

asociadas con cultivos, la floración se presenta más tardíamente en comparación con el monocultivo.

5.5 Crecimiento y biomasa aérea total máxima en los cultivos de maíz y vigna.

Los resultados obtenidos indican que la producción en biomasa aérea de los cultivos de maíz y de vigna (Cuadro 18) no fué afectada por la competencia del asocio con las gramíneas forrajeras; por el contrario, las especies afectadas fueron las gramíneas forrajeras, lo que conduce a considerar que tanto el maíz como la vigna se comportaron como la especie dominante en el asocio.

La biomasa aérea total, así como los índices de crecimiento estimados demuestran que el crecimiento del monocultivo tanto de maíz como de vigna fué similar al crecimiento alcanzado cuando crecieron en asocio con las gramíneas forrajeras.

5.6 Producción de grano.

La producción de grano obtenida por cada cultivo en cada una de las cuatro modalidades de siembra (Cuadro 20), demuestran que el asocio con las gramíneas forrajeras no afectó significativamente sus rendimientos en grano.

Esto se comprueba al considerar que la máxima reducción en rendimiento de los asociados con respecto a los monocultivos fué de 7 y 6% para el maíz y la vigna, respectivamente.

Estos aspectos refuerzan aún más, el hecho de que estos cultivos se comportaron como dominantes en el asocio, mientras que las especies forrajeras como dominadas, lo cuál también se manifestó en los diferentes índices utilizados para describir el rendimiento de biomasa.

Los resultados obtenidos coinciden con los presentados por Espinosa (1983), da Veiga (1985) y Ferrufino (1988), en el sentido de que los rendimientos en grano del maíz, no se redujeron significativamente al asociarse con especies forrajeras.

Por otro lado, las producciones de grano obtenidas en los cultivos de maíz y de vigna, son más elevadas de las que generalmente se puedan obtener en siembras comerciales, debido básicamente a las condiciones controladas de manejo bajo las cuales se condujeron los experimentos. Además debe considerarse, como lo han demostrado Sánchez y Salinas (1983); Ayarza y Spain (1988) y Ferrufino (1988), que la siembra de cultivos de ciclo corto en asocio con pastos, es específica para una localidad y dependiente de las condiciones climáticas, de las características del cultivo y de las especies forrajeras, de las densidades de siembra y de los niveles de fertilidad del suelo. Estos aspectos deben ser

considerados al planear establecer pasturas en asocio con cultivos.

5.7 Uso equivalente de la tierra (UET).

Este índice es uno de los más utilizados para estudiar el comportamiento de los asocio, ya que con un solo número puede indicar cuán eficiente ha sido un sistema de asocio de cultivos, en la utilización de los recursos limitantes por unidad de superficie. Sin embargo, éste no muestra con claridad el aporte de cada componente al asocio.

En el caso de las asociaciones de especies forrajeras con cultivos, por la diferencia en los productos finales (forraje y grano, respectivamente) y debido a que el grano de maíz y vigna difieren en el contenido energético y valor nutritivo, el empleo del UET para la comparación de los sistemas de siembra con base en la biomasa aérea, no es el más adecuado. Por lo tanto, esta comparación no solamente se debe hacer con base a los índices, sino también es necesario considerar la producción de grano de los cultivos y el tiempo requerido para que las pasturas puedan ser utilizadas.

De tal manera que debe obtenerse una producción de grano que permita cubrir por lo menos los costos de establecimiento de la pastura y a la vez una producción de biomasa aérea de la especie forrajera, que permita el uso de los pastos después de la cosecha de los cultivos.

Los resultados obtenidos (Cuadro 23) indican que la mejor combinación de las gramíneas forrajeras con cultivos sobre el monocultivo, la presenta el asocio de *B. dictyoneura* con maíz. Donde la producción de grano puede cubrir los costos de establecimiento de la pastura y a la vez la especie forrajera obtuvo una producción de biomasa del 60%, con respecto al monocultivo.

Sin embargo al considerar los asociados con vigna, a pesar de que presentan valores de UET intermedios para *P. purpureum* y *B. brizantha*, y bajo para *B. dictyoneura* en el orden dado, no demuestra la fuerte reducción en producción de biomasa aérea que se produjo en las especies forrajeras. De tal manera que aunque las producciones de grano de la vigna en los asociados, podría cubrir los costos de establecimiento de los pastos, por este motivo no son combinaciones convenientes.

Por lo anteriormente expuesto se propone que el índice UET se utilice en estudios de este tipo, como referencia de la eficiencia del asocio sobre los monocultivos y complementarlo con los aspectos referidos anteriormente.

5.8 Análisis económico.

En investigaciones de este tipo, no solamente se debe considerar el aspecto agronómico, sino también complementarla con lo económico. De tal manera que en el presente trabajo el análisis económico es básico para la toma de decisiones.

Considerando las producciones de grano obtenidas bajo las condiciones experimentales y los costos de producción estimados tanto para el cultivo de maíz como para la vigna, desde el punto de vista económico se justificaría la siembra de estos cultivos en asocio con las gramíneas forrajeras, aún con los altos costos, especialmente de la mano de obra; la cual representa alrededor del 50% de los costos totales.

Sin embargo, es importante considerar que bajo condiciones de siembra comercial, es muy difícil dar el manejo que se dá a los experimentos, de tal manera que es lógico esperar una reducción en la producción de grano.

Por las razones anteriores y tomando en cuenta el costo adicional de establecimiento de los pastos en asocio con los cultivos, se puede permitir una reducción en la producción de grano del 32 y 40% como máxima, con respecto a la obtenida en el presente estudio para el maíz y vigna; respectivamente, ya que al menos permite recuperar la inversión hecha tanto en el cultivo como en el establecimiento del pasto, dejando la pastura como ganancia.

Sin embargo, también es importante considerar que debido a que en la estimación de los costos de producción de los cultivos, el rendimiento de grano por hectárea se está extrapolando del rendimiento obtenido de una parcela neta de 22.5 y 31.0 m² para maíz y vigna; respectivamente, estos costos se deben tomar como una referencia.

Debido a que el costo de la mano de obra en Costa Rica es tan alto, es posible que en otros países en donde ésta es mucho más barata, el establecimiento de pastos en asocio con maíz pueda constituir una buena opción para recuperar las pasturas.

6. CONCLUSIONES

Con base en los objetivos planteados, resultados y discusión, se plantean las siguientes conclusiones.

1. Las gramíneas forrajeras responden en forma diferente al asocio con los cultivos de maíz o vigna, en relación a las variables de respuesta. La gramínea mas afectada por la competencia de la vigna es la *B. dictyoneura*, seguida por la *B. brizantha* y luego por Elefante Enano.
2. El asocio con maíz o vigna reduce la producción de biomasa aérea de las especies forrajeras y retrasa el momento de la manifestación de las diferentes fases del crecimiento, así como la floración de las mismas, respecto al monocultivo.
3. En términos generales las especies forrajeras compiten más eficientemente por los recursos limitantes con el cultivo de maíz que con el cultivo de vigna.
4. El rendimiento en biomasa aérea total y grano de los cultivos de maíz y de vigna, no es afectado por el asocio con las gramíneas forrajeras *P. purpureum*, *B. brizantha* o *B. dictyoneura*, por lo tanto, los cultivos se comportan como las especies dominantes dentro del asocio.
5. El establecimiento de las tres gramíneas forrajeras en asocio con maíz es factible y se considera como una opción

aceptable, debido a que permite el crecimiento de las especies forrajeras y a la vez, la producción de grano permite cubrir los costos adicionales del establecimiento de la pastura.

6. Se considera que a nivel comercial, para cubrir los costos de establecimiento de las gramíneas, se requiere obtener como mínimo el 68% para maíz y 60% para vigna, con respecto a la producción de grano obtenida a nivel experimental.

7. RECOMENDACIONES

1. Al establecer pasturas en asocio con cultivos de leguminosas, no deben utilizarse cultivares con hábito de crecimiento indeterminado como la vinya de la variedad Chiricano, debido a que interfieren fuertemente la penetración de luz a la copa de las especies forrajeras, reduciendo su eficiencia fotosintética y consecuentemente su crecimiento.
2. La utilización de las gramíneas forrajeras estudiadas en asocio con el cultivo de maíz, puede iniciarse con pastoreos ligeros después de la cosecha del cultivo.
3. Se recomienda continuar los estudios de la respuesta fisiológica en la asociación maíz-pasto, modificando algunas prácticas agronómicas de siembra, como son los arreglos topológicos y cronológicos.
4. Se recomienda conducir los experimentos por un período más prolongado, a fin determinar el tiempo requerido después de la cosecha del cultivo, para considerar perfectamente establecida la pastura, y complementar con pastoreos ligeros o cortes de uniformización, con el objeto de estudiar los posibles efectos del asocio sobre las especies forrajeras.
5. Si se establecen pastos en asocio con cultivos de leguminosas de grano, es necesario estudiar los efectos de la

fijación de nitrógeno y de la materia orgánica aportada por las leguminosas, sobre las especies forrajeras.

8. BIBLIOGRAFIA

- AGUIRRE ASTE, V. 1971. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, IICA, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R., IICA. 139 p.
- ARZE B., J.A. 1975. Condiciones de radiación solar y otros factores microambientales dentro de un cultivo de maíz (*Zea mays*) a diferentes densidades y orientación de surcos. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 111 p.
- ; HEER, C.; PALMIERI, V. 1985. Programas para analizar tendencias y comportamiento de procesos agronómicos. Turrialba, C. R., CATIE, Departamento de Producción Vegetal. 50 p.
- AYARZA, M.; SPAIN, J. 1988. Manejo del ambiente físico y químico para el establecimiento de pasturas mejoradas. In Reunión de Trabajo sobre Establecimiento y Renovación de Pasturas (1988, Veracruz, México). Informe. CIAT/INIFAP. 18 p.
- BARUCH, Z.; FISHER, M.J. 1988. Factores climáticos y competitivos que afectan el desarrollo de la planta. In Reunión de Trabajo sobre Establecimiento y Renovación de Pasturas. (1988, Veracruz, México). Informe. CIAT/INIFAP. 32 p.
- BROWN, R.H. 1988. Growth of the green plant. In Physiological basis of crop growth and development. Ed. M.B. Tesar. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. p. 153-174.
- CIAT. 1982. Manual para la evaluación agronómica. Ed. J.M. Toledo. Cali, Colombia, Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. 169 p.
- 1989. Recuperación de pasturas trópico húmedo. In CIAT. Informe Anual del Programa de Pastos Tropicales 1988. Cali, Colombia. p. 12.1-12.19. (Documento de trabajo no. 59).
- CROWDER, L.V.; CHHEDA, H.R. 1982. Tropical grassland husbandry. London, Longman. 562 p.
- ERIKSEN, F.I.; WHITNEY, A.S. 1981. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. 1. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. Agronomy Journal (EE.UU.) 73:427-433.

- ERIKSEN, F.I; WHITNEY, A.S. 1982. Growth and N fixation of some tropical legumes as influenced by solar radiation regimenes. *Agronomy Journal* (EE.UU.) 74:703-709.
- ESPINOSA ANDRADE, J.R. 1983. Consumo y parámetros de digestión en rastrojos de maíz cultivado solo o en asocio con leguminosas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 71 p.
- FARGAS, J. 1985. Conceptos básicos sobre análisis de crecimiento de las plantas. In *Conceptos metodológicos sobre investigación y desarrollo de tecnología para sistemas de producción de cultivos*. Turrialba, C.R., CATIE. v.2, p. 1-7.
- FERNANDEZ, F.; GEPTS, P.; LOPEZ, M. 1985. Etapas de desarrollo de la planta de frijol. In *Frijol. Investigación y producción. Referencias de los cursos de capacitación dictados por el CIAT*. Eds. M. López; F. Fernández; A. Schoonhoven. Cali, Colombia, PNUD/CIAT. p. 61-78.
- FERRUFFINO, A. 1988. Establecimiento de *Brachiaria decumbens* en asocio con arroz y maíz después del desbosque. In *Estación Experimental Chipiriri. Programa Forrajes. Informe Anual 1987-88*. p. 37-42.
- FUENMAYOR, E.J. 1985. Análisis del crecimiento e influencia de los factores microclimáticos en cultivos solos y asociados de *Zea mays* L., *Glicine max* L. y *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 192 p.
- FUENTES PENAGOS, C.E. 1989. Efecto de la edad sobre la producción de materia seca y calidad nutritiva de los pastos Elefante Enano (*Pennisetum purpureum*, Schum) cv. Mott y King Grass (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*). Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 85 p.
- GLIESSMAN, S.R. 1986. Plant interactions in multiple cropping research. In *Multiple cropping systems*. Ed. C.A. Francis. New York, MacMillan. p. 82-95.
- HEATH, M.E.; METCALFE, D.S.; BARNES, R.F. 1980. *Forages: The science of grassland agriculture*. 3 ed. Ames, Iowa, Iowa State University Press. 755 p.
- HOLDRIDGE, L.R. 1982. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica, IICA. 216 p. (Colección Libros y Materiales Educativos. nq. 83)
- IBSNAT. 1988. *Experimental designs and data collection procedures for IBSNAT*. 3 ed. rev. IBSNAT. Technical Report no. 1. 71 p.

- LUDLOW, M.M.; WILSON, G.L.; HESLEHURST, M.R. 1974. Studies on the productivity of tropical pasture plants. Effect of shading on growth, photosynthesis and respiration in two legumes. Australian Journal of Agricultural Research (Australia) 25:425-433.
- 1980. Stress physiology of tropical plants. Tropical Grasslands (Australia) 14:136-145.
- MACKEE, G.W. 1964. A coefficient for computing leaf area in hybrid corn. Agronomy Journal (EE.UU.) 65(2):240-241.
- MORGADO, L.B.; RAO, M.R. 1986. Conceitos e metodos experimentais em pesquisas com consorcio de culturas. EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuaria do Trópico Semi-Arido. Documento no. 43. 79 p.
- NOGGLE, G.R.; FRITZ, G.J. 1983. Introductory plant physiology. 2 ed. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall. 627 p.
- OFORI, F.; STERN, W.R. 1987. Cereal-legume intercropping systems. Advances in Agronomy (EE.UU.) 41:41-90.
- PEREZ A., H.E. 1990. Crecimiento durante la fase de establecimiento de *Brachiaria brizantha* (Hoechst ex A. Rich) Stapf y *B. dictyoneura* Stapf en el asocio con soya (*Glicine max* L.). Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 115 p.
- SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. 1981. Low-input technology for managing oxisols and ultisols in tropical América. Advances in Agronomy (EE.UU.) 34:279-406.
- 1981. Suelos del trópico: Características y manejo. Trad. E. Camacho. San José, C.R., IICA. 634 p.
- SHELTON, H.M.; HUMPHREYS, L.R.; BATELLO, C. 1987. Pastures in the plantations of Asia and the Pacific: performance and prospect. Tropical Grasslands (Australia) 21(4):159-168.
- SPITTERS, C.J.T. 1983. An alternative approach to the analysis of mixed cropping experiments. 1: Estimación of competition effects. Netherlands Journal of Agricultural Science (Holanda) 31(1):1-11.
- TOLEDO, J.M.; MORALES, V.A. 1978. Establecimiento y manejo de praderas mejoradas en la Amazonia peruana. In Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Eds. L.F. Tergas; P.A. Sánchez. Cali, Colombia, CIAT. p. 191-210.

- VALDIVIA FERNANDEZ, R.E. 1989. Disponibilidad de luz y evaluación de modelos de simulación en asociaciones de maíz (*Zea mays* L.) con soya (*Glycine max* (L.) Merr y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 218 p.
- VALLEJOS ALCOCER, A. 1988. Caracterización y evaluación agronómica preliminar de accesiones de *Brachiaria* y *Panicum* en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 126 p.
- VANDERMEER, L.V. 1989. The ecology of intercropping. Cambridge, Cambridge University Press. 231 p.
- VEIGA, J.B. DA. 1986. Associação de culturas de subsistencia com forrageiras na renovação de pastagens degradadas em área de floresta. In Simposio do Trópico Umido (1986). Belem, PA, Brasil. Belem, EMBRAPA/CPATU. 21 p. (documento no 36)
- WHITE, J.W. 1985. Conceptos básicos de fisiología del frijol. In Frijol: Investigación y producción. Referencias de los cursos de capacitación dictados por el CIAT. Ed. M López; F. Fernández; A. Schoonhoven. Cali, Colombia, PNUD/CIAT. p 43-60.
- WILLEY, R.W. 1979a. Intercropping: Its importance and research needs. 1. Competition and yield advantages. Field Crop Abstracts (G.B.) 32(1):1-10.
- 1979b. Intercropping: Its importance and research needs. 2. Competition and yield advantages. Field Crop Abstracts (G.B.) 32(2):73-85.
- WILSON, J.R.; WONG, C.C. 1982. Effects of shade on some factors influencing nutritive quality of Green Panic and Siratro pastures. Australian Journal of Agricultural Research (Australia) 33:937-949.
- ; CATCHPOOLE, V.R.; WEIER, K.L. 1986. Stimulation of growth and nitrogen uptake by shading a rundown Green Panic pasture on Brigalow clay soil. Tropical Grasslands (Australia) 20:134-143.
- ; HILL, K.; CAMERON, D.M.; SHELTON, H.M. 1990. The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. Tropical Grasslands (Australia) 24(1):24-28.
- WONG, C.C.; WILSON, J.R. 1980. Effects of shading on the growth and nitrogen content of Green Panic and Siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. Australian Journal of Agricultural Research (Australia) 31:269-285.

ZELAYA BLANDON, D. 1985. Simulación del sombreado del maíz con mallas y análisis de interacciones subterráneas de cultivos intercalados con maíz (*Zea mays* L.). Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 99 p.

9. APENDICE

Cuadro 1A. Area foliar en *P. purpureum* cv. Mott, *B. brizantha* y en *B. dictyoneura* en asociados con maíz o vigna y en monocultivos para cada uno de los tiempos de muestreo.

Tiempo días	<i>P. purpureum</i>	<i>B. brizantha</i> cm ² /m ²	<i>B. dictyoneura</i>
Asocio con maíz			
47	1273	1358	1266
74	7618	6029	3649
105	22753	15916	11246
137	45265	33016	20523
167	57306	52350	26575
187		87178	
Asocio con vigna			
47	1375	1658	1647
74	2196	1301	801
105	6751	2647	151
137	26377	8568	706
167	69582	34303	2953
187		78356	
Monocultivo			
47	1064	1995	1266
74	12469	14869	5240
105	63487	46693	19243
137	105604	86359	34307
167	116883	132870	28438
187		132124	

Cuadro 2A. Valores medios y porcentajes de los componentes de la biomasa aérea total en *P. purpureum* cv. Mott cultivado solo y asociado con maíz o vigna.

TIEM	BIOMA	HOVE	TALL	M.S	%HOVE	%TALL	%M.S
Asociado con maíz							
47	9.34	7.29	2.05	0.00	78.05	21.95	0.00
74	61.98	43.65	18.33	0.00	70.43	29.57	0.00
105	210.71	130.35	76.81	3.55	61.86	36.45	1.69
137	498.61	259.28	208.92	30.42	52.00	41.90	6.10
167	592.04	328.31	203.50	33.23	55.45	38.93	5.61
Asociado con vigna							
47	9.49	7.88	1.61	0.00	83.03	16.97	0.00
74	24.09	12.59	9.33	2.18	52.26	38.73	9.05
105	78.27	38.68	36.66	2.93	49.42	46.84	3.74
137	242.18	151.09	85.17	5.92	62.39	35.17	2.44
167	661.74	398.66	233.17	29.92	60.24	35.24	4.52
Monocultivo							
47	7.81	6.10	1.71	0.00	78.10	21.90	0.00
74	92.96	71.44	21.52	0.00	76.85	23.14	0.00
105	601.50	363.73	226.05	11.72	60.47	37.58	1.95
137	1082.19	604.92	380.65	96.63	55.90	35.17	8.93
167	1338.41	669.65	480.45	188.32	50.03	35.90	14.07

BIOMA=Biomasa aérea total

HOVE= Hojas verdes

TALL= tallos

M.S = Material senescente
(en g/m²).

% = contribución de cada componente.

Cuadro 3A. Valores medios y porcentajes de los componentes de la biomasa aérea total en *B. brizantha*, cultivada sola y en asocio con maíz o vigna.

TIEM	BIOMA	HOVE	TALL	M.S	INF	%HOVE	%TALL	%M.S	INF
Asociada con Maíz									
47	8.91	6.97	1.94	0.00	0.00	78.23	21.77	0.00	0.00
74	52.56	30.96	21.60	0.00	0.00	58.90	41.10	0.00	0.00
105	158.99	81.74	76.28	0.97	0.00	51.41	47.98	0.61	0.00
137	384.31	169.57	206.40	8.34	0.00	44.12	53.71	2.17	0.00
167	661.45	272.72	368.56	20.17	0.00	41.23	55.72	3.05	0.00
187	1281.73	447.75	750.08	83.90	0.00	34.93	58.52	6.56	0.00
Asociada con Vigna									
47	10.96	8.36	2.60	0.00	0.00	76.27	23.73	0.00	0.00
74	13.92	6.68	3.75	3.49	0.00	47.99	26.94	25.07	0.00
105	33.50	13.60	17.46	17.46	0.00	40.60	52.12	7.31	0.00
137	84.57	44.00	37.07	37.07	0.00	52.03	43.83	4.14	0.00
167	462.67	176.17	280.45	280.45	0.00	38.08	60.62	1.31	0.00
187	1199.63	389.37	779.96	779.96	0.00	32.46	65.02	2.53	0.00
Monocultivo									
47	13.28	10.25	3.03	0.00	0.00	77.18	22.82	0.00	0.00
74	120.95	76.36	44.59	0.00	0.00	63.13	36.87	0.00	0.00
105	455.04	239.81	207.29	7.95	0.00	52.70	45.55	1.75	0.00
137	1183.65	443.49	653.57	86.59	0.00	37.47	55.22	7.32	0.00
167	2575.03	682.41	1654.04	238.58	0.00	26.50	64.23	9.27	0.00
187	3378.24	678.58	2278.39	334.57	86.69	20.09	67.44	9.90	2.57

BIOMA=Biomasa aérea total

HOVE= Hojas verdes

TALL= tallos

M.S = Material senescente

INF = Inflorescencia

(g/m²).

% = contribución de cada componente.

Cuadro 4A. Valores medios y porcentajes de los componentes de la biomasa aérea total en *B. dictyoneura*, sola y asociada con maíz o vigna.

TIEM	BIOMA	HOVE	TALL	M.S	INF	%HOVE	%TALL	%M.S	INF
Asociada con Maíz									
47	17.49	7.89	9.60	0.00	0.00	45.11	54.89	0.00	0.00
74	50.33	22.75	27.58	0.00	0.00	45.20	54.80	0.00	0.00
105	141.00	70.13	70.87	0.00	0.00	49.74	50.26	0.00	0.00
137	265.76	128.02	128.45	9.30	0.00	48.17	48.33	3.50	0.00
167	422.35	165.68	223.50	16.50	16.63	39.23	52.92	3.91	3.94
Asociada con Vigna									
47	16.59	8.39	8.20	0.00	0.00	50.57	49.43	0.00	0.00
74	12.95	4.99	5.76	2.20	0.00	38.53	44.48	16.99	0.00
105	2.30	0.95	0.83	0.52	0.00	41.30	36.09	22.61	0.00
137	8.8	4.4	3.95	0.44	0.00	50.00	44.89	5.00	0.00
167	62.50	18.41	38.42	0.58	5.08	29.47	61.47	0.93	8.13
Monocultivo									
47	17.12	7.90	9.22	0.00	0.00	46.15	53.86	0.00	0.00
74	93.98	32.67	61.31	0.00	0.00	34.76	65.24	0.00	0.00
105	298.94	120.00	178.93	0.00	0.00	40.14	59.85	0.00	0.00
137	544.72	213.95	301.47	29.31	0.00	39.28	55.34	5.38	0.00
152	623.39	191.25	347.42	35.32	49.37	30.68	55.73	5.67	7.92

BIOMA=Biomasa aérea total

HOVE= Hojas verdes

TALL= tallos

M.S = Material senescente

INF = Inflorescencia

(g/m²).

% = contribución de cada componente.

Cuadro 5A. Valores medios y porcentajes de los componentes de la biomasa aérea total del cultivo de maíz en monocultivo y en asocio con tres gramíneas forrajeras.

Est.	Total	Hov	Tallo	Hsen	E	F	Gran	Tuza	Olote	%Hov	%Tallo	%Hsen	%E	%F	%gran	%Tuza	%Olote
Asociado con <i>Pennisetum purpureum</i>																	
V1	0.23	0.18	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.26	21.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R1	208.05	50.37	121.29	0.00	13.47	22.92	0.00	0.00	0.00	24.21	58.30	0.00	6.47	11.02	0.00	0.00	0.00
R4	304.58	51.69	123.67	2.66	7.36	119.20	0.00	0.00	0.00	16.97	40.60	0.87	2.42	39.14	0.00	0.00	0.00
R6	439.96	34.10	137.81	16.07	5.27	246.73	0.00	0.00	0.00	7.75	31.32	3.65	1.20	56.08	0.00	0.00	0.00
R7	417.99		110.06	35.75	4.37	267.63	182.19	52.54	32.90	0.00	26.36	8.55	1.06	64.03	43.59	12.57	7.87
Asociado con <i>Brachiaria brizantha</i>																	
V1	0.22	0.18	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.82	18.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R1	222.37	51.61	133.98	0.00	12.83	23.96	0.00	0.00	0.00	23.21	60.25	0.00	5.77	10.77	0.00	0.00	0.00
R4	330.75	53.19	129.78	3.06	7.26	137.47	0.00	0.00	0.00	16.08	39.24	0.93	2.20	41.56	0.00	0.00	0.00
R6	447.70	34.20	138.02	14.72	6.05	262.22	0.00	0.00	0.00	7.64	30.83	3.29	1.35	58.57	0.00	0.00	0.00
R7	384.94	0.00	93.67	33.01	4.27	253.98	180.01	40.19	33.78	0.00	23.55	8.30	1.07	63.86	45.26	10.11	8.49
Asociado con <i>B. dictyoneura</i>																	
V1	0.23	0.18	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.26	21.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R1	211.33	49.99	120.99	0.00	12.18	28.17	0.00	0.00	0.00	23.26	57.25	0.00	5.76	13.33	0.00	0.00	0.00
R4	310.30	49.85	122.30	1.95	6.63	129.57	0.00	0.00	0.00	16.07	39.41	0.63	2.14	41.76	0.00	0.00	0.00
R6	447.43	29.11	111.67	17.68	4.94	284.02	0.00	0.00	0.00	6.51	24.96	3.95	1.10	63.48	0.00	0.00	0.00
R7	397.71	0.00	100.47	32.56	3.59	261.09	175.78	49.15	36.15	0.00	25.26	8.19	0.90	65.65	44.20	12.36	9.09
Monocultivo																	
V1	0.25	0.20	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R1	220.29	51.16	131.07	0.00	13.56	24.59	0.00	0.00	0.00	23.22	59.50	0.00	6.16	11.16	0.00	0.00	0.00
R4	319.24	50.07	124.57	1.21	7.14	136.26	0.00	0.00	0.00	15.68	39.02	2.24	2.24	42.68	0.00	0.00	0.00
R6	439.38	34.04	113.06	13.90	5.19	273.19	0.00	0.00	0.00	7.75	25.73	3.16	1.18	62.18	0.00	0.00	0.00
R7	404.75	0.00	98.95	33.39	3.75	272.67	190.73	44.09	37.86	0.00	24.45	8.25	0.93	67.37	47.12	10.89	9.35

Hov=hojas verdes

Hsen=hojas senescentes

E=espiga

F=fruto

Gran=grano

En todos peso seco g/planta.

%=porcentaje de cada componente.

Cuadro 6A. Valores medios y porcentajes de los componentes de la biomasa aérea total del cultivo de vinya en monocultivo y en asocio con tres gramíneas forrajeras.

Est.	Total	Hojas	Tallos	F.Fruto	Grano	Vaina	%Hoja	%Tallo	%F.Fruto	%Grano	%Vaina
Asociada con <i>P. purpureum</i>											
V4	2.80	2.17	0.49	0.00	0.00	0.00	77.50	17.50	0.00	0.00	0.00
R4	31.88	13.49	17.80	0.60	0.00	0.00	42.31	55.83	1.88	0.00	0.00
R6	46.99	12.05	27.86	7.08	0.00	0.00	25.64	59.29	15.07	0.00	0.00
R7	52.30	7.88	23.84	20.58	0.00	0.00	15.07	45.58	39.35	0.00	0.00
RB	50.60	3.32	19.44	27.84	19.83	8.01	6.56	38.42	55.02	39.19	15.83
Asociada con <i>B. brizantha</i>											
V4	3.16	2.66	0.50	0.00	0.00	0.00	84.18	15.82	0.00	0.00	0.00
R4	30.61	12.77	17.24	0.06	0.00	0.00	41.72	56.32	0.20	0.00	0.00
R6	50.64	11.54	30.06	9.05	0.00	0.00	22.79	59.36	17.87	0.00	0.00
R7	58.13	9.89	29.81	18.42	0.00	0.00	17.01	51.28	31.69	0.00	0.00
RB	52.12	4.40	21.68	26.03	19.11	6.92	8.44	41.60	49.94	36.67	13.27
Asociada con <i>B. dictyoneura</i>											
V4	2.85	2.40	0.45	0.00	0.00	0.00	84.21	15.79	0.00	0.00	0.00
R4	31.18	12.85	17.70	0.62	0.00	0.00	41.21	56.77	1.99	0.00	0.00
R6	43.53	10.92	26.19	6.42	0.00	0.00	25.09	60.17	14.75	0.00	0.00
R7	47.20	7.02	22.52	17.65	0.00	0.00	14.87	47.71	37.39	0.00	0.00
RB	50.36	4.11	21.51	24.75	17.56	7.19	8.16	42.71	49.15	34.87	14.28
Monocultivo											
V4	2.67	2.20	0.17	0.00	0.00	0.00	82.40	6.37	0.00	0.00	0.00
R4	34.47	14.17	19.48	0.82	0.00	0.00	41.11	56.51	2.38	0.00	0.00
R6	49.30	12.21	28.73	8.36	0.00	0.00	24.77	58.28	16.96	0.00	0.00
R7	60.87	9.48	29.82	21.57	0.00	0.00	15.57	48.99	35.44	0.00	0.00
RB	57.13	5.31	24.69	27.13	19.14	7.99	9.29	43.22	47.49	33.50	13.99

Biomasa=g/planta.

% = Porcentaje de cada componente.

Cuadro 7A. Resumen del Análisis de Varianza para el rendimiento en grano de los cultivos de maíz y vinya, en monocultivo y en asocio con tres gramíneas forrajeras.

F.V	GL.	SC.	CM.	F.	P>F	Sig.
Cultivo de maíz						
Bloque	3	102647.408	34215.803	0.45	0.7239	NS.
Tratamiento	3	382553.848	127517.950	1.67	0.2411	NS.
Error	9	685355.111	76150.568			
Total	15	1170556.366				
C.V. = 4.81%						
Cultivo de vinya						
Bloque	3	98339.409	32799.803	2.51	0.1242	NS.
Tratamiento	3	59227.958	19742.653	1.51	0.2764	NS.
Error	9	117387.168	13043.019			
Total	15	275014.535				
C.V. = 4.64%						

Cuadro 8A. Costo de producción por hectárea estimado para el cultivo de maíz en Turrialba, 1991.

Actividad	Cantidad	Subtotal (Colones)	Total
1. MANO DE OBRA:			
1.1 Siembra	16 jorn.	10,176.00	
1.2 Resiembra	1 jorn.	636.00	
1.3 Aspersiones pesticidas	2 jorn.	1,272.00	
1.4 Fertilización (2)	4 jorn.	2,544.00	
1.5 Aplicación Phoxín granulado	2 jorn.	1,272.00	
1.6 Deshierba	10 jorn.	6,360.00	
1.7 Dobra del maíz	4 jorn.	2,544.00	
1.8 Cosecha	11 jorn.	<u>6,996.00</u>	31,800.00
2. SERVICIOS CONTRATADOS:			
2.1 Preparación del terreno con tractor	12 hrs.		6,000.00
2.2 Trilla del maíz	120 quintales		7,725.70
2.3 Riegos	4		8,000.00
3. INSUMOS:			
3.1 Semilla		525.00	
3.2 Fertilizante		16,336.64	
3.3 Pesticidas		<u>5,454.00</u>	<u>22,315.64</u>
4. TOTAL GASTOS DIRECTOS			<u><u>75,841.34</u></u>

5. Cargas Sociales. 42% sobre la mano de obra 13,356.00

6. Ingreso Neto = (Producción*Precio de venta)-Costos

Ingreso Bruto = 5521.51 kg*22.28 = C. 123,033.65
 -Costos Prod. = " 75,831.34
 Ingreso Neto = C. 47,202.31

7. Ingreso Neto=(Prod*Precio venta)-(costos+cargas sociales)

Ingreso Bruto = 5521.51 kg*22.28 = C. 123,033.65
 costos Prod. = " 89,197.34
 Ingreso Neto = C. 33,836.31

1 y 2 Datos proporcionados por A. Barrantes, comunicación personal.

2.3 Riegos de emergencia, debido a los periodos de sequía que se presentaron durante la fase experimental.

3. Con base en cantidades utilizadas en el experimento y precios de compra.

5. Dato proporcionado por la oficina de planillas de CATIE.

6. Para efecto del presente trabajo se tomó la menor producción de grano obtenida de las 4 modalidades de siembra evaluadas.
-En el costo de producción no se incluyen las cargas sociales.
7. En el costo de producción se incluyen las cargas sociales.

Cuadro 9A. Costo de producción por hectárea estimado para el cultivo de vinya en Turrialba, 1991.

Actividad	Cantidad	Subtotal (Colones)	Total
1. MANO DE OBRA:			
1.1 Siembra	24 jorn.	15,264.00	
1.2 Resiembra	4 jorn.	2,544.00	
1.3 Aspersiones pesticidas	9 jorn.	5,724.00	
1.4 Fertilización	4 jorn.	2,544.00	
1.5 Deshierba	10 jorn.	6,360.00	
1.6 Cosecha	8 jorn.	<u>5,080.00</u>	37,516.00
2. SERVICIOS CONTRATADOS:			
2.1 Preparación del terreno con tractor	12 hrs.		6,000.00
2.2 Trilla	52.58 quintal		6,688.54
2.3 Riegos	2		4,000.00
3. INSUMOS:			
3.1 Semilla		4,943.00	
3.2 Fertilizante		12,503.89	
3.3 Pesticidas		<u>7,280.00</u>	<u>24,727.07</u>
4.	TOTAL GASTOS DIRECTOS		<u><u>78,931.61</u></u>

5. Cargas Sociales. 42% sobre la mano de obra 15,756.72

6. Ingreso Neto = (Producción*Precio de venta)-Costos

Ingreso Bruto = 2,418.81 kg*60.00 = C. 145,128.60

-Costos Prod. = " 78,931.07

Ingreso Neto = C. 66,196.99

7. Ingreso Neto=(Prod*Precio venta)-(costos+cargas sociales)

Ingreso Bruto = 2,418.81 kg*60.00 = C. 145,128.60

costos Prod. = " 94,688.33

Ingreso Neto = C. 50,440.021

1 y 2 Datos proporcionados por A. Barrantes, comunicación personal.

2.3 Riegos de emergencia, debido a los períodos de sequía que se presentaron durante la fase experimental.

3. Con base en cantidades utilizadas en el experimento y precios de compra.

5. Dato proporcionado por la oficina de planillas de CATIE.

6. Para efecto del presente trabajo se tomó la menor producción de grano obtenida de las 4 modalidades de siembra evaluadas.

-En el costo de producción no se incluyen las cargas sociales.

7. En el costo de producción se incluyen las cargas sociales.

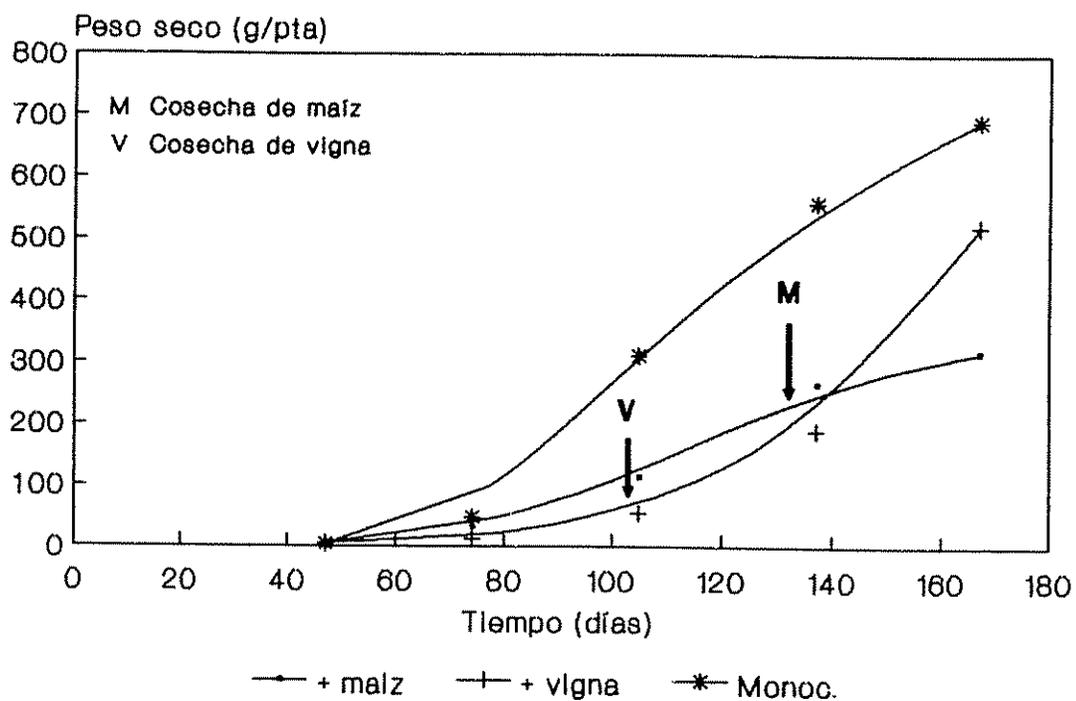


Figura 1A. Respuesta fisiológica y época de manifestación de las fenofases en *P. purpureum* cv. Mott en monocultivo y en asocio con maíz o vinya.

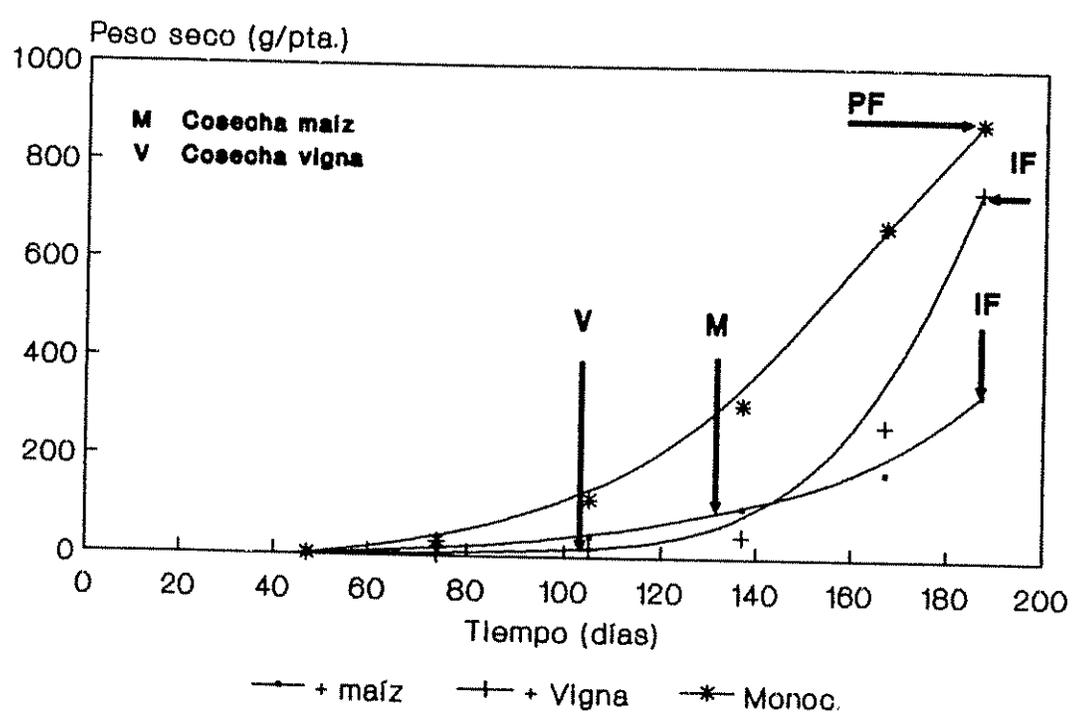


Figura 2A. Respuesta fisiológica y manifestación de las fenofases inicio de floración (IF) y plena floración (PF) en *Brachiaria brizantha* en monocultivo y en asocio con maíz o vigna.

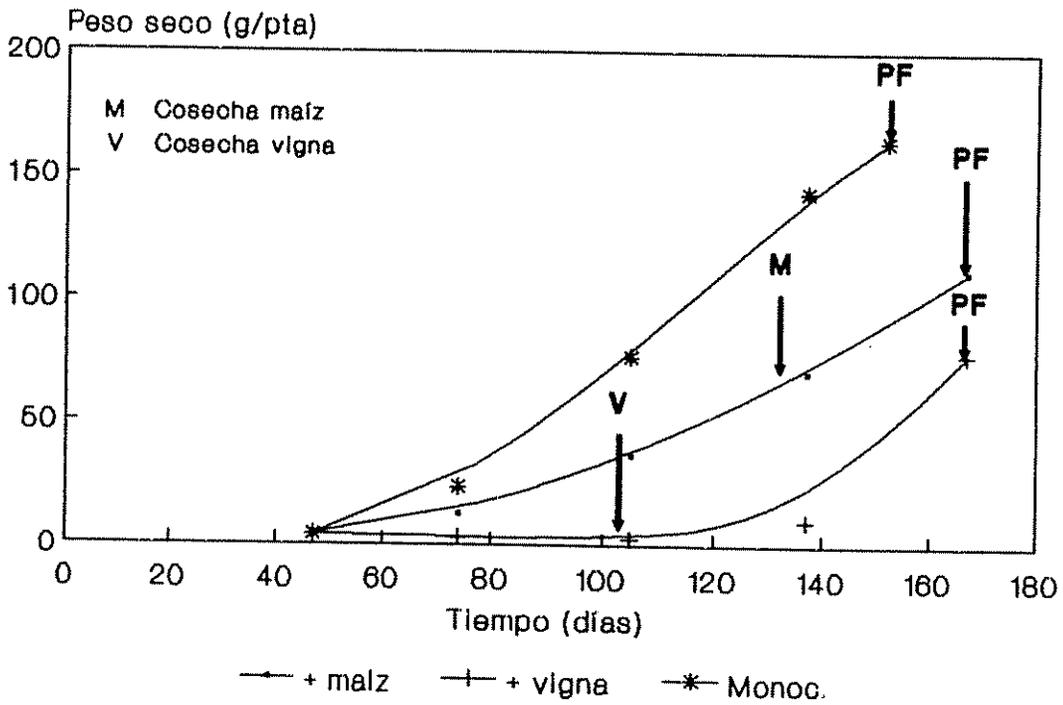


Figura 3A. Respuesta fisiológica y manifestación de las fenofases inicio de floración (IF) y plena floración (PF) en *Brachiaria dictyoneura* en monocultivo y en asocio con maíz o vicia.