

**CENTRO AGRONÓMICO DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
CATIE
SUBDIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) Y CAMOTE (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) EN ASOCIACIÓN Y EN MONOCULTIVO, BAJO DIFERENTES ARREGLOS ESPACIALES Y DOS DENSIDADES DE SIEMBRA

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico de Postgrado y Capacitación del Programa de enseñanza en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar el grado de

Magister Scientiae

por

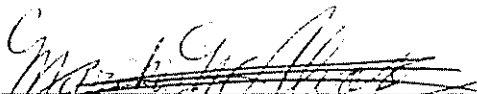
Vanda Gorete Souza Rodrigues

**Turrialba, Costa Rica
1995**

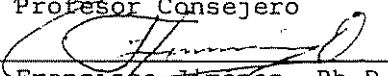
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE


FIRMANTES:



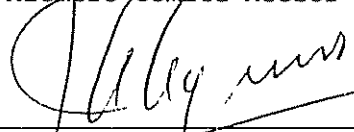
Marikis N. Alvarez, Ph.D.
Profesor Consejero



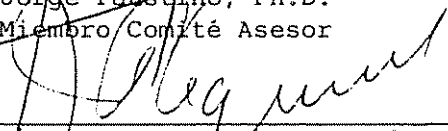
Francisco Jiménez, Ph.D.
Miembro Comité Asesor



Jorge Morera, Ph.D.
Miembro Comité Asesor

p 

Jorge Faustino, Ph.D.
Miembro Comité Asesor



Juan Antonio Aguirre, Ph.D.
Jefe, Area de Postgrado

Pedro Ferreira, Ph.D.
Director, Programa de Enseñanza



Vanda Gorete Souza Rodrigues
Candidata

DEDICATORIA

A mis padres:

Sherlock y María do Rosário, por tener comprendido la opción del sendero que escogí para mi vida.

A mis hermanos: Fernando y María do Carmo, por la fraternidad y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor Marikis N. Alvarez, Profesor Consejero, por sus enseñanzas, su paciencia y su gran apoyo al buen desarrollo del trabajo de tesis y la asistencia de investigación.

A los miembros del Comité Asesor Doctores: Jorge Morera, Francisco Jiménez. y Jorge Faustino, por sus asesoría y apoyo profesional a todo momento.

A Galileo Rivas Platero, por su colaboración prestada en la revisión, su amabilidad y sugerencias para mejorar el trabajo.

A los compatriotas brasileños, por los lazos de hermandad que nos unieron.

A los compañeros de promoción, por la amistad y la enseñanza que me brindaron sobre la cultura de sus países.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE, por hacer parte de mi formación

Al personal que labora en la estación experimental La Montaña y a Asdrubal, por la valiosa colaboración durante el desarrollo del la fase de campo del trabajo de tesis.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA) y al Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondonia (CPAF- Ro), por tener financiado mis estudios de maestría.

A Marta Ricci, por la amistad y apoyo a mi familia, durante mi ausencia de Brasil.

Biografía

La autora nació en Santa Maria, estado de Rio Grande do Su, Brasil, el 24 de agosto de 1954.

Ingresó a la Facultad de Agronomía de la Universidad del Amazonas - Brasil, a cursar la carrera de agronomía, obteniendo el título de Ingeniero Agrónomo en agosto de 1981.

Trabajó en el período de setiembre de 1981 a mayo de 1983 en la Empresa de Asistencia Técnica e Extensao (EMATER) del Estado de Amazonas, como Extensiomista Rural. y jefe de la sede local de Urucara - Amazonas.

A partir de mayo de 1983 prestó servicios a Comissao de Planejamento Agrícola del Estado de Amazonas en el "Proyecto de Desenvolvimento Rural Integrado" (PDRI) en la sede de Manaus.

En diciembre de 1989 fue admitida por la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA) para laborar en el "Centro de Pesquisa Agroflorestal del Estado de Rondonia" (CPAF - Rondonia), donde atualmente es investigadora en la área de Fitotecnia.

A partir de enero de 1994, ingresó al Programa de Estudios de Postgrado del CATIE, en la área de Agricultura Sostenible y Recursos Naturales con énfasis en Sistemas de Cultivos Tropicales, obteniendo el grado de Magister Scientiae en diciembre de 1995.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
BIOGRAFÍA	iv
CONTENIDO	v
RESUMEN	ix
SUMMARY.....	xi
LISTA DE CUADROS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	xv
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 SISTEMAS DE CULTIVOS MÚLTIPLES.....	5
2.2 CULTIVOS ASOCIADOS O CULTIVOS INTERCALADOS.....	7
2.3 IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS ASOCIADOS.....	8
2.4 RADIACIÓN Y LA EFICIENCIA FOTOSINTÉTICA EN LOS SISTEMAS DE CULTIVO.....	12
2.5 CARACTERÍSTICA DE CRECIMIENTO EN LOS SISTEMAS DE CULTIVOS Y ANÁLISIS DE CRECIMIENTO.....	17
2.6 CRITERIOS USADOS EN LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS CULTIVOS ASOCIADOS.....	21
3. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. UBICACIÓN.....	24
3.2. CLIMA.....	24
3.3. SUELO.....	24

3. 4. MATERIAL EXPERIMENTAL	25
<i>Caupi</i>	25
<i>Camote</i>	25
3. 5. TRATAMIENTOS	26
3. 6. DISEÑO EXPERIMENTAL Y DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES	26
3. 7. PREPARACIÓN DEL TERRENO Y SIEMBRA	26
3. 8. FERTILIZACIÓN	27
3. 9. CONTROL FITOSANITARIO	28
3. 10. CONTROL DE MALEZAS	29
3. 11. COSECHA	29
3. 12. TOMA DE DATOS	29
3. 12. 1. Características biológicas de los cultivos	29
3. 12. 1. 1. <i>Caupi</i>	29
3. 12. 1. 2. <i>Camote</i>	30
3. 12. 2. Área foliar	30
3. 13. RENDIMIENTO	31
3. 14. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE LOS CULTIVOS	31
3. 15. ÍNDICES DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN	31
3. 15. 1. Componentes morfológicos de crecimiento	32
a. Índice de área foliar (IAF)	32
b. Razón de área foliar (RAF)	32
3. 15. 2. Componentes fisiológicos de crecimiento	32
b. Índice de crecimiento relativo del área foliar	32
c. Índice de asimilación neta (IAN)	33
3. 15. 3. Componentes agronómicos	33
a. Tasa de producción de materia seca (TPMS)	33
b. Uso equivalente de la tierra	33

3.16. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA	34
3.17. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	34
3.18. DETERMINACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES EN LOS SISTEMAS	35
3.19. ANÁLISIS DE VARIANZA	35
3.20. COMPARACIÓN DE MEDIAS	35
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	37
4.1. COMPONENTES MORFOLÓGICOS DEL CRECIMIENTO	37
4.1.1. Área foliar	37
4.1.2. Razón de Área foliar (RAF)	41
4.2. COMPONENTES FISIOLÓGICOS DEL CRECIMIENTO	45
4.2.1. Índice de Asimilación Neta (IAN).....	45
4.2.2. INDICE DE CRECIMIENTO RELATIVO (ICR)	50
4.3. Tasa de producción de materia seca (TPMS)	55
4.4. INDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (IEE)	59
4.5. COMPONENTES BIOLÓGICOS DEL RENDIMIENTO	62
4.6. COMPONENTES DEL RENDIMIENTO ECONÓMICO	73
4.7. USO EQUIVALENTE DE LA TIERRA (UET)	81
4.8. ABSORCIÓN DE NUTRIMENTO POR LOS SISTEMAS DE CULTIVOS	84
5. CONCLUSIONES	88
6. RECOMENDACIONES	90
7. BIBLIOGRAFIA CITADA.....	92

RODRIGUES, V. G. S. 1995. Evaluación del comportamiento de caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) y camoté (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), bajo diferentes arreglos espaciales y dos densidades de siembra. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 94p.

Palabras claves: caupí, camote, cultivo asociado, crecimiento, rendimiento, eficiencia energética, absorción de nutrimentos, arreglos espaciales, densidad de siembra.

Resumen

El presente estudio evaluó el comportamiento del crecimiento y rendimiento de caupí y camote en asociación y en monocultivo, bajo tres arreglos de hileras y dos densidades de siembra. Específicamente se buscó comprobar si al variar la disposición y el número hileras de las plantas de caupí y camote establecidas en sistema de cultivo asociado, afecta el crecimiento, el rendimiento, la eficiencia de absorción de radicación solar y la absorción de algunos elementos minerales por las plantas.

El estudio se llevó a cabo en el campo experimental La Montaña del CATIE, en Turrialba Costa Rica. El CATIE está localizado a 9° 53' de Latitud Norte y 82° 38' de Longitud Oeste; a una elevación de 602 msnm. Según la clasificación de Holdridge, el lugar pertenece a la zona de vida denominada Bosque Muy Húmedo Promontano Tropical.

Se utilizó diseño de bloque completos al azar, con tres repeticiones, en arreglo factorial de los arreglos espaciales (Factor A, con 5 niveles) con las densidades (Factor B, con 2 niveles). Para evaluar el comportamiento de los componentes morfológicos se utilizó el Índice de Area Foliar (IAF) y la Razón de Area Foliar (RAF); para los componentes fisiológicos del crecimiento se usó el Índice de Asimilación Neta (IAN) y el Índice de Crecimiento Relativo (ICR). El rendimiento biológico del caupí fue determinado considerando el peso seco total de plantas, hoja, tallos, raíz, vaina y granos; mientras para el camote se consideró el peso seco de guía (hoja + tallo) y de tubérculo. Para los rendimientos de caupí y camote se tomó el peso seco de granos (14% de humedad) y tubérculos (60% de humedad), respectivamente de cada parcela útil y se convirtió a rendimientos por hectárea.

Los resultados mostraron que los componentes de crecimiento y rendimiento respondieron más eficientemente cuando se establecieron en siembras más densas; a la densidad de 67000 plantas/ha, los agroecosistemas estudiados, alcanzaron mayores IAF, presentando una superficie asimilatoria adecuada para la absorción de la energía solar. En el sistema asociado, el IAF individual de cada especie fue reducido 50% del alcanzado en monocultivo, proporcionando una cobertura suficiente del suelo para que no se presentara competencia por luz.

El rendimiento de granos de caupí fue significativamente diferente cuando se cambió el número de plantas en la asociación. Al mantener el mismo número de plantas, alterando la disposición dentro de las hileras (asociados en la misma hilera y/o en hileras alternas), no existió diferencia en el rendimiento. El caupí en asociación con el camote disminuyó el rendimiento de granos en relación al monocultivos, mientras que el rendimiento de tubérculo del camote, tanto en monocultivos como en sistemas asociados, no fue afectado cuando se utilizó diferentes arreglos de hileras y densidades de siembra. El camote mostró alta eficiencia en el aprovechamiento de la radiación solar, absorbiendo en monocultivo 9.6% de radiación fotosintéticamente activa incidente durante el ciclo de cultivo. La gran eficiencia energética del camote, contribuye para que los sistemas asociados, manifiesten enormes potencialidades de transformación de energía solar en materia orgánica.

En los sistemas de cultivos asociados, el caupí y el camote compitieron por N cuando fueron establecidos a mayor densidad. la competencia por P y K, no presentó diferencia significativa entre las densidades y los arreglos de hileras que fueron evaluados.

Los resultados indican que en el futuro, la investigación con sistemas asociados, que involucre especies como caupí y camote, deberá buscar en los componentes características tales como: ciclo vegetativo diferentes, para originar menor competencia interespecifica por espacio y tiempo; precocidad, para disminuir el tiempo durante el cual los dos cultivos permanezcan juntos en el campo, minimizando la interacción y evitando que ellos afecten los rendimientos mutuamente; deben manifestar alta estabilidad de producción total del sistemas asociado y que además del efecto compensatorio, reduzca la incidencia de enfermedades y plagas, que ocurre como resultado de la diversidad de la vegetación.

RODRIGUES, V. G. S. 1995. Evaluation of the performance of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) and sweet potato (*Ipomea batatas* (L.) Lam) grown in monocultures and or associations in different spatial arrangements and at two densities. M.Sc. thesis, Turrialba, C.R. CATIE. 94p.

Key words: cowpea, sweet potato, associated crops, growth, leaf area index, yield, radiation use efficiency, nutrient absorption, spatial arrangement, density.

SUMMARY

This study evaluated the growth and yield of cowpea and sweet potato in association and as sole crop, under three spatial arrangements and two densities. The specific objective was to verify whether changes in the interspecific arrangement affected the growth and yield, solar radiation absorption efficiency and the absorption of nutrients.

This research was carried out at La Montaña Experimental Field, CATIE, Turrialba, located at 9°53'N and 82°38'W, at 602 meters above sea level. According to Holdrige life zones, the area is a BMHPT.

The crops were grown in a completely randomized block design with three replications, in a factorial arrangement (Factor A, with 5 levels) with densities (Factor B, with 2 levels). In order to evaluate treatment effects on morphological components, the following variables were measured: Leaf Area Index (LAI) and Leaf Area Ratio (LAR); for the physiological components, the Net Assimilation Index (NAI) and the Relative Growth Index (RGI). The biological yield was

estimated considering the dry weight of the plants, leaf, stem, roots, pods and grain of cowpea; for sweet potato the yield was estimated by leaf-stem dry weight and tuber (g/m^2). The production per plot was converted to yield per hectare observing the dry weight of grains (14% moisture) and tubers (60% moisture).

The results showed that growth and yield increased with increasing densities. At 67000 plants/ha, there was a higher LAI, with an appropriate assimilatory surface for interception of solar energy. In association, LAI was reduced by 50% compared to that of sole crop.

The cowpea grain yields were significantly different when density was varied. By maintaining the number of plants, but changing the row disposition, there was no difference in yield. When cowpea was associated with sweet potato, the grain yield reduced, compared to cowpea alone, while sweet potato tuber yield was not affected by density or row arrangement.

There was a high efficiency of solar radiation use by sweet potato, absorbing 9.6% of the photosynthetically active radiation (PAR) during the crop cycle when cropped alone. The high energetic efficiency of sweet potato contributes for an enormous potential for the transformation of solar energy in organic matter in associated systems.

In associated systems, cowpea and sweet potato increased competition for N at increased densities, while there was no particular trend for P and K.

The results showed that future research for associate systems with species like cowpea and sweet potato should focus on certain characteristics, such as different vegetative cycles, to decrease competition between species; precocity, to diminish the period of crop association in the field, minimizing interaction and avoiding negative effects on yield; high production stability in associated systems; and besides of the compensatory effect, reduction in pests incidence, as a result of crop diversification.

LISTA DE CUADROS

<i>CONTENIDO</i>	<i>PAGINA</i>
<i>Cuadro 1. Características del suelo del sitio experimental. CATIE, 1995.</i>	25
<i>Cuadro 2. Descripción de los tratamientos resultante de la combinación de los arreglos espaciales de caupi y camote y dos densidades de de siembra. CATIE, 1995.</i>	27
<i>Cuadro 3. Eficiencia energética (%) del caupi y camote en asociación y monocultivo a dos densidades de siembra, para biomasa aérea máxima, producción y biomasa total. CATIE, 1995</i>	61
<i>Cuadro 4. Componentes de biomasa (g/m^2) de caupi en tres sistemas asociados y en monocultivo, con dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	63
<i>Cuadro 5. Producción de biomasa de guía y tubérculo (g/m^2) de camote en tres sistemas de cultivos asociados y en monocultivo a dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	64
<i>Cuadro 6. Parámetros de la ecuación de regresión del mejor ajuste para la biomasa de caupi en asociación y en monocultivos a dos densidade de siembra. CATIE, 1995.</i>	66
<i>Cuadro 7. Rendimeinto en grano (Kg/ha) y componentes del rendimiento de caupi en tres sistemas de cultivo asociado y monocultivo, a dos densidades de siembra. CATIE, 1995.</i>	75
<i>Cuadro 8. Matriz de correlación entre los componentes del rendimiento calculados para el caupi. CATIE, 1995.</i>	76
<i>Cuadro 10. Promedios de producción (Kg/ha) y Rendimiento Relativo (RR) del caupi en tres sistemas de asociación y monocultivos en dos densidades de siembra. CATIE, 1995.</i>	78
<i>Cuadro 11. Promedios de producción (Ton ha) y Rendimiento Relativo (RR) del camote en tres sistemas de asociación y monocultivos en dos densidades de siembra. CATIE, 1995.</i>	78
<i>Cuadro 12. Promedios de producción y Uso equivalente de la tierra (UET) de caupi y camote en tre sistemas de cultivos asociados y en monocultivos a dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	83
<i>Cuadro 13. Efectos de diferentes arreglos espaciales sobre la concentración de N en las hojas de caupi y camote sembrados en asociación y en monocultivo. CATIE, 1995</i>	86

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Índice de área foliar de caupi y camote en tres sistemas de cultivos asociados y a dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	38
<i>Figura 2. Índice de área foliar de caupi y camote en monocultivo y a dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	39
<i>Figura 3. Razón de área foliar (RAF) de caupi y camote en tres sistemas de cultivos asociados, a dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	43
<i>Figura 4. Razón de área foliar (RAF) de caupi y camote en monocultivo y a dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	44
<i>Figura 5 Índice de Asimilación Neta (IAN) de caupi y camote en cultivos asociados, a dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	47
<i>Figura 6. Índice de Asimilación Neta (IAN) de caupi y camote en monocultivo a dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	48
<i>Figura 7. Índice de Crecimiento Relativo (ICR) de caupi y camote en tres sistemas de cultivos asociados a dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	52
<i>Figura 8. Índice de Crecimiento Relativo (ICR) de caupi y camote en monocultivo y a dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	53
<i>Figura 9. Tasa de Producción de Materia Seca (TPMS) de caupi y camote en tres sistemas de cultivos asociados, a dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	57
<i>Figura 10. Tasa de Producción de Materia Seca (TPMS) de caupi y camote en monocultivos y a dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	58
<i>Figura 11 Distribución porcentual del peso seco de las estructuras de caupi, en tres sistemas de cultivos asociados y en monocultivo, a dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	68
<i>Figura 12. Biomasa de guías y tubérculos de camote, en tres sistemas de cultivos asociados y en monocultivo, a dos densidades de siembra. CATIE, 1995</i>	70

Cuadro 14 Efectos de diferentes arreglos espaciales sobre la concentración de K en las hojas de caupi y camote sembrados en asociación y en monocultivo. CATIE, 1995.....86

Cuadro 15. Efectos de diferentes arreglos espaciales sobre la concentración de P en las hojas de caupi y camote sembrados en asociación y en monocultivo. CATIE, 199587

1. Introducción

En un ambiente de producción de alimentos per capita cada vez más débil y de fuerte explosión demográfica, los programas de autosuficiencia en alimento han ganado prioridad en muchas partes del mundo. Con la creciente presión poblacional y el cultivo intensivo de la tierra, la atención está focalizada en tierras marginales y en el mejoramiento de la productividad con gastos reducidos (Alvarez, 1992)

La investigación para mejorar o desarrollar sistemas agrícolas ajustados a las condiciones ecológicas, sociales y económicas de los pequeños productores de América Tropical ha sido limitada; sólo recientemente se ha dado importancia a las condiciones de trabajo de esta categoría de agricultores (Oyojola y Mead 1982)

La contribución de los sistemas de cultivo de pequeños agricultores a la producción nacional de alimentos ha sido considerada escasa o marginal en muchos países. Sin embargo, estudios realizados en Brasil, Colombia y Centro América, muestran que alrededor del 70% de los alimentos consumidos en esos países se produce en fincas pequeñas

Los pequeños agricultores de diferentes regiones del mundo, a través del tiempo, manejan sus cultivos, con el objetivo de maximizar los recursos ambientales disponibles en sus fincas. La base productiva de sus sistemas de producción de cultivos es el crecimiento de las plantas, el cual está influenciado por el ambiente y por el manejo. Los factores ambientales no son sujetos de modificación por parte de los agricultores, y el manejo, lo constituye el tipo y arreglos de los cultivos en el tiempo y el espacio (Shibles 1986).

modificación por parte de los agricultores, y el manejo, lo constituye el tipo y arreglos de los cultivos en el tiempo y el espacio (Shibles 1986).

Los pequeños agricultores de los trópicos constituyen un grupo heterogéneo, que difiere ampliamente en la cantidad y fertilidad de la tierra que disponen, así como en la estructura económica en que viven (Días 1982). Todavía, poseen una característica común entre sí: utilizan de sistemas múltiples de producción de cultivos.

Los cultivos múltiples son una antigua estrategia de producción entre los agricultores en muchas partes del mundo. Tradicionalmente, son usados por productores de subsistencia, principalmente para aumentar la diversidad de sus productos y la estabilización de sus producciones anuales. Sin embargo, con el rápido incremento de la población mundial y el decreciente disponibilidad de nuevas tierras para el cultivo, los cultivos múltiples están siendo vistos, en las últimas décadas, como una excelente estrategia para la intensificación del uso de la tierra y de absorción del excedente de mano de obra agrícola (Gómez y Gómez, 1983).

La generación de tecnología para cultivos múltiples debe tener un procedimiento, que sea capaz de medir la interacción entre el crecimiento de los cultivos por unidad de área. Para la disseminación de esta tecnología, se requiere más motivación y estímulo a los productores, aunque ellos aceptan las tecnologías de cultivos múltiples, que generalmente requieren más recursos y capacidades de manejo en relación a los monocultivos.

La relación entre las asociaciones de cultivos con factores como altos niveles de utilización de mano de obra, bajos niveles de fertilidad de suelos, poca utilización de insumos, originó algunas dudas sobre los posibles beneficios de estos sistemas de cultivo a niveles más altos de tecnología (Días 1982). Algunos autores llegaron a considerar las asociaciones como prácticas que no tienen lugar

en la agricultura moderna. Sin embargo, las investigaciones han dado evidencias de que los cultivos múltiples son de utilidad práctica para una agricultura más intensiva (Kass 1978).

La asociación caupí - camote, es una práctica utilizada por muchos agricultores de diferentes regiones tropicales del mundo, por las ventajas que ofrece, principalmente debido a la diversidad de alimentos y a la intensificación de la producción agrícola mediante un uso eficiente de los factores de crecimiento (luz, agua, nutrientes), del espacio y del tiempo disponible.

Por ser especies que presentan desarrollo y ciclo vegetativo diferente, la suma de las competencias interespecíficas es inferior a la suma de las competencias intraespecíficas de las mismas especies cuando se cultivan separadamente en monocultivos (Leihner 1983).

Sin embargo, la productividad biológica de esos agroecosistemas es considerada baja, caracterizándose como actividad de elevada inestabilidad de producción. Este desempeño de la producción física, puede ser atribuido no sólo al principal objetivo de los agricultores (obtención de alimento para el autoconsumo), sino también al manejo inadecuado de esos agroecosistemas (Melo et al 1988), por la gran dependencia de las especies componentes a restricciones edafoclimáticas. Estudios de estos sistemas son necesarios para una mayor comprensión de cómo se da la competencia entre las especies, las interacciones durante el crecimiento, así como el uso de los recursos disponibles.

Con base en lo discutido anteriormente, en el presente trabajo se propuso evaluar el crecimiento y rendimiento de caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) y camote (*Ipomoea batata* (L.) Lam) asociados en diferentes arreglos espaciales y bajo dos densidades de siembra

Específicamente este estudio buscó comprender los siguientes aspectos :

- El comportamiento de los componentes morfológicos y fisiológicos de crecimiento de los agroecosistemas asociados y monocultivos, en diferentes arreglos de hileras y dos densidades de siembra

- El comportamiento biológico y agronómico de caupí y camote en asociación y monocultivo, al utilizar diferentes prácticas de manejo (arreglos de hileras y densidades de siembra)

- La absorción de nutrimentos por caupí y camote en asociación y en monocultivo en los sistemas de cultivos utilizados en el estudio.

Las hipótesis planteadas que orientaron el trabajo fueron:

- El comportamiento de los componentes morfológicos y fisiológicos del crecimiento, son afectados cuando se modifica el patrón de siembra y se varia la densidad de caupí y camote en sistema de cultivo asociado;

- El rendimiento biológico de caupí y camote no es afectado por la densidad de siembra cuando son establecidos en monocultivo y en asociación, bajo diferentes arreglos espaciales;

- La absorción de nutrimentos del suelo por caupí y camote en asociación y en monocultivo, es independiente de las densidades utilizadas y de la disposición de las plantas en el campo;

- Existe un arreglo espacial y una densidad siembra que crean condiciones favorables para que la asociación caupí y camote sea más eficiente en cuanto al aprovechamiento de la radiación solar

2. Revisión de Literatura

2.1 Sistemas de cultivos múltiples.

"Cultivo múltiple" es un término genérico para un amplio grupo de técnicas de cultivo; involucra la presencia uno o más de ellos en la misma área de tierra en el transcurso de un año. El cultivo múltiple posee una amplia variedad de formas, siempre fue y todavía es el método de cultivo más comúnmente adoptado y practicado por los pequeños productores de los trópicos y subtrópicos.

El propósito de los cultivos múltiples es intensificar la producción de cosechas en una tercera (tiempo) y una cuarta dimensión (espacio); la primera dimensión: área en producción; la segunda dimensión: rendimiento por unidad de área (Sánchez 1981).

Durante siglos los agricultores de zonas tropicales han aprovechado la ventaja de altas temperaturas y radiación solar durante todo el año, así como la disponibilidad de agua en los regímenes údicos de humedad del suelo. Los cultivos múltiples también se emplean en áreas ústicas y arídicas durante la estación lluviosa o durante todo el año con irrigación (Sánchez, 1981).

La transición a la siembra de monocultivo en un área, de acuerdo con el modelo de los países industrializados, ha sido por mucho tiempo el requisito más importante para intensificar las operaciones de siembra y aumentar la producción en zonas tropicales. La significancia de los cultivos múltiples y su superioridad con relación a los monocultivos (con pocas

excepciones) ha sido reconocida y demostrada por más de una década (Glauner y Keil 1994).

La investigación y el desarrollo del variado ámbito de sistemas de cultivos múltiples basados en métodos tradicionales, está ahora siendo estimulado por instituciones y organizaciones con orientación ecológica y lineamientos más convenientes (Glauner y Keil 1994).

De acuerdo con Beets (1982) los sistemas de cultivos múltiples deberían ser usados por las siguientes razones:

a) Técnicas y fisiológicas: mejor uso de las condiciones ambientales y las circunstancias ecológicas determinadas y b) Socioeconómicas: cantidad de gastos y producción y autosuficiencia uniforme.

Los sistemas de cultivos múltiples se pueden clasificar de acuerdo con el grado de intensificación en el tiempo y el espacio. Varios autores, entre ellos Andrews y Kassam (1976), y Sánchez (1981), propusieron una clasificación de los sistemas de cultivos múltiples, donde presentan los conceptos para describir los diferentes principios y los principales patrones de cultivos múltiples. Hacen una importante distinción entre cultivos asociados (o intercalados), en que dos o más cultivos crecen simultáneamente y cultivos secuenciales en que dos o más cultivos se siembran uno después del otro durante el año. Las principales definiciones de estos autores pueden ser resumidas de la siguiente manera: 1) Cultivos asociados (o intercalados) : siembra de dos o más cultivos simultáneamente en el mismo campo durante el año. la intensificación del cultivo es tanto en dimensiones de tiempo como de espacio. Hay competencia entre cultivos durante parte o todo el período de crecimiento. Los agricultores manejan más de un cultivo a la vez en el mismo tiempo; 2) Cultivos asociados mixtos: siembra de dos o más cultivos simultáneamente sin arreglo de hileras; 3) Cultivos asociados por hileras:

siembra de dos o más cultivos simultáneamente con uno o varios cultivos en hileras; 4) Cultivos asociados en franjas: siembra de dos o más cultivos simultáneamente en diferentes franjas lo suficiente amplias para que permitan el cultivo independiente, pero lo bastante angostas para que permitan que los cultivos interactúen agrónomicamente; 5) Cultivos asociados en relevo: siembra de dos o más cultivos simultáneamente durante parte del ciclo de vida de cada uno. Un segundo cultivo se siembra una vez que el primero ha llegado a su etapa reproductiva de crecimiento, pero antes de que esté listo para cosechas; 6) Cultivos secuenciales: siembra de dos o más cultivos en secuencia en el mismo campo por año. El cultivo subsiguiente se siembra una vez que el anterior se haya cosechado. La intensificación de cultivo es sólo en la dimensión del tiempo. No hay competencia, como en los cultivos asociados. Los agricultores manejan solamente un cultivo a la vez en cada época.

2.2 Cultivos asociados o cultivos intercalados

Cuando existe competencia entre los cultivos durante todo o parte del período de crecimiento, se denomina intercultivo o cultivos asociados (Andrews y Kassam 1976). Dentro de estos sistemas de producción existen métodos de cultivo que se adaptan mejor a ciertas condiciones locales.

Entre la clasificación de los cultivos asociados (Sánchez 1981) se presenta la modalidad denominada cultivo asociado en hilera. Esto se sucede cuando dos o más cultivos se siembran más o menos al mismo tiempo en hileras cercanas una de otra.

Los sistemas de cultivos asociados en hileras son comunes en áreas con labranza y son quizás el concepto central de los cultivos asociados. La

competencia por luz, agua y nutrientes se basa en hileras de especies, excepto cuando en una misma hilera se siembra dos especies (Rodríguez 1988).

La siembra por hileras es más ventajosa cuando se siembra un cultivo de porte alto y uno de porte bajo, y cuando los cultivos tienen diferente duración de crecimiento. La competencia por luz se reduce al mínimo cuando los cultivos tienen diferentes arreglos del follaje, particularmente cuando los cultivos altos tienen hojas erectas y el cultivo bajo ángulo de follaje más abiertos. Estas mezclas interceptan más radiación solar en un tiempo dado y por lo tanto, su potencial fotosintético es mayor que en los monocultivos (Sánchez 1981).

Recientemente los cultivos asociados han recibido atención (Anderws y Kassam 1976). En la década de los años sesenta se empezó a reconocer que para aumentar la producción mundial de alimento, era necesario aumentar la producción de los pequeños agricultores de los trópicos, quienes producen principalmente mediante asociaciones de cultivos (Kass 1978).

Las principales ventajas ofrecidas por los cultivos asociados frente al monocultivo (Sánchez 1981, Valdivia 1989) están referidas a la mayor estabilidad en relación a la variabilidad ambiental, protección del suelo y uso eficiente de la tierra. Las desventajas de los cultivos asociados, están referidas a los problemas en cuanto al uso de variedades mejoradas y prácticas culturales, tales como: control de malezas, fertilización y dificultad para la mecanización.

2.3 Importancia de los cultivos asociados

No hay acuerdo entre los especialistas sobre cuáles fueron los motivos que indujeron al hombre a cambiar los hábitos de recolección, la pesca o la caza, para la producción agrícola ordenada (León 1987). Sin embargo, hay un punto en común entre ellos: los cultivos asociados fueron las primeras formas de

agricultura organizada (Francis, 1986). La agricultura y los cultivos asociados probablemente no empezó únicamente en los trópicos, los sistemas de policultivo fueron y son generalmente más diversos en regiones ecuatoriales (Plucknett y Smith 1982). Los sistemas de cultivos asociados han sido practicados en América Central desde los tiempos de los Mayas, y en América del Sur por los Incas, donde el maíz y el frijol crecían juntos; este esquema persiste actualmente.

En las principales zonas agroclimáticas de América Tropical, definidas por elevaciones (tierras baja >1000m; tierras moderadas 1000-2000m y tierras altas > 2000m), los cultivos asociados específicos y sus patrones son determinados por la temperatura, la altitud y por la cantidad de precipitación, además por los objetivos de los agricultores y sus familias, en cada área de producción.

En estas regiones, los principales socios incluyen maíz, frijol y yuca y entre los cultivos introducidos que han tenido importancia en algunas áreas se destacan: sorgo, caupí, gandul, maní. Algunas especies perennes muchas veces identificadas como de exportación o industrial son también importantes para los pequeños agricultores y se establecen en asociación con café, banano, cacao y caucho. En adición a estos, hay varias especies vegetales y cultivos menores que son producidos como parte de los sistemas asociados y usados como alimento o condimento. En muchas áreas de América Central y en tierras altas de la Zona Andina, el sistema de cultivo con frecuencia está dominado por el maíz, en tierras bajas de Colombia, Venezuela y Brasil por la yuca, y sorgo y caupí en el noroeste de Brasil. Estos sistemas de cultivo pueden proporcionar un medio de alimento e ingreso para el pequeño agricultor (Francis 1986).

En América Latina, se estima que aproximadamente el 40% de la yuca se siembra intercalada. La asociación de yuca con frijol (*Phaseolus vulgaris*) o caupí (*Vigna unguiculata*) es muy frecuente y se practica en todo el hemisferio, pero

tiene especial importancia en Centro América, Brasil, Colombia (Días y Pinstруп-Andersen, citado por Lienher 1980).

En África, los sistemas de cultivos asociados son uno de los mayores componentes de la agricultura. Los sistemas de cultivo específicos varían ampliamente entre los países y entre diversas regiones climáticas dentro de cada país. Por ejemplo, en Nigeria que tiene zonas de foresta en el sur y el oeste, es caracterizada por ñame, yuca, maíz, tiquisques, banano y plátano. Pueden existir hasta doce o más cultivos creciendo juntos en montañas y en las áreas bajas. En la parte central de Nigeria hay una transición entre cultivo de raíces del sur y las tierras secas con cereales en el norte, donde los cultivos asociados son ampliamente practicados (Francis 1986).

Un gran énfasis ha tomado las investigaciones con cultivos asociados en Africa durante los últimos 15 años. El simposio de Morogoro (Monyo *et al.* 1976) y el del ICRISAT (1981) trazaron algunas líneas generales de los esfuerzos para mejorar estos sistemas de cultivos de los agricultores africanos.

En Asia, la magnitud de los cultivos asociados varía ampliamente de un país a otro, con índices de producción (rendimiento relativo) alcanzando aproximadamente 108% en Pakistán; más del 184% en Taiwán. Sin embargo, con el rápido aumento poblacional y la disminución cada vez más, de áreas de tierras nuevas disponibles, que puedan ser cultivadas en los trópicos húmedos de Asia, los cultivos asociados han adquirido más importancia en los últimos años en esta parte del mundo. Según Gómez y Gómez (1983), las razones para esto son que las tierras planas más productivas y fértiles ya están cultivadas y la expansión para nuevas áreas tendría que utilizar tierras montañosas propensas a erosión. Para estas áreas, el cultivo asociado es una excelente estrategia para reducir la erosión del suelo y proporcionar rápidamente una cobertura vegetal. Por ejemplo, la pérdida de suelo en áreas del 15% de inclinación, fueron reducidas al 37 y

38%, respectivamente, por cultivos asociados. También, cero labranza y mulching, dos prácticas de manejo utilizadas en cultivos asociados, han sido efectivas en la reducción de la erosión del suelo en muchas regiones del Asia (Gómez y Gómez 1983).

Los cultivos múltiples y entre estos los cultivos asociados constituyen técnicas muy antiguas de agricultura que han persistido en muchas áreas del mundo; prevaleciendo en aquellas de altas precipitaciones en los trópicos, donde la temperatura y la humedad son favorables para la producción durante todo el año (Sánchez 1984). En los últimos años, el uso de cultivos asociados se han intensificado en varias regiones del mundo, debido principalmente a la demanda acentuada de alimentos, a la elevación de los precios de los productos alimenticios básicos y a la necesidad de producir más alimentos a costos más bajos.

Con el fin de minimizar los riesgos inherentes al monocultivo, los agricultores con recursos limitados hacen, tradicionalmente, el asocio de cultivos en sus tierras. Así aseguran una subsistencia estable en términos de alimentos y renta; usando la mano de obra familiar y el capital limitado procuran maximizar el retorno de este sistema de cultivo, generalmente con bajos niveles tecnológicos. Por tanto, la siembra de dos o más especies en una misma área está, muy relacionada con factores económicos y sociales (Alves y Coelho 1984).

Los monocultivos, por ser sistemas ecológicos simplificados y de pequeña variabilidad genética, presentan mayor inestabilidad, favoreciendo el establecimiento, la multiplicación y la propagación de plagas, enfermedades y malezas. Debido al mayor equilibrio ambiental, las asociaciones de cultivos en general involucran un manejo integrado por procesos naturales, implicando una menor exigencia de plaguicidas y un bajo consumo energético. Además, estando el suelo cubierto por el cultivo asociado evita o reduce los efectos de la erosión

de los suelos. Los Los cultivos asociados intensifican la producción de cosecha en el tiempo y en el espacio. El manejo de estos sistemas de producción implica la toma de decisiones muy complejas y refinadas, en condiciones de carencia de tierra, capital y informaciones científicas (Morgan 1978). Mediante estos sistemas de cultivo es que los pequeños agricultores son capaces de sobrevivir a las condiciones impredecibles de sus ambientes naturales (Harwood 1979).

2.4 Radiación y la eficiencia fotosintética en los sistemas de cultivo

La experiencia mundial muestra que las posibilidades de incremento de productividad por la mejor utilización del agua, nutrimentos, energía solar y otros factores, están relacionadas con la optimización de la estructura foliar y con el perfeccionamiento del aparato fotosintético en base genética y fisiológica (Bernades 1987).

Un análisis de los avances de la agricultura muestra que una vez establecido un alto nivel de tecnología de manejo agrícola, la productividad de los principales cultivos presenta una tendencia a la estabilización. Investigaciones fisiológicas y genéticas de la productividad de las plantas muestra que la productividad potencial aún no ha sido alcanzada enteramente. El primer factor citado como limitante de la productividad fue la fotosíntesis, cuya eficiencia es considerada extremadamente baja.

Debido a la función insustituible de la fotosíntesis en la economía biológica de la tierra, es obvia la importancia de la magnitud de este proceso y de su eficiencia en la conversión de la energía solar en energía química (Meyer *et al.* 1973).

Se admite que apenas cerca de 0.1 a 0.3% de la cantidad total de la radiación solar que incide en la superficie terrestre (calculada en cerca de 5

$\times 10^{20}$ Kcal por año), es convertida por la fotosíntesis en energía química de los compuestos orgánicos. Una razón para este bajo porcentaje de conversión es el hecho de que cerca de la mitad de la radiación solar posee componentes de onda correspondientes a la región infrarroja del espectro y ninguno de estos se utiliza en la fotosíntesis (Meyer *et al.* 1973).

La eficiencia de la fotosíntesis no es, intrínsecamente, tan baja como se ha referido anteriormente. Ya se obtuvo en condiciones de laboratorio eficiencia del orden de 20% con cultivos de *Chlorella* y eficiencia de 7 a 10% en cultivos industriales de algas, y se han medido eficiencias de cerca de 15% en hojas de algunas plantas terrestre, bajo condiciones de laboratorio. Según Meyer *et al.* (1973) las razones de la baja eficiencia de la fotosíntesis, cuando considerada globalmente, son más ó menos obvias, especialmente para plantas las terrestres.

En la práctica, los valores determinados son considerados aún más bajos, ya que, en los mejores casos, las determinaciones realizadas alcanzan el 2% y frecuentemente este valor, especialmente en las zonas tropicales, es aún hasta diez veces menor (Moreira 1986).

Moreira (1986), considera que las principales razones por las cuales los cultivos utilizan sólo una pequeña fracción de la energía disponible son las siguientes: a) En las primeras fases de crecimiento de los cultivos anuales que parten de una semilla, sólo una pequeña fracción del campo de cultivo está cubierto por la masa de tejido clorofiliano capaz de fijar la energía luminosa; b) La disponibilidad de CO_2 impone algunas veces limitaciones en el aprovechamiento de la energía luminosa; c) El déficit hídrico provoca limitaciones en el uso de la luz, ya que al cerrarse los estomas se interrumpe la difusión de CO_2 en el interior de los tejidos foliares; d) la disponibilidad de nutrientes afecta la reducción del CO_2 en la asimilación fotosintética, ya que al

haber carencia del algunos de ellos se interrumpen procesos esenciales en la fotosíntesis.

La producción fotosintética bruta de los vegetales depende de factores externos y internos. Como factores externos pueden ser citados: concentración de CO_2 y de O_2 , disponibilidad de agua y de nutrimentos, temperatura y luz. Los factores internos más importantes son: dimensión, forma y disposición arquitectónica, edad y contenido de pigmentos de las hojas y tipo de ciclo de fijación del CO_2 (Moss 1988). Todos estos factores interactúan, dificultando su análisis individual.

La cantidad de fotosíntesis realizada por una planta es influenciada, en primera instancia, por la luz incidente. La luz, y sus efectos en la fotosíntesis, deben ser analizadas principalmente en términos de intensidad y calidad (Whatley y Whatley 1982).

La tasa fotosintética de la mayoría de las hojas aumenta con la intensidad de la luz hasta cierto límite (Jiménez 1993). La relación entre la intensidad luminosa y la fotosíntesis neta sigue una curva de saturación. Debido a que el CO_2 que se libera por la respiración es mayor que la cantidad que se fija por fotosíntesis, la dependencia frente a la luz en condiciones de luz débil, empieza con un desprendimiento de CO_2 hasta alcanzar un punto denominado de compensación, en donde la cantidad de CO_2 que se libera es igual a la que se fija en la fotosíntesis. Este punto puede variar en diferentes estadios del ciclo de vida de la planta. Las plantas que respiran intensamente requieren más luz para alcanzar el punto de compensación, que aquellas cuya tasa de respiración es lenta (Moreira 1986).

En intensidades de luz muy altas ocurre foto-oxidación, sin consumo de O_2 y liberación de CO_2 , oxidando inclusive moléculas de clorofila (Whatley y Whatley 1982). La reducción en la actividad fotosintética por grande que sea

la intensidad lumínica, puede ser intensificada por otros factores de estrés, sin embargo, está íntimamente relacionada con la susceptibilidad de la propia planta (Powles 1984), los procesos enzimáticos y el suministro de CO_2 , no solamente de la luz (Jiménez 1993).

En intensidades más bajas de luz, la tasa real de fotosíntesis se vuelve menor que la tasa de respiración, y la tasa neta de la fotosíntesis se torna negativa

No toda la radiación que reciben las plantas tienen efecto sobre ellas. La radiación fisiológicamente activa (PAI) es aquella que tiene componentes de ondas que inducen la respuestas fisiológica en las plantas. La radiación fotosintéticamente activa (PAR) se refiere a la energía radiante disponible para la fotosíntesis, generalmente definida por los límites de 400 a 700 nm. De este modo, en adición a la función primaria de la radiación de proveer energía para la fotosíntesis, otros aspectos de la distribución la radiación pueden influir en el desarrollo de los cultivos (Bernades 1987)

Para que la energía luminosa pueda ser usada en el proceso de fotosíntesis, esta debe llegar a sitios específicos, lo que requiere el paso a través de una serie de barreras. Una vez que la cantidad o fracción de luz haya alcanzado los sitios de reacción, la cantidad de esta que se transforme en energía química depende del tipo de mecanismo de asimilación fotosintética, de la estructura del cloroplasto y de otros factores.

No obstante su importancia, este es un fenómeno sobre el que no existe en la actualidad un control eficiente, y con frecuencia el productor debe adaptarse a la cantidad y calidad de radiación natural que incide en su zona.

Muchas de las operaciones que realizan los agricultores están directamente o indirectamente relacionadas al manejo y control de la radiación, aunque en muchos casos ellos pueden no darse cuenta de los alcances de

sus prácticas culturales. Tal es el caso de podas de frutos y hojas, orientación de los surcos, curvas de nivel, la conducción de cultivos hortícola sobre espaldares, densidad y distribución de las plantas, lo cual conlleva a una mejor utilización de la radiación.

El uso de altas densidades de cultivos, para hacer la utilización más eficiente de la radiación, especialmente en los periodos iniciales de crecimiento del cultivo, permite los más altos rendimientos por unidad de superficie. Sin embargo, a altas densidades, el comportamiento individual de las plantas desmejora, tanto en cantidad como en calidad, debido a la competencia por radiación, agua y nutrientes; además de mayor desarrollo de algunas plagas. La densidad óptima para cada cultivo, se establece tomando en consideración el rendimiento económico obtenido en base al balance de la mayor cantidad de luz por unidad de superficie y de la menor calidad que se da a medida que se incrementa la densidad (Bakula 1975).

Otros procesos de manipulación de cultivos como la asociación y la el intercalado, modificación de la arquitectura de la copa por reguladores de crecimiento, podas periódicas, pueden también favorecer la utilización más eficiente de la radiación solar disponible

2.5 Característica de crecimiento en los sistemas de cultivos y Análisis de Crecimiento.

Uno de los fenómenos naturales más evidentes es el que respecta al aumento de tamaño, más o menos continuo, y el desarrollo de nuevos órganos que las plantas realizan a lo largo de su vida (Meyer 1977). El término crecimiento se emplea para designar este conjunto de procesos

Normalmente se relaciona el término crecimiento con un aumento irreversible en tamaño o materia seca; sin embargo, el término 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, polisacáridos, a expensas de la energía metabólica (Noggle y Fritz 1983).

El crecimiento de la mayoría de las plantas sigue un patrón similar, generalmente sigmoideo. Este se inicia con un crecimiento relativamente bajo, que posteriormente se incrementa conforme las plantas crecen (fase exponencial), y culmina con una disminución en los incrementos, denominada fase de senescencia (Fargas, 1986)

El crecimiento de una planta muestra relaciones cuantitativas que permiten comprender su capacidad de producción de materia orgánica. La medida a intervalos consecutivos de la distribución de recursos por las plantas (energía, materia orgánica, minerales), permite distinguir varios comportamientos que reflejan la adecuación de su funcionamiento a condiciones ambientales específicas (Medina 1977).

La principal función de las hojas es interceptar y captar la radiación solar incidente y transitoria para convertirla en energía estable y químicamente almacenable a través del proceso de fotosíntesis. En general, la tasa de crecimiento de las plantas depende de la eficiencia con la cual las hojas son

capaces de utilizar la energía solar en la síntesis del nuevo material para la planta (Rojas 1979).

Los datos básicos para analizar el crecimiento de las plantas corresponden a una serie de mediciones secuenciales del tamaño, área foliar y pesos de la plantas (entera o de sus órganos), tomadas a intervalos regulares durante el ciclo de vida o al momento de la cosecha (Fargas 1986).

El análisis del crecimiento de las plantas describe y califica el desarrollo vegetativo y reproductivo durante un período determinado o el ciclo de vida. Permite detectar el efecto de los factores ambientales y su efecto en el crecimiento. Una de la técnicas empleadas es el ajuste de curvas, las que permiten describir y efectuar comparaciones entre modalidades de procesos biológicos. En esta metodología no solamente es importante obtener una expresión matemática adecuada, sino también que tenga sentido biológico (Arze *et al.* 1985).

Para interpretar la cinética del crecimiento, Hunt (1982) sugiere utilizar índices y fórmulas que, aunque son diseñados para plantas, pueden extenderse a sus partes. Entre los componentes morfológicos del crecimiento comúnmente utilizados se destacan: índice de área foliar (**IAF**), razón de peso foliar (**RPF**), razón de área foliar (**RAF**), área foliar específica, que derivan el estado de distinción de la biomasa en la planta a través del tiempo en relación con el área foliar. Los componentes fisiológicos del crecimiento pueden ser estimados mediante el índice de crecimiento relativo (**ICR**), índice de crecimiento relativo del área foliar (**ICRF**), tasa de asimilación neta (**TAN**) (Arze 1977).

El análisis de crecimiento, ha sido estudiado muy en detalle por la escuela británica (Beadle 1985) con algunas pocas modificaciones; ha permanecido invariable y se considera como el método patrón para la

estimación de la producción fotosintética neta de plantas y comunidades vegetales en muchas partes del mundo.

Aunque el método de análisis de crecimiento parezca ciertamente completo; desde hace algún tiempo, nuevos estudios han sido introducidos. Se han desarrollado técnicas matemáticas y elaborado métodos indirectos para estimar el valor primario del cual el análisis de crecimiento es basado.

Los análisis tradicionales de crecimiento son basados en observaciones donde, plantas individuales son expuestas a un ambiente más o menos constante, su tasa de crecimiento es aproximadamente proporcional a su peso y a su área foliar. Las observaciones finalizan cuando una fracción significativa de hojas viejas son sombreadas por hojas nuevas.

La forma clásica del análisis de crecimiento ha sido compartida, pero no desplazada, por otro método llamado análisis de crecimiento funcional (Hunt, 1979). Esto ha surgido parcialmente de la disponibilidad de computadoras para trabajar bases de datos, y también de las limitaciones del análisis clásico. Este método funcional o dinámico, se basa en cosechas más pequeñas (1-3 días), cuando la agrupación o el apareo de plantas puede ser evitado (Beadle, 1985).

Los datos son entonces usados para describir precisa y adecuadamente las relaciones entre área foliar (**A**), biomasa (**W**) y tiempo (**t**), las cuales son relacionadas con funciones apropiadas. Estas funciones generalmente tienen forma polinomial. La mayor ventaja de este método es que la información para el periodo completo de interés, esta contenida en dos ecuaciones, y que se pueden desarrollar más funciones para calcular los valores instantáneos de **TCR**, **IAN** y **RAF** útiles durante el mismo periodo (Beadle 1985).

El análisis de crecimiento representa el primer paso para el análisis de la producción primaria, siendo una conexión entre el registro de la producción de la planta y su análisis por medio de métodos de fisiología. En este contexto, el

crecimiento es definido como el incremento de peso seco de la planta o cultivo investigado

La ventaja del análisis de crecimiento, es que el valor primario, en el cual se basa es relativamente fácil obtener sin grandes demandas de equipamientos de laboratorios (Moss 1985).

Estos valores primarios son usualmente el peso seco de toda la planta y/o de sus partes (hojas, tallos, raíces, etc.), y la dimensión del aparato asimilatorio. Los valores primarios son cantidades en material de planta fijados en un intervalo de tiempo; desde entonces, son calculados varios índices y características, que describen el crecimiento de las plantas y sus varias partes, relacionándolos con el aparato asimilatorio y la producción de materia seca. Estos índices y características son llamados características de crecimiento y sus cálculos correctos, así como sus interpretaciones son la base de la análisis del crecimiento. El análisis de crecimiento es útil para el análisis de la producción fotosintética neta por de las plantas, donde la producción neta se define como el resultado neto del trabajo asimilatorio ocurrido en la planta o comunidad vegetal durante cierto periodo.

En términos fisiológicos, esto quiere decir que la producción neta es igual a la asimilación neta (asimilación total - respiración - las pérdidas por muerte de partes de la planta o de una cierta proporción de las plantas en un cultivo), sobre un cierto período (Beadle *et al.* 1985). El concepto de análisis de crecimiento fija el día de 24 horas como el menor lapso que puede ser considerado en las determinaciones (Magalhes 1979).

2.6 Criterios usados en la evaluación de la eficiencia de los cultivos asociados.

Durante el crecimiento y desarrollo las plantas pueden interceptar y absorber diversos factores (energías solar, agua, nutrientes, CO₂) y usarlos en la producción de biomasa (Magalhaes 1986); algunas partes de esta biomasa es producción cosechada.

Considerando las diferencias entre tipo de cultivo, la distribución variable de los factores de crecimiento en el espacio y tiempo, se sugiere la hipótesis que en muchos ambientes agrícolas estos factores pueden ser más completamente absorbidos y convertidos en biomasa por una asociación de cultivos, que por un monocultivo (Trenbath 1986). El éxito de muchos sistemas de cultivos asociados tradicionales parece estar basado en este principio.

La medida más frecuentemente utilizada para juzgar la eficiencia de un intercultivo es el Uso Equivalente de la tierra (UET). Este índice cuantifica el número de hectárea necesarios para que las producciones de los monocultivos sean iguales a la de una hectárea de los mismos cultivos en asociación. Es calculado del siguiente modo:

$$\text{UET} = \frac{P_{a1}}{P_{m1}} + \frac{P_{a2}}{P_{m2}} = I_1 + I_2$$

en que P_{a1} y P_{a2} son los rendimientos de las asociaciones involucradas en el asocio; P_{m1} y P_{m2} sus rendimientos en monocultivos; I_1 y I_2 los índices individuales de estas especies. La asociación será eficiente cuando el UET es superior a 1 y perjudicial cuando inferior a 1 (Viera 1981).

Recientemente, conocimientos más detallados de tipos de cultivos y sus relaciones con el medio ambiente, han permitido experimentar nuevos diseños de sistemas de cultivos asociados, con bases más racionales.

El concepto de Uso Eficiente de Recursos (UER), descrito por Trenbath (1986), han permitido obtener informaciones del modo como los recursos son utilizados cuando se mezclan dos o más especies.

Aunque la eficiencia con la cual un cultivo utiliza algún recurso individual depende grandemente del nivel de suministro de otros, la utilización eficiente de un único factor puede, bajo datos apropiados, ser calculado como el producto de otras dos medidas de eficiencia: la eficiencia de captura por los cultivos y la eficiencia de conversión en producción (Trenbath 1986).

En muchos casos, cada una de estas dos medidas es el producto de la interceptación y la absorción. La eficiencia de conversión es el producto de la conversión de los recursos en biomasa de la planta total y el índice de cosecha.

Estas relaciones pueden ser simbolizadas de la siguiente manera:

$$\text{UER} = \text{captura eficiente} \times \text{conversión eficiente}$$

$$\text{Captura eficiente} = \frac{R_i}{R_o} \quad \times \quad \frac{R_A}{R_i}$$

$$\text{Conversión eficiente} = \frac{B}{R_a} \quad \times \quad H$$

donde, R_o , R_i y R_a son mediciones por unidad de tierra de la cantidad de recursos potencialmente evaluable, interceptado y absorbido en el período de crecimiento del cultivo, respectivamente; B es la biomasa total de la planta y H es el índice de cosecha, o una proporción de la biomasa presente en la cosecha que suministra producción económica.

En una situación, en que el recurso es escaso, limitando el crecimiento y producción, es la utilización eficiente de estos recursos que pueden ser más provechosamente analizados

La interpretación de la ventaja del cultivo asociado raras veces viene más allá de una noción que sea debido de algún modo de un mayor uso eficiente de los recursos.

Recientemente se están realizando estudios que miden la absorción de recursos individuales. Estos estudios reconocen las ventajas y desventajas de un cultivo asociado ser probado por diferencia entre cultivo asociado y monocultivo en total eficiencia de captura y/o eficiencia en conversión de recursos específicos.

Un otro concepto propuesto por Trenbath (1986), es el uso eficiente de la luz (UEL). El UEL, puede ser definido en términos del concepto introducido de UER a través de:

$$UEL = \frac{li}{lo} \frac{la}{li} \frac{B}{la} \times H$$

donde, lo, li y la son respectivamente, la cantidad de radiación fotosintéticamente activa incidente, interceptada y absorbida por el área del cultivo por unidad de tiempo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3. 1. *Ubicación*

El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental “La Montaña” del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, en Turrialba, Costa Rica

El CATIE está localizado a 9° 53' de Latitud Norte y 82° 38' de Longitud Oeste; a una elevación de 602 msnm. Según la clasificación de Holdridge (1982), el lugar pertenece a la zona de vida denominada Bosque Muy Húmedo Premontano.

3. 2. *Clima*

La precipitación media anual es de 2636 mm, con un promedio de 246 días de lluvia. La evaporación anual media con tanque A es de 1194 mm.

La humedad relativa es de 87% con una variación mensual de $\pm 3\%$ y la temperatura media anual es de 21.7° C, con una máxima y mínima media anual de 26.9° C y 17.8° C, respectivamente. La radiación solar media es de 18 MJ/m².día y el brillo solar medio es de 4,6 horas por día.

3. 3. *Suelo*

El suelo es de origen aluvial fluvio-lacustre, con drenaje natural pobre y imperfecto. La densidad aparente es baja, textura arcillosa, con fertilidad de media a baja y con un pH fuertemente ácido (4.9). Corresponde a la serie Instituto, fase normal suborden Tropept, Gran grupo Humitropept, subgrupo Tipic Humitropept (Aguirre 1971).

El suelo del sitio experimental posee una textura arcillosa y se encontraba antes del experimento cultivado con yuca. Las características químicas del suelo del sitio, se muestran en el Cuadro 1

Cuadro 1. Características del suelo del sitio experimental. CATIE, 1995.

pH H ₂ O	P* mg/ml	meq/100 ml de suelo				CU mg/l	Zn mg/l	Mn mg/l	M.O. %	N %
		Ca	Mg	K	Acid. Extr.					
5	6.3	1.03	0.31	0.25	0.9	4.2	1.3	8.5	10.2	0.44

*Método de Olsen.

3. 4. *Material experimental*

Caupí

El cultivar TVU-401 es de hábito de crecimiento indeterminado, con ramificación abierta, que se caracteriza por un desarrollo de la yema terminal en una guía. La plantas son del tipo indeterminada arbustiva, o sea, las guías no tienen tendencia a ser rastreras. Por ser de hábito indeterminado no sufre influencia del ambiente (Araujo 1988). La planta está constituida de una hasto principal, de la cual parten ramos laterales de los cuales emergen la hojas. Las vainas son de forma generalmente oblonga y recurvada, presentan en promedio entre veinte y treinta semillas/ vaina. El ciclo de cultivo varía entre 95 a 100 y la productividad para las condiciones de Turrialba - Costa Rica está alrededor de 500 a 800 kg/ha, en los sistema tradicional de los pequeños productores de la zona.

Camote

La cultivar C - 97 es de tipo húmedo, con pulpa anaranjada (alto contenido en provitamina A) y piel rosa - purpúrea. Los tubérculos poseen forma alargada a redondeada o irregular. Tiene guías largas, de color verde y con abundante

pubescencia. Las hojas tienen lámina redondeada con ápice agudo corto y borde liso o con algunos dientes.

Ambos materiales experimentales pertenecen al Banco de Germoplasma de CATIE y son considerados materiales promisorios para la zona de Turrialba - Costa Rica.

3.5. Tratamientos

Los tratamientos consistieron de tres arreglos espaciales con caupí y camote sistema de cultivos asociados) y sembrados en dos densidades (40.000 plantas/ha y 66.700 plantas /ha). Además se usaron como testigos los monocultivos de caupí y camote. Los arreglos espaciales y las densidades formaron los 10 tratamientos evaluados (Cuadro 2).

3. 6. Diseño experimental y descripción de las unidades experimentales

Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones, en arreglo factorial 5X2. La unidad experimental fue de 40 m² (8.0X5.0 m), el área por repetición fue de .695 m² dando un área total del experimento de 2079 m² . Se usaron 18 m² (3 X6 m) de área útil para medir rendimientos en los cultivos, tanto en asocio como en monocultivo.

3. 7. Preparación del terreno y siembra

Dos semanas antes de la siembra, el terreno fue preparado mediante un pase de arado y uno de rastra. La siembra del caupí y camote se realizó el 8 de enero de 1995. Para caupí se utilizó espeque ¹ , colocando 4 semillas por hoyo.

¹ Espeque: palo agudizado en la punta para abrir hoyos y sembrar.

El porcentaje de germinación del caupí fue de un 75% por lo que tuvo que hacerse una resiembra 10 días después. Se raleó a los 20 días después de la siembra (dds) con el primer muestreo dejando una planta por golpe.

En camote se utilizaron guías de 25 cm de logitud, las cuales mostraron buena adaptación, no hubo resiembras.

3. 8. Fertilización

Para camote, en monocultivo, se usó 120 Kg/ha de nitrógeno (Urea al 45%), 90 Kg/ha de P_2O_5 (Superfosfato triple al 46%) y 60 Kg/ha de K_2O (cloruro de potasio al 60%). A la siembra se aplicó todo el P_2O_5 y el K_2O y 1/3 parte del nitrógeno. Trienta días después de siembra se efectuó una segunda fertilización con nitrógeno.

Para caupí, en monocultivo, se usó 60 kg/ha de nitrógeno (Urea al 45%), 90 kg/ha de P_2O_5 (Superfosfato triple al 46%) y 60 kg/ha de K_2O (cloruro de potasio al 60%). Se realizó la aplicación 10 días después de la siembra, en bandas en semi-círculos alrededor de las plantas

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos resultante de la combinación de los arreglos espaciales de caupí y camote y dos densidades de de siembra. CATIE, 1995.

Tratamiento	Sistema	Densidad*
1	Caupí, camote alternadas en la misma hilera	50X50 cm
2	Caupí , camote en hileras alternadas	50X50 cm
3	Una hilera de caupí, dos de camote	50X50 cm
4	Caupí en monocultivo	50 X50 cm
5	Camote en monocultivo	50X50 cm
6	Caupí , camote alternadas en la misma hilera	30X50 cm
7	Caupí , camote en hileras alternadas	30X50 cm
8	Una hilera de caupí dos de camote	30X50 cm
9	Caupí en monocultivo	30X50 cm
10	Camote en monocultivo	30X50 cm

*50X50 cm (40000 plantas/ha)

* 30X50 cm (67000 plantas/ha)

Para los sistemas asociados se utilizó la misma fórmula compartida entre caupí y camote, pero el nitrógeno se fraccionó 1/3 y 2/3 a los 39 dds, pero aplicando solamente al camote.

3. 9. Control fitosanitario

Entre las plagas más comunes se presentaron cigarrita (*Empoasca* sp.), vaquita (*Diabrotica* spp.), minador de hojas (*Liriomyza* sp.) y la chinche verde hedionda (*Nezara viridula*), que atacaron en mayor grado al caupí. Para el control de estos insectos se realizaron aplicaciones de Tamarón (methamidophos) en dosis de 1 L ha⁻¹ de ingrediente activo y Sevin PM (8% carbaryl) en dosis de 1 Kg ha⁻¹ de ingrediente activo.

El caupí fue atacado por los hongos *Pythium* sp y *Fusarium* sp. Se realizaron cuatro aplicaciones de fungicida para el control y prevención de enfermedades como cercospora, antracnosis y mancha bacteriana, usando los fungicidas

Benlate (benomil) y Mancozeb. EL virus del mosaico (CSMV) se presentó en el 30% del experimento a los 40 dds.

El camote no presentó síntomas de ataque de enfermedades durante todo el ciclo del cultivo.

3. 10. Control de malezas

El control de maleza se efectuó de forma manual en todos los sistemas. Se realizaron cuatro chapeas para el monocultivo de caupí y tres en el camote. En los sistemas asociados se efectuaron dos chapeas los 25 y a los 40 dds.

3. 11. Cosecha

El caupí se cosechó en forma escalonada, entre 90 y 100 dds, en un total de tres cosechas. Las vainas fueron cosechadas secas y se calculó su rendimiento en grano al 14% de humedad. El rendimiento fue expresado en kg/ha.

El camote fue cosechado a los 125 dds. Se utilizó el sistema tradicional de cosecha, donde se procedió el arranque de guía y batatas simultáneamente con la ayuda de palas.

Inmediatamente, después la cosecha se realizó la clasificación, separando por un lado el camote comercializable y el "de descarte". Esta último grupo incluye los camotes muy pequeños (menores de 50g) y los muy grandes (mayores de 1 Kg.), los partidos, los podridos y los que presentaban daños de insectos del suelo.

3. 12. Toma de datos

3. 12.1. Características biológicas de los cultivos

3.12.1.1. Caupí

Se registró la fenología de las plantas por tratamiento, y se anotó los estadios vegetativo y reproductivo de acuerdo a lo descrito por IBSNAT (1988). Se asumió que los estadios fenológicos para soja y frijol podrían aplicarse para caupí.

Las observaciones se realizaron diariamente y se anotaron los estadios vegetativos y reproductivos; el momento de expresión de los estadios fenológicos, para cada tratamiento fueron V4, R4, R6, R7 y R8 (Valdivia, 1989).

Por unidad experimental se tomaron 4 plantas, a los 35, 46, 65 y 95 dds para caupí. Se registraron las siguientes características biológicas: a) área foliar; b) peso seco de hojas; c) peso de tallo; d) peso seco de raíz; e) peso seco de vainas; f) biomasa total de la parte aérea

En cada muestreo, las plantas fueron fraccionadas en componentes y se determinó del peso seco, colocando las muestras en estufa a 70°C, hasta peso constante. Además, se contó el número de vainas y granos en los últimos estadios reproductivos.

3. 12. 1. 2 Camote

Se registró la fenología del camote en las diferentes fases, según Scott (1975). Para las observaciones y muestreos de las plantas se utilizó el mismo procedimiento indicado para caupí, pero a los 35, 65, 95 y 125 dds. Las características biológicas, observadas por muestreo y por tratamiento fueron: a) área foliar; b) peso seco de hojas; c) peso de tallo; d) peso seco de tubérculos; e) biomasa aérea total.

3. 12. 2 Área foliar

De una submuestra extraída al azar del material verde de caupí y camote de peso conocido, se separaron las hojas y se midió el área foliar, utilizando el aparato Licor 300, el cual reporta el área foliar en cm^2 .

Posteriormente, las hojas medidas se introdujeron al horno para secado a una temperatura de 70°C durante aproximadamente 72-80 horas, hasta obtener peso constante. La cantidad de gramos de materia seca así obtenida correspondía entonces a "X" centímetros cuadrados de área foliar, obtenidos de la medición en el aparato Licor 300.

Las mediciones se efectuaron a los 35, 46, 65 y 95 DDS para caupí y 35, 65, 95, 125 para camote, respectivamente. Los datos obtenidos se expresaron como Índice de Área foliar (m^2/m^2).

3. 13. Rendimiento

Para caupí se tomó el peso seco de grano con 14% de humedad, para cada parcela útil, el cual se convirtió a rendimiento por hectárea.

En el camote se midió la producción de camote comercializable, y la producción obtenida en cada parcela útil se convirtió a rendimiento por hectárea ($\pm 60\%$ humedad).

3. 14. Análisis de crecimiento de los cultivos

Los datos de la biomasa aérea obtenidos en cada repetición de cada tratamiento fueron graficados con el objetivo de determinar el punto de mayor diferencia, y con éstos se realizó el Análisis de Varianza considerando los rendimientos máximos.

Los incrementos de biomasa aérea para cada tratamiento, se determinaron mediante el análisis de regresión y los valores obtenidos, se analizaron por medio

de una análisis de varianza para un diseño de bloques completos *al azar con arreglo factorial*.

3. 15. Índices de crecimiento y producción

Los datos biológicos tomados en los muestreos fueron analizados mediante índices de crecimiento para los componentes morfológicos, fisiológicos y agronómicos.

3. 15. 1. Componentes morfológicos de crecimiento

a. Índice de área foliar (IAF)

$$IAF = \frac{\text{Área foliar planta}}{\text{Área del suelo por planta}} \quad (\text{m}^2/\text{m}^2)$$

b. Razón de área foliar (RAF)

$$RAF = \frac{\text{Área foliar de la planta}}{\text{Peso seco de la planta}} \quad (\text{cm}^2/\text{g})$$

3. 15. 2. Componentes fisiológicos de crecimiento

a. Índice de crecimiento relativo (ICR)

$$ICR = \frac{\text{Ln } W_{i+1} - \text{Ln } W_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (\text{g /g. día})$$

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.

b. Índice de crecimiento relativo del área foliar

$$\text{ICRAF} = \frac{\ln A_{i+1} - \ln A}{t_{i+1} - t_i} \quad (\text{cm}^2/\text{cm}^2 \cdot \text{día})$$

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)

c. Índice de asimilación neta (IAN)

$$\text{IAN} = \frac{W_{i+1} - W_i}{A_{i+1} - A_i} * \frac{\ln A_{i+1} - \ln A_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (\text{g/ cm}^2 \cdot \text{día})$$

3. 15. 3. Componentes agronómicas

a. Tasa de producción de materia seca (TPMS)

$$\text{TPMS} = \frac{W_{i+1} - W_i}{S (t_{i+1} - t_i)} \quad (\text{g/ m}^2 \cdot \text{día})$$

Donde:

S = Superficie de terreno por planta (m²)

b. Uso equivalente de la tierra

$$UET = \frac{Y_{ij}}{Y_{ji}} + \frac{Y_{ji}}{Y_{ij}}$$

Donde:

Y_{ij} = Rendimiento del caupí asociado

Y_{ji} = Rendimiento del caupí solo

Y_{ij} = Rendimiento del camote asociado

Y_{ji} = Rendimiento del camote solo

3.16. La eficiencia energética

$$IEE = \frac{\text{energía en la biomasa}}{\text{energía solar del ciclo (RFA)}} \times 100$$

La energía contenida en la biomasa fue calculada a partir del calor de combustión de la materia seca. Este contenido energético fue calculado separadamente, para la parte vegetativa y la parte económicamente cosechada, utilizando los valores propuestos por Kuët (1971). En caupí se usó el valor de 3.8 Kcal (15.9 MJ/g) para la parte vegetativa y 4.0 Kcal (16.8 MJ/g) para la parte económicamente aprovechable; para camote 3.4 Kcal (14.2 MJ/g) y 3.8 Kcal (15.9 MJ/g), respectivamente.

La radiación absorbida por el sistema de cultivo fue calculada a partir del balance de radiación de cada tratamiento medido mediante el Ceptómetro Delta - T - Deviles. Se hicieron cuatro determinaciones de balance de radiación, incluyendo el momento de máxima biomasa.

3. 17. Características del suelo

Se llevaron a cabo análisis para determinar la fertilidad del suelo, al inicio y final del experimento. Estos análisis fueron realizadas en el Laboratorio del CATIE, con la finalidad de hacer una caracterización de los mismos y comparar las posibles diferencias, antes y después del experimento.

3. 18. Determinación de la extracción de nutrientes en los sistema

La determinación de la cantidad de elementos minerales (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio) extraídos del suelo por cada especie, en los diferentes tratamientos fue estimada mediante análisis foliar.

3.19. Análisis de varianza

En el análisis estadístico de los datos se utilizó el modelo lineal siguiente

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \pi_j + (\alpha\pi)_{ij} + \varepsilon_{kij}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta

μ = Media general

β_k = Efecto del k - ésimo bloque, $k = 1, 2, 3$

α_i = Efecto del i - ésimo arreglo espacial, $i = 1,2,3,4,5$

π_j = Efecto del j -ésimo densidad, $j = 1, 2$

$(\alpha\pi)_{ij}$ = Efecto del arreglo espacial X densidad

ε_{kij} = Efecto del error aleatorio

3. 20. Comparación de medias

Las comparaciones de las medias de rendimiento de granos y tubérculos, se realizó separadamente para cada especie, dentro de cada sistema de arreglo X densidad de siembra, utilizando la prueba de Duncan.

4. Resultados y Discusion

4.1. Componentes morfológicos del crecimiento

4.1.1. Area foliar

El IAF de caupí y camote durante los ciclos de los sistemas de cultivos, en las asociaciones y monocultivos, en las dos densidades se muestran en las Figuras 1 y 2

Los sistemas de cultivos asociados alcanzaron IAF máximo a los 95 dds, con valores que variaron entre 3 a 4. En monocultivo, el caupí alcanzó un valor máximo a los 65 dds y el camote a los 95 dds. El camote suministro mayor superficie asimilatoria a los sistemas asociados que el caupí, durante todo el ciclo de vida de los cultivos, manteniendo la superficie del suelo de los sistemas de cultivo suficientemente cobertura para que pudiera transformar la energía solar interceptada en materia organica

A pesar de no haber presentado diferencias estadísticamente significativa, se observó que al aumentar la densidad de plantas por unidad de área, hubo un aumento en el valor de los IAF, tanto en los sistemas asociados como en los monocultivos de caupí y camote. Se observa en las figura 1 y 2, que las diferencias de magnitud de las curvas entre la dos densidades se mantienen en los sistemas con distintos arreglos de hileras y entre los monocultivos.

Los valores superiores de IAF en los sistemas de cultivo de poblaciones más densas, se debió probablemente, además de la densidad misma a que el caupí y el camote por ser plantas de mecanismo fotosintético C₃, se adaptan a reducción del flujo de radiación, aumentando el área foliar, para promover una mayor superficie de interceptación y absorción de radiación.

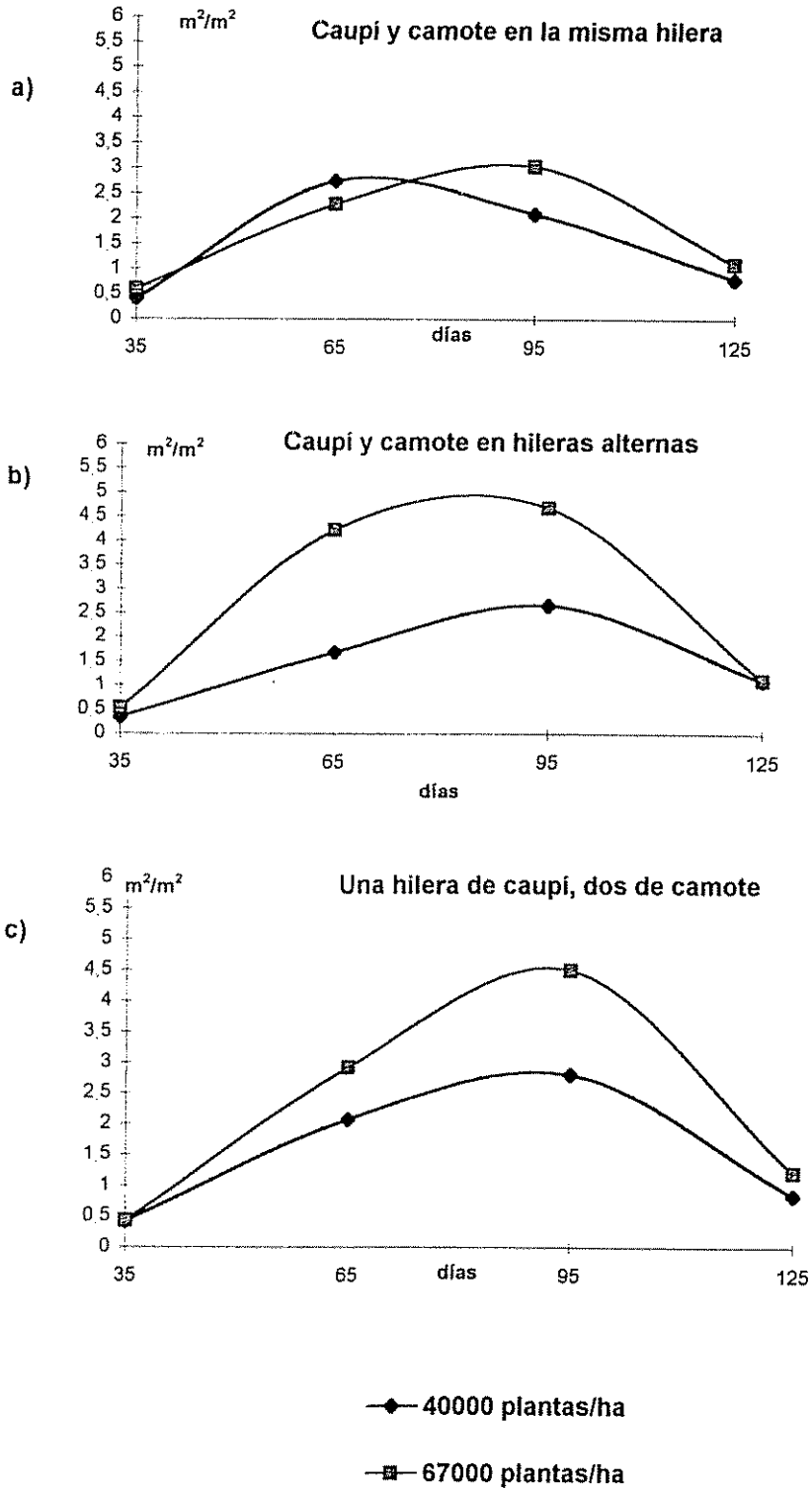


Figura 1 Índice de área foliar de caupí y camote en tres sistemas de cultivos asociados y a dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

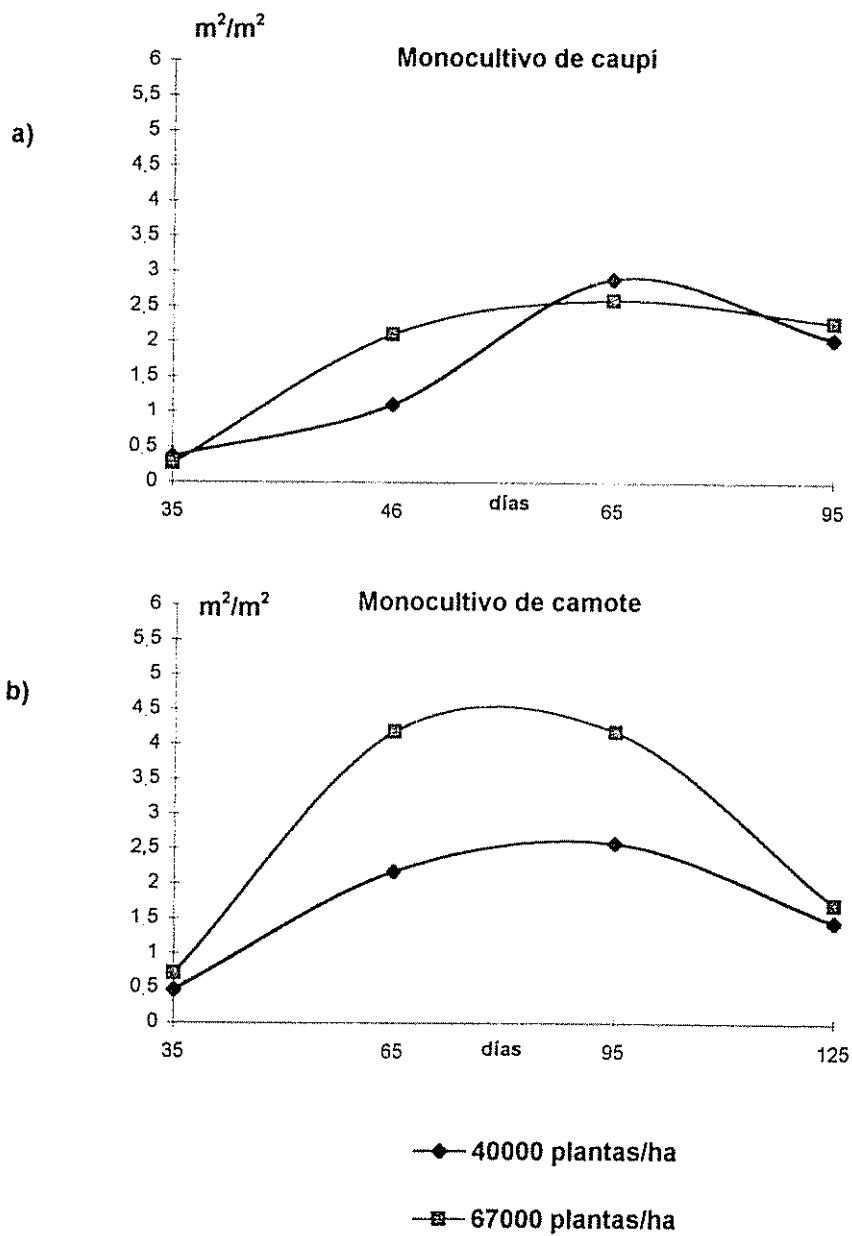


Figura 2. Índice de área foliar de caupí y camote en monocultivo y a dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

Es un hecho reconocido que el aumento de la superficie foliar por metro cuadrado de terreno aumenta la interceptación de la luz, y por tanto la fotosíntesis bruta. Sin embargo, esa relación no continúa indefinidamente, ya que es limitada por el auto-sobreamiento, provocando una disminución en la tasa de fotosíntesis neta por unidad de área foliar.

En la figura 1 a, b y c, se observa que en el sistema asociado de una hilera de caupí y dos de camote a 67000 plantas/ha, en el período de máximo IAF (95 dds) fue superior a las demás asociaciones, presentando valor igual a 4. Este valor fue altamente influenciado por el mayor número de plantas de camote, ya que este sistema asociado fue establecido con 44666 plantas/ha y 22333 plantas/ha de caupí, mientras que en las otras asociaciones el número de plantas de camote fue inferior, un número de plantas de 20000 y 33500 plantas/ha. Se observó que cuando las plantas no fueron forzadas a un autosobreamiento (menor densidad), no hubo un estímulo en el aumento del área foliar.

Se observó que individualmente, los valores de IAF de caupí y camote en sistemas asociados alcanzaron valores en promedio 50% menores que los monocultivos. El hecho que los IAF en los sistemas asociados no exceden los valores de los monocultivos, parece estar relacionada con una estrategia de adaptación de las especies a la asociación. La disminución del área foliar de los cultivos individuales, permitió a los sistemas asociados mantuvieran una cobertura de la superficie del suelo favorable (≤ 4). Probablemente, esto favoreció el balance entre la tasa de fotosíntesis bruta y la respiración. La intensidad de la competencia interespecífica favoreció la adaptación de caupí y camote a los sistemas de cultivos asociados.

El IAF máximo para el caupí (65 dds) en monocultivo, para ambas densidades, no difirieron entre sí, siendo los valores de 2.9 y 2.6. En las densidades de 67000 y 40000 plantas/ha, a los 95 dds, período de maduración

Al inicio del desarrollo de los cultivos, la distribución de los productos fotosintetizados se dirigen principalmente al crecimiento foliar. En este período, en promedio, el 70% del peso seco total de los sistemas correspondió al peso de las hojas.

La disminución de la RAF después de los 35 dds es consecuencia del aumento de peso de hojas, tallos, flores, vainas, semillas y principalmente tubérculos de camote en los sistemas asociados y en los monocultivos.

En general los máximos de RAF para el caupí en monocultivo y sistemas asociados se obtuvieron con la menor densidad y fueron superiores en los sistemas asociados en hileras alternadas, una hilera de caupí con dos de camote y el monocultivo de caupí. Este comportamiento se debió a un menor peso seco de las estructuras aéreas de las plantas (hojas, tallos) con respecto al área foliar en ese período, en comparación a los sistemas establecidos a 67000 plantas/ha. Para el camote en monocultivo la RAF fue mayor en la densidad de 67000 plantas/ha (100 cm^2 de superficie asimilatoria por cada gramo de peso seco de plantas), mientras que a 40000 plantas/ha fue de $80 \text{ cm}^2 / \text{g}$.

El conocimiento de los valores de este índice para períodos sucesivos de tiempo dentro del ciclo de vida de los cultivos, determina en que momento la variación en ICR fue atribuido al aumento en peso seco total de la planta o al crecimiento del área foliar, siendo en esta forma el IAN el principal marcador del proceso de crecimiento.

La relación existente entre RAF, ICR, IAN y rendimiento económico son determinadas por las diferencias entre los valores de ICR y IAN, pudiéndose atribuir en su mayor parte a relación con la RAF, la cual puede ser considerado

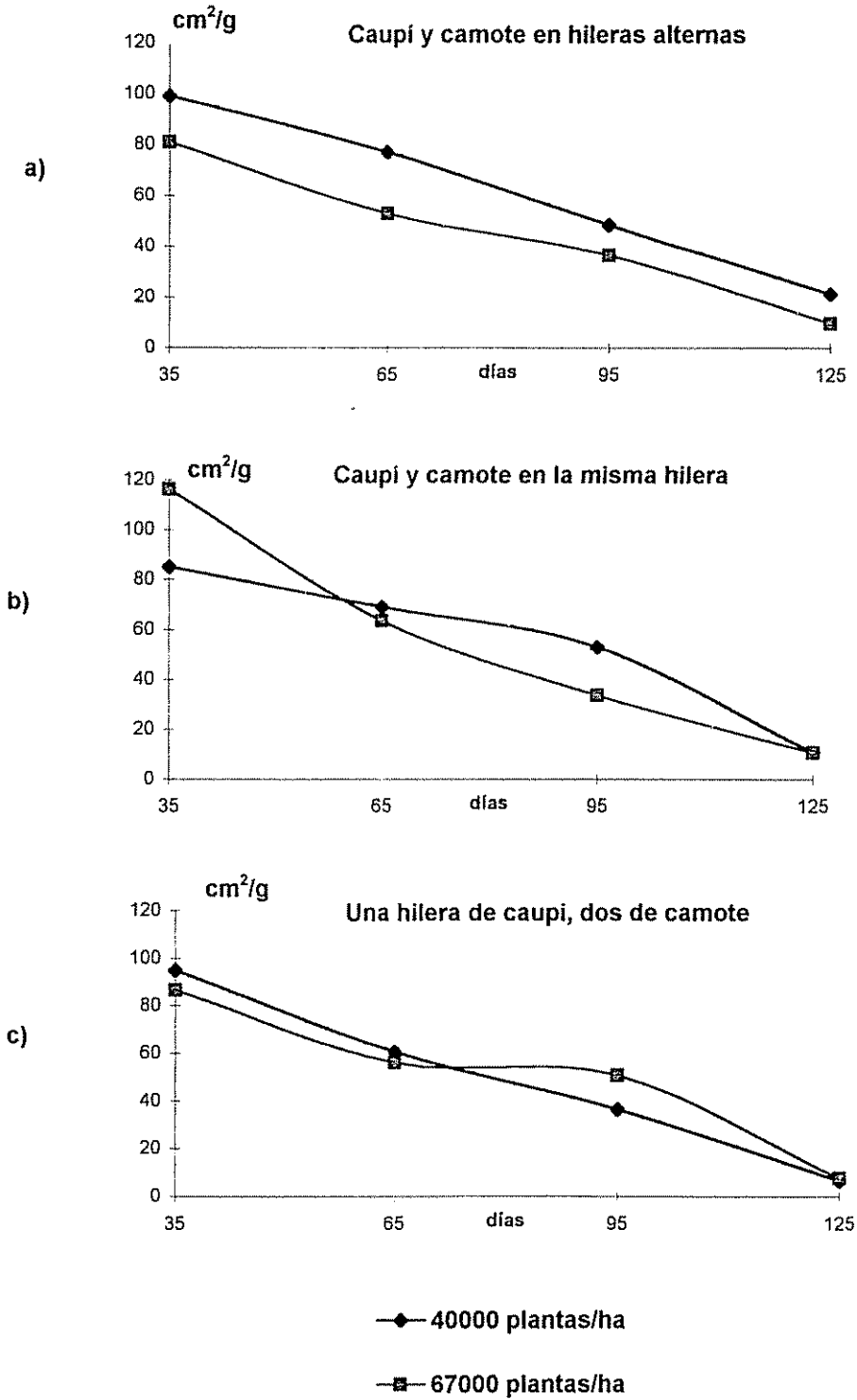


Figura 3. Razón de área foliar (RAF) de caupi y camote en tres sistemas de cultivos asociados, a dos densidades de siembra. CATIE, 1995

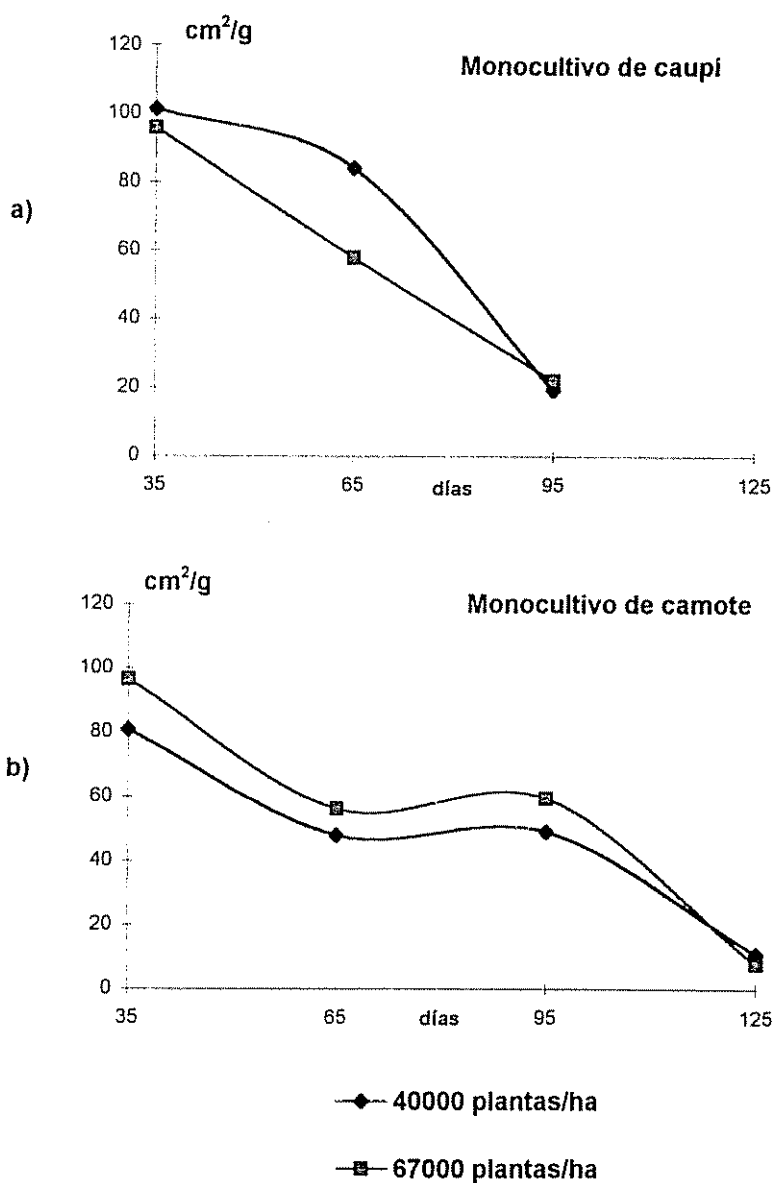


Figura 4. Razón de área foliar (RAF) de caupí y camote en monocultivo y a dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

como el factor principal responsable de las diferencias en los índices de crecimiento.

Según Larcher (1977), el grado de superposición de la superficie foliar es óptimo para la producción cuando la mayor porcentaje de radiación fotosintéticamente activa (RAF) queda absorbida por la follaje. Se observó que los sistemas de mayor densidad (67000 plantas), los cuales presentaron los más altos valores de IAF, mostraron mayor porcentaje de radiación fotosintéticamente activa (RFA) absorbida.

4. 2. Componentes fisiológicos del crecimiento

4. 2. 1. Índice de Asimilación Neta (IAN)

Los datos de la eficiencia de la conversión de energía radiante por cm^2 de área foliar, medida a través del IAN para los sistemas de cultivos asociados y los monocultivos de caupí y camote se muestran en las figuras 5 y 6

En todos los sistemas de cultivo (asociaciones y monocultivos) el IAN fue superior a los 35 dds. Se observó valores máximos en las dos densidades en los sistemas asociados y en monocultivo de camote entre 2 y 2.5×10^{-3} $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{día}$ y en monocultivo de caupí fueron menores de $2 \times 10^{-3} \text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{día}$.

El IAN de los sistemas de cultivos asociados no presentaron valores máximo en el mismo período. Las asociación en que caupí y camote fueron establecidos en las misma hilera y en hileras alternadas, los valores máximos ocurrieron a los 35 dds, mientras que cuando estuvo asociado con una hilera de caupí y dos de camote, el máximo de IAN se observó a los 65 dds.

En el sistema donde los dos cultivos fueron asociados en la misma hilera, los valores de IAN fueron superiores en la menor densidad (40000 plantas/ha),

mientras que en los sistemas de una hilera de cada cultivo alternados y una hilera de caupí y dos de camote, el IAN fue mayor en la densidad de 67000 plantas/ha.

En el monocultivo de caupí, los valores de intensidad de asimilación neta fueron muy similares en ambas densidades de siembra. En el camote, hasta aproximadamente 40 dds el IAN fue superior en la menor densidad, a partir de ese momento, fue mayor en la densidad de 67000 plantas/ha.

El IAN, por ser una medida de la ganancia neta en materia seca en comunidades vegetales en relación con el área foliar, es un indicador de la eficiencia fotosintética promedio; tiene un valor máximo en las primeras semanas de crecimiento cuando hay un menor número de hojas y disminuye a medida que este número aumenta.

Los mayores valores de IAN registrados en las primeras semana de crecimiento de los cultivos, corresponde a la condiciones favorables para las plantas de tener un menor número de hojas que disminuye el autosombreamiento. A los 95 dds el IAN llegó a un mínimo, pero no alcanzó valores negativos (Figuras 5 y 6). EL descenso más acentuado en esta fase del ciclo de los cultivos, ocurrieron en el sistema en que el caupí y camote estuvieron asociados en la misma hilera a densidad de 40000 plantas/ha (figura 9a), en consecuencia de un bajo valor de área foliar presentado por este sistema. Mientras que, en este mismo sistemas asociado, a densidad de 67000 plantas/ha el IAN alcanzó valor mínimo a los 65 dds y aumentó nuevamente a los 95 dds.

Se observó que generalmente, ocurrió un incremento a partir de los 95 hasta el final de los ciclos de cultivos (125 dds). Este incremento es explicado como consecuencia de una íntima relación entre la eficiencia de la superficie asimilatoria y la intensidad de la utilización del flujo de asimilados procedentes de las hojas, lo que es determinado por la presencias de centros de intenso consumo

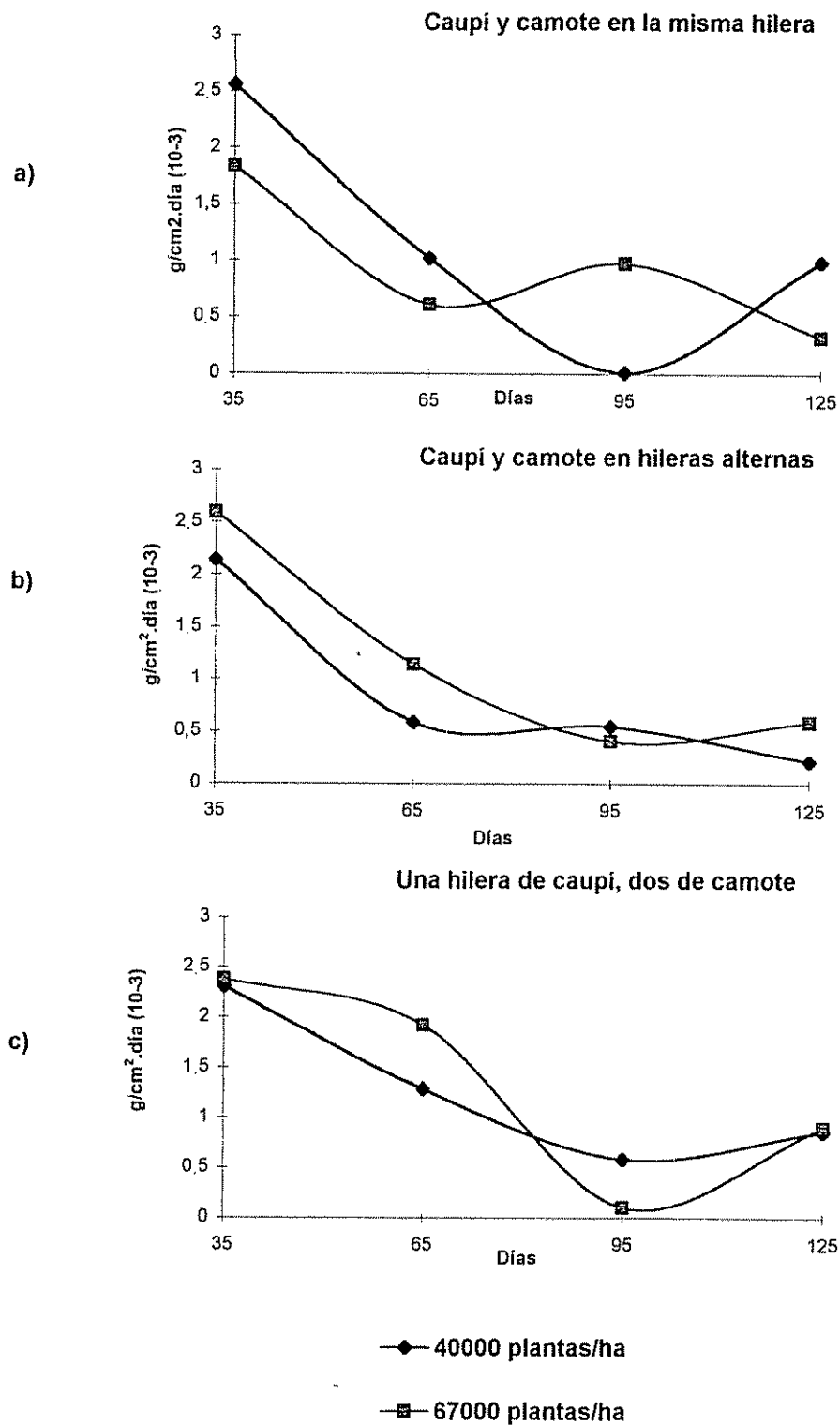


Figura. 5 Índice de Asimilación Neta (IAN) de caupí y camote en cultivos asociados, a dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

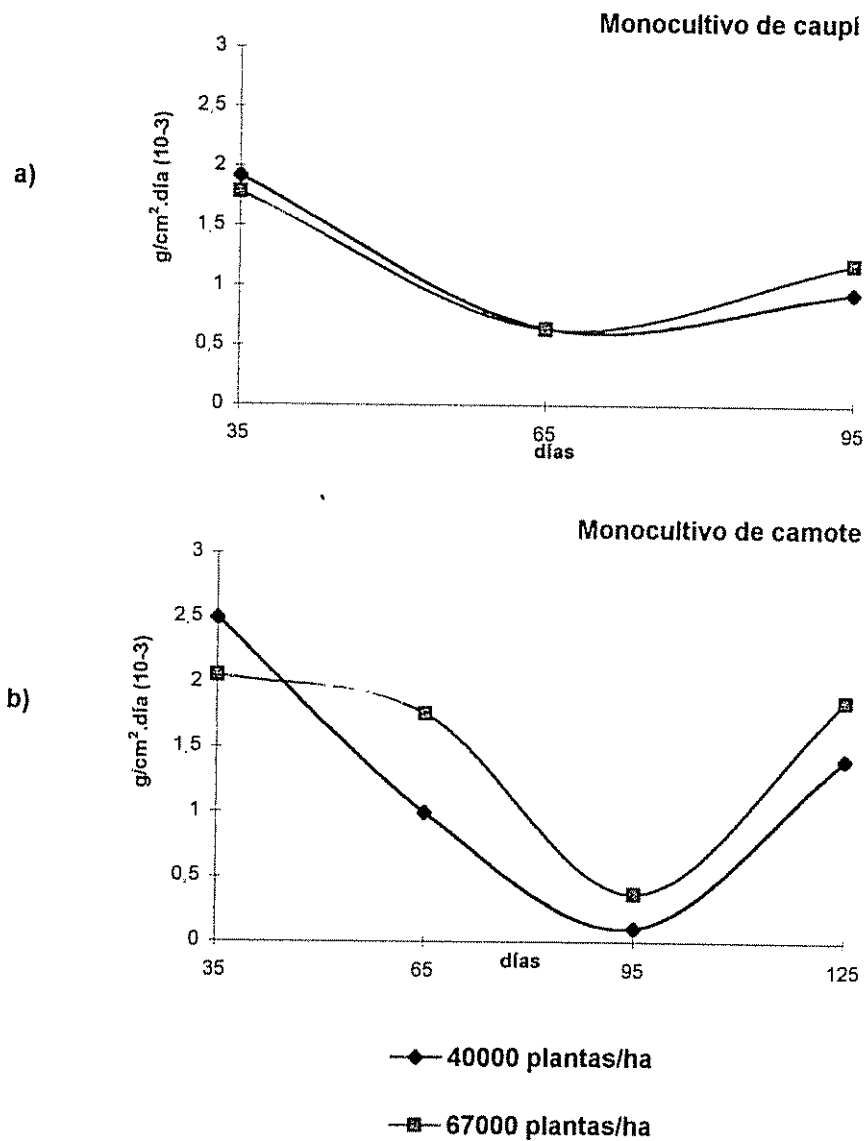


Figura 6. Índice de Asimilación Neta (IAN) de caupí y camote en monocultivo a dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

de sustancias (Arze 1975), como por ejemplo, el crecimiento de tubérculos y granos. El aumento en el IAN de los últimos 30 días de los ciclos de vida de los cultivos se hace perceptible el ICR (Figuras 7 y 8), una vez que los ICRF no fueron negativos.

Algunos autores han manifestado que las diferencias genéticas entre plantas en lo que respecta a el IAN son relativamente pequeñas (Alvim 1970, Ascencio 1975), habiendo por lo tanto, muy poca probabilidad de mejorar la capacidad de producción de los sistemas de cultivo por medio del manejo cultural para alcanzar mayores IAN.

Watson (1978) señala que el IAN varía más con la edad de las plantas que con los factores ambientales. Herth y Gregory (citado por Ascencio 1975) estudiando diferentes especies de plantas en distintas condiciones ambientales, establecieron que existe constancia en el IAN durante la fase vegetativa inicial (0 -35 dds) de los cultivos anuales. Para estos autores el IAN, en esta fase, no es una magnitud muy variable en su naturaleza, ya que la cantidad neta de CO₂ utilizada por unidad de área foliar es una característica intrínseca de la planta y las variaciones en la asimilación depende de la intensidad de la luz y la temperatura, entre otros factores.

En la mejora de la productividad de los sistemas de cultivo a través de práctica de manejo, se puede pensar en la selección de variedades con capacidad genética que alcancen valores de IAN mínimos que garanticen asimilación máximas para cada cultivo. López (1988) considera la importancia de el área foliar como factor que influye en la tasa de crecimiento y minimiza la importancia de la tasa fotosintética. Sin embargo, Stoy (1963) enfatiza que la tasa fotosintética puede ser muy importante en la determinación de los índices de crecimiento.

4. 2. 2. Índice de crecimiento relativo (ICR)

El incremento de peso seco por unidad de peso presente por unidad de tiempo (g/g.día), para caupí y camote, en los sistemas asociados en diferentes arreglos de hileras y en los monocultivos, a dos densidades de siembra se mostrados en las Figuras 7 y 8.

El ICR, como el IAN, varió durante todo el ciclo de vida de los cultivo; generalmente disminuyó a medida que las plantas avanzaron de edad hasta el inicio de la cosecha. Esta disminución se debe posiblemente al auto sombreado de las hojas, como el caso del IAN.

El ICR de un cultivo puede ser expresado como el producto de la razón de área foliar por la tasa de asimilación neta ($RAF \times IAN$) (Lopes 1988, Bertsch 1995). Las diferencias existentes en la respuestas de los distintos arreglos y población de plantas por unidad de área, en el ICR permitió constatar que las prácticas de manejo utilizadas, aumentó en crecimiento debido a un aumento de la cobertura de los cultivos (mayor RAF) o a una estimulación fisiológica del proceso asimilatorio (mayor IAN).

Se observó que, en los sistemas asociados en hileras alternadas y con una hilera de caupí y dos de camote a densidad de 67000 plantas/ha, los valores de ICR fueron superiores que la densidad 40000 plantas/ha, debido a que las RAF (Figuras 3 y 4) y los IAN (figura 5 y 6), en esa mayor densidad fue también superior.

Las asociación de caupí y camote en la misma hilera, durante el período vegetativo (hasta los 65 dds) presentó valores superiores de ICR en la menor densidad de siembra (40000 plantas/ha), sin embargo, a los 95 dds el ICR pasó a ser superior en la mayor densidad de siembra.

Las tendencias y magnitudes de las curvas de ICR fueron diferentes entre las dos densidades para los sistemas en diferentes arreglos de hileras (Figura 7 y 8). Los bajos valores de IAN (Figura 5 y 6), tanto en el caupí como en el camote en los sistemas estudiados, fueron compensadas por los altos valores de RAF (Figura 3 y 4), evidenciando la adaptación de las especies a cierto estrés lumínico.

Cuando se comparó la productividad primaria del conjunto de los sistemas bajo diferentes arreglos de hileras y en las dos densidades, se observó que los sistemas más productivos fueron los que crecieron más rápidamente, esto es, que alcanzaron mayores ICR.

De este modo, se observó que los valores en términos de capacidad de producción en los sistemas de cultivo asociados, en las dos densidades, siguieron el siguiente orden descendente: sistema una hilera de caupí con dos de camote, sistemas caupí y camote en la misma hilera y sistemas caupí y camote en hileras alternadas.

En el monocultivos de caupí, las mayores producciones primarias ocurrieron en el sistemas de 40000 plantas/ha, el cual presentó mayores ICR. En cuanto que en el camote, el mayor ICR fue alcanzado en la densidad 67000 plantas/ha.

La influencia del ICR sobre la capacidad de producción es un reflejo de su efecto sobre la área foliar (Alvim 1970). Esta afirmación fue constatada en los sistemas de cultivos estudiados, dado que las plantas de mayor ICR por lo general fueron también las que desarrollaron mayores y más rápidos IAF (Cuadro 1 y 2). Las tasas de máximas producción de materia seca por unidad de peso inicial (ICR) de caupí y camote, ocurrieron en períodos distintos,

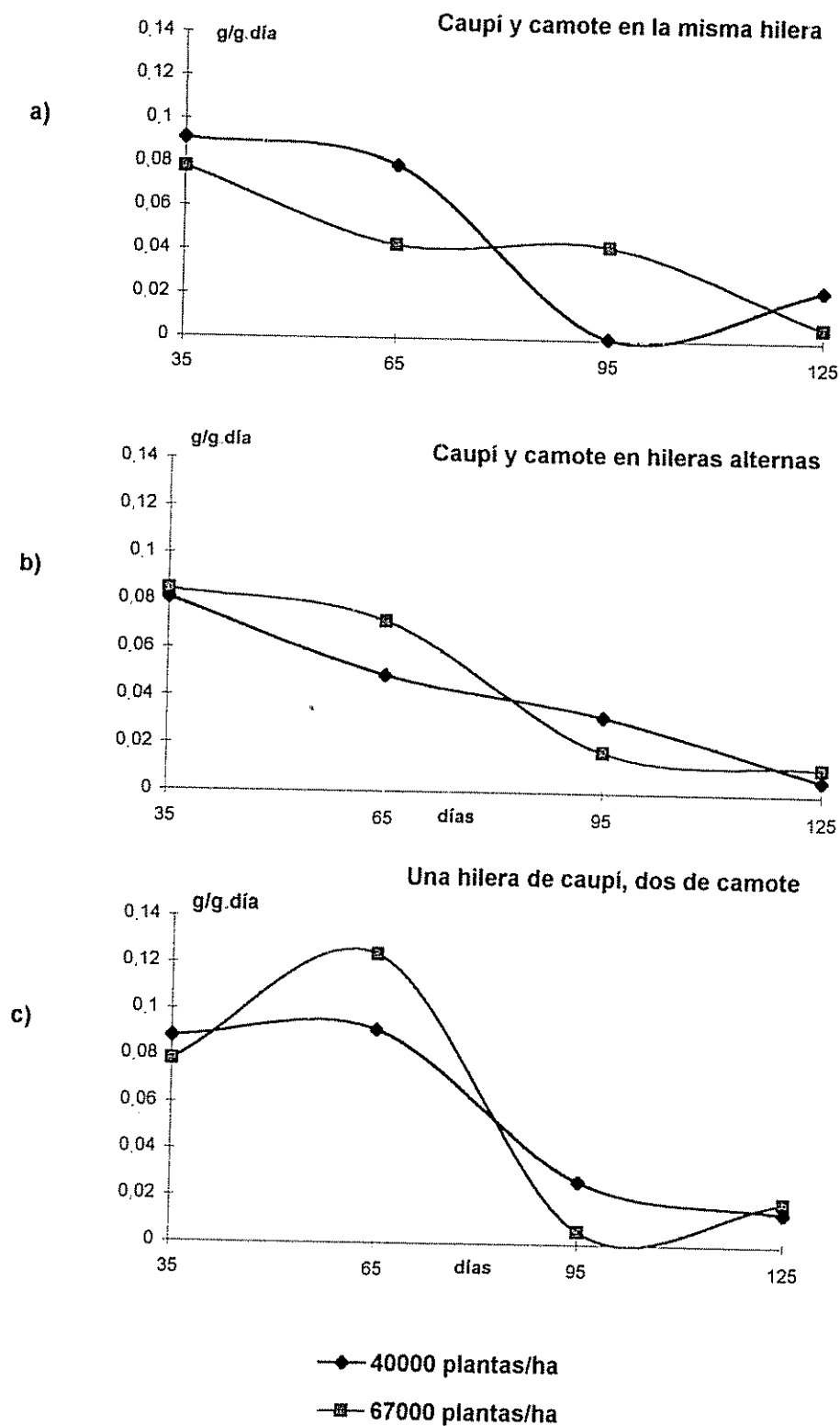


Figura 7. Índice de Crecimiento Relativo (ICR) de caupí y camote en tres sistemas de cultivos asociados a dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

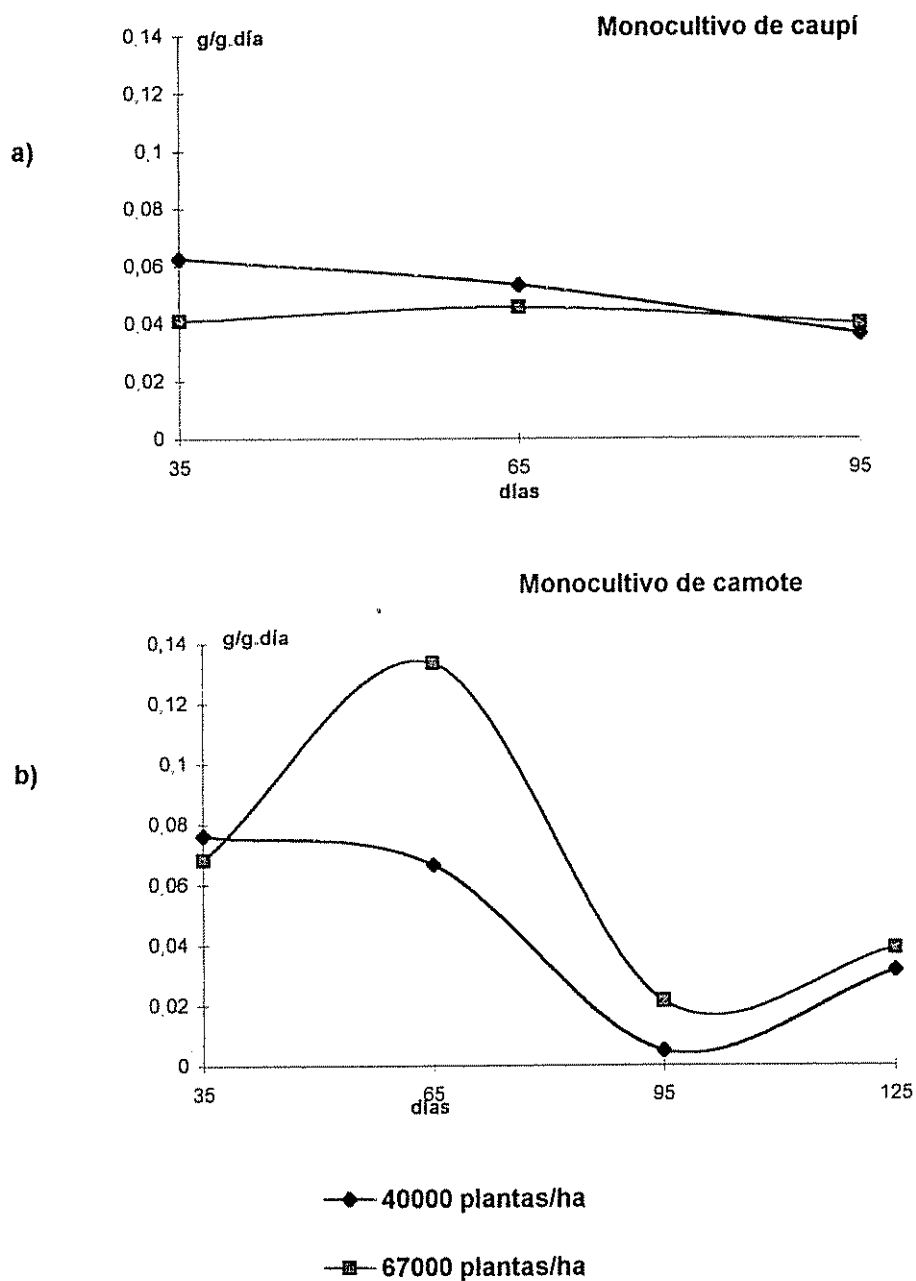


Figura 8. Índice de Crecimiento Relativo (ICR) de caupí y camote en monocultivo y a dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

independiente del sistemas en que fueron establecidos. Los manejos utilizados de arreglos de hileras y los dos niveles de poblaciones, no afectaron las fases en que las plantas de caupí y camote manifestaron sus incrementos en ICR.

Estas diferencias en el metabolismo de las especies, durante el ciclo de cultivo es manifestado, por ejemplo, en el período de formación de hojas, donde se observó que en el caupí, el índice de crecimiento relativo del área foliar (ICRF) máximo ocurrió a los 46 dds, mientras que las plantas de camote formaron sus hojas a los 35 dds. El ICRF se considera como el aumento de la superficie foliar por unidad de área foliar ya existente en una unidad de tiempo (Medina 1977). Este comportamiento puede ser explicado, como una estrategia para que las plantas de cada especies se adapte a las asociaciones y de este modo escapen y/o disminuyan la competencia interespecífica.

Bertsch (1995), señala que un ICR óptimo para un cultivo es aquel que coincide con el momento de máxima eficiencia fotosintética por haber más superficie, o un IAN más alto, y garantizan el máximo aprovechamiento de las potencialidades genéticas del cultivo.

El efecto del ICR tiene mayor importancia durante la fase de desarrollo del área foliar. Se observó que al alcanzar un IAF relativamente elevado, la correlación entre ICR y productividad se reduce o deja de existir (Cuadro.). Según Alvim (1970) la influencia del ICR es relativamente menos importante que la del IAF, en lo que se refiere a la fisiología del rendimiento.

El IAN de los sistemas de cultivos asociados y los monocultivos, coincidieron con los períodos máximos encontrados para los ICR (Figuras 7 y 8).

Los resultados revelan que por general los sistemas asociados en hileras alternadas a 67000 plantas/ha superan a los demás sistemas asociados en capacidad de producción. Sin embargo, las diferencias no debe ser atribuida a diferencia en IAN, pues se ha encontrado prácticamente los mismos valores para

las asociaciones y los monocultivos de caupí y camote. Pero se han encontrado diferencias significativa entre los valores máximos de area foliar y ICR, así como en peso seco total.

4. 3. Tasa de producción de materia seca (TPMS)

El comportamiento de la tasa de producción de materia seca (TPMS) de los sistemas asociados y monocultivos del caupí y camote a dos densidades de siembra se presentan en las Figuras 9 y 10.

Los valores máximos de TPMS entre los sistemas de cultivos asociados, fueron alcanzados en distintos períodos de tiempo a lo largo de los ciclos de los sistemas. En las asociaciones en hileras alternadas y con una hilera de caupí y dos hileras de camote ocurrieron a los 65 dds, mientras que cuando fueron establecidos en la misma hilera, la máxima TPMS fue alcanzada a los 95 dds. En ellos se observó que hubo un descenso o permanecieron bastante constantes a partir de la fase de máxima TPMS, hasta el período de cosecha. Los monocultivos de caupí y camote presentaron una tendencia de aumentos constantes hasta el final del ciclo de cultivo.

Este comportamiento de la variación de la TPMS en el tiempo, estuvo en función del IAF óptimo. Según Alvim (1970), el IAF es óptimo cuando los sistemas alcanzan la TPMS máxima. Se nota en las figuras 1 y 2, que a partir del período de máxima TPMS (Figuras 9 y 10), los aumentos de IAF acarrearán reducción en los valores de este parámetro de crecimiento.

La diferencia de amplitud en las curvas de TPMS de cada sistemas de cultivos, observados en las figuras 9 y 10, entre las dos densidades se debió, principalmente, a los valores de IAF alcanzados. Consecuentemente, las mayores TPMS fueron observadas en las mayores densidades de siembra, tanto

en los sistemas asociados, con diferentes arreglos de hileras, como en los monocultivos de caupí y camote.

Entre la asociaciones se observó que la productividad de materia seca fue superior cuando fueron establecidos en las mismas hileras y/o con una hilera de caupí y dos de camote, en ambas densidades.

El IAF no es solo factor importante de producción de materia seca por unidad de superficie, sino que ambos, son a la vez dependientes de las condiciones particulares (o específicas) en que son establecidos los cultivos (Alvim 1970).

Estudios realizados con otras especies en monocultivo y en sistemas asociados han demostrado que el IAF, es por lo general el factor más íntimamente relacionado con la capacidad de producción de las plantas (Moreira 1986, Moss 1988, Jiménez 1993). Los resultados del presente estudio, confirman esta correlación donde se observó que la productividad primaria o TPMS en los sistemas de cultivos a 67000 plantas/has superaron en productividad de los a 40000 plantas/ha, por razón de su mayor desarrollo foliar, lo que aumentó la capacidad fotosintética total de las plantas a esta densidad.

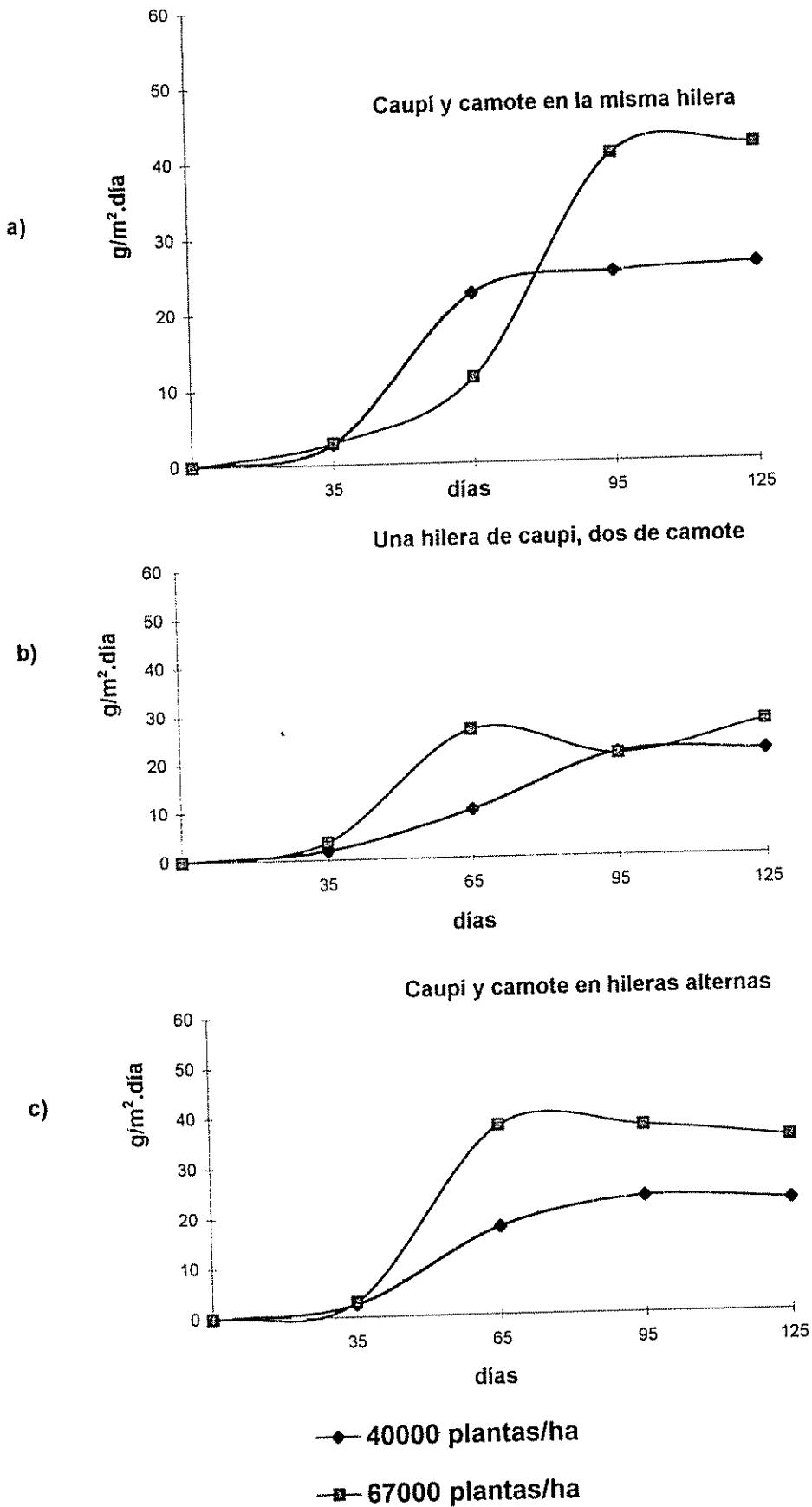


Figura 9. Tasa de Producción de Materia Seca (TPMS) de caupí y camote en tres sistemas de cultivos asociados, a dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

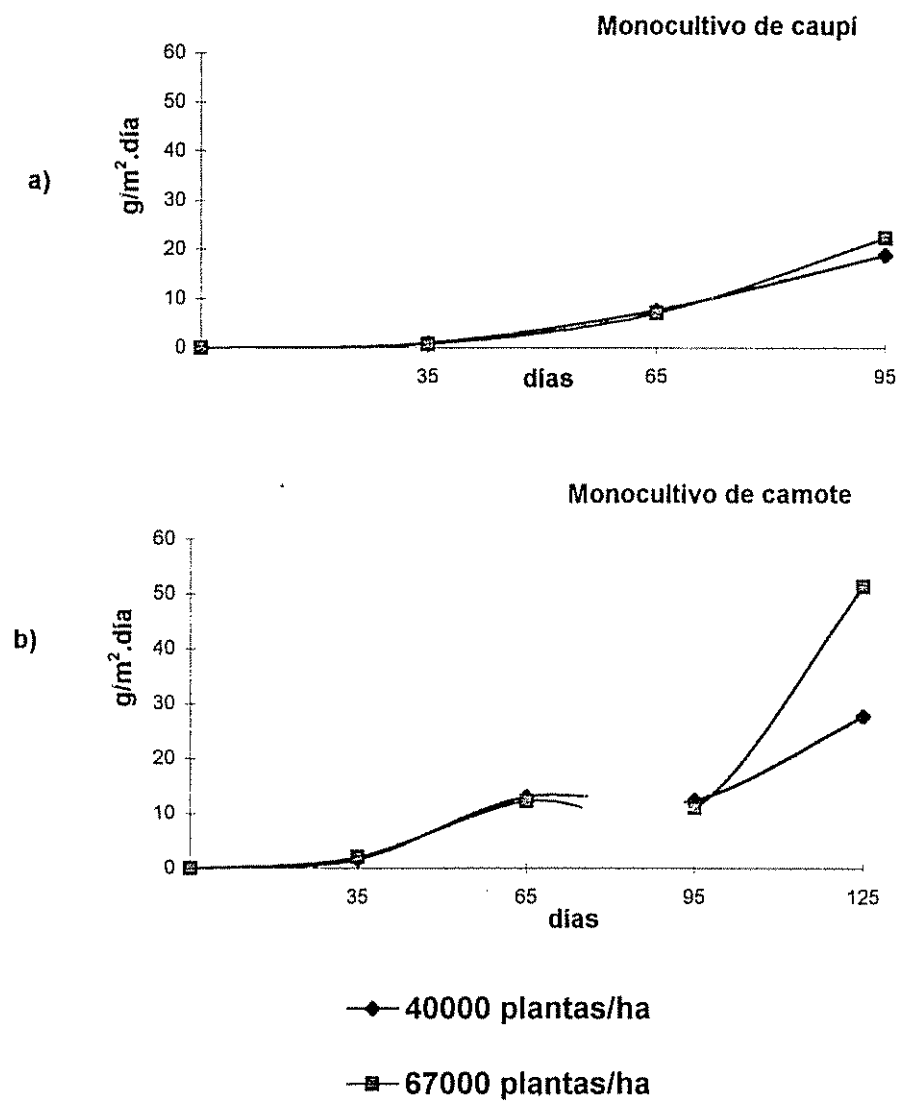


Figura 10. Tasa de Producción de Materia Seca (TPMS) de caupí y camote en monocultivos y a dos densidades de siembra. CATIE, 1995

4. 4. Índice de eficiencia energética (IEE)

La eficiencia fotosintética o porcentaje de radiación solar fotosintéticamente activa aprovechada por los sistemas de cultivos, variaron en proporciones con la distribución de las plantas en los arreglos de hileras y con las densidades. La cantidad de energía solar que fue utilizada por las plantas en cada uno de los sistemas de cultivos evaluados, se muestran en el Cuadro 3.

Los valores obtenidos variaron de 4.0% a 3.0% para el caupí en monocultivo; de 9.65% a 9.60% para el camote y 3.99% a 8.88% para los sistemas asociaciones de caupí/camote.

La alta eficiencia encontrada para el sistemas una hilera de caupí , dos de camote en la densidad de 40000 plantas/ha se debió a la alta producción de biomas de tubérculos (780 g/m^2) y biomasa total en relación con los otras asociaciones.

En las dos densidades, la producción de materia seca y área foliar descendieron en el caupí y aumentaron en el caso de camote, en relación a los monocultivos. Esto se debió al hecho de que las plantas de caupí en las asociaciones fueron sombreadas por las de camote. Al paso que el camote, en virtud de la posición más favorable de las hojas para la captación de luz, tuvieron menor auto-sombreamiento, además de su gran capacidad de conversión de la energía solar en fotoasimilados, favorecieron el aprovechamiento de la energía fotosintéticamente activa en la formación en materia orgánica.

Se observó, que generalmente en la mayor densidad (67000 plantas/ha), la eficiencia energética de la biomasa aérea fue equivalente a la de partes económicamente aprovechables (granos y tubérculos), presentando una relación de 1:1. Mientras que en la menor densidad (40000 plantas/ha) esta relación fue aproximadamente 1:2.

La diferencia en porcentajes de radiación solar absorbida por los sistemas asociados y los monocultivos se debió probablemente a la forma como aumentó el follaje de las plantas en área y se distribuyó para el aprovechamiento de luz, en los diferentes arreglos espaciales y las poblaciones de plantas por superficie de terreno.

Al estimar el potencial productividad de los sistemas de cultivos, con bases en la eficiencia energética, se observó que, la eficiencia energética y la TPMS del camote en monocultivo fue en promedio de tres veces superior a los del caupí. El camote es considerado como una de las plantas con mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía solar (Falquer 1978).

Los mayores pesos secos y mayores áreas foliares ocurrieron en aquellos sistemas de cultivos con mayores índices de eficiencia energética, concordando con la afirmación de Jiménez (1993), que la producción de materia seca es usualmente proporcional a la radiación absorbida durante el crecimiento vegetativo.

Las diferencias en crecimiento de los sistemas de cultivos asociados y monocultivos, en los distintos arreglos de hileras y a dos densidades, fueron influenciados por la proporción de radiación absorbida y las eficiencias de conversión de la radiación absorbida en materia seca.

Cuadro 3. Eficiencia energética (%) del caupí y camote en asociación y monocultivo a dos densidades de siembra para biomasa aérea máxima, producción y biomasa total. CATIE, 1995.

Sistemas	40000 plantas/ha			67000 plantas/ha		
	Biomasa aérea	Vaina+grano y/o tubérculo	Biomasa total	Biomasa aérea	Vaina+grano y/o tubérculo	Biomasa total
Caupí y camote en la misma hilera	1.55	2.59	4.14	2.79	2.93	5.73
Caupí y camote en hilera alternadas	1.72	2.26	3.99	3.15	3.76	6.92
Una hilera de caupí , dos de camote	2.96	5.92	8.88	3.39	1.79	5.19
Monocultivo de caupí	0.46	3.63	4.09	1.13	1.87	3.00
Monocultivo de camote	3.14	6.46	9.60	4.00	5.65	9.65

4. 5. Componentes biológicos del rendimiento

La productividad biológica o primaria, reflejada en la cantidad total de materia orgánica producida por los sistemas de cultivos asociados y los monocultivos de caupí y camote, incluyendo hojas, tallo, raíces, granos y tubérculos se presentan en los Cuadros 4 y 5.

Los sistemas de cultivos asociados, utilizando tres diferentes arreglos de hileras y dos densidades de siembra, modificaron el comportamiento del rendimiento de los componentes biológicos de caupí y camote a lo largo de su desarrollo.

El caupí en sistemas de cultivo asociado y en monocultivo, en ambas densidades de siembra, presentó un incremento de la biomasa muy rápido hasta los 46 dds. Luego hubo un período de poco aumento y al final del ciclo incremento fuertemente con la formación de la cosecha.

Aún cuando las tendencias para el cambio en la biomasa en función del tiempo pareció ser similar, los modelos que mostraron el mejor ajuste difirieron en función del sistema de cultivos en la densidad de siembra de 40000 plantas/ha (Cuadro 6). Las tendencias de crecimiento y los ajustes logrados para cada sistema de cultivo en las dos densidades de siembra, mostraron que el caupí en asociación con el camote en la misma hilera y establecido a 40000 plantas/ha, se ajustaron ($R^2=0.99$) al modelo potencial: $Biomasa = 9.8 \times tiempo^{2.1}$.

En monocultivo se ajustó mejor a un modelo exponencial con un $R^2 = 0.99$, y representado por la formula: $Biomasa = 4.7 e^{0.8 tiempo}$

En los sistemas asociados en hileras alternas o con dos hileras de camote (establecido a 67000 plantas/ha tanto en asociación como en monocultivo) el modelo que presentó el mejor ajuste fue el cuadrático con R^2 que varió entre 0.99 a 0.92. $Biomasa = A + B tiempo + C tiempo^2$

Cuadro 4. Componentes de biomás (g/m²)de caupí en tres sistemas asociados y monocultivos, con dos densidades de siembra.

Días después de la siembra	40000 plantas/ha						67000 plantas/ha					
	Hoja	Tallo	Raiz	Vaina	Grano	Total de planta	Hoja	Tallo	Raiz	Vaina	Grano	Total de planta
	Caupí y camote en la misma hilera											
35	4.47	1.87	1.07	-	-	7.40	5.96	1.97	1.75	-	-	9.68
46	17.74	9.52	5.52	-	-	32.78	5.43	3.95	1.47	-	-	16.32
65	11.09	11.61	3.87	7.46	-	34.02	30.48	19.15	7.56	5.47	-	62.66
95	20.	19.86	7.02	27.34	51.90	126.48	21.17	35.55	6.70	34.89	62.92	161.23
	Caupí y camote en hilera alternas											
35	3.64	1.31	0.87	-	-	5.82	6.51	4.21	3.87	-	-	14.59
46	4.90	5.77	1.41	-	-	12.10	14.37	12.12	2.56	-	-	29.05
65	44.26	12.56	4.57	4.40	-	65.79	43.23	23.10	10.53	4.43	-	79.86
95	24.57	32.38	7.92	38.79	56.99	160.65	22.65	31.38	8.43	28.07	76.58	167.11
	Una hilera de caupí dos hilera de camote											
35	2.55	1.30	0.83	-	-	5.82	5.36	2.11	1.19	-	-	8.66
46	8.98	4.00	1.64	-	-	14.62	7.79	5.24	3.76	-	-	16.79
65	18.38	5.52	2.40	6.98	-	54.61	21.82	11.37	5.04	5.60	-	43.83
95	6.91	30.75	9.97	30.24	46.58	135.91	13.71	16.83	7.88	27.95	48.60	114.97
	Momocultivo de caupí											
35	6.40	4.84	2.71	-	-	13.96	8.93	3.87	2.23	-	-	15.04
46	21.81	11.51	5.70	-	-	39.02	7.21	8.07	2.05	-	-	17.33
65	59.65	5.98	3.88	5.49	-	75.00	60.21	35.67	12.81	9.07	-	117.50
95	15.18	74.29	14.71	65.09	113.38	282.65	43.07	42.48	9.52	41.06	109.55	245.68

Cuadro 5. Producción de biomasa de guía y tubérculo (g/m²) de camote en tres sistemas de cultivos asociados y monocultivos a dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

Días después de la siembra	40000 plantas/ha		67000 plantas/ha			
	Guías	Tubérculos	Total planta	Guías	Tubérculos	Total Planta
Caupí y camote en la misma hilera						
35	34.2	4.7	38.3	17.1	1.6	18.7
65	181.9	18.5	200.4	57.8	14.7	72.5
95	194.2	230.6	424.9	425.1	321.9	747.0
125	669.8	1234.6	1904.4	895.3	1292.5	2187.8
Caupí y camote en hileras alternas						
35	23.6	3.1	26.6	25.6	2.7	28.3
65	182.9	18.5	200.4	57.8	14.7	72.5
95	284.4	259.7	544.1	425.1	321.9	747.0
125	526.3	1049.1	1575.4	895.3	1292.5	2187.8
Una hilera de caupí, dos hileras de camote						
35	27.4	4.1	31.4	12.8	2.9	15.8
65	168.6	74.8	243.5	125.3	32.8	158.1
95	484.6	780.4	1264.9	637.7	208.9	846.6
125	754.0	1903.8	2657.8	1081.2	1496.3	2577.3
Monocultivos de camote						
35	32.2	3.8	36.0	23.1	2.0	25.1
65	134.4	46.4	180.8	75.2	41.8	117.1
95	441.7	806.5	1248.3	413.4	620.8	1034.2
125	1057.8	1830.4	2888.2	1594.6	1933.9	3528.5

En el caupí la distribución de la biomasa de las estructuras vegetativas, a nivel de estadio de crecimiento de las plantas, variaron en cantidad y distribución porcentual con los arreglos de hileras y con los niveles de densidades poblacionales (Figura 11).

El peso seco de hojas, en el período de máxima producción de biomasa (65 dds) fue mayor en los tratamientos en monocultivo en las dos densidades, con valores que variaron entre 70 a 75% de la biomasa total. En los sistemas asociados, las hojas tuvieron mayor participación en el peso seco total, cuando el caupí estuvo asociado con camote en hileras alternadas, en ambas densidades (Figura 11).

En todos los tratamientos, el peso seco de tallo, tuvo gran participación en la producción de biomasa, alcanzando valores máximos a los 95 dds, cuando las vainas alcanzaron su madurez de cosecha. Los monocultivos presentaron valores superiores a las asociaciones en las dos densidades estudiadas. Los sistemas asociados hileras alternadas con 20000 plantas de caupí por hectárea y asociados en la misma hilera con 33500 plantas/ha alcanzaron mayores valores de peso seco de tallo (32.38 y 35.55 g/m² respectivamente). Jones (1971) afirma que el rendimiento del frijol depende del IAF en el período de floración y que en esta fase de crecimiento los tallos principales y las ramas laterales funcionaran de manera autónoma; mayor crecimiento de las ramas resultaron en aumento de área foliar, mayor interceptación de luz y consecuentemente mayor productividad de materia seca y de granos. Los resultados obtenidos para el caupí demostraron también esta relación. Se observa en el Cuadro 4, que los sistemas asociados a 67000 plantas/ha presentaron mayor peso seco de tallo al final del ciclo de cultivo, alcanzaron

Cuadro 6. Parámetros de la ecuación de regresión del mejor ajuste para la biomasa de caupí en asociación y en monocultivo a dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

Sistema de cultivo	Densidad cm	Modelo*	Parámetro			R ²
			A	B	C	
Caupí y camote en la misma hilera	50 X 50	2	9.8	2.0	-	0.99
Caupí y camote en hileras alternas	50 X 50	1	71.6	66.9	23.6	0.93
Una hilera de caupí, dos de camote	50 X 50	1	57.3	66.3	23.0	0.98
Monocultivos de caupí	50 X 50	3	4.7	0.8	-	0.99
Caupí y camote en la misma hilera	30 X 50	1	93.2	94.7	28.9	0.92
Caupí y camote en hileras alternas	30 X 50	1	31.0	42.0	0.3	0.99
Una hilera de caupí, dos de camote	30 X 50	1	15.3	10.4	9.3	0.95
Monocultivos de caupí	30 x 50	1	144.4	159.3	47.9	0.97

* 1 Biomasa = A + B tiempo + C tiempo²

* 2 Biomasa = A * tiempo^B

* 3 Biomasa = A * e^{Btiempo}

mayores áreas foliares y consecuentemente mayores rendimientos de grano.

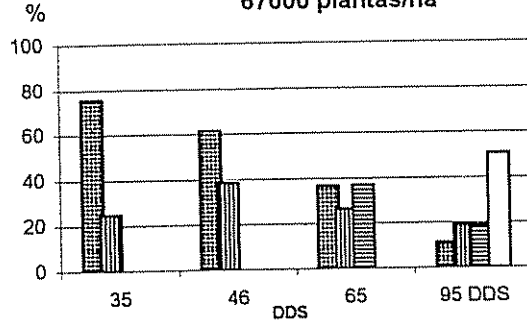
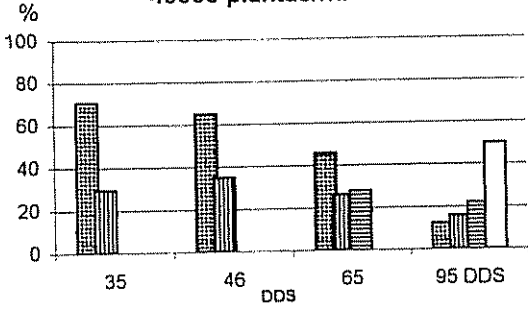
El peso seco de vainas tuvo tendencia similar al incremento de las otras estructuras de las plantas, con valores más altos en los tratamientos de mayor densidad (67000 plantas/ha). El mayor porcentaje de peso seco de vainas ocurrió cuando el caupí estuvo asociado en hilera alternadas con camote alcanzando el 39% del peso seco total (Figura 11).

Los resultados mostraron que el efecto de la competencia interespecífica influyó el incremento y la producción máxima de biomasa total de caupí en los sistemas de cultivos asociados, al compararlos con el monocultivo (Cuadro 4).

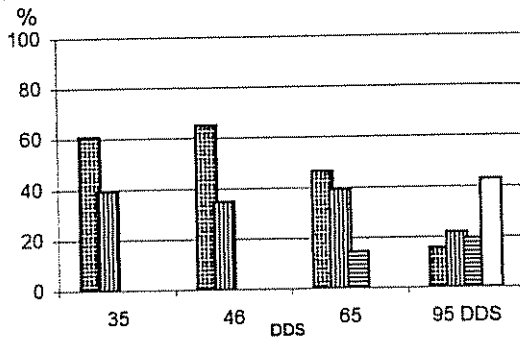
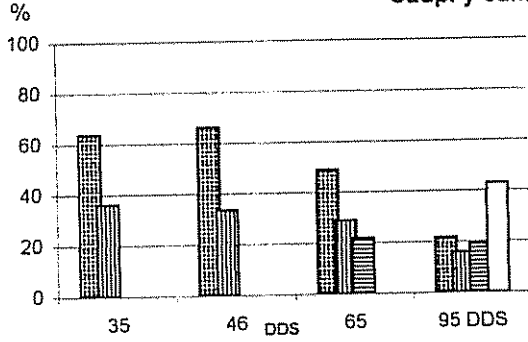
Las mayores porcentajes de peso seco en las asociaciones, indican menores diferencias en materia seca en relación a los monocultivos. Se observa que esta condición se presentó de forma más acentuada cuando el caupí estuvo asociado con camote en hileras alternadas a 67000 plantas/ha con una reducción de 5.61%. Estos valores superan los reportados por Melo (1984), quien encontró diferencias en rendimiento de biomasa de caupí var. TVU-401 asociado con dos cultivares de maíz (tuxpeño pB - C7 de porte medio y maicito de porte bajo) de 54% en las asociaciones con maíz tuxpeño y un 43% con maicito, comparado con el caupí en monocultivo. El hecho que el caupí y camote sean especies de porte relativamente bajos, favorecieron mayor interceptación de la radiación solar, que por ejemplo el follaje del maíz, ocurriendo menor competencia interespecífica en este tipo de asociación.

40000 plantas/ha

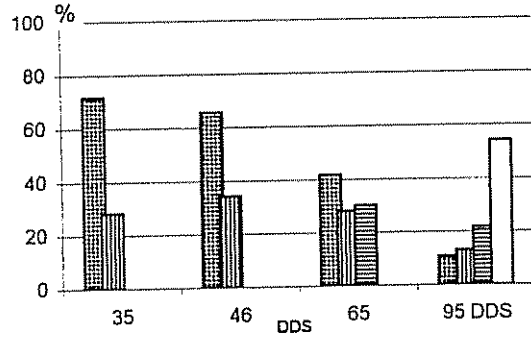
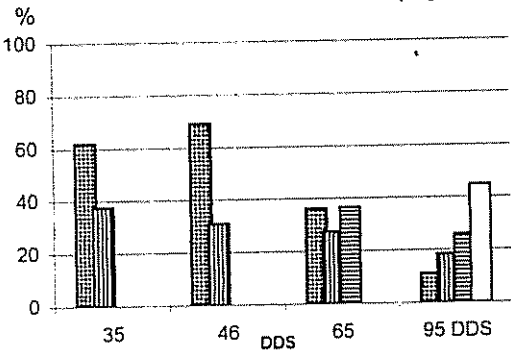
67000 plantas/ha



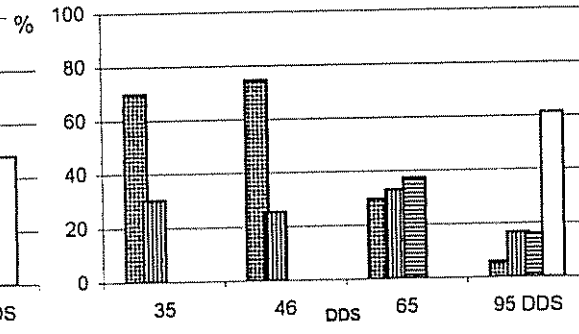
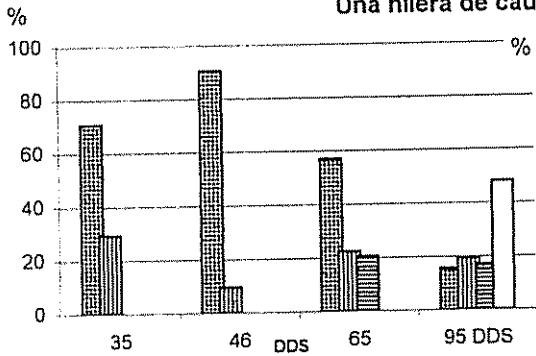
Caupí y camote en la misma hilera



Caupí y camote en hileras alternadas



Una hilera de caupí, dos hileras de camote



Monocultivo

■ hoja ■ tallo ■ vaina □ grano

Figura 11. Distribución porcentual del peso seco de las estructuras de caupí , en tres sistemas de cultivos asociados y en monocultivo, a dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

En el camote, debido a que no se encontró diferencias significativas para el rendimiento máximo de biomasa entre los tratamientos, se consideró que tanto los monocultivos como los sistemas de cultivos asociados, presentaron tendencia de crecimiento similares en biomasa. Probablemente los factores genéticos que controlan directa o indirectamente el proceso de producción, no fue influenciado por el ambiente creado por las prácticas de manejo de los arreglos de hileras y los dos niveles de población. Eso indica que el camote tiene un potencial altamente favorable para las asociaciones.

En las figuras 12 se presentan los valores de los componentes de las plantas de camote, durante las principales fases de transformación morfológicas, en los sistemas de cultivos a dos densidades de siembra. En el camote, en todos los tratamientos, el proceso de crecimiento combinado de producción de guías y tuberización, presentó un aumento en el rendimiento de las guías muy rápido hasta los 65 dds, período de intenso crecimiento de las guías y de las raíces absorbentes. A partir de esta fase se inició la formación de raíces tuberosas, pero continuó todavía el crecimiento de guías aunque a un ritmo más lento, alcanzando valores máximos a los 125 dds (Cuadro 5), momento en que los tubérculos ya se encontraban en punto de cosecha. Esto se observó en todas los sistemas analizados y en ambas densidades (Figura 12).

El valor máximo de producción de guías y de tubérculos correspondió al sistema en que la asociación fue formada por una hilera de caupí y dos de camote a 40000 plantas/ha, alcanzando un total en peso seco de 648 27 g/m² de guías y 1156 g/m² de tubérculo (Figura 12c).

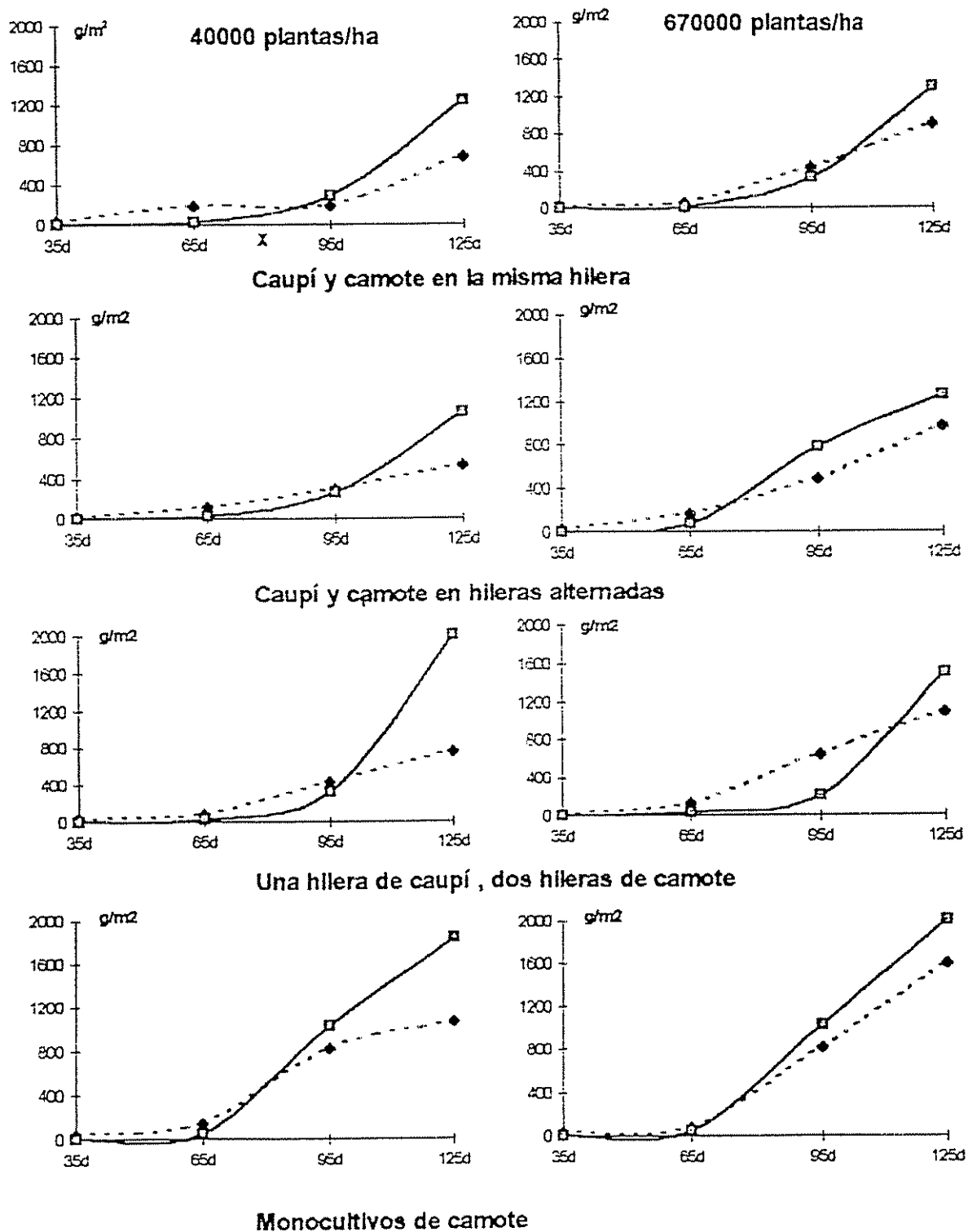


Figura 12. Biomasa de guías y tubérculos de camote, en tres sistemas de cultivos asociados y en monocultivo, a dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

Se observó que el comportamiento de guías y tubérculos presentaron tendencias diferenciadas en los sistemas de cultivos asociados con arreglos de hileras y en los monocultivos, en las dos densidades de siembra.

En el monocultivo a 40000 plantas/ha, aproximadamente a los 70 - 75 dds, el peso seco de guías y tubérculos se igualan. A partir de esta fase hubo un rápido aumento de peso de los tubérculos hasta la cosecha, el peso seco de guías aumenta hasta los 65 dds, disminuyendo hasta los 90 dds, para volver a aumentar a los 125 dds. En el monocultivo a densidad de 67000 plantas, las guías aumentaron durante todo el período de cultivos, pero en menor proporción que los tubérculos, los cuales tuvieron acelerado aumento de peso seco a partir de los 95 dds.

Entre los sistemas asociados las tendencias de aumento y disminución de peso seco de guías y tubérculos, también presentaron comportamientos distintos a lo largo de los ciclos de cultivo. Conforme lo muestra la figura 6c, el sistema en que el caupí estuvo asociado en la misma hilera con camote, alcanzó valores de 70.68 g/m² de guías y 37.32 g/m² de tubérculos de peso seco, respectivamente.

La variación de la distribución de la materia seca entre los órganos aéreos (guías) en la maduración (125 dds), presentaron diferencias entre los arreglos espaciales y las dos densidades de siembra en cuanto la producción biológica y la producción económica.

Se observó que la relación entre la producción de biomasa de guías y de tubérculos (guía/tubérculo), disminuye con el cambio de densidad de siembra de 40000 plantas/ha a 67000 plantas/ha, a causa de la menor producción de guías y menor producción de tubérculos (Figura 12).

La excesiva frondosidad paraliza la fotosíntesis en las hojas de las capas inferiores de la follaje (sombreadas), que se convierten en "hojas parásitas", pues

consumen en su proceso respiratorio sustancias de reservas elaboradas por las hojas superiores, como explica Falquer (1978).

Según Hozyo (1980), cuanto mayor es la actividad fotosintética, mayor es el crecimiento de las batatas, ocurriendo como consecuencia una escasa tuberización cuando las plantas están en ambientes poco iluminados. Esto fue notorio al observar los índices de área foliar (IAF) de camote sembrado a 67000 y a 40000 plantas/ha (figura 2).

En los sistemas asociados, la distribución de estos en el campo afectó la eficiencia en el aprovechamiento de la luz solar y en el cubrimiento del suelo. Al mismo tiempo, los arreglos espaciales y las dos densidades de siembra tuvieron una influencia importante sobre el grado de competencia entre los cultivos asociados.

La producción de biomasa es tanto mayor cuanto mayor sea la tasa de asimilación neta de las especies que componen la población y cuanto mayor es la captación de la luz disponible para las superficies asimilantes (Larcher 1977). La influencia de la expansión de las superficies asimilatorias (IAF) y el grado de superposición de las hojas presentado por los sistemas afectó la producción primaria, aunque fueron observados altos valores de radiación fotosintéticamente activa (RFA) absorbida a través de las capas foliares.

La distribución de la biomasa entre las diferentes estructuras de las plantas, cambió en función de los arreglos y densidades de siembra, confirmando lo reportado por CIAT (1979) de que existen posibilidades de cambiar dichas distribuciones, cuando se maneja adecuadamente los cultivos en el espacio y en tiempo.

La combinación apropiada de los factores genotipo, medio ambiente y las prácticas agrícolas, para lograr un aumento en el rendimiento o una mayor seguridad en la cosecha, requiere un conocimiento de como se distribuyen los

componentes entre las diferentes partes de la planta, ya que existen posibilidades de cambiar dichas distribuciones (Engleman 1987). El uso de sistemas de cultivos asociados han sido una práctica, que busca las combinaciones que permiten el mejor aprovechamiento de los recursos naturales disponibles, como interceptación de luz, agua, nutrientes, para obtenerse mejores rendimientos por unidades de área.

El análisis de los datos mostró que los resultados concordaron con estas afirmaciones. La influencia de las diferentes práctica utilizadas, en las producción biológica mostró distintas relaciones en la secuencia de transformación de los diferentes órganos hasta la maduración de granos y tubérculos. La secuencia y la dinámica de crecimiento de los componentes estructurales de las plantas, durante el ciclo de los cultivos afectó el rendimiento económico.

4. 6. Componentes del rendimiento económico

Para determinar el rendimiento económico de caupí se consideró los siguientes componentes: número de vainas/planta, peso de semillas/vaina, peso de 100 semillas y el rendimiento en kilogramos por hectárea (Kg/ha). Para camote fueron los siguientes: peso de guías (Kg/ha) y rendimiento de tubérculos en toneladas por hectárea

En el caupí, la variable número de vainas por planta siguen una tendencia similar al de los rendimientos de granos, tanto a densidad de 40000 plantas/ha como a 67000 plantas/ha, lo cual se corrobora por el coeficiente de correlación significativo al nivel de 5% (Cuadro 8).

El número de vainas por plantas en los monocultivos fueron superiores al de las plantas en asociación, debido a menor competencia intraespecífica. En los

sistemas asociados el hecho que el caupí variedad TUV-401 tenga hábito de crecimiento indeterminado, fue más afectado por la competencia interespecífica en su desarrollo por las plantas de camote más cercanas.

En las asociaciones, los valores más altos fueron obtenidos en las plantas asociadas en hileras alternadas a 40000 plantas/ha y en la misma hilera con camote a densidad de 67000 plantas/ha, ambos con 20 vainas/planta.

Los menores valores se encontró en los sistemas de hileras alternadas y con dos hileras de camote (15 y 16 vainas/planta, receptivamente) a 67000 plantas/ha.

El número de semillas por vaina no presentó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Los valores obtenidos variaron entre 12 y 16 semillas por vaina. Este componente del rendimiento no presentó correlación con las demás características de rendimiento evaluadas (Cuadro 8).

El peso de 100 semillas presentó diferencia entre las medias (Duncan, $P < 5\%$) para los monocultivos en relación a los sistemas asociados en ambas densidades; los valores variaron entre 17.12 y 16.09g. Entre los asociados el peso de 100 semillas, a pesar de que las medias no difirieron entre si, se notó que cuando caupí estuvo asociado en hileras alternadas con camote con una densidad de 20000 plantas/ha, este valor fue superior a los demás sistemas (15.83 g) y cuando se estableció en la misma hilera y en la misma densidad, presentó el menor valor (11.50 g).

En el Cuadro 9 se muestra la análisis de variancia para la variable rendimiento de caupí. Se observó que los sistemas de cultivos y la interacción sistemas x densidades presentaron diferencia altamente significativa.

Las densidades de plantas (40000 y 67000 plantas/ha) no presentaron significancia ($p > 0.050$) que pudiera influenciar el comportamiento del rendimiento de granos.

Cuadro 7. Rendimiento en grano (Kg/ha) y componentes del rendimiento de caupí en tres sistemas de cultivo asociado y monocultivo, a dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

Sistemas	Rendimiento (Kg/ha)	Número de vainas/planta	30 x 50	50 x 50	30 x 50	Número de semilla/planta	50 x 50	30 x 50	Peso de 100 (g)	50 x 50	30 x 50
1	445.5b	520.2b	17b	20b	20b	14b	16b	16b	14.3b	14.3b	12.4b
2	467.5b	559.8b	20b	15b	15b	16b	12b	12b	15.8b	15.8b	13.3b
3	218.2c	159.3c	18b	16b	16b	15b	13b	13b	11.5b	11.5b	12.3b
4	1115.5a	637.3a	31a	25a	25a	16b	24a	24a	17.2a	17.2a	16.1a

Sistema 1 = Caupí y camote en la misma hilera

Sistema 2 = Caupí y camote en hileras alternas

Sistema 3 = Una hilera de caupí, dos hileras de camote

Sistema 4 = Monocultivos de caupí

* cm

Cuadro 8. Matriz de correlación entre los componentes del rendimiento calculados para el caupí. CATIE, 1995.

	Rendimiento	Número de vaina/ planta	Número de semillas/ vaina	Peso de 100 semillas
Rendimiento	1			
Número de vaina/planta	0.84	1		
Número de semillas/vaina	0.31	0.59	1	
Peso de 100 semillas	0.80	0.79	0.52	1

Cuadro 9. Resumen del análisis de varianza para el rendimiento de grano y tubérculo, entres sistemas sistemas de asociación y monocultivos con dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

Factor de variación	G. L.	P>F
Caupí		
Bloque	2	0.8044
Sistema de cultivos	3	0.0001**
Densidade de siembra	1	0.0566
Sistema X densidad	3	0.0015**
Error	14	
Total	23	
Camote		
Bloque	2	0.9535
Sistema de cultivos	3	0.4826
Densidade de siembra	1	0.3959
Sistema X densidad	3	0.8546
Error	14	
Total	23	

El rendimiento de caupí en los sistemas en monocultivo en las dos densidades fueron significativamente superiores a todos los sistemas asociados. Esta reducción de rendimiento de caupí en asociación puede ser atribuido a la fuerte competencia que ejerció el camote sobre el caupí (Cuadro 10).

Entre los cultivos asociados, los resultados muestran que el caupí y camote en cultivo asociado en la misma hilera y en hileras alternadas no presentaron diferencia según la prueba de Duncan (Cuadro 10). En estos dos arreglos de hileras, el caupí obtuvo rendimientos más altos cuando fue sembrado a 33500 plantas/ha (520 y 559 kg/ha). En ellos también, ocurrieron las menores reducciones de rendimiento en relación a los monocultivos en la misma densidad de siembra.

El menor rendimiento de caupí entre los sistemas asociados, fue cuando se asoció en una hilera con dos hileras de camote, con 218 y 159 Kg/ha a 133333 y 22333 plantas/ha, respectivamente, y esto se debió tanto a la baja población de plantas como a la competencia con el camote (Cuadro 10).

Los rendimientos relativos para caupí en los sistemas asociados y en las dos densidades de siembra en relación a sus monocultivos, mostraron que las reducciones de rendimiento de granos debido al asocio con camote, fueron mayores en poblaciones de 40000 plantas/ha, variando en promedio 50% menos cuando la población de caupí fue de 20000 plantas/ha. En los sistemas un hilera de caupí y dos de camote, con una población de 13333 plantas/ha el caupí produjo 80 % menos que el monocultivo. En los sistemas de mayor densidad (67000 plantas/ha), el camote fue menos competitivo, reduciendo el rendimiento del caupí al 12 y 18% en los sistemas asociados en la misma hilera y alternado con camote, con 33500 plantas/ha respectivamente. Sin embargo, para los sistemas establecidos con una hilera de caupí y dos hileras de camote, con 22333 plantas/ha, la producción equivalió al 75% del rendimiento en monocultivo; esto

Cuadro 10. Promedios de producción (Kg/ha) y Rendimiento Relativo (RR) del caupí en tres sistemas de asociación y monocultivos en dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

Sistema de cultivo	Densidad de siembra			
	50 X 50 cm	RR*	30 x 50 cm	RR*
Caupí y camote en la misma hilera	445.5 b	40%	520.2 b	82%
Caupí y camote en hileras alternas	467.5 b	42%	559.8 b	88%
Una hilera de caupí, dos hileras de camote	218.2 c	20%	159.3 c	25%
Monocultivos de caupí	1115.5 a	-	637.3 a	-

Cuadro 11. Promedios de producción (Ton/ha) y Rendimiento Relativo (RR) del camote en tres sistemas de asociación y monocultivos en dos densidades de siembra. CATIE, 1995.

Sistema de cultivo	Densidad de siembra			
	50 X 50 cm	RR*	30 x 50 cm	RR*
Caupí y camote en la misma hilera	17.8 a	88%	18.3 a	79%
Caupí y camote en hileras alternas	15.9 a	78%	19.9 a	86%
Una hilera de caupí, dos hileras de camote	18.5 a	91%	18.3 a	79%
Monocultivos de camote	20.4 a	-	23.2 a	-

RR* = Rendimiento Relativo
 Promedios con letras iguales no difieren significativamente ($P < 0.05$), según prueba de Duncan.

se debió además del menor número de plantas, al mayor espacio disponible para el desarrollo de camote, lo cual ejerció fuerte competencia sobre el caupí.

El rendimiento de tubérculo de camote a pesar de no haber mostrado diferencias significativas entre sistemas de cultivo, densidad y interacción sistemas x densidades (Cuadro 9), las asociaciones mostraron pequeñas reducciones de producción en relación a los monocultivos. El comportamiento del rendimiento de tubérculo, al contrario de caupí, no fue afectado por la presencia de esta especie en los sistemas probados. La reducción en producción de tubérculos fue entre 12 y 21% en relación a los monocultivos en las dos densidades de siembra utilizadas (Cuadro 11). Como el camote fue relativamente poco afectado por el caupí, parece que no hay grandes problemas de interacción.

Los resultados demostraron que el desempeño productivo de las asociaciones presentaron el mismo grado de variación característico a los monocultivos de ambas especies. Sin embargo, por ser las asociaciones más eficiente en el uso de los recursos ambientales, están menos sujetos a los riesgos (Lopes 1988), disminuyendo los riesgos de fracaso, mejor uso de la tierra, mejor utilización de la mano de obra familiar y diversificación de la dieta alimenticia y de la renta.

En agricultura hay una relación entre densidad y producción (Alvim 1966, Lopes 1988). En este estudio fue constatado que a mayores densidades los sistemas asociados y los monocultivos, alcanzaron mayores rendimientos de granos y tubérculos.

La eficiencia de las plantas o del fenotipo es el resultado de la interacción genotipo y ambiente que, como se comentó anteriormente, pueden ser

parcialmente modificado. Las plantas de caupí y camote presentaron diferentes grados de eficiencia, según la densidad poblacional y los arreglos de hileras en que fueron establecidos. La productividad o rendimiento económico de granos y tubérculos tuvieron una relación directa con la producción biológica o primaria, que es a su vez, consecuencia directa del proceso fotosintético.

En las asociaciones de dos o más cultivos, la distribución de éstos en el campo es de gran importancia, ya que afecta la eficiencia en el aprovechamiento de la luz solar y en el cubrimiento del suelo (Larcher 1983). Los arreglos espaciales y las dos densidades de siembra tuvieron una influencia importante sobre el grado de competencia entre los cultivos asociados.

Los resultados ayudaron a entender las interrelaciones que se dan en los sistemas asociados. Entre las varias modalidades de cultivo asociado, la productividad depende de la densidad poblacional, de la distribución de las plantas en el área, de los cultivares utilizados y de las complejas relaciones ecológicas, principalmente genotipo-ambiente (Lopes 1988).

Los esfuerzos de la investigación en busca de componentes y del equilibrio de los agroecosistemas de cultivos asociados deben considerar los estudios de población de plantas, arreglos espaciales y arreglos temporales, por ser esos factores muy importantes en la determinación de la competencia de una especie en asociación y funcionaren como un medio de manipular los componentes de estos para aumentar los efectos complementarios.

El manejo de la radiación solar en los sistemas de cultivo, a través del arreglo y poblaciones de plantas, como práctica agrícola de bajo inversión para el aumento de la producción de las especies, puede tener enorme contribución en la transformación del bienestar de los pequeños productores.

Los sistemas de cultivos asociados pueden ser una buena opción para máxima la utilización del terreno en pequeñas propiedades, pudiendo ofrecer

producciones mayores que los monocultivos. Para evaluar si una determinada combinación de cultivos es mejor que el monocultivo y , dentro de estas, cual sistemas es mejor que otro, el criterio más frecuentemente utilizado para expresar las ventajas en la producción, entre cultivo asociado y monocultivo es el “ Índice de Uso Equivalente de Tierra”.

4. 7. Uso Equivalente de la Tierra (UET)

La análisis de la eficiencia de los sistemas asociados en relación a los monocultivos de caupí y camote, mostraron que la productividad del camote no fue influenciada, pero el caupí sí fue sensiblemente reducida. A pesar de haber ocurrido reducciones en los rendimientos de caupí en las asociaciones, en relación al monocultivo, los sistemas asociados no dejaron de ser ventajosos, principalmente por el mejor aprovechamiento de la área de tierra disponible

El Cuadro 12 muestra la eficiencia de los sistemas evaluados. Se observa que el UET alcanzó valores mayores que la unidad en los sistemas asociados en los diferentes arreglos de hilera y en las dos densidades, demostrando su superioridad con respecto a los monocultivos, en cuanto al uso equivalente de la tierra se refiere.

En la asociación con una hilera de caupí y dos de camote, los valores del UET resultaron ser inferiores a los demás sistemas, eso se debió al hecho de que, en esto arreglo el camote incrementó su capacidad competitiva frente el caupí, causando una significativa reducción en el rendimiento del caupí. Como consecuencia el UET total de los sistemas disminuyeron en las dos densidades.

Los máximos valores de UET se obtuvieron en los sistemas que el caupí y camote estuvieron asociados en la misma hilera y en hileras alternadas, a una densidad de 67000 plantas/ha; estos valores fueron superiores a la de 40000

plantas/ha. Sin embargo, en estos sistemas asociados el camote presentó menores rendimientos (Figura 7) que el asociado con una hilera de caupí y dos de camote, en los cuales este índice tuvo un valor más bajo.

A la luz del concepto de UET, se puede considerar una alta ventaja comparativa del sistema establecido en hilera alternada como arreglo espacial y a densidad de siembra de 67000 plantas/ha en relación a los demás sistemas evaluados, donde en él se pueden obtener las más altas productividades totales. Los resultados demostraron que para los rendimientos de los monocultivos puedan ser igualados a 1 ha de este mismo sistema de cultivo asociado, se necesitaría 74% más de tierra.

Todavía, la decisión de optar por una determinada práctica de manejo más ventajosa entre las modalidades de sistemas asociados, dependerá primeramente de la estabilidad de la producción, que es lo que busca el pequeño productor cuando adopta la asociación de cultivo como sistemas de producción y como fuente de alimento básico para la familia, generando en ciertas ocasiones algún excedente. También se debe considerar otros aspectos socioeconómicos, como mercado, la diversidad de la dieta, y los biofísicos (uso y cobertura del suelo, reciclaje de minerales, eficiencia energética etc.)

Otro aspecto que debe ser considerado al investigar diferentes arreglos y poblaciones de plantas, es la mejora de la eficiencia del factor trabajo en la asociación, o sea, la investigación deberá buscar cierta automatización de las prácticas culturales, permitiendo la utilización de la fuerza de trabajo en otras actividades agrícolas (o no) de elevada rentabilidad. Según Mafra (1984), el elevado dispendio de energía humana en las prácticas culturales y las limitadas dimensiones de áreas exploradas son factores marcantes de los sistemas de cultivo de los pequeños productores de las regiones tropicales.

4. 8. Absorción de nutrimento por los sistemas de cultivos

En los Cuadros 13, 14, y 15. se presentan las concentraciones de algunos elementos en las hojas de caupí y camote en el momento de máxima actividad fisiológica, en las asociaciones y en monocultivo a dos densidades de siembra.

Los cultivos asociados de caupí y camote presentan una intensificación en la demanda de nutrimentos, sobre todo cuando las asociaciones se sembraron en alta densidad. La mayor remoción de los elementos del suelo en las asociaciones que en los monocultivos, sugiere que si no se reponen con una fertilización adecuada se puede llevar muy rápidamente a un deterioro de la fertilidad del suelo.

Sin embargo, estudios sobre la nutrición mineral de los sistemas de cultivos asociados, han demostrado considerable ventaja, por su efecto conservador del suelo, ya que la absorción que éstos hacen de los nutrimentos, son superiores a las pérdidas por lavado y erosión que en los monocultivos. En los monocultivos, las pérdidas de nutrimentos por lavado y erosión supera varias veces su absorción por el cultivo (Burgos 1980).

En el Cuadro 13. las bajas concentraciones de N en las hojas del camote en asociación en los tres arreglos espaciales en la mayor densidad (67000 plantas/ha), muestran que el caupí compitió con el camote por este elemento, sin que este último se afectara por la competencia. En la menor densidad, aparentemente no hubo efecto de competencia de ambos cultivos por N, ya que las concentraciones de N no fue reducida en relación al monocultivo. El sistema con una hilera de caupí, dos de camote establecido con 13333 plantas/ha (menor densidad), sufrió competencia del camote, por presentar mayor número de plantas, de esta forma el camote sacó mayor cantidad de N de la misma superficie del suelo.

La concentración de P y K más bajas en las hojas de caupí en la asociación una hilera de caupí, dos de camote indica que el mayor número de plantas de camote por unidad de área es un factor competidor fuerte, dejando menos P y K disponibles para el caupí. Por otra parte, cuando fue asociado en la misma hilera a mayor densidad (67000 plantas/ha), el caupí fue el competidor más severo para el camote, la concentración de estos elementos en camote se redujeron sensiblemente en relación al monocultivo.

Las diferencia en la absorción de los elementos minerales por cuapí y camote tiene una relación intrínseca con la morfología. La morfología del sistema radical del camote, variedad C-97, las guías forman ramas, cuyos nudos se localizan en la superficie de la tierra, emitiendo raicillas adventicias, formando de esta manera un sistema radical fibroso muy extensivo y poco profundo. El caupí presenta una raíz principal fuerte y profunda y numerosas raicillas laterales a aproximadamente 20 cm de profundidad, con muchos nudos. Esta diferencia en la morfología de sus sistemas radicales, probablemente, es el factor que reduzca la intensidad la competencia entre ellos (competencia interespecífica) en relación los monocultivos. Sin embargo, Oeslslige (1976), señala que dos o más especies cultivadas en asociación, pueden diferir en las tasa de extracción de nutrimento. así como en el período de máxima demanda.

Cuadro 13. Efectos de diferentes arreglos espaciales sobre la concentración de N en las hojas de caupí y camote sembrados en asociación y en monocultivo. CATIE, 1995.

Sistema	Concentración de N en las hojas (%)			
	40000 plantas/ha		67000 plantas/ha	
	Caupí	Camote	Caupí	Camote
Monocultivo	8.5	9.1	8.6	9.2
Caupí y camote en la misma hilera	9.3	9.4	9.2	8.3
Caupí y camote en hilera alternadas	10.6	9.1	10.2	7.8
Una hilera de caupí , dos de camote	6.7	9.0	9.4	8.7

Cuadro 14 Efectos de diferentes arreglos espaciales sobre la concentración de K en las hojas de caupí y camote sembrados en asociación y en monocultivo. CATIE, 1995.

Sistema	Concentración de K en las hojas (%)			
	40000 plantas/ha		67000 plantas/ha	
	Caupí	Camote	Caupí	Camote
Monocultivo	4.7	8.3	3.1	9.3
Caupí y camote en la misma hilera	4.3	9.6	4.0	7.0
Caupí y camote en hilera alternadas	4.5	9.6	4.6	11.7
Una hilera de caupí , dos de camote	3.8	9.7	4.5	10.3

Cuadro 15. Efectos de diferentes arreglos espaciales sobre la concentración de P en las hojas de caupí y camote sembrados en asociación y en monocultivo. CATIE, 1995.

Sistema	Concentración de P en las hojas (%)					
	40000 plantas/ha		67000 plantas/ha			
	Caupí	Camote	Caupí	Camote	Caupí	Camote
Monocultivo	0.60	0.59	0.50	0.67		
Caupí y camote en la misma hilera	0.55	0.77	0.64	0.57		
Caupí y camote en hilera alternadas	0.63	0.70	0.72	0.67		
Una hilera de caupí, dos de camote	0.45	0.70	0.63	0.70		

5. Conclusiones

1 - Las prácticas de manejo utilizando diferentes arreglos de hileras y dos densidades de siembra en sistema asociado de caupí y camote, afectaron el comportamiento de algunos componentes morfológicos y fisiológicos de crecimiento. El Índice de área foliar de caupí y camote en asociación redujeron en promedio 50% de los valores alcanzados por los monocultivos. Este comportamiento es una estrategia de adaptación de las dos especies a la asociación, proporcionando una superficie asimilatoria adecuada para absorción de la energía solar y la producción de materia orgánica.

2 - A densidad de 67000 plantas/ha los sistemas asociados y el monocultivo de camote alcanzaron mayores IAF, presentando una superficie asimilatoria adecuada para la absorción de la energía solar; el caupí en monocultivo, mantuvo el valor del IAF, independiente de la densidad de siembra utilizadas.

3 - La productividad de materia seca de caupí y camote es superior cuando es sembrado en monocultivo, debido posiblemente a menor competencia intraespecífica establecida entre las plantas. Entre los sistemas de cultivos asociados el rendimiento biológico es superior cuando caupí y camote están en la misma hilera y/o en hileras alternadas, en ambas densidades.

4 - La diferencia en los rendimientos de granos de caupí son significativas solamente cuando se cambia el número de plantas en la asociación. Al mantener el mismo número de plantas, todavía alterando la disposición dentro de las hileras no ha diferencia significativa en el rendimiento de granos.

- 5 - El caupí en asociación con camote disminuye el rendimiento de grano en relación al monocultivo, mientras que el rendimiento de tubérculo tanto en monocultivo como en sistema de cultivo asociado, no es afectado cuando se utiliza diferentes arreglos de hilera y densidades de 40000 y 67000 plantas/ha.
- 6 - El camote es una planta de gran eficiencia en el aprovechamiento de la energía solar, pudiendo absorber 9.6% de la radiación fotosintéticamente activa incidente, a densidades de 40000 y 67000 plantas/ha.
- 7 - El caupí y camote en los sistemas asociados evaluados, compitieron por N cuando fueron establecidos a mayor densidad, La competencia por P y K, no presenta diferencia significativa entre las densidades y los sistemas de cultivos asociados.
- 8 - El sistema asociado de caupí y camote en hileras alternas es el agroecosistema que mostró ser más eficiente entre los estudiados en cuanto al Uso Equivalente de la Tierra y el aprovechamiento de la energía solar fotosintéticamente activa.

6. Recomendaciones

Basado en el comportamiento de caupí y camote en los sistemas de cultivos estudiados, hay indicación que en el futuro es necesario, para que este asocio pueda mejorar su potencialidad, seleccionar plantas con las siguientes características:

- El caupí deberá tener habito de crecimiento determinado, con alta capacidad de mantener las vainas lejos del suelo; la planta deberá contener gran número de nudos y hojas espacialmente distribuidas en un arreglo de modo que el sombreamiento entre ellas sea mínimo, presentar precocidad para florecer y madurar y alto rendimiento de granos.

- Los caracteres deseables para el camote son, alto rendimiento de tubérculos, precocidad, crecimiento mínimo de follaje, resistencia a sequía y a las principales enfermedades (*Fusarium* y podrición del suelo).-

- La existencia de gran potencialidad y posibilidad de expansión para los sistemas de cultivos que involucren especies como caupí y camote, exigen que los componentes presenten características tales como:

- Ciclo vegetativo diferentes, para originar menor competencia interespecífica por espacio y por tiempo, en razón del rápido crecimiento del cultivo más precoz, como en el caso de caupí.

- Precocidad, para disminuir el tiempo durante el cual los dos cultivos permanecen juntos en el campo, o sea, que haya la mínima interacción posible entre ellos, evitando que los rendimientos sea afectados mutuamente.

- Las variedades y/o cultivares de las especies componentes, deben manifestar alta estabilidad de producción total de sistema asociado, que además del efecto compensatorio, reduzca la incidencia de enfermedades, plantas y malezas, que ocurre como resultado de la diversidad de la vegetación.

Los sistemas asociados con caupí y camote, deben ser probados en ecosistemas con régimen de sequía, estudiando el comportamiento del mismo, cuanto la eficiencia en el aprovechamiento de la radiación solar, la absorción de nutrientes del suelo y los efectos en el rendimiento final. De esta manera estudios de baja inversión podrán tener enormes contribución para la sostenibilidad de los recursos de estos sistemas.

7. BIBLIOGRAFIA CITADA

- AGUIRRE ASTE, V. 1971. Estudios de los suelos del área del centro tropical de investigación y enseñanza. Tesis de Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA. 138.p
- ALVAREZ, M. N. 1992. Sweetpotato cropping systems in africa. In: Sweetpotato technology for 21st Century W. A.Hill, C.K. Bonsi and P.A. Loretan (eds). Tuskegee University Tuskegee Alabanba, USA. p 133-142.
- ALVES, E. J. e COELHO, Y DA S 1984. Consórcio de culturas com fruteiras. Informe Agropecuário. Belo horizonte, Brasil. 10(118):62-69.
- ALVIM, R. y ALVIM, P T. DE, 1969. Efeitos de densidades de plantio no aproveitamento de energía luminosa pelo milho (*Zea mays*) y pelo feijao (*Phaseolus*), em culturas exclusivas e consorciadas. Turrialba, Costa Rica 19(3) 389-393.
- ALVIM, P. T. De 1982. Energia solar y producción agrícola. Agronomía. (Perú) 29(1):115-123.
- ANDERWS, D.J. y KASSAM, A.H 1976. The importance of multiple cropping in increasing world food supplies. IN: Papendrick, R. Y. , Sánchez, P. A. y and Triplett, G.B. (eds). Multiple cropping. ASA (American Society of Agronomy). Spec. Pub. 27:1-10.
- 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 orientaciones de surcos. Tesis de Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. UCR- CATIE. 111p
- ARZE, B. J. A 1987. Modelos y simulación en la transferencia de agrotecnología. RISPASZ. San José, Costa Rica. 3: 3-5.

- ASCENCIO, C. J. y FARGAS, J. E. 1973. Análisis del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. "Turrialba 4") cultivado en solución nutritiva. Turrilaba (Costa Rica) 23(4):402-428.
- BEADLE, C.L. 1985. Analisis de crecimiento de plantas (crecimiento vegetal). In: Técnicas en Bioproductividad y Fotosíntesis. J. Coombs, D. O. Hall, S. D. Long y J. M. O. Scullock (eds). 2° de. Pergamon Press. p 20-24.
- BERNADES, M.S. 1987. Fotossíntese no dessel das plantas cultivadas. In Ecofisiología de Producao Agrícola. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosforo (POTOFOS). Piracicaba (SP), Brasil. p 13-48.
- BURGOS, C. F. 1978. Investigación de sistemas de producción en cultivos anuales. Turrilba, Costa Rica. CATIE. 14p.
- CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGICULTURA TROPICAL). 1975. Sistema de producción de frijol. Informe Anual de CIAT. Cali, Colombia 63p.
- CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGICULTURA TROPICAL). 1979. CIAT annual report 1978. Cali, Colombia. p1-10.
- CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGICULTURA TROPICAL). 1977. Sistema de producción de fríjol. Informe Anual de CIAT. Cali, Colombia 83p.
- ENGLEMAN, M. E. 1979. Contribuciones al conocimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en México. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México 140p.
- FRANCIS, C.A. 1986. Distribution and importancia of multiple cropping. In Multiple Cropping Sistemas. Charles A. Francis (ed.). N. Y., USA. p 1-19.

- FRANCIS, C.A. 1986. Variety development for multiple cropping systems. CRC. Critical Rev. in Plant Sci. 3: 133-168.
- GÓMEZ, A. A. y GÓMEZ K. A. 1983. Multiple cropping en the humid tropics of Asia. IDRC - 176e. Ottawa, Canada. 248p.
- HARWOOD, R. R. 1979. Small farm development. understanding and improving farming systems in the humid tropics. Westview Press, Boulder, Colorado, USA. 160p.
- HOLDRIDGE, L. R. 1981. Ecología basada en zona de vida. Trad. del inglés por Humberto Jimenéz Saa. S. José, Costa Rica. IICA. 216p.
- HUNT, R. 1979. Plant growth analysis: second derivatives and compounded second derivatives of splined plant growth curves. Ann Bot. N. S. 50:317-328.
- ICRISAT (INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS) 1981. Proc. International workshop on intercropping. Hyderabad, India. (10-13 January 1979). 104p.
- JIMÉNEZ, F. O. 1993. Radiación solar y producción. Curso Internacional de Especialización en Desarrollo de Sistemas Agroforestal. sp. (mimiografiado).
- KASS, D. C. 1978. Policulture cropping systems: review and analysis. Cronell Inst. Agr. Bull. Cornell University, Ithaca. New York, USA. 32: 1-69.
- LEÓN, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. San José, Costa Rica. IICA. Colección Libros y materiales Educativos/IICA. n°28 445p.

- LOPES, N. F. 1988. Adaptaçao fisiológica ao consórcio. In: Cultivo do feijoeiro; fatores que afetam a produtividade. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fosforo (FOTAPOS) Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. p 377-395.
- MEDINA, E. 1977. Introducción a la ecofisiología vegetal. Centro de Ecología Inst. Venezuelano Investigación Científica. Caracas, Venezuela. 102p.
- MELO, N DE 1984. Efectos de altura de maíz y disposición de sus hileras sobre el crecimiento y rendimiento de la asociación maíz (*Zea mays*), vigna (*Vigna unguiculata* L.). Tesis de Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. UCR-CATIE. 87p.
- MEYER, B. *et al.* 1973. Introdução á fisiología vegetal. 2° ed. Fundação Calousto Gulbenkian (ed.) Lisboa, Portugal. 710p.
- MONYO, J. H., KER, A. D. R. y AMPBELL, M. eds. 1979. Intercropping in semi-arid areas. IN: Symposium at Faculty of Agriculture, Forestry and Veterianry Science. Morongoro, Tanzania. 32pp.
- MOREIRA, O. A. 1986. Efectos de los factores Metereológicos sobre la fisiología de las plantas. In: Agroambiente. Serie Materiales de Enseñanza n° 13. CATIE. Turrialba. C.R. p 213-228.
- MORGAN, W. B. 1978. Agricultura in the third world: a spatial analis. London, BII & Hyman (eds). 290p.
- OYEJOLA, B. A. y MEAD, R. 1982. Statistical assessment of diferent ways of calculation land equivalent ratios (LER). *Experimental Agriculture* 18:125-138.

- PLUCKNETT, D. L. y SMITH, N. J. H. 1982. Historical perspectives on multiple cropping. In Multiple cropping systems. Chales a. Francis (de). New York, USA. p 20-39.
- REDDY, A. & WILLEY F. 1981. Growth and use studies in an intercrop of pear and millet/groundnut. *Field Crop Rev.* 4:13-24.
- REDDY, M.S. Y WILLEY, R.W. 1982. The relative Importance of above and below- ground resourece use in determing yield advantagesin pearse millet /groundnut intercropping. ICRISAT. C. L. Keswani and B. J. Ndunguru (eds). In: Intercropping Proceeding of 2nd Symposium on intercropping in semi-arid areas. head at Morogo, Tanzania (4 -7 augst 1980). p 70-71.
- SÁNCHEZ, P. A 1981. Suelos del tropico; característica y manejo. San José, Costa Rica. IICA. 634p.
- SHIBLES, R. M. y WEBER, C. R. 1966. Interception of solar radiation an dry matter production by various soybean patterns. *Crop Science.* 6(1):55-59.
- VALDIVIA FERNANDEZ, R. E. 1989. Disponibilidad de luz y evaluación de modelos de simulación en asociación de maíz (*Zea mays* L.), con soya (*Glycine max* (L.) Merr) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 218p.
- WHATLEY, J. M. y WHATLEY, F. R. 1982. A luz e a vida das plantas. Sao Paulo. Editora Pedagógica e Universitária, EDSP. Sao Paupo. Brasil. 102p.