

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA  
DEPARTAMENTO DE CULTIVOS Y SUELOS TROPICALES

INFLUENCIA DEL MICROCLIMA SOBRE EL COMPORTAMIENTO  
FISIOLÓGICO Y RENDIMIENTO DEL FRIJOL COMUN Y DE  
COSTA ASOCIADOS CON MAIZ, YUCA Y PLATANO

TESIS SOMETIDA A LA CONSIDERACION DE LA COMISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
DEL PROGRAMA CONJUNTO UCR — CATIE PARA OPTAR AL GRADO DE

Magister Scientiae

ALFREDO ORLANDO TOALA

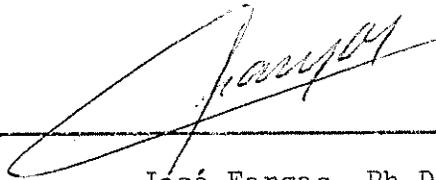
Turrialba, Costa Rica

1976

Esta tesis ha sido aceptada en su forma presente por la Comisión de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto UCR-CATIE, como requisito parcial para optar el grado de

Magister Scientiae

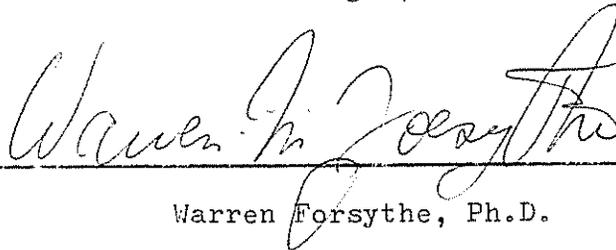
JURADO:



---

José Fargas, Ph.D.

Consejero



---

Warren Forsythe, Ph.D.

Comité



---

Pablo Rosero, Mag. Sc.

Comité



---

Coordinador

Sistema de Estudios de Posgrado  
de la Universidad de Costa Rica

DEDICATORIA

En nombre de

mi madre, esposa

e hijos: a los educadores

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento a las siguientes instituciones y personas que posibilitaron la culminación de esta etapa y trabajo:

Gobierno de Holanda

Comisión de Estudios para el Desarrollo de la  
Cuenca del Río Guayas (CEDEGE)

Universidad de Costa Rica

Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del  
CATIE

Drs.: José Fargas y Warren Forsythe e Ing. Pablo  
Rosero

Ing. Victor Mendoza A.

Economista Alfredo Mancero S.

Dr. Jorge Soria

Al personal de campo de la "montaña" del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales

De manera especial al Dr. Pedro Oñoro por sus sugerencias para el análisis estadístico y por haber revisado el original de este trabajo.

Al Sr. Luis Carlos Aguilar por su prontitud en el Mecanografiado de este trabajo

A todos los compañeros y amigos que me brindaron su colaboración durante mi permanencia en esta Escuela.

## BIOGRAFIA

El autor nació en Jipijapa, Provincia de Manabí, Ecuador. Realizó sus estudios primarios en las escuelas G. García Moreno y Daniel López. Cursó el bachillerato en el Colegio Nacional Alejo Lascano de su ciudad natal.

Sus estudios universitarios los realizó en la Facultad de Agronomía de la Universidad Técnica de Manabí, con sede en Portoviejo, graduándose de Ingeniero Agrónomo el 22 de Octubre de 1971.

En 1970 ingresó al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental "Portoviejo" en calidad de Becario. En 1971 se incorporó como Investigador Agropecuario 1 del Programa de Oleaginosas en la Estación Experimental "Boliche" del INIAP, hasta Octubre de 1973.

En Noviembre de 1973 pasó a la Comisión de Estudios de la Cuenca del Río Guayas (CEDEGE) como Ingeniero Agrónomo 3 y participó en el Programa de Investigación para el Desarrollo de la Península de Santa Elena, Provincia del Guayas.

En Febrero de 1975 ingresó a la Escuela para Graduados del Programa Conjunto UCR-CATIE, realizó estudios en la especialidad de Fisiología de cultivos y recibió el Grado de Magister Scientiae en Octubre de 1976.

CONTENIDO		Página
1.	INTRODUCCION .....	1
2.	REVISION DE LITERATURA .....	3
2.1	Microclima .....	3
2.2	Luz .....	5
2.2.1	Importancia general .....	5
2.2.2	Efecto de la luz sobre el crecimiento y desarrollo .....	5
2.2.3	Efecto de la luz sobre la fotosínte- sis .....	7
2.2.4	Luz e intensidad de asimilación neta	9
2.2.5	Luz y rendimiento .....	10
2.3	Temperatura .....	12
2.3.1	Efectos generales .....	12
2.3.2	Efecto de la temperatura sobre el crecimiento y desarrollo .....	12
2.3.3	Efecto de la temperatura sobre foto- síntesis, respiración y asimilación neta .....	14
2.3.4	Influencia de la temperatura sobre los rendimientos .....	15
2.4	Fisiología de cultivos y análisis del creci- miento .....	16
2.5	Relaciones de las variables de crecimiento .	18
2.5.1	Area foliar .....	18
2.5.2	Indice de Area Foliar .....	21
2.5.3	Intensidad de Crecimiento Absoluto ..	23
2.5.4	Intensidad de Asimilación Neta .....	25
2.5.5	Eficiencia Fotisintética .....	28
3.	MATERIALES Y METODOS .....	30
3.1	Localización del experimento	30
3.2	Períodos experimentales .....	30
3.3	Diseño experimental y de tratamientos .....	30
3.4	Establecimiento del experimento y manejo del cultivo .....	33
3.5	Instrumentos metereológicos para el registro de radiación solar y temperatura .....	36
3.6	Determinación instantánea de la humedad del suelo .....	38

	Página	
3.7	Análisis del crecimiento .....	38
3.8	Componentes agronómicos y del rendimiento ,.	42
3.9	Análisis de la información .....	42
4.	RESULTADOS .....	48
4.1	Condiciones macroclimáticas externas a los cultivos .....	48
	a. Radiación solar .....	48
	b. Precipitación .....	48
	c. Temperatura media .....	51
4.2	Condiciones microclimáticas .....	51
	a. Radiación solar .....	51
	b. Temperatura .....	55
	c. Humedad del suelo .....	55
4.3	Datos básicos para el análisis del creci- miento .....	57
	a. Peso seco total por planta .....	57
	b. Área foliar por planta .....	58
4.4	Componentes morfológicos del crecimiento ...	65
	a. Índice de área foliar .....	65
	b. Razón de área foliar .....	66
4.5	Componentes fisiológicos del crecimiento ...	66
	a. Intensidad de asimilación neta .....	66
	b. Eficiencia fotosintética .....	67
	c. Intensidad de crecimiento absoluto .....	68
	d. Intensidad de crecimiento relativo .....	73
	e. Intensidad de crecimiento relativo del área foliar .....	76
4.6	Componentes agronómicos y del rendimiento ..	76
	a. Altura de planta .....	78
	b. Índice de cosecha K .....	78
	c. Número de vainas por planta .....	78
	d. Peso seco de semilla por planta .....	79
	e. Rendimiento por parcela .....	82

	Página
5. DISCUSION .....	85
5.1 Condiciones microclimáticas .....	85
5.2 Variación de los datos básicos para el análisis del crecimiento .....	86
a. Peso seco total por planta .....	86
b. Area foliar por planta .....	87
5.3 Componentes morfológicos del crecimiento ...	89
a. Índice de área foliar .....	89
b. Razón de área foliar .....	90
5.4 Componentes fisiológicos del crecimiento ...	90
a. Intensidad de asimilación neta .....	90
b. Eficiencia fotosintética .....	91
c. Intensidad de crecimiento absoluto .....	93
5.5 Rendimiento de grano .....	94
6. CONCLUSIONES .....	98
7. RESUMEN .....	100
7a. SUMMARY .....	103
8. LITERATURA CITADA .....	106
APENDICE .....	115

## LISTA DE CUADROS

<u>TEXTO</u> Cuadro N <sup>o</sup>		<u>Página</u>
1	Algunas características físicas del suelo donde se realizó el trabajo .....	31
2	Fechas y días después de la emergencia en que se efectuaron los muestreos de plantas de frijol .....	40
3	Peso específico foliar ( $\text{dm}^2/\text{g}$ ) de dos tipos de frijol cultivados sin asociar (FS) y asociados con maíz (F + M), yuca (F + Y) y plátano (F + P) .....	40
4	Promedios de radiación total diaria ( $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$ ) disponible para las plantas de frijol en cada sistema de cultivo y por período experimental, correspondientes a cada intervalo de muestreo y acumulada por período .....	50
5	Promedios diarios de temperatura media ( $^{\circ}\text{C}$ ) para todos los sistemas, agrupados por períodos e intervalos de muestreo ..	53
6	Valores relativos de la radiación total acumulada durante la permanencia de las plantas en el campo en dos períodos experimentales. Radiación del frijol sin asociar 100% .....	53
7	Lámina de agua disponible (cm) en el suelo, agrupada por sistema de cultivo, tipo de frijol, profundidad y fecha de muestreo. Valores promedios de 6 muestras .....	56
8	Pesos secos (g/planta) agrupados por edad de las plantas y sistemas de cultivo. Valores promedios de dos tipos de frijol. Se incluyen valores calculados de F .....	59
9	Pesos secos (g/planta) agrupados por edad de las plantas y períodos experimentales. Valores promedios de tipos de frijol y sistemas de cultivo. Se incluyen valores calculados de F .....	59

TEXTO  
Cuadro N<sup>o</sup>

Página

10	Areas foliares ( $\text{dm}^2/\text{planta}$ ) agrupadas por edad de las plantas y tipo de frijol. Valores promedios de períodos y sistemas de cultivo. Se incluyen valores calculados de F .....	63
11	Areas foliares ( $\text{dm}^2/\text{planta}$ ) agrupadas por edad de las plantas y sistemas de cultivo. Valores promedios de dos tipos de frijol. Se incluyen valores calculados de F .....	63
12	Modelos de regresión múltiple para estimar la variabilidad del área foliar ( $\text{dm}^2/\text{planta}$ ) de dos tipos de frijol ....	64
13	Intensidad de asimilación neta ( $\text{mg}/\text{dm}^2$ ) agrupados por intervalos de muestreo, tipo de frijol y sistemas de cultivo. Se incluyen valores calculados de F ....	68
14	Eficiencia fotosintética (%) agrupados por intervalos de muestreo, tipo de frijol y sistemas de cultivo. Valores promedios de dos períodos experimentales. Se incluyen valores calculados de F ....	69
15	Modelos logarítmicos de regresión múltiple para estimar la intensidad de crecimiento absoluto ( $\text{g} \times \text{día}^{-1} \times 10^{-1}$ ) de dos tipos de frijol .....	72
16	Intensidad de crecimiento relativo ( $\text{mg}/\text{g}/\text{día}$ ) agrupados por intervalos de muestreo, tipo de frijol y sistemas de cultivo. Valores promedios de dos períodos experimentales. Se incluyen valores calculados de F .....	74
17	Modelos logarítmicos de regresión múltiple para estimar la producción por planta (gramo peso seco) de dos tipos de frijol ... ..	83
18	Modelo logarítmico de regresión para estimar la producción por planta (gramo peso seco) de dos tipos de frijol .....	84

TEXTO  
Cuadro N<sup>o</sup>

Página

19	Rendimiento de semillas (12% humedad) por parcela (6 m <sup>2</sup> ) y por hectárea de dos tipos de frijol en cuatro sistemas de cultivo. Diferencia estadística según la Prueba de Duncan .....	84
----	---	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura N <sup>o</sup>		<u>Página</u>
1	Precipitación acumulada, radiación total y temperatura media diaria fuera de los cultivos durante los dos períodos experimentales en que se sembró frijol .....	49
2	Radiación visible disponible para cada planta de frijol (10 dm <sup>2</sup> ) en cada sistema de cultivo en los dos períodos experimentales. Promedio diario para cada intervalo de muestreo .....	54
3	Precipitación, evaporación al sol y humedad gravimétrica del suelo a dos profundidades en varios intervalos de muestreo. Primer período .....	56
4	Precipitación, evaporación al sol y humedad gravimétrica del suelo a dos profundidades en varios intervalos de muestreo. Segundo período .....	57
5	Pesos secos a diferentes edades de plantas de dos tipos de frijol en dos períodos experimentales y en cuatro sistemas de cultivo .....	60
6	Pesos secos a diferentes edades de plantas de dos tipos de frijol, en dos períodos experimentales. Valores promedios de cuatro sistemas .....	61
7	Area foliar a diferentes edades de plantas de dos tipos de frijol, en dos períodos experimentales. Valores promedios de cuatro sistemas	63
8	Razón de área foliar a diferentes edades de plantas de dos tipos de frijol, en dos períodos experimentales. Valores promedios de cuatro sistemas .....	66

Figura N <sup>o</sup>		<u>Página</u>
9	Intensidad de crecimiento absoluto a diferentes edades de dos tipos de frijol, en dos períodos experimentales. Valores promedios de cuatro sistemas .....	70
10	Intensidad de crecimiento relativo a diferentes edades de plantas de dos tipos de frijol en dos períodos experimentales. Valores promedios de cuatro sistemas ...	75
11	Intensidad de crecimiento relativo del área foliar a diferentes edades en plantas de dos tipos de frijol en dos períodos experimentales. Valores promedios de cuatro sistemas .....	77
12	Número promedio de vainas por planta de dos tipos de frijol, en dos períodos experimentales y en cuatro sistemas de cultivo.....	80
13	Peso seco de semilla por planta de dos tipos de frijol, en dos períodos experimentales y en cuatro sistemas de cultivo	81
14	Relación entre el peso seco total por planta y el logaritmo natural de la radiación visible acumulada por planta durante el ciclo vegetativo, en varios sistemas de cultivo .....	88
15	Relación entre área foliar y eficiencia fotosintética de plantas de dos tipos de frijol .....	92
16	Relación entre el rendimiento de grano (12% humedad) por parcela (6 m <sup>2</sup> ) y el logaritmo natural de la radiación visible acumulada por parcela durante el ciclo de producción .....	96

## 1. INTRODUCCION

En las regiones tropicales los sistemas de producción que incluyen cultivos múltiples se los considera más beneficiosos que los constituidos por monocultivos porque permiten un mejor uso de los recursos del ambiente y además, la producción de biomasa total y de la parte económicamente útil es mayor tanto por unidad de superficie como por año.

En América Central y el resto del trópico americano están desarrollando programas de investigación para el estudio y mejoramiento de los sistemas agrícolas actualmente utilizados. En estas regiones tradicionalmente se cultivan distintos tipos de frijol en asociación con maíz y otras especies alimenticias que constituyen la base de la dieta humana.

Resultados preliminares de Alvim y Alvim (3) sugieren que una posibilidad para elevar la productividad de sistemas asociados consiste en la combinación de plantas de alta eficiencia fotosintética como el maíz con otras tolerantes al sombreamiento. Pero por otra parte, al asociar plantas de diferente especie en una unidad de tierra el cultivo dominante, de acuerdo a su naturaleza y altura, disminuye la disponibilidad de luz entre las hileras y se producen microclimas internos característicos y dinámicos que afectan el proceso de producción de los cultivos.

Como la información que se tiene sobre las relaciones entre el microclima interno de una asociación y las plantas que la forman es limitada se consideran necesarios los estudios

tendientes a establecer estas relaciones, especialmente con cultivos como el frijol común y el frijol de costa (cowpea) que además de ser populares en la dieta del hombre latinoamericano muestran un cierto grado de tolerancia al sombreamiento (34, 44).

Con base en los antecedentes descritos se decidió realizar este trabajo de investigación con el siguiente objetivo:

Evaluar, mediante la técnica del análisis del crecimiento, el comportamiento fisiológico y rendimiento del frijol común y de costa cuando son cultivados en las condiciones microclimáticas impuestas por el maíz, la yuca y el plátano.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Microclima

Microclima o clima vegetal se denomina a la capa de aire, convencionalmente de 1.2 m de altura, sobre la cual la superficie de la tierra con su vegetación y topografía tiene gran influencia (42, 59, 61). Para Holmes y Nelson-Dingle (42) el microclima de un cultivo comprende la masa de aire que circunda las plantas y que adquiere propiedades únicas a causa de ellas.

En asociaciones de cultivo según Tuller (73), la modificación de la radiación y vientos puede producir variaciones en otros elementos del ambiente interior tales como temperatura del aire y del suelo, evaporación, humedad del aire y humedad del suelo. Wallen (79) afirma que el efecto de dichos factores sobre la vegetación son problemas insuficientemente investigados.

Willey (86), reconoce que el microclima dentro de un cultivo sombreado puede ser apreciablemente diferente del que prevalece en el exterior y de acuerdo a Donal y Rhodes citados por Trembath (72) en cultivos múltiples, los recursos del ambiente por los cuales las plantas compiten son principalmente luz, agua y nutrimentos.

En el estudio del microclima Dabral y Chiney (24) recomiendan llevar un registro simultáneo de los diferentes

factores atmosféricos además de medidas periódicas de crecimiento de las plantas para estudios fisiológicos del cultivo. Pero Went (85) reconoce que no todas las variables climáticas son igualmente importantes para la vida vegetal. Efectivamente, Stanhill (61) afirma que el crecimiento de las plantas se puede considerar como un proceso físico en el cual la radiación solar suministra la energía lumínica para la fotosíntesis y consecuentemente, agrega Bokde (16), para la acumulación de materia seca en la planta.

Los resultados de Watson (82, 83, 84) y Blackman (11, 12, 15) refuerzan el concepto anterior ya que ellos y sus colaboradores encontraron en un gran número de especies que la energía lumínica y temperatura son variables importantes que determinan los niveles de asimilación neta, área foliar y crecimiento relativo. Esto también lo confirmó Hodgson (41) trabajando con Helianthus annuus y Vicia faba.

A pesar de lo anterior, Rajan, Betteridge y Blackman (47), indican que los efectos de la luz y temperatura sobre la asimilación neta, crecimiento relativo y área foliar de Phaseolus vulgaris, Gossypium hirsutum y otras especies son complejos. Pero ellos y también Voldeng y Blackman (76) trabajando con maíz, mediante el análisis de regresión múltiple estimaron la dependencia de cada variable biológica de los cambios de las condiciones meteorológicas, en especial de la luz y temperatura que, particularmente la primera, pueden ser factores decisivos en la productividad de cultivos múltiples.

## 2.2 Luz

### 2.2.1 Importancia General

Mientras la constitución genética de un organismo dado define el tipo de desarrollo y su capacidad de reacción, los factores ambientales, entre ellos la luz, ejercen una influencia profunda sobre la expresión de su herencia. Así el crecimiento y desarrollo pueden ser afectados por la luz (20).

Tanaka y Managuchi (66) indican que en los climas tropicales la radiación asume gran importancia mientras la temperatura afecta menos el crecimiento y desarrollo. De esta manera, es imprescindible que haya una alta y adecuada intensidad de luz solar para utilizar en forma más eficiente los otros factores del ambiente tales como la fertilidad y humedad del suelo,  $CO_2$ , etc, en la obtención de alta producción de cosechas (16), es decir que la luz tiene una marcada influencia reguladora sobre el crecimiento, desarrollo y diferenciación de una planta, aparte del efecto fotosintético (8, 50, 75) y por ello se convierte en un factor competitivo en asociaciones de cultivo donde por efecto del sombreamiento, incluso la morfología de la planta es afectada (46, 92).

### 2.2.2 Efecto de la luz sobre el crecimiento y desarrollo

Muchos investigadores han intentado relacionar la cantidad de luz recibida con el crecimiento y desarrollo de las

plantas. En 1923 Garner y Allard trabajando con cebolla, encontraron que el desarrollo de los bulbos fue similar a dos intensidades de luz,  $37,6 \times 10^2$  y  $113 \times 10^3$  lux (20). Posteriormente, Thut y Loomis (71) encontraron que las plantas de maíz al crecer a distintos niveles de luminosidad, desde la exposición total al sol hasta total oscuridad, presentan diferencias en su crecimiento y desarrollo. De manera similar Milthorpe (49) trabajando con plantas de lino comprobó que el sombreamiento disminuye el peso seco, altura, área foliar e intensidad de asimilación neta, y Alberda (2) en plantas de Lolium perenne, encontró un incremento en la producción de materia seca al aumentar la intensidad de luz.

Estudiando el aprovechamiento de la luz por las plantas Alberda (2) encontró tres fases: En el primer estado de crecimiento una porción considerable de la radiación incidente es absorbida por el suelo (fase 1). Esta porción disminuye gradualmente y es cero cuando la superficie foliar cubre todo el suelo (fase 2). Al final del período de crecimiento, cuando se inicia la maduración, la capacidad fotosintética se reduce y se pierde la cobertura foliar (fase 3).

A lo anterior Denmead y Fritschen (31) añaden que la radiación es de gran importancia para describir el ambiente físico del cultivo y aún más, Mohr (50) indica que el análisis moderno del control del crecimiento y desarrollo por la luz es realmente una aproximación satisfactoria para entender mejor estos problemas básicos de la biología.

Estos conceptos se refuerzan con los resultados de varios autores. Williams y otros investigadores (88) encontraron que el crecimiento del cultivo de maíz durante la fase vegetativa es determinado por la cantidad de radiación solar interceptada.

Mientras que Evans, Kay y Young (36) comprobaron que la tasa de incremento de materia seca por unidad de área foliar de Impaties parviflora es prácticamente proporcional a la radiación media diaria cuando es mayor de  $100 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$ , pero a partir de  $300 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$  ese incremento es independiente de la radiación.

Otros estudios como los de Dale y Felipe en 1972, citados por Felipe, Dale y Marriot (37) revelaron que en condiciones de baja iluminación, donde las hojas están sujetas a severas condiciones de sombreamiento el crecimiento radicular de la cebada es temporalmente detenido. Igualmente la tasa de ganancia de peso o de área foliar del frijol común, girasol, algodón y maíz, aunque en distinto grado, son apreciablemente disminuidas al aumentar el sombreamiento (58).

### 2.2.3 Efecto de la luz sobre la fotosíntesis

La intensidad fotosintética puede ser medida directamente estimando la fijación de  $\text{CO}_2$  o la producción de  $\text{O}_2$  por unidad de área foliar y por tiempo, o indirectamente determinando el incremento de peso seco (20). Datos presentados por

varios autores muestran que la radiación solar es el factor ambiental predominante que afecta la intensidad y eficiencia fotosintética de una planta.

Thomas y Hill (68) determinaron que la intensidad fotosintética de la alfalfa en un 52% es una función lineal de la luz solar. Además ellos encontraron que los picos de intensidad de luz corresponden con los picos de fotosíntesis y que la más alta asimilación se alcanza cuando se alternan períodos de alta intensidad de luz con períodos breves de nublamiento que atenúan la respiración. Nutman en 1937, también indicó que la tasa fotosintética de hojas de café en condiciones naturales varía directamente con la intensidad de luz, principalmente a niveles bajos (53). Esto lo corroboró Gaastra (39) que trabajando con trigo, cebada y frijol común comprobó que si las plantas están bien abastecidas de agua el curso diurno de la fotosíntesis corresponde, al menos cualitativamente, el curso de la radiación solar. Con esto coinciden Wilson y Cooper (92) que trabajando con varios genotipos de *Lolium* verificaron que con  $170 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$  de radiación neta las plantas tuvieron una mayor tasa de fotosíntesis que a  $80$  y  $30 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$ . Del mismo modo Schoch y Candelario en 1974 (60) encontraron que al disminuir la radiación total se originaba una disminución de la fotosíntesis de las hojas del frijol de costa.

Además, Wilson y Cooper (90, 92) han establecido que cuando la luz es un factor limitante hay diferencias significa-

tivas en la intensidad de fotosíntesis entre genotipos. Esto concuerda con lo propuesto por Barker y Musgrave (7) y Loach (46) de que hay genotipos tolerantes a la sombra que pueden realizar fotosíntesis eficientemente a bajas intensidades de luz, tal vez debido a que tienen baja tasa de respiración por unidad de área foliar y porque en la oscuridad pierden menos peso seco (46).

Otro hecho conocido es que la intensidad de fotosíntesis puede ser inhibida por una excesiva intensidad de radiación. Steemann-Nielsen (63) comprobó en Cladophora una disminución en la fotosíntesis cuando las plantas se expusieron a alta intensidad de luz. Este autor concluyó que tanto la reacción oscura y luminosa de la fotosíntesis fueron afectadas por el exceso de luz. En hojas de frijol se ha determinado que el punto de saturación de luz es de  $24 \times 10^3$  lux a esta intensidad de luz la máxima fijación de  $\text{CO}_2$  determinada fue de  $20 \text{ mg/dm}^2/\text{hr}$ . La fotosíntesis aparente empieza a declinar si se aumenta la intensidad de luz (80).

#### 2.2.4 Luz e intensidad de asimilación neta

Respecto a la intensidad de asimilación neta (IAN), Butt (20) cita algunos trabajos que muestran un efecto positivo y significativo de la luz sobre la asimilación neta de tomate, cebada y girasol. Por su parte Barker y Musgrave (7) encontraron que casi el 90% de la variación de cada hora en la IAN de

un cultivo de maíz puede atribuirse solamente a la variación de luz solar. El mismo efecto han encontrado Blackman y Wilson (13) trabajando con Helianthus annuus, y Wassink que en Gladiolus encontró una clara relación lineal entre intensidad de luz e IAN (20).

De manera semejante Blackman y Wilson (12) demostraron con diez especies, entre ellas Vicia faba y Pisum sativum que los cambios en la IAN están relacionados linealmente con el logaritmo de la intensidad de luz. Esto explica por un lado los resultados de Milthorpe quien encontró que el sombreamiento redujo la IAN del lino y los resultados de Blackman y Black (14) que con 22 especies herbáceas comprobaron que la cantidad de radiación solar disponible limita la IAN y por otro lado apoyan lo manifestado por Rajan, Betteridge y Blackman (47) en el sentido de que la intensidad de luz incrementa la IAN de frijol común y otras especies.

#### 2.2.5 Luz y rendimiento

La disponibilidad de luz también ejerce un notable efecto sobre el rendimiento de los cultivos. Earley y otros (32) encontraron que la disminución de la intensidad de luz solar disponible en el campo produjo una significativa reducción en la materia seca y rendimiento del maíz, lo mismo reporta Pendleton para el trigo citado por Bokde (16). Este último autor reporta también que la alta intensidad de luz solar en el

campo aumentó en 54% el rendimiento de grano de maíz. Posiblemente por esto es que Porter en 1937 (55) había afirmado que la variación de la intensidad de luz es la causa principal de las diferencias en la eficiencia de producción de las plantas.

Inove y Susuki citados por Stobbe, Ormrod y Wooley (65) confirman las aseveraciones anteriores al atribuir la caída de flores y frutos del frijol común a la baja intensidad de luz. Con algunas variedades de té, en 1975 Willey (86) estableció que los rendimientos fueron determinados por la cantidad de luz incidente sobre el cultivo. Obviamente se deben esperar diferencias entre genotipos, de allí que Stinson, Moss y Dale (64) encontraron que los rendimientos de híbridos de maíz tolerantes y susceptibles al sombreamiento fueron reducidos al crecer bajo sombra, pero el efecto fue significativamente mayor en los híbridos no tolerantes. Con cebada y trigo, Dale, Felipe y Fletcher en 1972 (26) también encontraron que el rendimiento total fue significativamente reducido por el sombreamiento.

En oposición a lo anterior Watson (83) al hacer una revisión sobre las bases fisiológicas de la variación del rendimiento dice que éste probablemente es poco afectado por fluctuaciones de la iluminación natural, y Acevedo (1) trabajando con frijol común asociado con maíz en Turrialba, Costa Rica, llegó a la conclusión que la competencia por luz no es un factor de gran repercusión sobre los rendimientos.

## 2.3 Temperatura

### 2.3.1 Efectos generales

La temperatura es un factor de gran importancia para cada función de la planta. Los procesos físicos y químicos son gobernados por la temperatura y acelerados por su incremento hasta un nivel óptimo, afirma Weaver y Clements, citados por Butt (20) y Went (85). Mas aún, de acuerdo a Tuller (73), la temperatura del aire es un elemento importante para determinar la conveniencia del clima para muchas especies vegetales y no hay duda que su conocimiento ayudará en la comprensión del fenómeno de crecimiento y desarrollo de las plantas.

### 2.3.2 Efecto de la temperatura sobre el crecimiento y desarrollo

Aunque el crecimiento y desarrollo es el resultado neto de un proceso complejo, la intensidad a la cual se cumple puede ser afectada diferentemente por la temperatura.

Al investigar la intensidad de acumulación de materia seca en trigo, Friend (38) encontró que la temperatura de 20 - 25° C favorece la intensidad de crecimiento absoluto durante todo el ciclo vegetativo. Pero en Impaties parviflora se encontró que la temperatura tiene poco efecto sobre la intensidad de crecimiento absoluto cuando la intensidad de luz es baja, su efecto se vuelve notable solo a alta intensidad de luz (35).

Sin embargo Evans, Kay y Young (36) al evaluar una comunidad de planta comprobaron que la temperatura controla la tasa de crecimiento y da origen a diferencias detectables en la planta. Por todo esto podríamos aceptar que la temperatura es un factor importante que influencia la distribución de materia seca en la planta.

Blackman y Wilson (12) con varias especies encontraron que las altas temperaturas influyen positivamente la relación de área foliar y por consiguiente la intensidad de crecimiento relativo. Pero Best (8) indica que para algunos cultivos tropicales las temperaturas altas y uniformes son un hecho desfavorable porque aceleran la senescencia de las hojas, sin embargo Rajan y Blackman (58) advierten que la reducción de la temperatura puede retardar diferentemente los procesos de crecimiento del frijol común, maíz y otras especies.

Para el caso del frijol común la temperatura más favorable es 26° C (57) y aunque varios autores (74, 85) han concluido que esta especie tiene una baja respuesta a los cambios termoperiódicos, según Dale (25) la influencia más importante de la temperatura sobre el frijol común es el control de la intensidad a la cual se desarrollan las hojas en los ápices y el control de la distribución de materia seca entre las hojas y el resto de la planta.

2.3.3 Efecto de la temperatura sobre fotosíntesis,  
respiración y asimilación neta

Debido a que las reacciones físicas, fotoquímicas y bioquímicas involucradas en el proceso fotosintético tienen diferente coeficiente de temperatura, uno puede esperar cambios complejos en su intensidad por efecto de la temperatura. Aparte de los efectos directos sobre ese proceso y la respiración, la temperatura afecta todo el proceso de asimilación que en respuesta puede modificar la intensidad de fotosíntesis (69).

En 1958 De Wit afirmó que la temperatura no tiene una influencia distintiva sobre la tasa de fotosíntesis, excepto al principio y fin del crecimiento de las plantas anuales (2). También Gaastra (39) estudiando la intensidad fotosintética con cultivos anuales encontró que a 0.03% CO<sub>2</sub>, este proceso es casi independiente de la temperatura del follaje, pero a mayores concentraciones, la intensidad cambia a valores altos al aumentar la temperatura aún hasta 35° C. Por el contrario Wilson y Cooper (91) trabajando en condiciones controladas en varios genotipos de Lolium encontraron que a 15° C las hojas presentaron una mayor tasa fotosintética que a 21° C. Del mismo modo El-Sharkawy (34) había encontrado que las altas temperaturas disminuyen la fotosíntesis neta del girasol, sorgo y algodón, pero también notó que por un corto tiempo ocurría un incremento de este proceso al aumentar la temperatura de 30° C hasta 45° C.

En cierta forma estos resultados permiten decir que bajo condiciones donde la concentración de  $\text{CO}_2$  y la intensidad de luz no son factores limitantes, la intensidad fotosintética incrementa al aumentarse la temperatura (20).

Examinando la dependencia de la fotosíntesis y respiración del índice de área foliar, en comunidades artificiales de plantas de algodón, a varias temperaturas, Ludwig, Saeki y Evans (47) encontraron que la intensidad de la fotosíntesis neta disminuía, cuando se tenían altos valores de índice de área foliar y se aumentaba la temperatura, a causa de la mayor intensidad de la respiración que de la fotosíntesis. Por supuesto la naturaleza de los efectos de la temperatura sobre la asimilación neta son sorprendentemente variables. Brenchley (18) encontró con arvejas que al aumentar la temperatura, hasta cierto límite, se incrementan directamente las pérdidas de materia seca por respiración, mientras que Moss y Musgrave (52) dicen que para el maíz, solo si la temperatura nocturna es del orden de 32 a 37.7° C pueden ocurrir serias reducciones en materia seca debido a la respiración y para el frijol, cebada y trigo han encontrado que en el rango de 15 a 30° C la temperatura afecta muy ligeramente la fotosíntesis si la planta está a saturación de luz (39).

#### 2.3.4 Influencia de la temperatura sobre los rendimientos

Existen evidencias de que las temperaturas óptimas

cambian de acuerdo al estado de crecimiento y desarrollo de las plantas. Davis en 1940 (28) encontró que las condiciones de temperatura al tiempo de floración controlan el número de vainas de frijol que se desarrollarán. A temperaturas mayores que 24° C el porcentaje de vainas disminuye rápidamente. Lambeth también afirma que cuando la temperatura media del período siguiente a la antesis del frijol está sobre 25.5° C el número de vainas es reducido porque un gran número de flores abortan, este número aumenta y aun las vainas se caen cuando la alta temperatura es acompañada por una baja humedad relativa y baja humedad disponible en el suelo (45).

Viglerchio y Went (74) en condiciones controladas encontraron que la producción de vainas de frijol de enredadera se incrementa al aumentar la temperatura nocturna y Stobbe, Ormrod y Wooley (65) determinaron que el número de flores y frutos de frijol común fue mayor cuando las temperaturas nocturnas y diurna fueron 21 y 29.5° C respectivamente.

#### 2.4 Fisiología de los cultivos y análisis del crecimiento

El problema de explicar la productividad con relación al crecimiento y desarrollo de las plantas es sumamente complejo por la interrelación de diversos procesos afectados por los distintos tipos de competencia y por la distribución particular de las plantas en el campo, que da lugar a un microclima especial (17).

Respecto a esos procesos y en el medio ambiente de la planta se han hecho estudios detallados y es lo que se llama fisiología de cultivos, pero estos conocimientos, especialmente dentro del trópico y en sistemas de cultivos múltiples, no se han podido integrar.

A pesar de que hace más de 56 años se formularon los conceptos de análisis del crecimiento que proveen un nuevo enfoque a los estudios ecológicos y fisiológicos, sorprende que todavía no se consiga suficiente información sobre las relaciones entre crecimiento y desarrollo con los cambios estacionales en intensidad de luz y temperatura, principalmente referidos al frijol en cultivos múltiples y condiciones tropicales.

El método de análisis del crecimiento es usado por fitofisiólogos y otros investigadores para tratar de interpretar las variaciones en la intensidad de crecimiento y producción de los cultivos en términos de los procesos fisiológicos básicos de la planta (81, 82). Los conceptos fundamentales y las implicaciones fisiológicas del método son muy simples, por lo que resulta particularmente apropiado para investigaciones de campo (21, 56) ya que con medidas simples de cambio de peso seco y área foliar por planta hechas a distintos intervalos se pueden determinar funciones fisiológicas o de crecimiento (11, 82) que permiten definir el efecto de los factores externos como luz y temperatura sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de un cultivo.

En una serie de estudios fisiológicos y ecológicos que incluían el análisis del medio ambiente de la planta (10, 11, 12, 13, 14, 15, 76) con el método de análisis del crecimiento se evaluaron los efectos del sombreado sobre el crecimiento y desarrollo de varias especies, entre ellas Vicia faba, Pisum sativum y Zea mays. Voldeng y Blackman en 1973 (76) empleando ese método y conociendo los cambios de radiación solar y temperatura pudieron determinar sus efectos sobre el crecimiento y les fue posible predecir los cambios que se pueden esperar en el crecimiento del maíz.

Las variables para medir el crecimiento de acuerdo a Evans y Hughes (35) se pueden dividir en dos tipos. Las del primer tipo, tales como relación de área foliar, relación de raíz a parte aérea tratan de medir la condición morfo genética de la planta. Las del segundo tipo describen el proceso de crecimiento de la planta, siendo las más importantes: intensidad de crecimiento absoluto, intensidad de crecimiento relativo, intensidad de asimilación neta y eficiencia fotosintética

## 2.5 Relaciones de las variables del crecimiento

### 2.5.1 Area Foliar

El área foliar es una medida de la magnitud del sistema asimilatorio de la planta, se puede expresar como área

verde total capaz de fotosintetizar, como peso seco total, como índice de área foliar (IAF) que es un término que introdujo Watson en 1958 (84) o de varias otras maneras, pero es importante especificar que medida se ha usado en caso que se quieran hacer comparaciones entre resultados de diferentes experimentos (21).

En 1931 Williams (87) advertía que el uso del área foliar (AF) como una base para la expresión de las tasas metabólicas introduce variaciones en el tiempo de una clase complacida y trabajos posteriores de Blackman (10, 12), Watson (82), Wallace (78) y otros investigadores (27, 54) demostraron que esa variación del AF parece ser el factor que más influencia tiene sobre la acumulación de materia seca en la planta aparte de su gran importancia directa como una fuente para evaporar agua e indirecta por la cobertura que ofrece al suelo (67).

La importancia del AF en la intercepción de la energía luminosa y sus relaciones con el incremento de peso seco de varios tipos de plantas ha sido demostrado por Broughan en 1956 (19), Davidson y Donald en 1958 (27) y Anderson en 1964 (4). Así quedó confirmado lo indicado por Watson (83) de que la base fisiológica para la alta producción está en conseguir un desarrollo rápido y grande del área foliar con el fin de obtener el máximo aprovechamiento de la radiación solar.

Es importante recordar, cuando se trata de cultivos múltiples, que el crecimiento de las hojas es afectado por la luz y aunque las especies reaccionan muy diferentemente en la expansión de su AF (14) ésta tiende a ser alta a niveles intermedios de intensidad de luz (13). En arvejas, Thomson y Miller (70) encontraron que la tasa de producción de primordios foliares presenta una pequeña pero constante aceleración en relación con la luz, lo mismo encontró en avena Thomson citado por Hughes (43). Este último autor también comprobó que el área foliar del crisantemo es una función lineal de la luz total.

En otros trabajos como el de Porter (55), en tomate, se ha encontrado que la expansión del AF es mayor cuando la intensidad de luz es baja, y el de Evans y Hughes (35) quienes indican que debido al sombreamiento hay un marcado incremento en la relación de AF con peso seco total de Helianthus annuus e Impaties parviflora. Con frijol hay resultados contradictorios puesto que mientras en asociación con el maíz el sombreamiento provoca un aumento del AF (1), en Colombia se ha reportado que el AF aumenta al incrementarse la iluminación (23).

Parece también que la tasa de producción de AF está correlacionada con la temperatura media. Esto se ha determinado en remolacha azucarera (80). En maíz, higuierilla y otras especies se ha observado que las hojas tienen la tendencia a

incrementar el tamaño siguiendo la curva de la temperatura (71).

Además, la relación entre AF y rendimiento encontrado por Watson (83) ha sido comprobado por varios autores. Así, Thomas y Hill (68) encontraron que al reducir el área foliar de la alfalfa se disminuye su rendimiento; Davis (28) en frijol encontró también una correlación positiva entre AF y rendimiento, pero este mismo autor (29) en trabajos con frijol más recientes manifiesta que la correlación indicada puede ser significativamente positiva o negativa dependiendo de las condiciones climáticas durante el período de floración y más aún es posible que esa correlación sea muy baja. Sin embargo Wallace (78) al estudiar mediante análisis de crecimiento las bases fisiológicas de las diferencias del rendimiento de seis variedades de frijol encontró que los más altos rendimientos se obtuvieron con las variedades que presentaron mayor AF y por ejemplo la var. 'Steuben' con solo 9.8% más de AF que la var. 'Yelloweye' superó en rendimiento a ésta última en 19.1%.

#### 2.5.2 Indice de Area Foliar

En cultivos múltiples es importante considerar que cuando el índice de área foliar (IAF) del cultivo dominante es aproximadamente 5 la luz en el interior es limitada (16). Habrá más luz cuando dicho valor sea de 2 ó 3.

Kasanaga y Monsi han intentado estimar el IAF óptimo para la producción de materia seca por cálculos basados en un modelo simplificado de la altura y distribución de hojas en una comunidad de plantas y basados también en la transmisión de luz por las hojas y las curvas que relacionan tasa de fotosíntesis con intensidad de luz de hojas aisladas. Haciendo algunas suposiciones, ellos encontraron que el IAF óptimo en días totalmente despejados fue 3 para una comunidad compuesta únicamente de hojas expuestas a la luz y 5 para una comunidad de hojas iluminadas y sombreadas (84).

Todo parece indicar que hay un valor óptimo de IAF para el máximo aprovechamiento de la radiación incidente en la fijación de  $\text{CO}_2$  por un cultivo. Este óptimo variará con las especies, con la intensidad de luz y con el arreglo espacial de las plantas en el campo (15).

Varios autores consideran que una alta eficiencia fotosintética entre 4 y 9%, se obtiene con cultivos cuyo IAF es elevado (14, 39) y justamente porque varía el IAF es que las diferencias entre estaciones y condiciones del ambiente afectan la producción de materia seca (84). Magalhaes y Montojos (48) también indican que el efecto diferente de la radiación solar sobre dos variedades de frijol común se puede atribuir a las diferencias del IAF que está estrechamente asociado a las variaciones de la intensidad de crecimiento relativo (11, 78).

Otros índices y razones que se relacionan específicamente con el área foliar son definidos y discutidos en otros trabajos como el de Ascencio y Fargas (6), Cabrera (21) y el de Evans (35), quienes comentan la importancia de esas variables en el análisis del crecimiento de los cultivos.

### 2.5.3 Intensidad de Crecimiento Absoluto

La intensidad de crecimiento de cualquier cultivo en el campo es afectado por varios factores como la temperatura, luz solar, precipitación, condiciones del suelo y disponibilidad de nutrimentos (18). Sin embargo se han hecho simplificaciones que tratan de explicar el crecimiento en función de factores físicos o fisiológicos de fácil comprensión.

Watson (82) propuso que el proceso de acumulación de materia seca sea completamente descrito en términos de los cambios de la intensidad de asimilación neta, que es una medida de la eficiencia de asimilación de carbono, y, del área foliar que es una medida del tamaño del sistema de asimilación. El mismo autor en 1952 (83), comprobó que en varios cultivos la producción de materia seca depende más de la variación del área foliar que de la intensidad de asimilación neta. Del mismo modo Davidson y Donald (27) comprobaron que la intensidad de crecimiento absoluto llegó al máximo cuando el IAF estuvo entre 4 a 5. Brougham (19) también reporta que la intensidad de crecimiento está relacionada con el área foliar y el

porcentaje de luz interceptada.

Posteriormente De Wit (93) describe un método para calcular el crecimiento como una función de la energía incidente, asumiendo que la tasa de fotosíntesis no es afectada por la temperatura y que la absorción y reflexión de la luz por las hojas es independiente del ángulo de incidencia y que la orientación de las hojas en la planta es al azar.

El método de De Wit según varios autores da una correcta estimación de la producción de materia seca (2, 61) y cuando el cultivo está bien desarrollado y el área foliar cubre todo el suelo se la puede calcular fácilmente multiplicando la radiación incidente por el factor  $6.7 \times 10^{-13}$  que según De Wit es la cantidad de materia seca formada por cada ergio absorbido (2).

Numerosos trabajos anteriores y posteriores al de De Wit apoyan su tesis. Porter en 1931 (55) encontró que la cantidad de materia seca acumulada en tomate presentó alta correlación con la intensidad de luz recibida. Blackman y Wilson (11, 12) igualmente enfatizan que el crecimiento puede ser determinado por la radiación diaria.

Blackman y Black (14) trabajando con varias especies, entre ellas Phaseolus multiflorus, ratifican que en el período de crecimiento activo la cantidad de luz que reciben las plantas es un factor limitante de la acumulación de materia seca. Osman en 1971 (54) estableció en trigo una relación lineal

entre incremento de materia seca acumulada y la radiación visible acumulada, recibida por el cultivo. Hughes en 1973 (43) verificó lo mismo con el crisantemo y Felipe, Dale y Marriot en 1975 (37) concluyeron que el crecimiento de la cebada estimado por cambios en el peso seco fue mayor en plantas bien iluminadas que en plantas sombreadas lo cual concuerda con lo obtenido en otros experimentos que muestran que aún el ligero sombreado trae una disminución de la tasa de crecimiento de algunas leguminosas y gramíneas (14, 15).

Con estos datos se puede comprender la dependencia general de la producción de materia seca de la cantidad total de radiación visible recibida por el cultivo.

#### 2.5.4 Intensidad de Asimilación Neta

El concepto de intensidad de asimilación neta (IAN) introducido por Gregory en 1917 fue desarrollado como una ayuda en el análisis cuantitativo del crecimiento de plantas (88) y se lo ha llegado a considerar una medida práctica y excelente de la fotosíntesis en estudios ecológicos, aunque se reconoce que no es una medida pura de ese proceso, sino que depende de la relación entre la ganancia de materia seca y las pérdidas por respiración. En consecuencia no es muy seguro suponer que todos los cambios en la IAN se originan en la variación de la tasa fotosintética (83). Otra fuente de error en la estimación de la IAN de cultivos de campo es que el sistema

radical generalmente no se puede recuperar y el cálculo se hace sólo con el peso seco de la parte aérea. Sin embargo se ha encontrado que el error introducido puede ser grande solo en los primeros estados de crecimiento, posteriormente disminuye y se vuelve despreciable (87).

Uno de los aspectos de controversia sobre la IAN es la existencia de un efecto de la edad. Heath y Gregory citados por Watson (82) determinaron en cebada y algodón respectivamente que la IAN durante la fase vegetativa permanece constante por lo que ambos autores (40) enunciaron que la IAN es independiente de la edad y que en los más diferentes tipos de plantas bajo condiciones muy variadas se aproxima a un valor medio constante. O sea que, según ellos, en la naturaleza la IAN no es muy variable. Este concepto no es compartido por Williams (88) quien comprobó en avena, tabaco y pasto sudán que esa variable tiene una disminución significativamente marcada por efecto de la edad, principalmente después de la floración.

Los trabajos posteriores mantienen la controversia inicial. Blackman y Wilson (11) trabajando con varias especies llegaron a la misma conclusión de Heath y Gregory. En 1952 Watson (83) indicó que la IAN puede variar únicamente por efecto de los factores exteriores independientemente de la edad de la planta, estado nutricional y especie. Mientras que Best (8) señala que la IAN de una planta anual es más alta en

los estados juveniles antes que la planta alcance su máximo crecimiento. Si se considera la IAN por unidad de área foliar, el máximo valor se alcanza después que la planta tiene su máximo follaje e intercepta toda la luz incidente. Después, en la fase reproductiva de la planta, la respiración puede alcanzar un valor máximo con lo cual la IAN se reduce. Ascencio y Fargas en 1973 (6) trabajando con frijol común en solución nutritiva encontraron que el valor máximo  $0.73 \text{ g/dm}^2/\text{semana}$  de la IAN se obtuvo en el período de máximo crecimiento de los frutos.

Por otra parte, a pesar de que Watson (82) indicó que no es posible distinguir cuales factores climáticos son responsables de la variación en la IAN, varios trabajos indican que este factor del crecimiento es casi completamente controlado por la temperatura y radiación (15, 52). Así, Heath y Gregory (40) han demostrado que existe una correlación alta entre intensidad de luz e IAN. En 1951 Blackman y Wilson (11) informaron de la relación lineal que existe entre el logaritmo de la intensidad de luz e IAN durante el período de crecimiento activo de Pisum sativum, Vicia faba y otros cultivos. En 1958, los mismos autores reportan una relación idéntica para el girasol (13).

En el año siguiente Blackman y Black (14) comprobaron que para Phaseolus multiflorus esa relación es curvilínea y que al disminuir en un 50% la radiación solar diaria se

reduce notablemente la IAN lo cual es muy significativo en cultivos asociados donde, si el suministro de agua y nutrimentos es óptimo, las variaciones de la IAN se deberán a competencia por luz (9).

En la literatura se encuentran discusiones acerca del efecto de la temperatura sobre la IAN en varias gramíneas y leguminosas. Como la temperatura y radiación son variables muy correlacionadas, se encuentra que la correlación entre temperatura e IAN es similar a la de radiación e IAN.

#### 2.5.5 Eficiencia fotosintética

La eficiencia fotosintética (EF) definida como la capacidad de la planta para transformar la energía radiante en materia seca varía entre especies y variedades (46) como lo han demostrado para el frijol Magalhaes y Montojos (48) y Wallace y Nunger (78).

También para otros cultivos se ha determinado la EF. Para la alfalfa se indica el valor de 16% (39), para otros pastos y remolacha azucarera 5 y 6% (2), en maíz 7% (5).

La diferencia en los valores de EF indica Loach (46) puede ser un indicativo de la capacidad de las especies para tolerar el sombreamiento.

Son importantes también los trabajos de Boysen-Jensen, Gabrielsen y Tallin citados por Gaastra (39) los cuales verificaron que la EF a bajas intensidades de luz es aproximadamente

la misma para hojas de diferentes especies como trigo, cebada y frijol. En el caso particular del frijol común se reporta que la alta EF de la var. 'Carioca' es un factor que determina la alta producción de semilla bajo distintas intensidades de radiación solar (48).

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Localización del experimento

El trabajo se realizó bajo condiciones de campo, en el área experimental del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del CATIE, en Turrialba, ubicada a 9º 53' Latitud Norte, 83º 39' Longitud Oeste y a 602 msnm. El clima es húmedo caliente, con las siguientes temperaturas promedio: máxima 27º C, mínima 17,6º C y media 22,3º C. La precipitación pluvial anual promedio de 2662,8 mm. El suelo es de origen aluvial fluvio lacustre, de la serie Instituto arcilloso (Inseptisol Typic Distropepts), con drenaje normal a impedido y fertilidad media a baja (5). Otras características físicas de este suelo se presentan en el Cuadro 1.

#### 3.2 Períodos experimentales

Este trabajo se realizó en dos períodos, entre Diciembre de 1975 y Marzo de 1976 que corresponde a la época seca, y entre Mayo y Agosto de 1976 que son meses de la época lluviosa.

#### 3.3 Diseño Experimental y de Tratamientos

- a- Se empleó un arreglo de parcelas subdivididas, distribuidas en bloques al azar, con tres repeticiones

Cuadro 1. Algunas características físicas del suelo donde se realizó el trabajo.

Bloque	Textura (Sistema USDA)	Densidad de partículas (g/ml)	Densidad aparente (g/ml)		Conductividad hidráulica (cm/hora)	
			0-10	10-20	0-10	60-70
I	Franco-Limoso	2.51	1.268	1.146	2.16	0.00
II	Franco	2.50	1.263	1.149	1.66	0.08
III	Franco-Limoso	2.46	1.262	1.143	1.66	0.16

Succión (bares)	Humedad gravimétrica* (%)		Humedad volumétrica* (%)		Lámina de agua disponible (cm) ( $H_v - H_v$ 15 bares)	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
0.01	58	47	74	53	3.8	1.7
0.05	41	43	51	49	1.5	1.3
0.10	38	41	48	47	1.2	1.1
0.20	38	40	48	46	1.2	1.0
0.50	37	38	47	44	1.1	0.8
1.00	36	36	45	42	0.9	0.6
2.00	34	35	43	40	0.7	0.4
5.00	34	34	43	39	0.7	0.3
10.00	31	33	39	38	0.3	0.2
15.00	28	31	36	36	-	-

\* Promedios de tres muestras

a- Los tratamientos fueron:

Sistemas de cultivo

	<u>Código</u>
Frijol sin asociar	FS
Frijol asociado con maíz (var. 'Tuxpeño 1')	F+M
Frijol asociado con yuca (var. 'Valencia')	F+Y
Frijol asociado con plátano (var. 'Pelipita')	F+P

c- Los subtratamientos fueron:

Tipos de frijol

Frijol común (Phaseolus vulgaris var. '27 - R') Ph  
Frijol de Costa (Vigna sinensis var. 'V - 44') V

d- Artificialmente se consideraron sub-subtrata,  
mientos los períodos experimentales

Primer período	1
Segundo período	2

e- Tamaño de parcela total (tratamientos)

Frijol sin asociar y asociado con maíz y yuca:  
90 m<sup>2</sup> (5 m x 18 m).

Frijol asociado con plátano: 162 m<sup>2</sup> (9 m x 18 m).

f- Tamaño de la subparcela total (subtratamiento)

Frijoles sin asociar y asociados con maíz y yuca:  
45 m<sup>2</sup> (5 m x 9 m).

Frijoles asociados con plátano: 81 m<sup>2</sup> (9 m x 9m).

g- Tamaño de la subparcela útil

La unidad de observación se compuso de 7 surcos

de 4 m de largo en todos los subtratamientos, de los cuales 4 se utilizaron para realizar evaluaciones de crecimiento y 3 para evaluar el rendimiento de grano.

h- La distribución al azar de las parcelas se hizo en el primer período, para el segundo se mantuvo la distribución anterior.

### 3.4 Establecimiento del experimento y manejo del cultivo

a- Preparación y tratamiento del suelo

Para el primer periodo del experimento el suelo se preparó mediante dos pasadas de arado con un tractor de orugas y tres pasadas de roto-vator, hasta una profundidad de 15 a 20 cm. En el segundo período no se realizaron estas labores. Antes de la siembra se espolvoreó al suelo Aldrín al 25 por ciento.

b- Tratamiento de las semillas

Las semillas de frijol y maíz se trataron con una mezcla de captán + aldrín 25%. Las cepas de plátano, antes de sembrarse, se sumergieron en una solución de aldrín 25%, 2 kilos por 200 litros de agua.

c- Siembra

El plátano se sembró el 8 y 9 de Octubre de 1975,

en hoyos de 50 x 50 x 30 cm, en el fondo del hoyo se espolvoreó aldrín al 25% y se aplicaron 200 g por hoyo de superfosfato triple. La yuca se sembró entre el 20 y 21 de Diciembre de 1975. El maíz y el frijol, en el primer período, se sembraron simultáneamente el 23 y 24 de Diciembre de 1975. De la misma manera, en el segundo período se sembraron el 25 de Mayo de 1976

d- Las distancias de siembras fueron:

Plátano: 3 x 3 m

Yuca: 1 x 1 m

Maíz: 1 x 0.4 m

Frijol sin asociar y asociado con plátano:

0.5 x 0.2 m

Frijol asociado con maíz y yuca a 0.5 m de distancia del cultivo dominante y 0.2 m entre plantas

e- Control fitosanitario\*

A los 24 días de la emergencia de las plántulas se aspersó al follaje del frijol sevin P.M. para

---

\* Se refiere al frijol. Lo que corresponde al maíz, yuca y plátano se describe en el trabajo: González, R. Determinación de la relación de las características biomorfológicas y radiación solar en maíz, yuca y plátano. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Universidad de Costa Rica-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1976.

el control de "vaquitas" y "tortuguitas" (*Diabrotica* sp.) especialmente.

f- Fertilización\*

En todos los tratamientos se aplicaron al voleo entre las hileras, a la siembra, 220 Kg/ha de la fórmula 15 - 30 - 8.

g- Raleo

A los 10 días de la emergencia de las plántulas de frijol se raleó para mantener la población de 100.000 plántas/ha.

h- Control de malas hierbas

Se hicieron controles manuales de malas hierbas, según lo requirió el cultivo.

i- Riegos por aspersión

Durante el primer período experimental se aplicaron dos riegos por aspersión, el 30 de Enero y el 6 de Febrero, cada uno de aproximadamente 17 mm.

---

\* Se refiere al frijol. Lo que corresponde al maíz, yuca y plátano se describe en el trabajo: González, R. Determinación de la relación de las características biomorfológicas y radiación solar en maíz, yuca y plátano. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Universidad de Costa Rica-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1976.

3.5 Instrumentos metereológicos para el registro de radiación y temperatura

Instalación en el campo y sistema de registro

a. Instrumentos

Siete radiómetros integradores de destilación tipo Gunn-Bellani.

Siete higrotermógrafos, un termómetro de máxima y mínima, termómetros, un pluviómetro y un evaporímetro de Piché.

b. Instalación

Un radiómetro y un higrotermógrafo se instalaron en dos repeticiones de cada tratamiento de frijol asociado y uno fuera de los bloques de cultivo que correspondió al frijol sin asociar. Los radiómetros se colocaron a una altura de 0.50 m de altura y los higrotermógrafos se instalaron sobre una mesa a 0.30 m del suelo y dentro de un abrigo construido con láminas de espuma de poliestireno. El higrotermógrafo, termómetro de máxima y mínima y el evaporímetro de Piché, fuera del cultivo, se instalaron en un abrigo metereológico tipo estándar. En este sector se instaló también el pluviómetro.

c. Manejo de instrumentos y sistema de registro de datos

Todos los radiómetros fueron rotados cada 3 días entre las parcelas de cada bloque. Los higrotermógrafos se rotaron cada semana.

La lectura de los radiómetros se realizó diariamente a las 7 a.m. y la radiación total se calculó mediante la fórmula:

$$Q = h \times K, \text{ donde}$$

$Q$  = radiación solar total en calorías  $\text{cm}^{-2}$  día<sup>-1</sup>

$h$  = altura de la columna de alcohol en cm

$K$  = constante instrumental

La temperatura diaria en cada tratamiento se obtuvo de las bandas de registro de los higrotermógrafos, las que se cambiaron semanalmente.

Las lecturas de precipitación, temperatura máxima y mínima y evaporación, fuera del cultivo, se realizaron diariamente a las 7 a.m.

Para correlacionar los datos de temperatura media y radiación diaria con varios índices de crecimiento, se hicieron promedios diarios entre los intervalos que correspondieron a cada muestreo de plantas.

### 3.6 Determinación instantánea de la humedad del suelo

Se iniciaron los muestreos a partir de los 18 días, después de la emergencia de las plántulas de frijol. Cada 8 días se hicieron muestreos de suelo en cada subtratamiento a las profundidades comprendidas entre 0 - 10 cm y 10 - 20 cm para determinar la humedad gravimétrica y conocer la lámina de agua disponible para el frijol, para lo cual de cada bloque se determinaron densidad aparente del suelo, densidad de partículas y curvas de desabsorción de muestras de suelo no alterado (Cuadro 1).

### 3.7 Análisis de crecimiento

Para el análisis de crecimiento se hicieron los muestreos que se describen en el cuadro 2.

En cada muestreo se determinó peso seco total de la parte aérea y área foliar. El cálculo del área foliar se hizo en base al peso específico foliar que representa el número de  $\text{dm}^2$  de hoja fresca correspondientes a un gramo de peso seco de hoja. Este valor se determinó para cada tipo de frijol y tratamiento y se muestran en el cuadro 3.

Con esos valores se calculó el área foliar mediante la siguiente relación:

$$AF = p.s.f. \times p.e.f. \text{ donde}$$

$$AF = \text{área foliar en } \text{dm}^2$$

psf - peso seco del follaje en gramos

pef = peso específico foliar en  $\text{dm}^2/\text{g}$

Con los datos de peso seco total y área foliar se calcularon varios componentes morfológicos y fisiológicos del crecimiento.

a. Componentes morfológicos

Índice de Área Foliar (IAF)

$$\text{IAF} = \frac{\text{AF por planta (dm}^2\text{)}}{\text{Área del suelo por planta (dm}^2\text{)}} \quad \checkmark$$

Razón de Área Foliar (RAF)  $\checkmark$

$$\text{RAF} = \frac{\text{AF (cm}^2\text{)}}{\text{Peso seco total (g)}}$$

b. Componentes fisiológicos

Intensidad de Crecimiento Relativo del Área Foliar (ICRAF)

$$\text{ICRAF} = \frac{L_n \text{ AF}_2 - L_n \text{ AF}_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{se expresa en } \text{dm}^2 \text{ dm}^{-2} \text{ día}^{-1})$$

donde  $\text{AF}_2$  y  $\text{AF}_1$  son el área foliar por planta al tiempo  $t_2$  y  $t_1$  respectivamente.

Intensidad de Crecimiento Absoluto (ICA)

$$\text{ICA} = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{se expresa en g día}^{-1})$$

Cuadro 2. Fechas y días después de la emergencia en que se efectuaron los muestreos de plantas de frijol.

Muestreo	Primer Período		Segundo Período	
	Días después de emergencia	Fechas	Días después de emergencia	Fechas
Primero	18	17- I -76	18	18- VI -76
Segundo	36	6- II -76	36	6- VII -76
Tercero	52	22- II -76	52	22- VII -76
Cuarto	67	8-III-76	65	3-VIII-76
Quinto*	82	23-III-76	72	10-VIII-76

\* Solo en frijol de costa

Cuadro 3. Peso específico foliar ( $dm^2/g$ ) de dos tipos de frijol cultivados sin asociar (FS) y asociados con maíz (F + M), yuca (F + Y) y plátano (F + P).

Tipo de frijol	FS	F + M	F + Y	F + P
Común	2.604	2.922	2.252	2.794
de costa	2.374	2.970	2.639	2.751

donde:  $P_1$  = peso seco inicial  
 $P_2$  = peso seco final  
 $t_2 - t_1$  = intervalo de tiempo

Intensidad de Crecimiento Relativo (ICR)

$$ICR = \frac{L_n P_2 - L_n P_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{se expresa en } g \text{ g}^{-1} \text{ día}^{-1})$$

Intensidad de Asimilación Neta (IAN)

$$IAN = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{L_n AF_2 - L_n AF_1}{AF_2 - AF_1} \quad (\text{se expresa en } g \text{ dm}^{-2} \text{ día}^{-1})$$

Eficiencia Fotosintética (EF)

$$EF = \frac{PS \times 3.7}{R \times 0.45} \cdot 100$$

donde: PS = peso de materia seca total en  $g/m^2$   
de terreno durante el período

$$t_2 - t_1$$

R = radiación total en  $K \text{ cal}/m^2$  de

terreno, recibida durante el pe-

riódodo  $t_2 - t_1$

3.7 = constante fotosintética (3.7 K cal  
por gramo de carbohidrato elaborado)

0.45 = factor para transformar la radiación  
total en radiación visible utilizada  
en la fotosíntesis.

3.8 Componentes agronómicos y del rendimiento

a) Altura de planta en cm se midió al tiempo de cosecha.

b) Índice de cosecha (K).

$$K = \frac{\text{Peso seco de la porción comercial.}}{\text{Peso seco total de la planta.}}$$

c) Número de vainas por planta.

d) Peso de semillas por planta, al 12% de humedad.

d) Producción por parcela (6 m<sup>2</sup>), al 12% de humedad.

3.9 Análisis de información

a. Análisis de variancia

Los datos de biomasa total y área foliar, los índices de crecimiento y componentes agronómicos y del rendimiento se analizaron como un diseño de parcelas subdivididas según el siguiente modelo

$$Y_{ijkl} = U + B_i + T_j + Y_k + A_l + (BT)_{ij} + (TY)_{jk} + (TA)_{jl} \\ + (YA)_{kl} + (TYA)_{jkl} + E(b)_{ijk} + E(c)_{ijkl}$$

Donde:

Donde:  $Y_{ijkl}$  = Variable de respuesta

U = Media común

$B_i$  = Efecto de la iésima repetición

$T_j$  = Efecto del jésimo sistema de cultivo  
(tratamiento)

$Y_k$  = Efecto del késimo tipo de frijol  
(subtratamiento)

$A_l$  = Efecto del lésimo período experimental  
(sub-subtratamiento)

$(BT)_{ij}$  = Error experimental (a)

$(TY)_{jk}$  = Interacción del tratamiento j con  
subtratamiento k

$(TA)_{jl}$  = Interacción del tratamiento j con  
sub-subtratamiento l

$(YA)_{kl}$  = Interacción del subtratamiento k con  
sub-subtratamiento l

$(TYA)_{jkl}$  = Interacción del tratamiento j con sub-  
tratamiento k y sub-subtratamiento l

$E(b)_{ijk}$  = Error experimental (b) de  $(BY)_{ik}$  +  
 $(BTY)_{ijk}$

$E(c)_{ijkl}$  = Error experimental (c) de  $(BA)_{il}$  +  
 $(BTA)_{ijl}$  +  $(BYA)_{ikl}$  +  $(BTYA)_{ijkl}$

En vista de que el quinto muestreo solo se hizo para el frijol costa, esa información se analizó como un diseño de parcela dividida en el que los tratamientos correspondieron a los sistemas de cultivo (FS, F + M, F + Y, F + P) y los subtratamientos a los períodos (1 y 2) del

experimento, el modelo general del análisis fue:

$$Y_{ijk} = U + B_i + T_j + A_k + (BT)_{ij} + (TA)_{jk} + E(b)$$

donde:

$Y_{ijk}$  = Variable de respuesta

$U$  = Media común

$B_i$  = Efecto de la  $i$ ésima repetición

$T_j$  = Efecto del  $j$ ésimo sistema de cultivo  
(tratamiento)

$A_k$  = Efecto del  $k$ ésimo período experimental  
(subtratamiento)

$(BT)_{ij}$  = Error experimental (a)

$(TA)_{jk}$  = Interacción tratamiento  $j$  por subtratamiento  $k$

$E(b)$  = Error experimental (b) de  $(BA)_{ik} + (BTA)_{ijk}$

b. Comparación de promedios de tratamientos

Para los datos de rendimiento de grano por parcela se realizó una Prueba de Duncan al nivel de 5%, empleando los promedios de cada sub-subtratamiento.

c. Análisis de Correlación

Para determinar su grado de asociación se realizaron análisis de correlación, independientes, para el frijol común y frijol de costa, entre las siguientes variables:

1. Período
2. Edad del Cultivo
3. Sistema
4. Radiación Neta
5. Temperatura media
6. Eficiencia fotosintética
7. Intensidad de asimilación Neta
8. Area Foliar
9. Intensidad de Crecimiento Absoluto
10. Producción de semilla por planta

La fórmula general de éste análisis es:

$$R = D_{sii}^{-(0.5)} (X'X) D_{sii}^{-(0.5)}$$

donde:

R = Coeficiente de correlación

(X'X) = Matriz de incidencia

$D_{sii}^{-(0.5)}$  = Diagonal de la matriz simétrica

d. Análisis de Regresión Múltiple

Se realizaron análisis de regresión múltiple entre las siguientes variables: área foliar (dependiente) con radiación visible, intensidad de asimilación neta, edad de la planta y período experimental (independientes); intensidad de

crecimiento absoluto (dependiente), con radiación visible, temperatura, eficiencia fotosintética, área foliar, edad de la planta y período experimental (independientes); producción de semilla por planta (dependiente) con radiación visible, temperatura, área foliar, intensidad de crecimiento absoluto, período experimental y sistema de cultivo (independientes). De los modelos de mayor ajuste resultantes se eliminaron las variables cuyo valor de  $t_c$  no era significativo. Es decir que se consideró que su aporte a la variación de la variable dependiente no era grande. De esta manera se obtuvieron funciones simplificadas que, aunque con un coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ) menor, permiten predicciones de la variable dependiente con un alto nivel de confiabilidad. El modelo general de estas relaciones funcionales es:

$$Y = B_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i$$

donde:

Y = Variable dependiente que se desea estimar

$X_i$  = Variables independientes

$B_0$  = Constante

$b_i$  = Coeficientes de regresión

Este modelo se puede expresar en forma matricial (22), en la que:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_N \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 1 & X_{21} & \dots & X_{K1} \\ 1 & X_{22} & \dots & X_{K2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{2N} & \dots & X_{KN} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_K \end{bmatrix} \quad U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_N \end{bmatrix}$$

donde:

$Y$  = vector de  $N$  observaciones para la variable dependiente

$X$  = matriz de dimensiones  $K \times N$  formada por las  $N$  observaciones de las  $K$  variables independientes

$B_K$  = coeficientes de regresión para las  $K$  variables independientes

$U_N$  = el vector de errores (vienen a ser los residuos entre los valores dados por la ecuación estimada  $Y$  y los valores reales).

#### 4. RESULTADOS

##### 4.1 Condiciones macroclimáticas externas a los cultivos

###### a. Radiación solar

En general el promedio diario de radiación total en el primer período experimental fue superior al del segundo. Pero durante los 30 primeros días de edad del cultivo del frijol la radiación de este último período fue mayor (figura 1 y cuadro 4). A partir de esta fecha la radiación en el segundo período disminuyó mientras que en el primer período aumentó. El promedio diario general de radiación solar del primer período fue superior al del segundo en un 21%.

###### b. Precipitación

En el período experimental 1, durante el ciclo de producción del frijol común (72 días), se acumularon 362 mm de precipitación y para el frijol de costa (85 días) 374 mm (figura 1). En este período, hasta la época de floración del frijol común (35 días), se acumularon 258 mm de lluvia y hasta la floración del frijol de costa (42 días) 322 mm. La escases de precipitación fue notoria a partir de los 65 días de edad del cultivo.

Durante el segundo período experimental la precipitación acumulada fue de 1097 mm. Hasta los 40 días en que los dos tipos de frijol ya habían florecido se registraron 476 mm

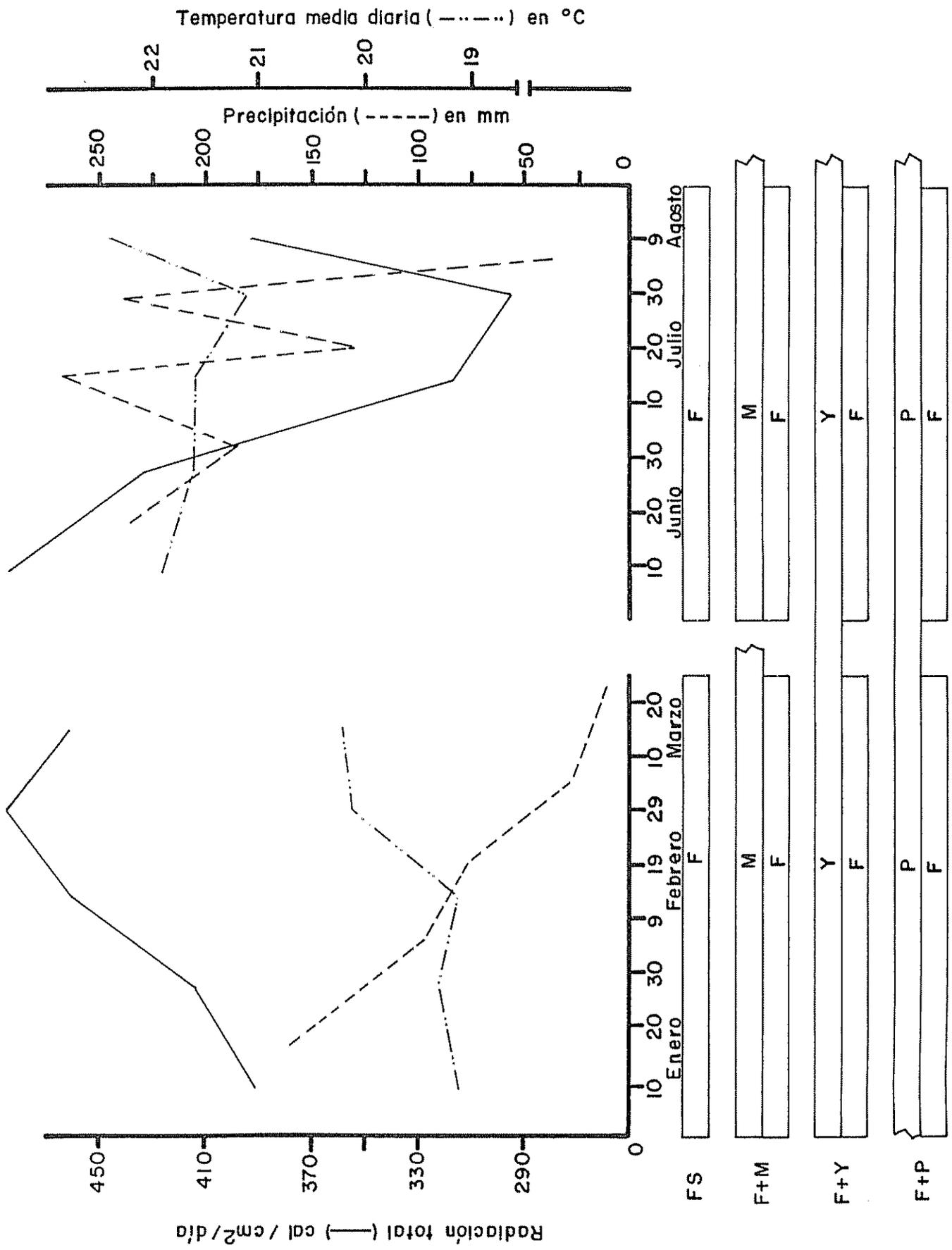


Fig. 1 Precipitación acumulada, radiación total y temperaturas medias diarias fuera de los

Cuadro 4. Promedios de radiación total diaria (cal/cm<sup>2</sup>/día) disponible para las plantas de frijol en cada sistema de cultivo y por período experimental, correspondientes a cada intervalo de muestreo de plantas y total acumulado por período.

Intervalo de Muestreo (días)	S I S T E M A S Y P E R I O D O S									
	F S		F + M		F + Y		F + P			
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1 - 18	391	482	391	482	391	100	391	100	391	260
19 - 36	413	433	428	422	444	64	326	64	326	160
37 - 52	460	317	384	231	431	60	404	60	404	126
53 - 67 *	434	295	304	148	484	53	426	53	426	84
68 - 82 **	460	393	182	57	431	57	377	57	377	91
Promedio	441	384	338	268	436	67	397	67	397	144
Total acumulado	36162	28416	27716	19832	35752	4958	32554	4958	32554	10656

\* En el período 2 el intervalo fue 53 - 65 días

\*\* En el período 2 el intervalo fue 66 - 74 días

de lluvia.

c. Temperatura media

La temperatura media diaria del período 1 (19.6º C) fue ligeramente menor que la correspondiente al período 2 (21.7º C) y estos valores variaron muy poco como se puede ver en los promedios de temperatura media diaria correspondientes a cada intervalo de evaluación del crecimiento del frijol (Cuadro 5).

4.2 Condiciones microclimáticas

a. Radiación Solar

En cada período experimental la radiación total acumulada en los tratamientos de frijol asociado fue menor que la del frijol sin asociar (Cuadro 4). Los porcentajes en que los valores de radiación total acumulada variaron, tomando como base el primer período experimental, se ven en el cuadro 6.

Considerando la superficie ocupada por planta de frijol como de  $10 \text{ dm}^2$ , del cuadro 4 deducimos que las plantas de frijol común sin asociar durante su ciclo de vida (72 días) acumularon 31752 y 27648 K cal/ $10 \text{ dm}^2$ /ciclo para el primero y segundo períodos experimentales, respectivamente. De la misma manera las plantas de frijol de costa sin asociar durante su ciclo de vida, 82 días y 74 días en el período 1 y 2 respectivamente, recibieron una radiación total de 36162 K cal/

10 dm<sup>2</sup>/ciclo (período 1) y 28416 K cal/10 dm<sup>2</sup>/ciclo (período 2).

En la figura 2 se muestran los valores promedios por períodos de la radiación correspondiente a la porción visible del espectro solar\* que incluye la radiación fotosintéticamente activa, y que fue disponible a las plantas en la superficie ocupada por cada una (10 dm<sup>2</sup>) en los diferentes sistemas de asociación. Se observa que en el primer período solamente debajo del maíz, a partir de los 36 días, disminuyó la radiación fotosintéticamente activa. Esa fecha coincidió con el inicio de la floración y posterior desarrollo de vainas y semillas de los dos tipos de frijol.

En el segundo período experimental la disponibilidad, para el frijol, de radiación visible en las asociaciones frijol + yuca y frijol + plátano, desde los primeros días, fue escasa. En la asociación frijol + maíz del mismo modo que en el período 1, a partir de los 36 días la radiación disponible al frijol disminuyó drásticamente.

Las matrices de correlación de los cuadros 1A y 2A muestran que hubo una correlación negativa y significativa entre radiación y período experimental y entre radiación y sistemas de cultivo.

---

\* Radiación total x 0.45

Cuadro 5. Promedios diarios de temperatura media (° C) para todos los sistemas, agrupados por periodos e intervalos de muestreo.

Períodos	Intervalos (días)					Promedio
	1 - 18	18 - 36	36 - 52	52 - 67*	67 - 82**	
1	19.1	19.3	19.1	20.1	20.2	19.6
2	21.9	21.6	21.6	21.1	22.4	21.7

\* En el período 2 el intervalo es 52 - 65 días

\*\* En el período 2 el intervalo es 65 - 74 días

Cuadro 6. Valores relativos de la radiación total acumulada durante la permanencia de las plantas en el campo en dos periodos experimentales. Radiación del frijol sin asociar 100%.

Períodos	Radiación total acumulada (%)			
	F S	F + M	F + Y	F + P
1	100	76	99	90
2	100	69	17	37
2/1*	79	71	14	33

\* Radiación total de cada sistema durante el período 2 expresada como porcentaje de la radiación del período 1 (100%).

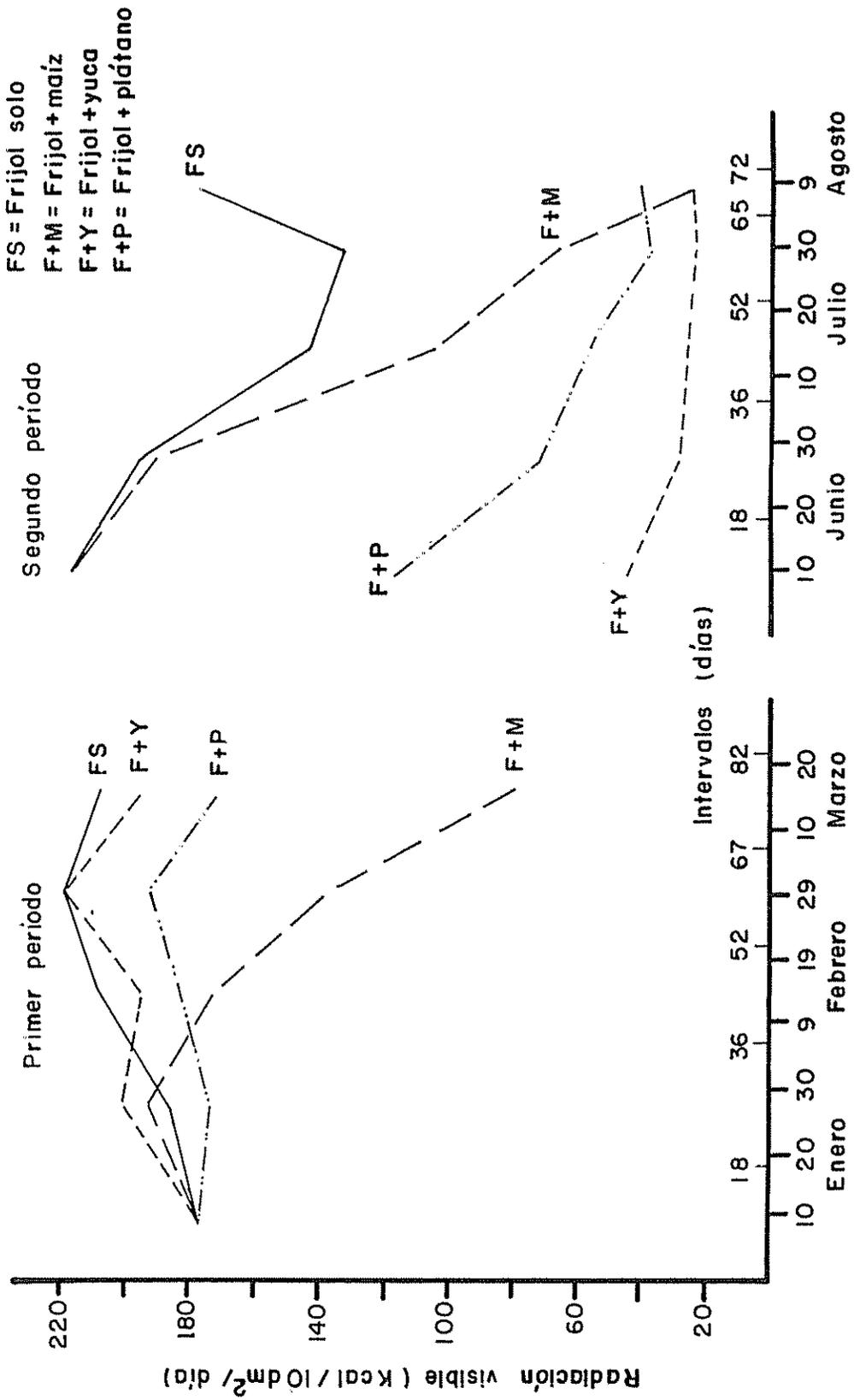


Fig. 2 Radiación visible disponible para cada planta de frijol (10 dm<sup>2</sup>) en cada sistema de cultivo, en los dos períodos experimentales. Promedio diario para cada intervalo de muestreo

b. Temperatura

Los promedios diarios de temperatura para cada uno de los sistemas de cultivo, en cada período experimental, fueron tan parecido que con un margen de error de  $\pm 1^{\circ}$  C se aceptó que las condiciones térmicas en el microclima del frijol fueron iguales en todos los sistemas. Los valores promedios a diferentes intervalos se muestran en el cuadro 5.

c. Humedad del suelo

En el cuadro 3A se presentan los valores de la humedad gravimétrica determinada una vez por semana, a las profundidades 0 - 10 cm y 10 - 20 cm. La variabilidad de la humedad entre sistemas de cultivo y tipo de frijol a las dos profundidades no fue estadísticamente significativa en cada fecha de muestreo y en los dos períodos excepto en dos casos en la profundidad 10 - 20 cm.

En las figuras 3 y 4 observamos que de manera general las curvas de humedad gravimétrica siguieron la tendencia de la curva de precipitación acumulada entre cada intervalo de muestreo. Los valores de la humedad en la mayoría de los casos fueron aproximadamente iguales a los correspondientes a las succiones 0.5 y 0.05 bares. Únicamente en el último muestreo del primer período se encontraron valores de 33% en la profundidad 0 - 10 cm, que fueron menores al correspondiente a la succión de 5 bares.

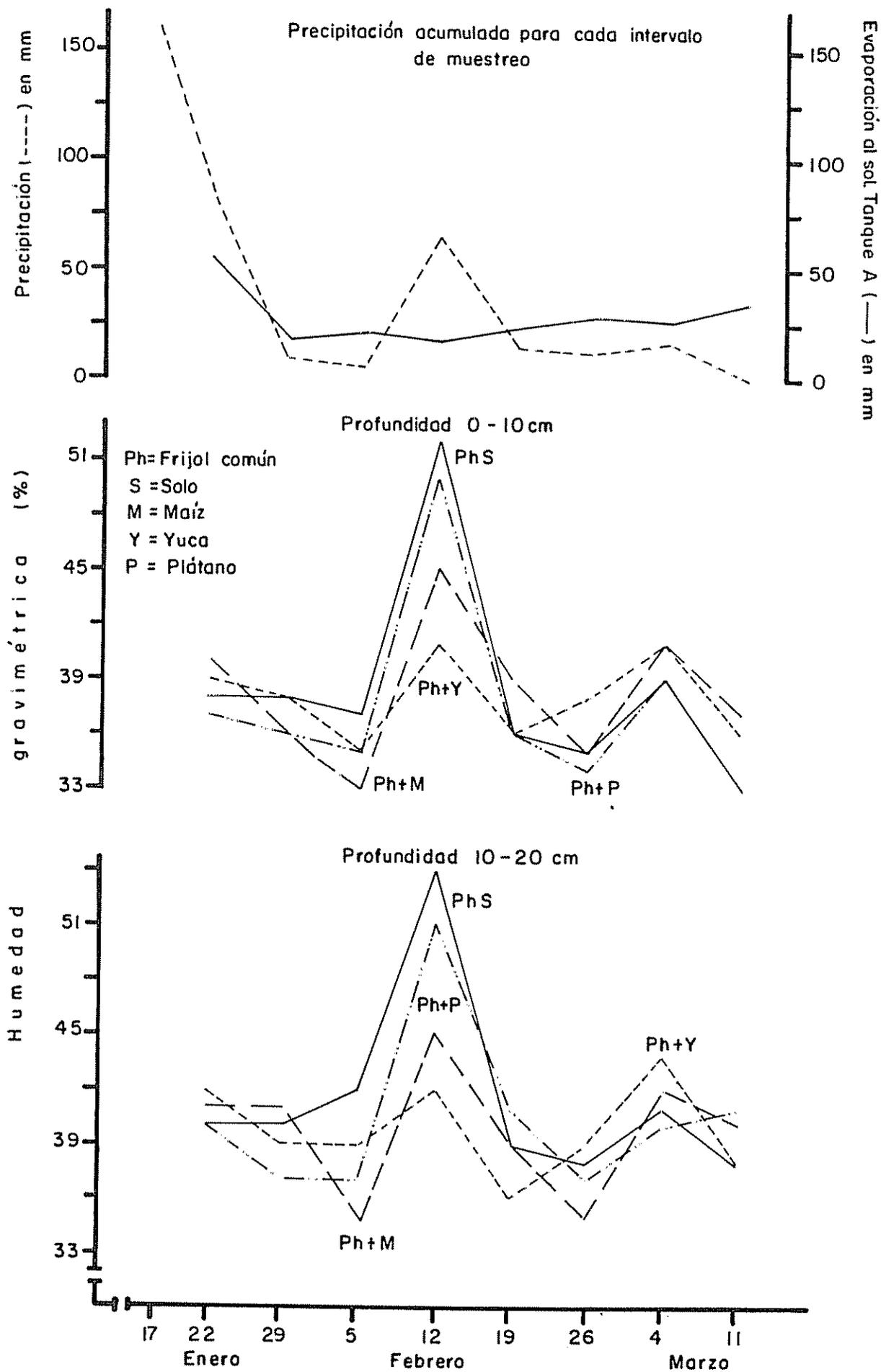


Fig. 3 Precipitación acumulada y humedad gravimétrica del suelo a dos profundidades en varios intervalos de muestreo, en cuatro sistemas de cultivo.

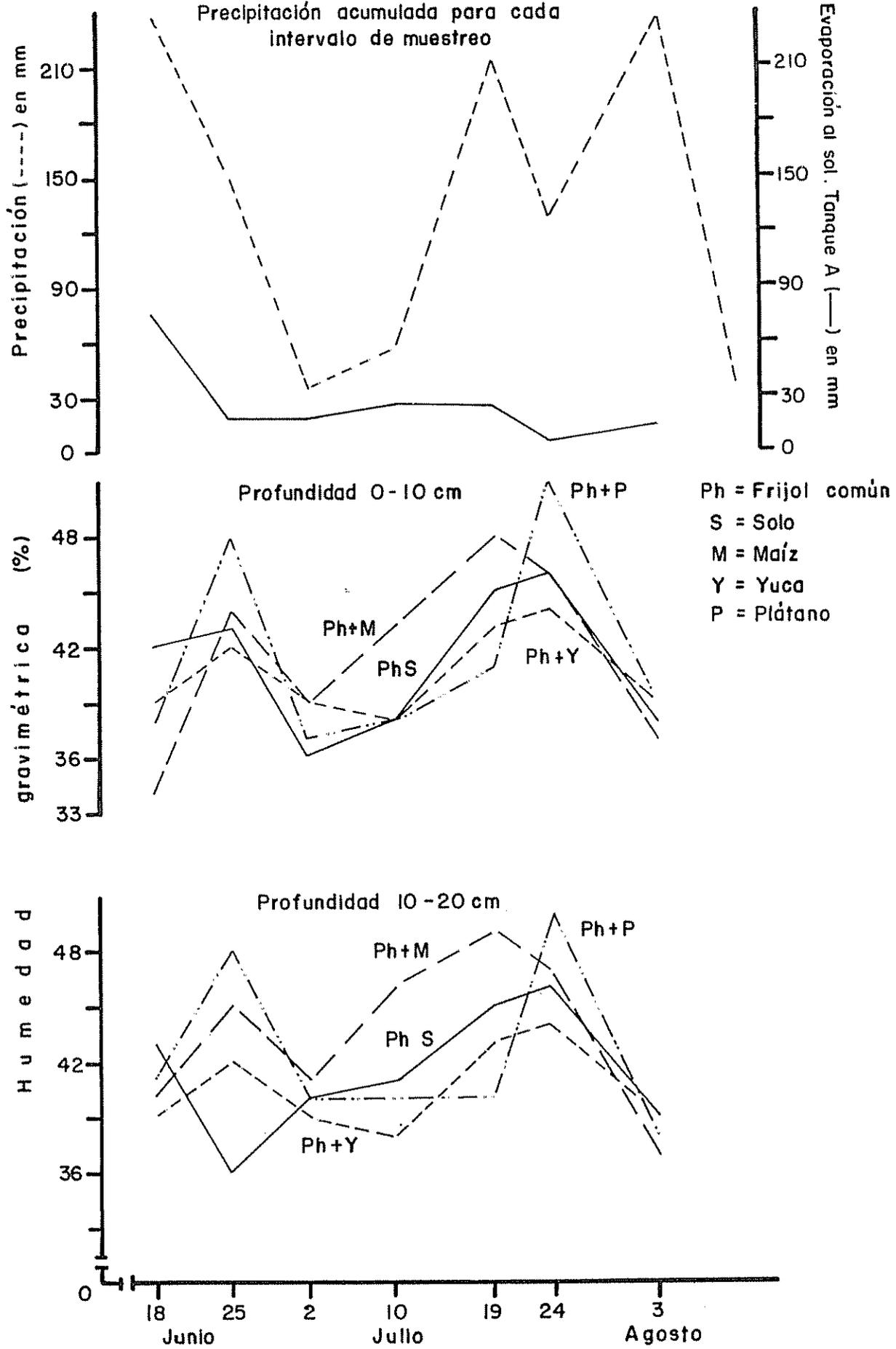


Fig. 4 Precipitación acumulada y humed gravimétrica del suelo a dos profundidades en varios intervalos de muestreo, en cuatro sistemas de cultivo. Segundo período

Cuadro 7. Lámina de agua disponible (cm) en el suelo, agrupada por sistema de cultivo, tipo de frijol,

• profundidad y fecha de muestreo. Valores promedios de 6 muestras

Fecha de muestreo	F S			F + M			F + Y			F + P					
	Ph	V	V	Ph	V	V	Ph	V	V	Ph	V	V			
1	I - 22	1.3	1.0	1.1	1.0	1.5	1.1	1.4	1.3	1.5	1.4	1.1	1.0	1.4	1.3
	I - 29	1.3	1.0	1.8	1.5	1.0	1.1	1.3	0.9	1.8	1.6	1.0	0.7	2.0	1.7
	II - 5	1.1	1.3	1.0	0.9	0.6	0.5	0.9	0.9	1.5	1.5	0.9	0.7	0.8	0.8
	II - 12	3.0	2.6	2.3	1.6	2.1	1.6	1.8	1.3	1.8	1.6	2.8	2.3	3.3	2.6
	II - 19	1.0	0.9	0.7	0.8	1.4	0.9	1.1	0.6	1.0	0.6	1.0	1.1	1.0	1.1
	II - 26	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.5	1.1	0.9	1.1	1.4	0.8	0.7	1.1	0.9
	III - 4	1.4	1.1	1.4	0.9	1.6	1.3	1.8	1.4	1.5	1.4	1.4	1.0	1.4	1.1
	III - 11	0.6	0.8	0.6	0.8	1.1	1.0	1.1	0.8	1.0	0.8	0.6	1.1	0.8	0.8
2	VI - 18	1.8	1.4	1.5	1.6	0.8	1.0	1.1	0.8	1.4	1.0	1.3	1.1	1.4	0.6
	VI - 25	1.9	0.6	2.1	1.0	2.0	1.6	1.9	1.7	1.8	0.9	2.1	1.6	2.5	1.3
	VII - 2	1.0	1.0	1.5	1.5	1.4	1.1	1.6	1.8	1.4	1.0	1.3	1.6	1.1	0.8
	VII - 10	1.3	1.1	1.6	1.4	1.9	1.7	1.8	1.5	1.5	1.3	1.3	1.0	1.1	1.5
	VII - 19	2.1	1.6	1.8	1.4	2.5	2.1	2.1	1.6	1.9	1.5	1.6	1.0	1.6	1.4
	VII - 24	2.3	1.7	2.5	1.8	2.3	1.8	2.1	1.1	2.0	1.5	3.2	2.2	2.8	2.1
	VIII - 3	1.3	0.9	1.3	0.9	1.1	0.7	1.1	1.1	1.4	1.1	1.4	0.8	1.4	0.8

Expresada como lámina de agua disponible (Cuadro 7), en el primer período, en todos los sistemas, esta fue aproximadamente igual a la encontrada entre los puntos de capacidad de campo (0.3 bar) y de marchitez permanente (15 bares). En el segundo período, en tres muestreos se encontraron láminas de agua superiores a la encontrada entre 0.3 y 15 bares de succión.

#### 4.3 Datos básicos para el análisis de crecimiento

##### a. Peso seco total por planta

En el apéndice (cuadro 4A) se muestran los datos básicos de peso seco por planta a diferentes edades agrupadas por sistemas de cultivo, tipo de frijol y período experimental. El análisis estadístico mostró que la variabilidad del incremento de peso seco por planta fue estadísticamente significativa entre tipos de frijol hasta los 52 días. Al final del período vegetativo, a los 67 días de edad de las plantas, hubo diferencias significativas entre sistemas, períodos y en la interacción tipo de frijol x período experimental.

En el primer período experimental se encontró que el efecto negativo del cultivo asociado al frijol sobre la acumulación de materia seca de los frijoles común y de costa fue más severo en el sistema frijol + maíz. En el segundo período fue en los sistemas F + Y y F + P donde las plantas de

frijol tuvieron la menor biomasa total. Este efecto competitivo de los cultivos con que se asoció el frijol se muestra en el cuadro 8 y figura 5.

El cuadro 9 que incluye el promedio general de peso seco por plantas para cada período experimental y la figura 6 que muestra la interacción período experimental por tipo de frijol, evidencian el efecto negativo del período 2 sobre la ganancia de peso seco del frijol común y de costa. Se observa también en las figuras 5 y 6 que el incremento de materia seca de los dos tipos de frijol siguió una tendencia sigmoideal en el tiempo.

b. Área foliar por planta

Los valores del área foliar por planta a diferentes edades, para cada tipo de frijol en cada sistema de cultivo y período experimental se presentan en el cuadro 5A. El análisis estadístico nos mostró que las diferencias del área foliar entre el frijol común y de costa fueron altamente significativas en todas las épocas de muestreo, y en el cuadro 10 comprobamos que hasta los 36 días el frijol común tuvo mayor área foliar que el frijol de costa pero a partir de los 52 días sucedió lo contrario.

El efecto de sistemas de cultivo y períodos experimentales sobre el crecimiento del área foliar fue estadísticamente significativo entre los 36 y 67 días de edad del frijol.

Cuadro 8. Pesos secos (g/planta) agrupados por edad de las plantas y sistemas de cultivo. Valores promedios de dos tipos de frijol. Se incluyen valores calculados de F.

Sistemas de cultivo	Edades (días)									
	18		36		52		67 - 65		82	74
	1	2	1	2	1	2	1	2	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>
F S	1.63	1.28	5.64	6.71	14.39	16.04	24.94	20.86	46.06	29.20
F + M	1.63	1.03	3.78	3.94	7.44	12.04	11.39	11.66	14.13	11.46
F + Y	1.56	0.73	3.33	1.79	8.34	3.29	14.83	3.66	34.76	4.53
F + P	1.58	0.98	4.89	3.74	14.36	7.89	21.71	8.46	50.46	7.39
F calculado	0.21 ns		4.10 ns		6.07 *		47.59 **		16.89 **	

<sup>a</sup> Promedios unicamente para el frijol de costa

Cuadro 9. Pesos secos (g/planta) agrupados por edad de las plantas y períodos experimentales. Valores promedios de tipos de frijol y sistemas de cultivo. Se incluyen valores calculados de F.

Períodos	Edades (días)							
	18	36	52	67 <sup>a</sup> - 65 <sup>b</sup>				
1	1.60	4.41	11.14	18.22				
2	1.00	4.05	9.82	11.16				
F calculado	7.84 ns		1.50 ns		1.49 ns		28.63 **	

a = para el período 1; b = para el período 2

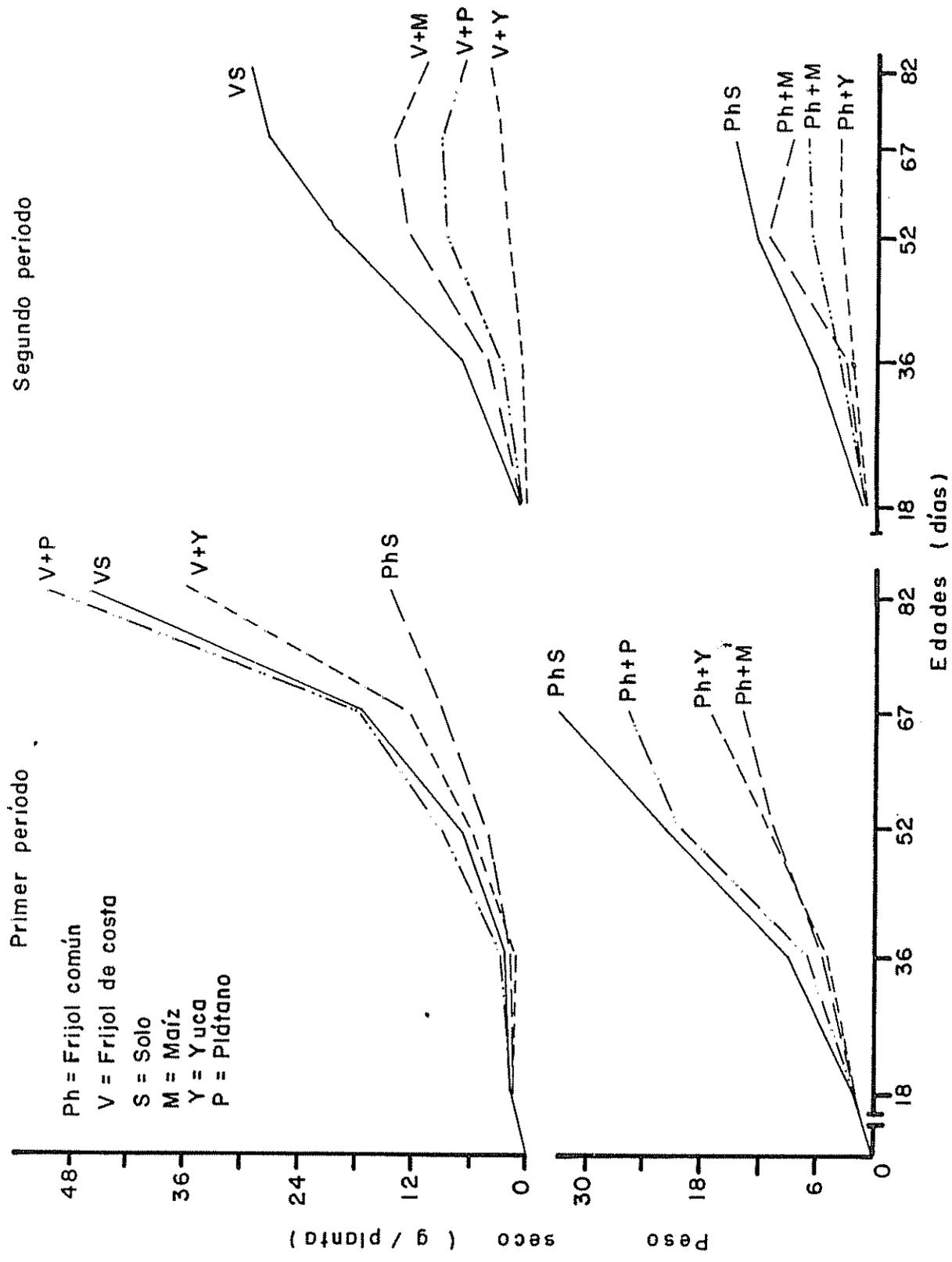


Fig. 5 Pesos secos a diferentes edades de plantas de dos tipos de frijol en dos periodos experimentales y en cuatro sistemas de cultivo

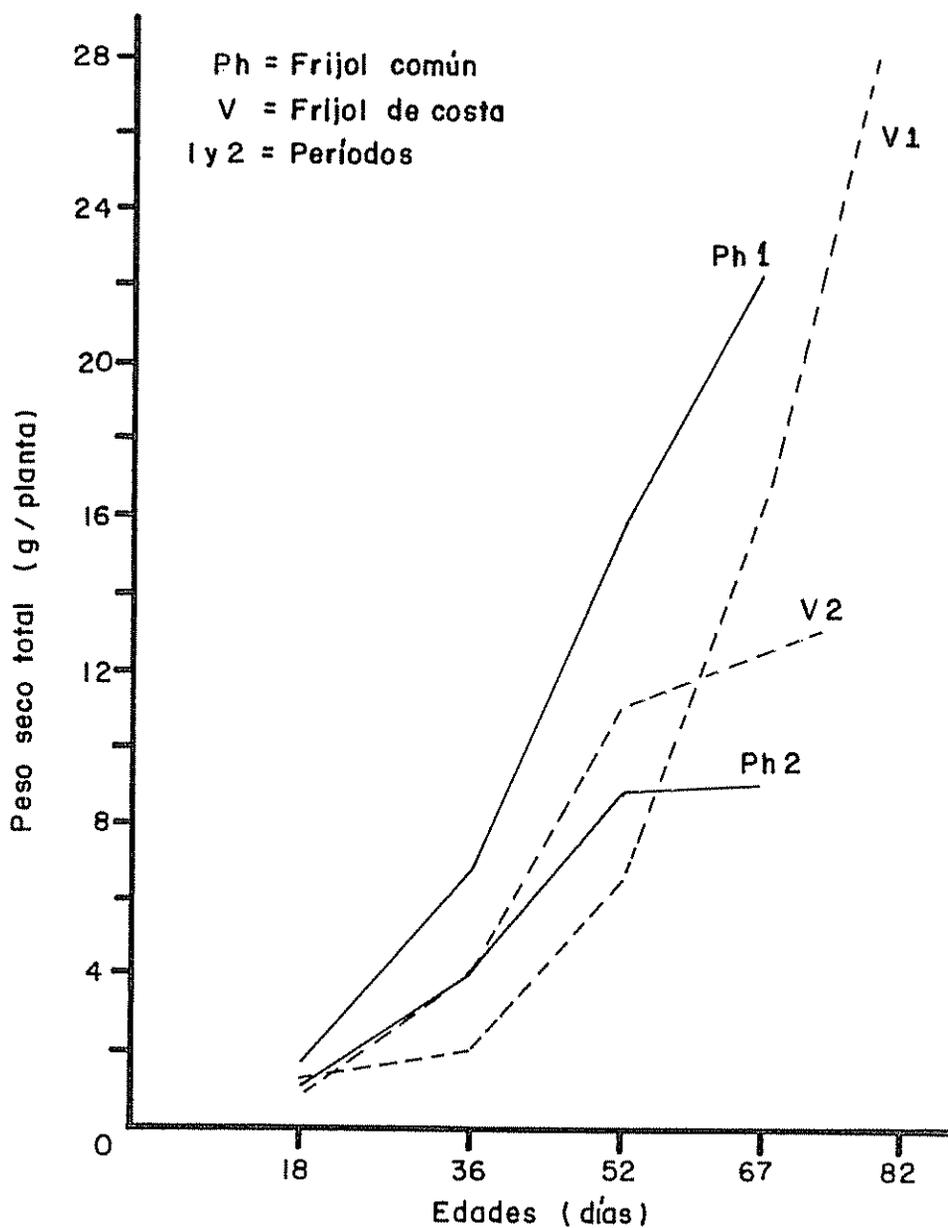


Fig. 6 Pesos secos a diferentes edades de plantas de dos tipos de frijol en dos períodos experimentales. Valores promedios de cuatro sistemas

Podemos observar en el cuadro 11 que en el sistema F. + Y, en el primer período a los 67 días hubo menor área foliar del frijol que en los otros sistemas. En el segundo período en los sistemas F + Y y F + P el área foliar de frijol fue notablemente menor que en los otros sistemas.

En la figura 7, que muestra la interacción tipo de frijol x período experimental, podemos observar que el mayor crecimiento del área foliar del frijol común varió entre los 18 y 36 días mientras que en el frijol de costa, esto sucedió entre los 36 y 52 días.

El análisis de correlación evidenció la asociación estadísticamente significativa del área foliar del frijol de costa con período experimental, edad de la planta, radiación visible e intensidad de asimilación neta. Estas cuatro variables en el análisis de regresión múltiple (Cuadro 12) explican la variabilidad del área foliar en un 85%. Al eliminarse período experimental por tener un valor de t no significativo, el nuevo modelo mantuvo un  $R^2 = 0.84$  lo que nos demostró que el crecimiento del área foliar del frijol de costa se puede predecir mediante la edad de la planta, radiación e intensidad de asimilación neta con un 84% de confiabilidad. Para conseguir un modelo más simplificado se eliminó la variable IAN que presentó alta correlación con la edad y el coeficiente de determinación bajó a 0.74.

Empleando esas mismas variables para explicar la

Cuadro 10. Areas foliares (dm<sup>2</sup>/planta) agrupadas por edad de las plantas y tipo de frijol. Valores promedios de dos periodos y cuatro sistemas de cultivo. Se incluyen valores calculados de F.

Tipos de frijol	Edades (días)			
	18	36	52	67 <sup>a</sup> - 65 <sup>b</sup>
Común	2.43	6.27	7.75	2.60
Costa	1.72	4.29	10.17	10.05
F calculado	219.45**	41.81**	85.59**	244.08**

a = para el período 1; b = para el período 2

Cuadro 11. Areas foliares (dm<sup>2</sup>/planta) agrupados por edad de las plantas y sistemas de cultivo. Valores promedios de dos tipos de frijol. Se incluyen valores calculados de F.

Sistemas de cultivo	Edades (días)									
	18		36		52		67 65		82 74	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>
F S	2.3	2.1	6.4	7.7	10.9	12.3	9.3	7.2	10.7	5.1
F + M	2.7	2.0	5.1	5.9	7.0	10.9	7.1	8.2	8.4	2.8
F + Y	2.1	1.1	3.8	1.2	7.7	2.8	4.8	1.7	14.3	1.7
F + P	2.4	1.7	6.6	4.6	12.6	7.3	10.1	2.0	14.3	1.4
F calculado	2.15ns		6.33**		12.54**		5.77*		5.40ns	

<sup>a</sup> Promedios únicamente del frijol de costa

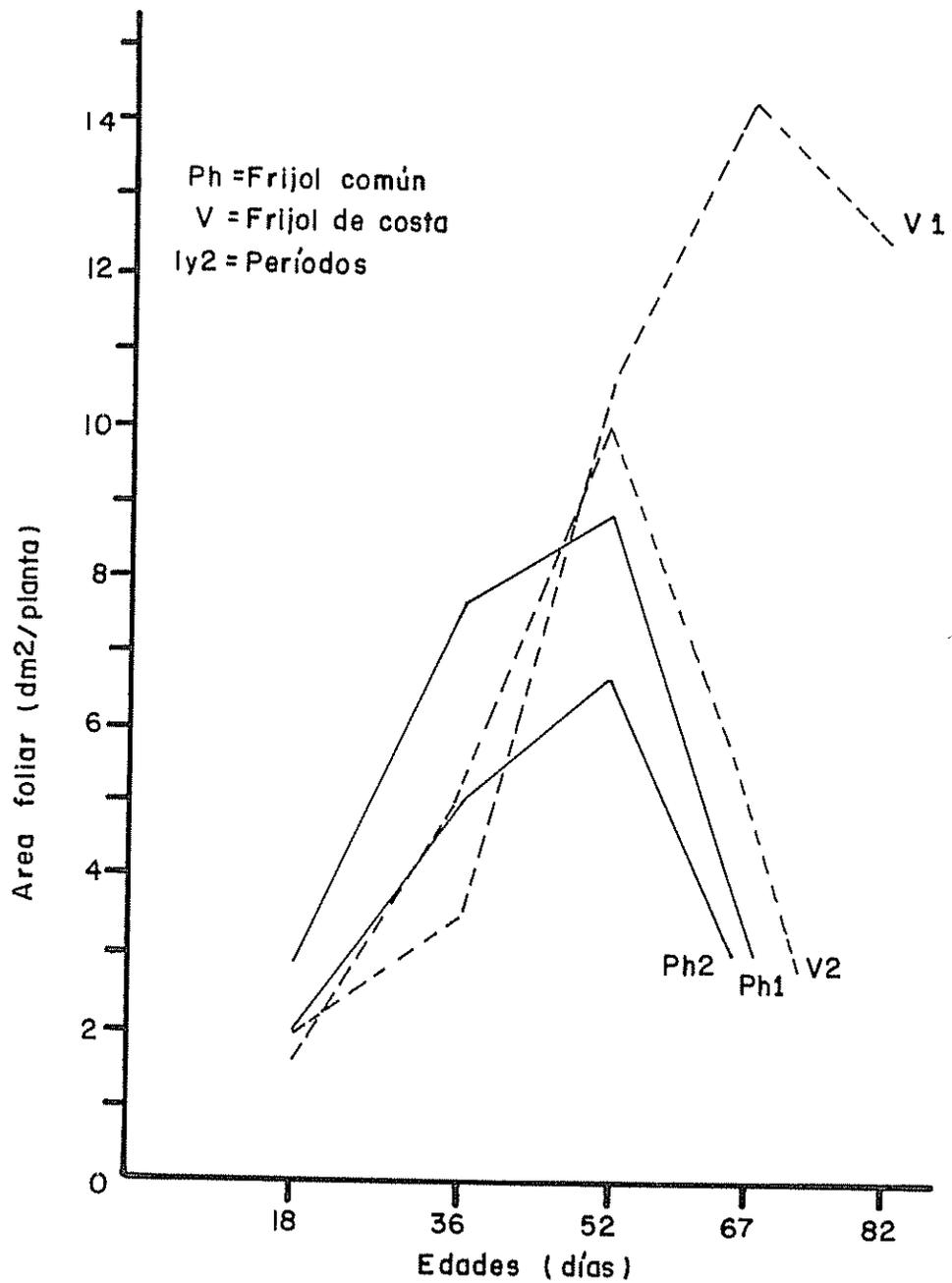


Fig. 7 Area foliar a diferentes edades en plantas de dos tipos de frijol en dos períodos experimentales. Valores promedios de cuatro sistemas

Cuadro 12. Modelos de regresión múltiple, para estimar la variabilidad del área foliar ( $\text{dm}^2$ ) de dos tipos de frijol

Modelo	Variables independientes	Frijol de costa		Frijol común	
		B	$t_c$	B	$t_c$
I <sup>a</sup>	$X_0$	-2.93		-0.34	
	$X_1$	0.21	1.00ns	0.19	0.52ns
	$X_2$	1.08	8.58**	0.38	1.80ns
	$X_4$	0.81	7.85**	0.54	2.82*
	$X_6$	0.16	4.98**	0.09	1.52ns
	$R^2$		0.85		0.36
II <sup>a</sup>	$X_0$	-2.74		--	
	$X_2$	1.05	8.59**	--	--
	$X_4$	0.75	9.40**	--	--
	$X_6$	0.16	5.05**	--	--
	$R^2$		0.84		--
III <sup>a</sup>	$X_0$	-3.38		-0.22	
	$X_2$	1.28	8.80**	0.40	1.19ns
	$X_4$	0.75	7.38**	0.51	3.69*
	$R^2$		0.74		0.31
IV <sup>b</sup>	$X_0$	-0.51		-0.23	
	$X_4$	3.73	3.74*	0.02	2.77*
	$X_6$	0.20	3.59*	0.38	4.32**
	$R^2$		0.36		0.45

<sup>a</sup> Modelo logarítmico

$X_4$  Radiación visible

<sup>b</sup> Modelo lineal

$X_6$  Eficiencia fotosintética

$X_0$  Constante

B Coeficiente

$X_1$  Período experimental

$t_c$  Valor de t calculado

$X_2$  Edad de la planta

variabilidad del crecimiento del área foliar del frijol común se obtuvieron valores del  $R^2$  muy bajos, únicamente con un modelo lineal que incluyó radiación e IAN se alcanzó un  $R^2 = 0.45$ .

#### 4.4 Componentes morfológicos del crecimiento

##### a. Índice de Área Foliar (IAF)

Los valores del IAF se presentan en el cuadro 6A. El análisis de variancia mostró que las diferencias entre tipos de frijol fueron altamente significativas en todas las edades de muestreo. El efecto de los sistemas de cultivo sobre la variación del IAF tuvo significancia estadística únicamente hasta los 36 días de edad de las plantas y la interacción sistema por tipo de frijol no fue significativa.

Las plantas de frijol común alcanzaron su mayor IAF a los 52 días y en el segundo período experimental este índice tuvo valores menores que en el primer período excepto en el sistema F + M y en todos los sistemas el valor fue menor que uno lo que comprobó que el área foliar de las plantas no llegó a  $10 \text{ dm}^2$  que fue la superficie de terreno que correspondió a cada planta. En el frijol de costa el IAF tuvo mayor variación. En el primer período los valores máximos se alcanzaron a los 67 días y en los sistemas FS y F + P fue 1.56. En el segundo período los mayores valores del IAF se alcanzaron a los 52 días y en todos los casos, excepto en el sistema F + M,

fueron menores que los que correspondieron al primer período.

b. Razón de Área Foliar (RAF)

En el apéndice, cuadro 7A se presentan los datos de la RAF. El análisis de variancia mostró que el efecto de los sistemas sobre la variación de la RAF no fue significativo mientras que las diferencias entre tipos, el efecto de los períodos experimentales y la interacción tipo de frijol x período fueron estadísticamente significativa a partir de los 36 días.

La figura 8 nos muestra que en el frijol común el aumento de superficie foliar en relación al peso seco total de la planta fue mayor en el intervalo de los 18 a 36 días de edad de las plantas. En el caso del frijol de costa, en el primer período la RAF fue máxima a los 52 días mientras que en el primer período el mayor valor de la RAF se alcanzó en el intervalo de los 18 a 36 días.

4.5 Componentes fisiológicos del crecimiento

a. Intensidad de Asimilación Neta (IAN)

El análisis de variancia de la IAN, cuadro 8A, mostró que el efecto de los sistemas de cultivo y las diferencias entre tipos de frijol no fueron significativas, excepto en el primer estado de crecimiento. La interacción sistemas x tipos de frijol, cuadro 13, tampoco fue significativa. Los promedios

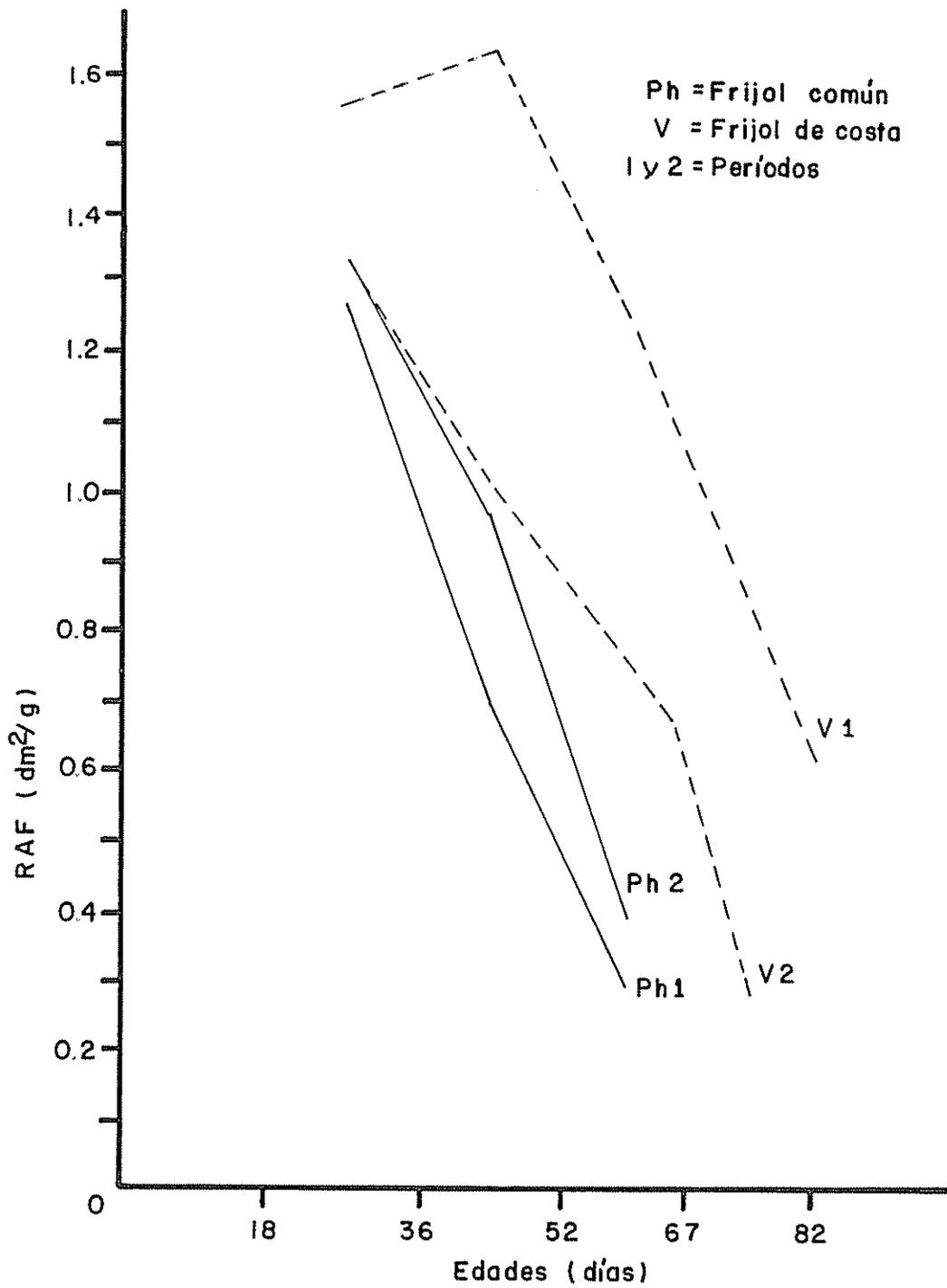


Fig.8 Razón de área foliar (RAF) a diferentes edades en plantas de dos tipos de frijol, en dos períodos experimentales. Valores promedio de cuatro sistemas

nos muestran que en el frijol común la IAN es mayor que la IAN del frijol de costa.

El análisis de correlación reveló que tanto en el frijol común como el de costa la IAN no está asociada con el período de cultivo, edad de la planta, sistema de cultivo, radiación ni con temperatura.

b. Eficiencia fotosintética (EF)

Los datos de la EF se muestran en el cuadro 9A. En el análisis de variancia se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre sistemas de cultivo, tipo de frijol y varias interacciones únicamente en el primer intervalo de muestreo.

Considerando los promedios generales, cuadro 14, la EF de los dos tipos de frijol aumentó con la edad y en el frijol común el valor máximo se alcanzó en el intervalo 35 - 52 días, que es cuando ocurre el mayor crecimiento vegetativo de las plantas, mientras que en el frijol de costa desde ese mismo intervalo tuvo valores altos y al final del ciclo vegetativo la EF fue máxima excepto en el sistema F + M

En el análisis de correlación la EF (cuadros 1A y 2A) de los dos tipos de frijol presentó asociación estadísticamente significativa con edad de la planta, área foliar e intensidad de crecimiento absoluto.

Cuadro 13. Intensidad de Asimilación Neta ( $\text{mg}/\text{dm}^2$ ) agrupados por intervalos de muestreo, tipo de frijol y sistema de cultivo. Valores promedios de dos períodos experimentales. Se incluyen valores calculados de F.

Sistema de cultivo	1 - 18		18 - 36		36 - 52		52 - 67		67 - 82
	Ph	V	Ph	V	Ph	V	Ph	V	V
	F S	32	22	64	48	57	59	70	50
F + M	27	22	42	23	55	42	18	23	-71
F + Y	25	11	47	14	51	50	54	31	61
F + P	30	15	49	14	50	47	30	25	1
Promedio	28	18	50	33	53	49	43	32	19
F calculado	3.56 ns		1.57 ns		0.23 ns		0.56 ns		

c. Intensidad de Crecimiento Absoluto (ICA)

En el cuadro 10A se presentan los valores del ICA. En los dos primeros intervalos de crecimiento, 1 - 18 y 18 - 36 días, los promedios generales del frijol común de 0.08 g/día y 0.21 g/día respectivamente, fueron estadísticamente superiores a los promedios del frijol de costa 0.06 g/día y 0.11 g/día. Las diferencias en los otros intervalos de muestreo no fueron significativas. El efecto de los sistemas de cultivo sobre el ICA tuvo significancia estadística únicamente en el

Cuadro 14. Eficiencia fotosintética (%) agrupados por intervalos de muestreo, tipo de frijol y sistemas de cultivo. Valores promedios de dos períodos experimentales. Se incluyen valores calculados de F.

Sistema de cultivo	Intervalos de muestreo, (días)									
	1 - 18		18 - 36		36 - 52		52 - 67		67 - 82	
	Ph	V	Ph	V	Ph	V	Ph	V	V	
F S	0.1	0.1	0.6	0.3	1.2	1.2	0.8	0.4	1.9	
F + M	0.1	0.1	0.3	0.2	1.2	1.0	0.0	0.8	0.0	
F + Y	0.3	0.2	0.7	0.2	1.1	0.9	0.4	0.8	2.5	
F + P	0.2	0.4	0.6	0.5	1.4	1.4	0.5	0.9	1.1	
Promedio	0.2	0.1	0.6	0.3	1.2	1.1	0.4	0.9	1.4	
F calculado	24.43**		1.61 ns		0.15 ns		0.28 ns			

intervalo 18 - 36 días.

La figura 9 muestra que la acumulación de materia seca de los dos tipos de frijol fue afectada por el período experimental. En el frijol común los promedios en el período 2 fueron menores que los correspondientes al período 1, además la ICA fue mayor entre los 36 y 52 días; a partir de esa edad la ganancia de peso disminuyó notablemente y en el período 2 a los 67 días fue cero. El frijol de costa tuvo un comportamiento muy contrastante entre los dos períodos experimentales. En el período 1 el crecimiento absoluto hasta los 52 días se

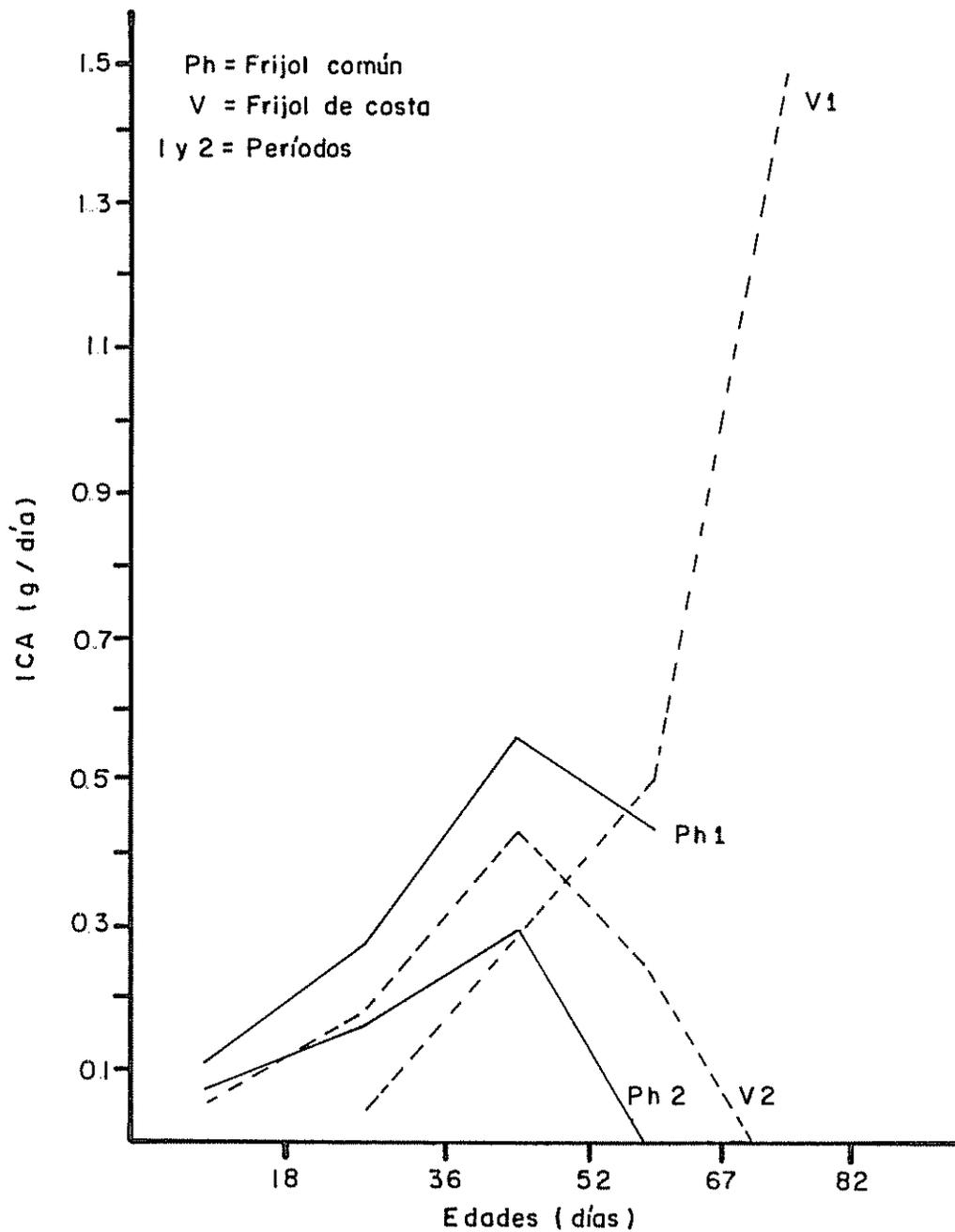


Fig. 9 Intensidad de crecimiento absoluto (ICA) a diferentes edades en plantas de dos tipos de frijol en dos períodos experimentales. Valores promedio de cuatro sistemas

realizó a una intensidad muy baja mientras que a partir de los 67 días hubo una ganancia diaria de peso seco de 1,48 g; por el contrario en el período 2 a los 52 días se alcanzó el mayor valor de ICA, luego disminuyó notablemente y fue cero a los 74 días de edad.

La ICA del frijol común tuvo correlación estadísticamente significativa con período experimental, edad de la planta, radiación neta, temperatura, eficiencia fotosintética y área foliar (Cuadros 1A y 2A). Todas estas variables, excepto período experimental que presentó alta correlación con radiación y temperatura, se incluyeron en un análisis de regresión múltiple (Cuadro 15). El modelo tuvo un  $R^2 = 0.98$ . Como el valor de  $t_c$  para temperatura no tuvo significación estadística, se eliminó del modelo esta variable, lo mismo que área foliar que tuvo alta correlación con edad y radiación. El modelo obtenido con edad, radiación y eficiencia fotosintética tuvo un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.97$  por lo que se consideró a éste el mejor modelo para explicar la variabilidad de ICA. Tratando de obtener una función más simplificada se eliminó la variable edad y se obtuvo un  $R^2 = 0.94$  por lo que el modelo se consideró satisfactorio.

En el caso del frijol de costa, ICA presentó correlación significativa con edad de la planta, eficiencia fotosintética, intensidad de asimilación neta y área foliar. Un modelo logarítmico de regresión múltiple desarrollado para

Cuadro 15. Modelos logarítmicos de regresión múltiple para estimar la Intensidad de Crecimiento Absoluto ( $g \times día^{-1} \times 10^{-1}$ ) de dos tipos de frijol.

Modelo independientes		Frijol común		Frijol de costa	
		B	t <sub>c</sub>	B	t <sub>c</sub>
I	X <sub>0</sub>	-4.37		--	
	X <sub>2</sub>	0.32	5.23**	--	--
	X <sub>4</sub>	0.079	14.49**	--	--
	X <sub>5</sub>	-0.03	-0.05ns	--	--
	X <sub>6</sub>	0.058	33.73**	--	--
	X <sub>8</sub>	0.32	6.09**	--	--
	R <sup>2</sup>			0.98	--
II	X <sub>0</sub>	-4.54		-5.28	
	X <sub>2</sub>	0.043	5.04*	0.061	1.70ns
	X <sub>4</sub>	0.095	15.04**	0.109	4.63**
	X <sub>6</sub>	0.061	24.44**	0.056	5.66**
	R <sup>2</sup>			0.97	0.64
III	X <sub>0</sub>	-2.94		-3.02	
	X <sub>4</sub>	0.088	10.52**	0.099	4.24**
	X <sub>6</sub>	0.062	18.61**	0.062	6.65**
R <sup>2</sup>			0.94	0.61	
IV	X <sub>0</sub>	--	--	-0.40	
	X <sub>2</sub>	--	--	0.01	-0.55nn
	X <sub>6</sub>	--	--	0.21	2.41**
	X <sub>7</sub>	--	--	0.06	4.72**
	X <sub>8</sub>	--	--	0.07	3.42**
R <sup>2</sup>			--	0.79	
V	X <sub>0</sub>	--	--	-0.86	
	X <sub>6</sub>	--	--	0.20	2.37*
	X <sub>7</sub>	--	--	0.07	5.39**
	X <sub>8</sub>	--	--	0.07	3.88**
R <sup>2</sup>			--	0.79	

expresar ICA en función de esas cuatro variables tuvo un  $R^2 = 0.79$ . El valor de  $t_c$  del coeficiente B de la edad no tuvo significancia estadística y se la eliminó para obtener una nueva función con las tres variables restantes. Como el valor de  $R^2$  no varió se consideró a este último modelo satisfactorio para explicar la variabilidad de ICA del frijol de costa.

d. Intensidad de Crecimiento Relativo (ICR)

En el cuadro 11A se presentan los datos básicos de ICR. El análisis de variancia mostró que las diferencias entre los tipos de frijol fueron significativas en los intervalos 18 - 36 días y 52 - 67 días. En el primer intervalo (Cuadro 16) el promedio de ICR del frijol común, 67 mg/g/día, fue estadísticamente superior al promedio de ICR del frijol de costa. En el último intervalo, el promedio de ICR del frijol de costa, 32 mg/g/día, fue significativamente superior al ICR del frijol común, 12 mg/g/día.

El efecto de los sistemas de cultivo sobre esta variable tuvo significancia estadística solo en el intervalo 18 - 36 días igual que la interacción tipo de frijol por período experimental, mientras que las otras interacciones no fueron significativas en ningún intervalo.

El cuadro 16 y la figura 10 muestran que la acumulación de materia seca (en mg) por unidad de materia seca inicial (en g) es máxima en el intervalo 18 - 36 días para el

Cuadro 16. Intensidad de Crecimiento Relativo (mg/g/día) agrupados por intervalos de muestreo, tipo de frijol y sistemas de cultivo. Valores promedios de dos períodos experimentales. Se incluyen valores calculados de F.

Sistema de cultivo	Intervalo de muestreo, en días							
	18 - 36		36 - 52		52 - 67		67 - 82	
	Ph	V	Ph	V	Ph	V	V	
F S	85	62	46	68	20	41	36	
F + M	64	47	52	59	5	28	3	
F + Y	52	21	38	70	16	35	55	
F + P	68	64	50	64	9	25	20	
Promedio	67	48	46	65	12	32	28	
F calculado	1.54 ns		1.06 ns		0.18 ns			

caso del frijol común. Después de esa edad disminuyó ligeramente hasta los 52 días y luego muy notoriamente hasta el término de su ciclo vegetativo. En el frijol de costa la ICR de manera general, aumentó entre los 18 - 36 días, llega a su máximo a los 52 días y luego disminuyó. Pero el período experimental ejerció un mayor efecto sobre este frijol y las tendencias fueron diferentes en cada período.

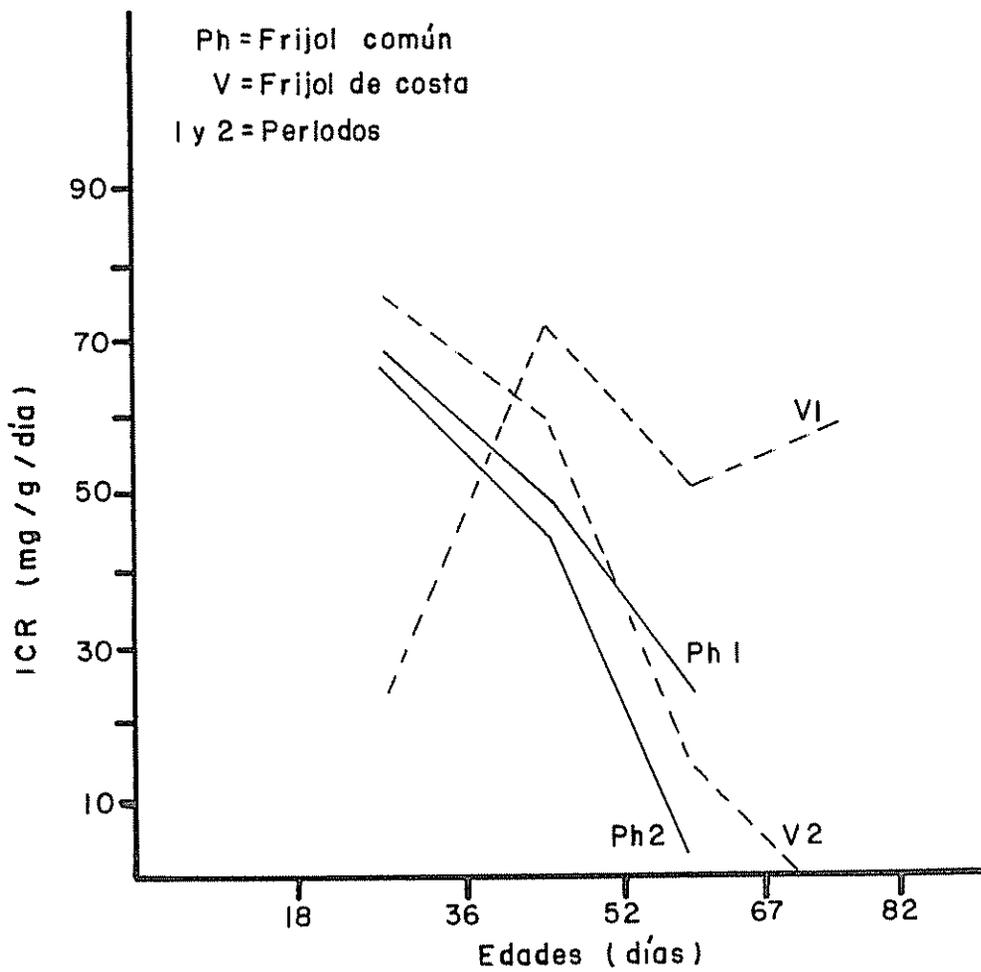


Fig.10 Intensidad de crecimiento relativo (ICR) a diferentes edades en plantas de dos tipos de frijol en dos períodos experimentales. Valores promedios de cuatro sistemas

e. Intensidad de Crecimiento Relativo del Area  
Foliar (ICRAF)

En el cuadro 12A que presenta los valores de ICRAF el análisis de variancia mostró que el efecto de los sistemas de cultivo fue significativo unicamente en el intervalo 18 - 36 días. La mayor variabilidad, estadísticamente significativa, de la ICRAF correspondió a los tipos de frijol, en los intervalos 36 - 52 y 52 - 67 días de muestreo. La representación gráfica (Fig. 11) de los promedios de cada tipo de frijol en cada período experimental, nos muestra que el aumento de superficie foliar por unidad de área foliar ya existente, por día, para el frijol común fue máximo en el intervalo 18 - 36 días, a partir de esa fecha el valor de esta variable disminuyó abruptamente. En el caso del frijol de costa, en el primer período, el mayor valor de ICRAF se alcanzó a los 52 días y a los 67 días todavía tuvo valor positivo. Pero, en el período 2 a los 52 días su valor disminuyó y a los 65 tuvo un alto valor negativo.

4.6 Componentes agronómicos y del rendimiento

En el cuadro 13A se presentan los datos de algunos caracteres agronómicos y del rendimiento y los resultados del análisis de variancia.

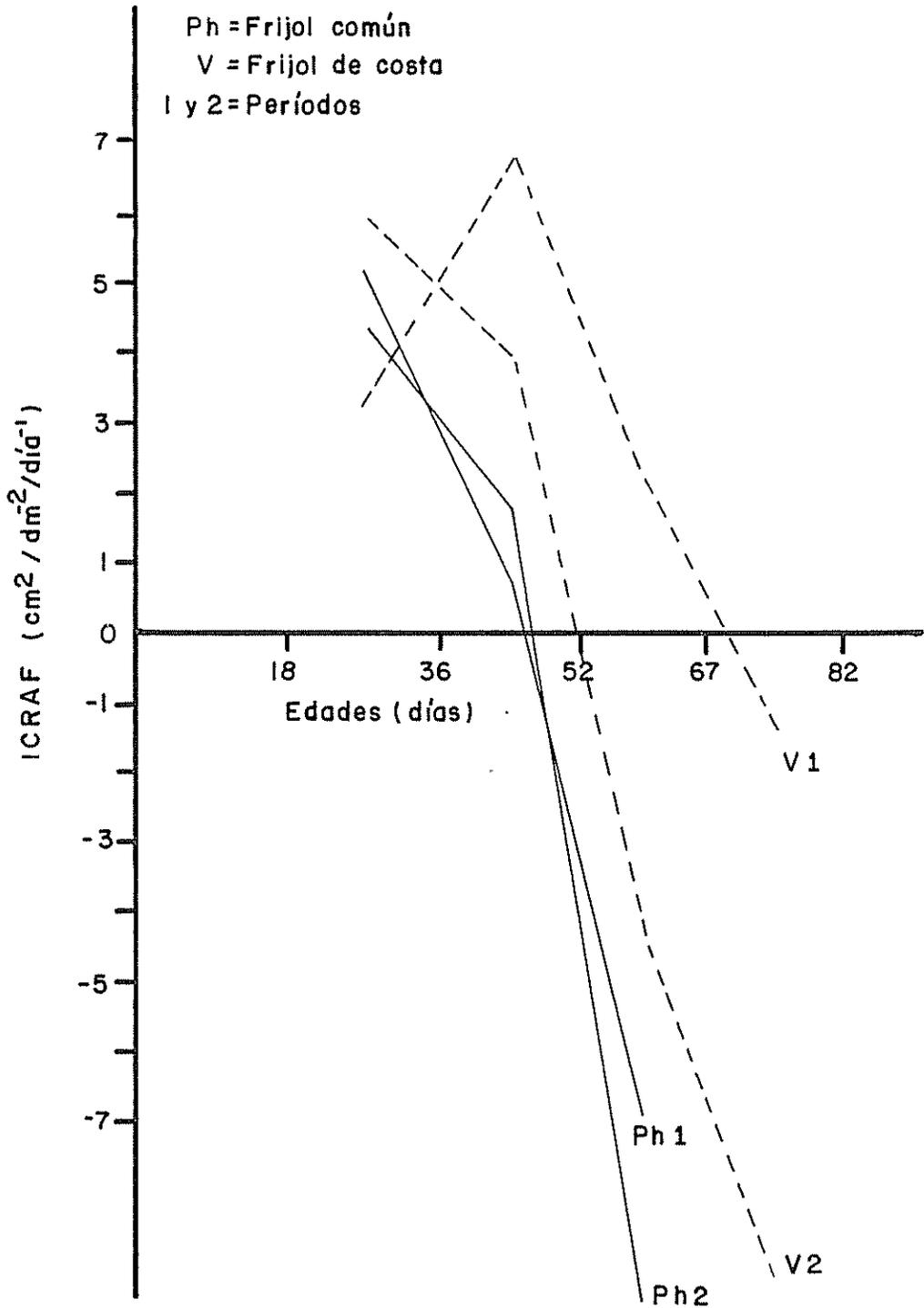


Fig.11 Intensidad de crecimiento relativo del área foliar (ICRAF) a diferentes edades en plantas de dos tipos de frijol en dos períodos experimentales. Valores promedios de cuatro sistemas

a. Altura de planta

El efecto de los sistemas de cultivo sobre la variación de la altura de las plantas fue estadísticamente significativo. La significancia de las interacciones tipo de frijol x período experimental y sistemas x tipo de frijol explicó el hecho de que tanto el frijol común como el de costa alcanzaron diferentes alturas en los sistemas y períodos. De manera general la mayor altura 42 cm le correspondió al frijol de costa en el período 2 mientras que en el período 1 tuvo la menor altura promedio 23 cm.

b. Índice de cosecha K

Los valores de este índice agronómico mostraron variaciones estadísticamente significativas únicamente entre tipos de frijol y períodos experimentales. El efecto de los sistemas y todas las interacciones no tuvieron significancia. De acuerdo a esto la proporción de peso seco de semillas en relación al peso seco total fue mayor en el frijol común (0.55) que en el frijol de costa (0.43). En los dos tipos de frijol esta proporción fue mayor en el primer período que en el segundo.

c. Número de vainas por planta

El número de vainas por planta presentó una gran variabilidad debido al sistema de cultivo, al tipo de frijol y al período experimental. El promedio general de número de

vainas del frijol de costa fue estadísticamente superior al de frijol común. En la figura 12 se observa que el número de vainas alcanzado por cada tipo de frijol en cada sistema en el primer período fue mayor y altamente significativo que lo obtenido en el segundo período, excepto en el caso de frijol de costa asociado con maíz.

d. Peso seco, de semilla por planta

El peso seco de semillas por planta varió significativamente de acuerdo al tipo de frijol, en cada sistema y período experimental. Los promedios correspondientes al frijol de costa, en la mayoría de los casos fueron superiores a los del frijol común (Fig. 13). La producción por planta de cada tipo de frijol en el primer período fue superior a los del segundo.

Para el frijol común se encontró correlación significativa de la producción por planta con período experimental, sistema de cultivo, radiación neta, temperatura, área foliar e intensidad de crecimiento absoluto. Un modelo logarítmico de regresión múltiple desarrollado con esas variables dió un  $R^2 = 0.93$  (Cuadro 17). En vista de que el aporte de la temperatura, AF e ICA no fue significativo se eliminaron y el nuevo modelo tuvo un coeficiente de determinación de 0,92. Aún cuando se consideró a éste modelo el mejor para explicar la variabilidad de la producción por planta, se desarrollaron

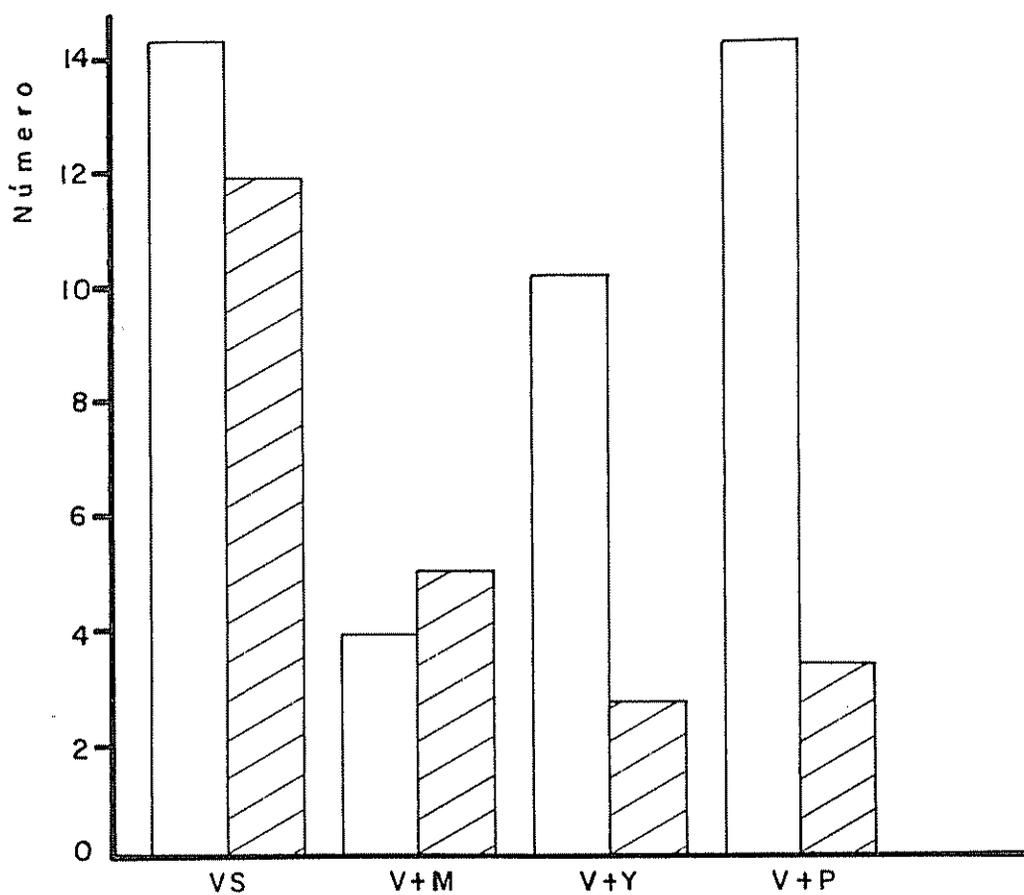
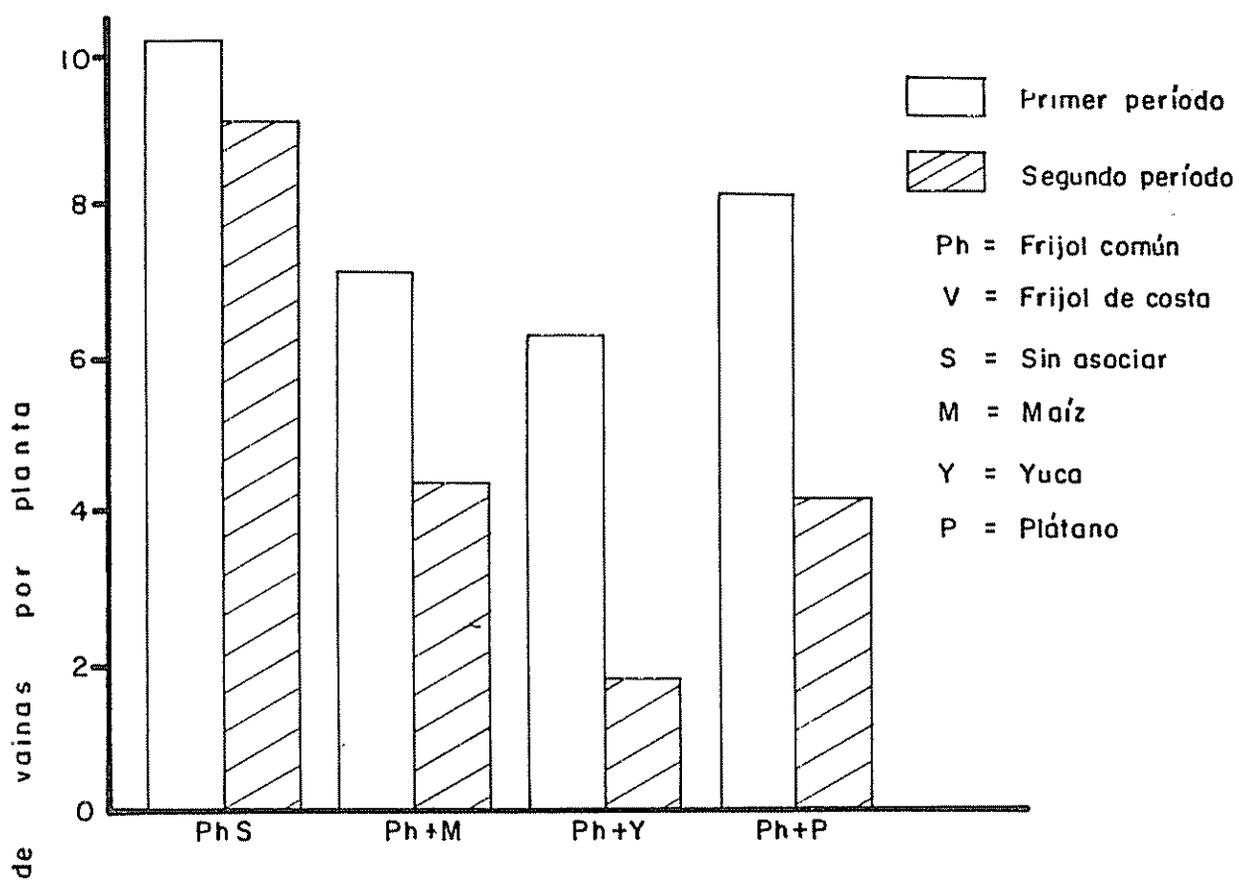


Fig. 12. Número de vainas por planta de dos tipos de frijol en los períodos experimentales y en cuatro sistemas de cultivo. Promedio de 15 plantas

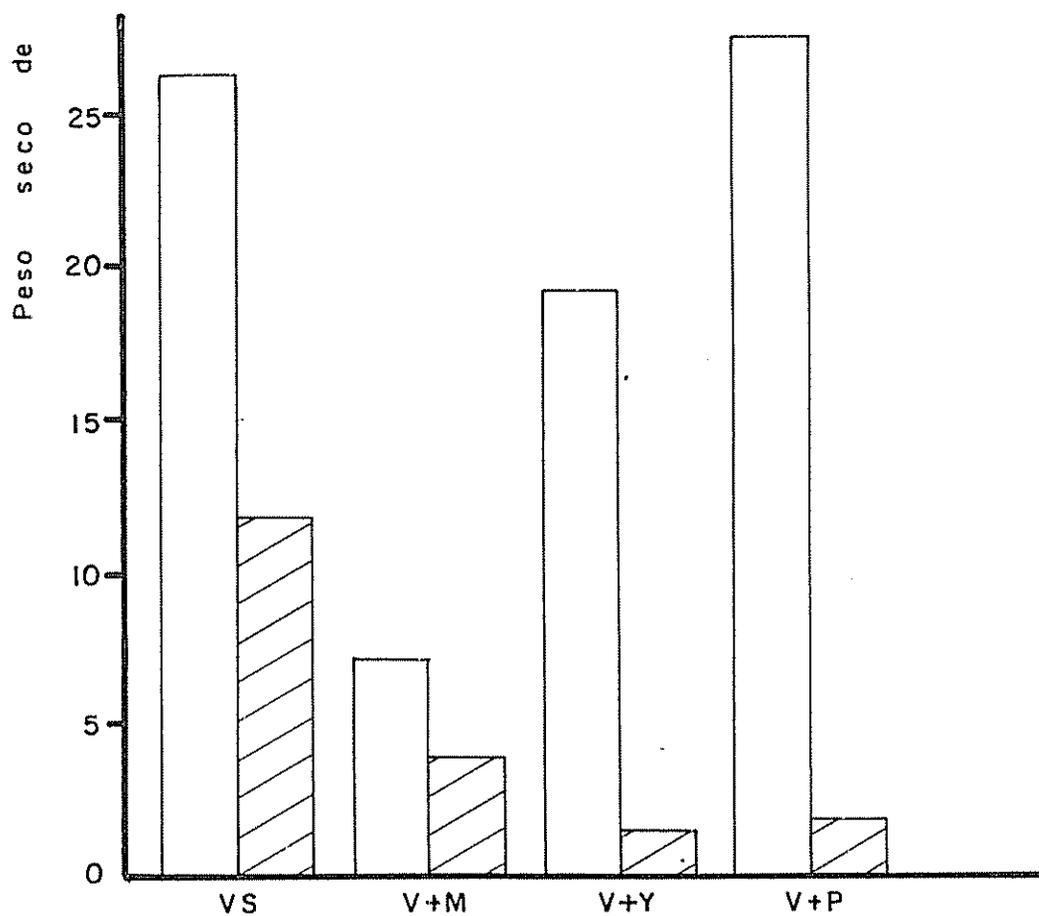
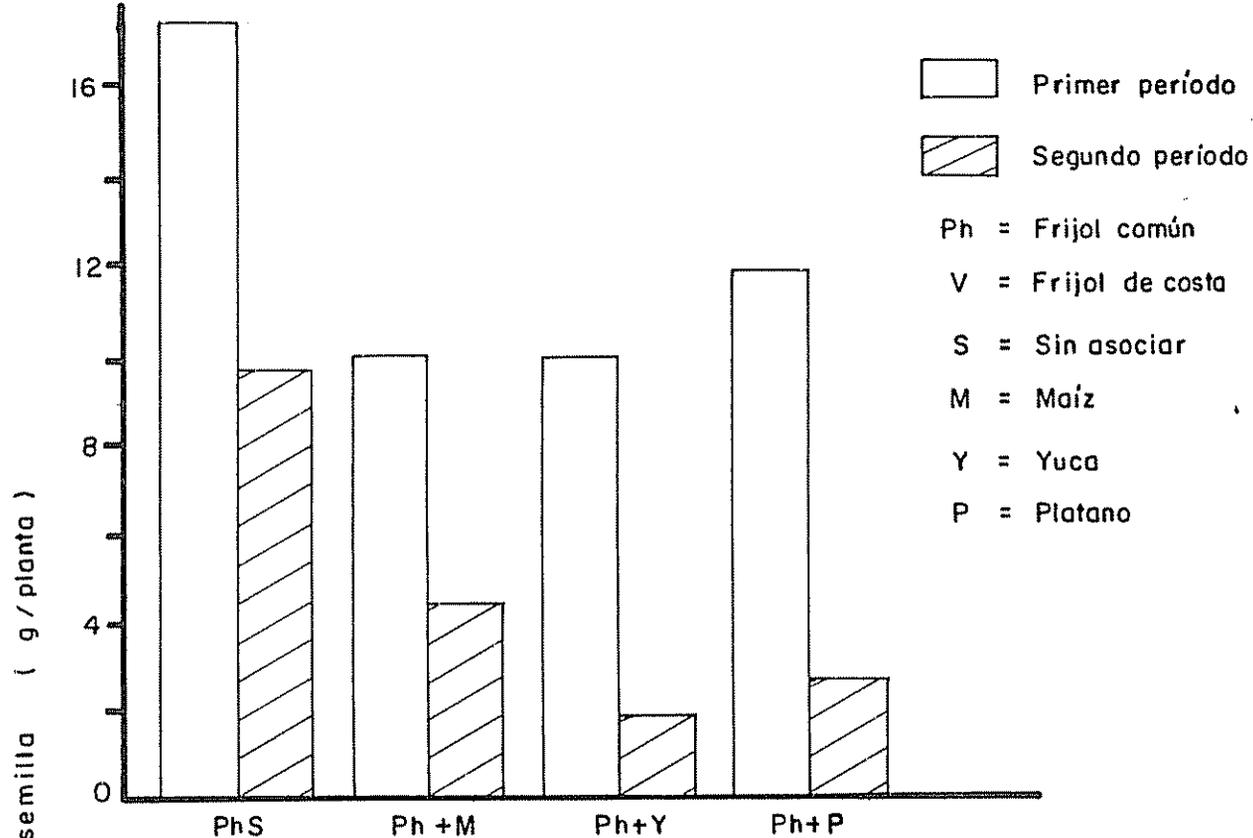


Fig. 13 Peso seco de semilla por planta de dos tipos de frijol en dos períodos experimentales y en cuatro sistemas de cultivo. Promedio de 15 plantas

otros más simplificados y el que solo incluyó únicamente a la radiación como variable independiente tuvo un  $R^2 = 0,73$  (Cuadro 18).

La producción por planta del frijol de costa presentó correlación significativa con período experimental, radiación neta, área foliar e ICA. El primer modelo logaritmico de regresión incluyendo las tres primeras variables tuvo un  $R^2 = 0,79$ . Se eliminó AF porque presentó un  $t_c$  no significativo. El nuevo modelo alcanzó un  $R^2 = 0,78$ , pero incluyendo la variable sistema de cultivo aumentó a 0,80. Cuando se incluyó en el análisis de regresión únicamente la radiación neta como variable independiente se tuvo  $R^2 = 0,66$ .

e. Rendimiento por parcela (humedad en grano 12%)

El rendimiento de frijol estadísticamente varió de acuerdo al tipo de frijol, sistema de cultivo y período experimental.

El más alto rendimiento que se obtuvo le correspondió al frijol de costa sembrado en asociación con plátano, en el primer período experimental, aunque estadísticamente fue igual al rendimiento de frijol común sin asociar, en el primero y segundo período (Cuadro 19). Los menores rendimientos, en la mayoría de los casos, se obtuvieron en el segundo período. En los sistemas F + P y F + Y el frijol de costa apenas rindió 170 y 48 Kg/ha respectivamente

Cuadro 17. Modelos logarítmicos de regresión múltiple para estimar la producción por planta (gramos peso seco) de dos tipos de frijol.

Modelo Independientes		Frijol común		Frijol de costa	
		B	t <sub>c</sub>	B	t <sub>c</sub>
I	X <sub>0</sub>	9.96		--	--
	X <sub>1</sub>	-0.71	-1.49ns	--	--
	X <sub>3</sub>	-0.43	-5.13**	--	--
	X <sub>4</sub>	0.44	4.91**	--	--
	X <sub>5</sub>	-2.53	-0.94ns	--	--
	X <sub>8</sub>	0.07	0.88ns	--	--
	X <sub>9</sub>	-0.001	-0.04ns	--	--
	R <sup>2</sup>		0.93		--
II	X <sub>0</sub>	2.59		2.79	
	X <sub>4</sub>	0.44	5.47**	0.64	4.19**
	X <sub>3</sub>	-0.45	-5.42**	-0.36	-2.18ns
	X <sub>1</sub>	-1.13	-7.70**	-1.55	-5.19**
	R <sup>2</sup>		0.92		0.80
III	X <sub>0</sub>	--		2.15	
	X <sub>1</sub>	--	--	-1.30	-4.43**
	X <sub>4</sub>	--	--	0.72	4.94**
	X <sub>8</sub>	--	--	0.16	1.58ns
R <sup>2</sup>		--		0.79	
IV	X <sub>0</sub>	2.09		2.41	
	X <sub>4</sub>	0.66	6.59**	0.79	5.63**
	X <sub>1</sub>	-0.88	-4.47**	-1.35	-4.52**
R <sup>2</sup>		0.84		0.78	
V	X <sub>0</sub>	1.94		--	
	X <sub>4</sub>	0.86		--	--
	X <sub>3</sub>	-0.24	-1.79ns	--	--
R <sup>2</sup>		0.76		--	

Cuadro 18. Modelo logarítmico de regresión para estimar la producción por planta de dos tipos de frijol, en función de la radiación visible.

Modelo independiente	Variable	Frijol común		Frijol de costa	
		B	t <sub>c</sub>	B	t <sub>c</sub>
VI	X <sub>0</sub>	1.73		1.89	
	X <sub>4</sub>	0.93	9.19**	1.19	8.65**
	R <sup>2</sup>		0.73		0.66

Cuadro 19. Rendimiento de semillas (12% Humedad) por parcela (6 m<sup>2</sup>) y por hectárea de dos tipos de frijol y cuatro sistemas de cultivo. Diferencia estadística según la Prueba de Duncan.

Sistema	Tipo	Período	Rendimiento		Diferencia estadística
			g/6m <sup>2</sup>	Kg/Ha	
F + P	V	1	1227	2045	a
F S	Ph	1	1216	2027	a
F S	V	1	1110	1850	ab
F + Y	V	1	1031	1718	b
F + P	Ph	1	969	1615	b
F S	V	2	677	1128	c
F S	Ph	2	577	962	cd
F + Y	Ph	1	545	908	cd
F + M	Ph	1	490	817	de
F + M	V	1	328	547	e
F + M	V	2	275	458	f
F + P	Ph	2	271	452	f
F + M	Ph	2	220	367	f
F + Y	Ph	2	117	195	fg
F + P	V	2	102	170	fg
F + Y	V	2	29	48	g

## 5. DISCUSION

### 5.1 Condiciones microclimáticas

La cantidad de radiación incidente sobre el frijol en los sistemas asociados disminuyó en forma progresiva a través del tiempo principalmente debido al aumento en la altura y en superficie foliar de los cultivos dominantes.

El valor negativo de la correlación entre radiación y sistemas de cultivo demuestra que entre mayor es el crecimiento del follaje del cultivo dominante menor será la radiación que penetre en su interior. Esto lo había comprobado Alberda (2) al estudiar el aprovechamiento de la luz por las plantas y confirma lo propuesto por Loach (46) que la luz es el factor por el que compiten las plantas en asociaciones de cultivo.

La poca variación de la temperatura entre el exterior y el interior de los cultivos asociados fue observada también por Acevedo (1) y Arze (5). Ellos explicaron esto en función de la masa de vegetación que no fue suficientemente grande para tener un efecto amortiguador en las variaciones de temperatura. Debido a la baja radiación en el interior de los sistemas tales como F + Y y F + P en el segundo período experimental, eran de esperarse temperaturas mucho más bajas en el interior de dichos sistemas pero esto no ocurrió probablemente debido a que por el pequeño tamaño de las parcelas

experimentales el aire exterior circulaba fácilmente por el interior de las parcelas.

Aún cuando la temperatura estuvo correlacionada negativamente con peso seco de semilla por planta de los dos tipos de frijol, en el análisis de regresión múltiple se comprobó que el aporte a las variaciones de esta variable fueron mínimos lo cual concuerda con Tanaka y Managuchi (66) que indican que en los climas tropicales la temperatura afecta poco el crecimiento y desarrollo de las plantas.

El hecho de que la humedad del suelo se mantuvo aproximadamente a capacidad de campo y las variaciones estadísticamente significativas en casi todos los casos, puede atribuirse a que entre cada muestreo hubieron precipitaciones y en el primer período en dos ocasiones se aplicaron riegos lo cual determinó que el balance hídrico atmosférico fuera positivo. Además, posiblemente por esto no se notó el efecto de la vegetación de los diferentes sistemas de cultivo. Las variaciones que se encontraron en todos los casos también se pueden explicar por que la humedad del suelo es una condición muy dinámica y varía en un momento dado y a una profundidad dada.

## 5.2 Variación de los datos básicos para el análisis del crecimiento

### a. Peso seco total por planta

El efecto negativo de los sistemas F + M, F + Y y

F + P sobre el aumento de peso seco de las plantas de los dos tipos de frijol se pudo deber a la disminución de la radiación disponible que es imprescindible para el proceso fotosintético y el consecuente aumento de materia seca en las plantas (16, 60). La figura 14 nos muestra que efectivamente hubo un incremento de peso seco en las plantas de frijol en relación al logaritmo natural de la radiación neta disponible.

Las diferencias estadísticas en acumulación de materia seca con la edad de las plantas entre los dos tipos de frijol se pudieron deber a que tuvieron diferentes ciclos de vida y lógicamente sus curvas de crecimiento no se puede sobreponer. Las plantas de frijol de costa alcanzaron su máximo peso cuando el frijol común estaba terminando su período de producción.

#### b. Area Foliar

El crecimiento de la superficie foliar de los dos tipos de frijol fue significativamente disminuido por efecto de los cultivos asociados a partir de los 36 días posiblemente por la reducción de la radiación disponible. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Alvim Alvim (3), por el CIAT en Colombia (23) y los de Magalhaes y Montojos (48), quienes comprobaron que al aumentar la iluminación se favorece el crecimiento de las hojas del frijol común, igualmente Schoch y Candelario (60) obtuvieron resultados similares con el frijol

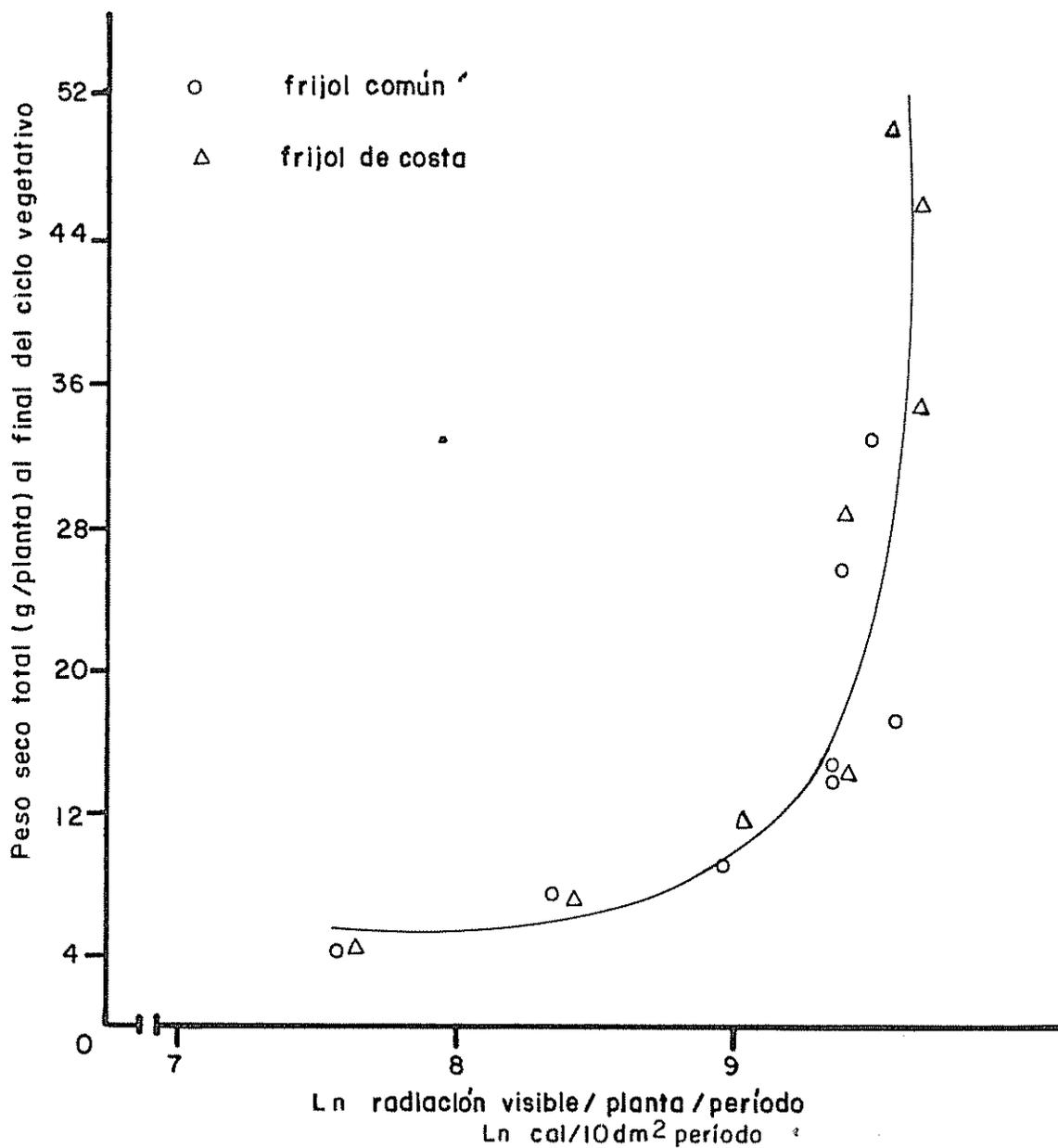


Fig.14 Relación entre el peso seco total por planta y el logaritmo natural de la radiación visible acumulada por planta durante el ciclo vegetativo en varios sistemas de cultivo

de costa.

La función  $Y = 3.38 X_2^{1.28} X_4^{0.75}$  para estimar el área foliar del frijol de costa confirmó que la radiación ( $X_4$ ) tuvo un efecto importante en el aumento de esta variable que además presentó correlación significativa con el rendimiento por planta.

### 5.3 Componentes morfológicos del crecimiento

#### a. Índice de área foliar

En vista de que el IAF está directamente relacionado con el área foliar era obvio esperar que las condiciones que afectaron a ésta última tuvieran igual repercusión sobre el IAF.

Las diferencias significativas del IAF entre tipos de frijol se puede explicar por el hecho de que el crecimiento del follaje del frijol común fue más rápido que el del frijol de costa, pero de la misma manera la senescencia de las hojas fue más precoz de allí que a los 65 días tuvo valores de IAF muy bajos mientras que en el frijol de costa a esa edad los valores del IAF fueron relativamente elevados y en el primer período así se mantuvieron hasta los 80 días.

Fue notable que el frijol de costa, en el sistema F + P, período 1, tuvo el más alto valor de IAF y en este tratamiento se alcanzó la mayor biomasa total y el más alto

rendimiento. Hay varios autores como Magalhaes y Montojos (48) y Watson (84) que indican que las diferencias del IAF están estrechamente asociadas con las variaciones del crecimiento y producción de un cultivo.

b. Razón de área foliar

El efecto no significativo de los cultivos dominantes en los sistemas asociados, sobre la RAF y el hecho de que en el frijol común el aumento de superficie foliar fue máximo entre los 18 y 36 días de edad de las plantas y en el frijol de costa esto sucedió entre los 36 a 52 días, permitió suponer que la variación de ésta razón se debió a caracteres genotípicos aunque las condiciones ambientales, por supuesto, afectan su expresión

5.4 Componentes fisiológicos del crecimiento

a. Intensidad de asimilación neta

La IAN de los dos tipos de frijol no fue afectada estadísticamente por los sistemas de cultivo. Además no presentó correlación significativa con período experimental, edad de las plantas, radiación neta, temperatura ni eficiencia fotosintética. Esto coincide con el enunciado de Blackman y Wilson (11, 12) y de Heath y Gregory (40) que no es posible distinguir los factores responsables de la variación de la IAN.

Además en algunos sistemas de cultivo, en el período 1, se encontraron valores de la IAN de  $0.111 \text{ g/dm}^2/\text{día}$  para el frijol común y  $0.145 \text{ g/dm}^2/\text{día}$  para el frijol de costa. Ascencio y Fargas (6) en condiciones de invernadero, en la etapa de mayor crecimiento vegetativo de una variedad de frijol común, encontraron el valor de  $\text{IAN} = 0.104 \text{ g/dm}^2/\text{día}$ . Estos resultados concuerdan con lo propuesto por Heath y Gregory (40) de que bajo condiciones muy variadas la IAN se aproxima a un valor medio constante.

#### b. Eficiencia fotosintética

El efecto significativo de los sistemas de cultivo sobre la eficiencia fotosintética de los dos tipos de frijol entre 1 a 18 días posiblemente se debió a que en el segundo período la cantidad de materia seca acumulada en las plantas fue relativamente grande en relación a la escasa radiación disponible en algunos sistemas.

La figura 15 nos muestra que el área foliar puede explicar parte de la variación de la eficiencia fotosintética. Esto fue corroborado por la correlación estadísticamente significativa de EF con edad de la planta y área foliar. La no significancia de las diferencias de EF entre los dos tipos de frijol puede indicarnos que las plantas tanto del frijol común y de costa tienen una capacidad semejante para transformar la energía radiante en materia seca, posiblemente por eso fue que

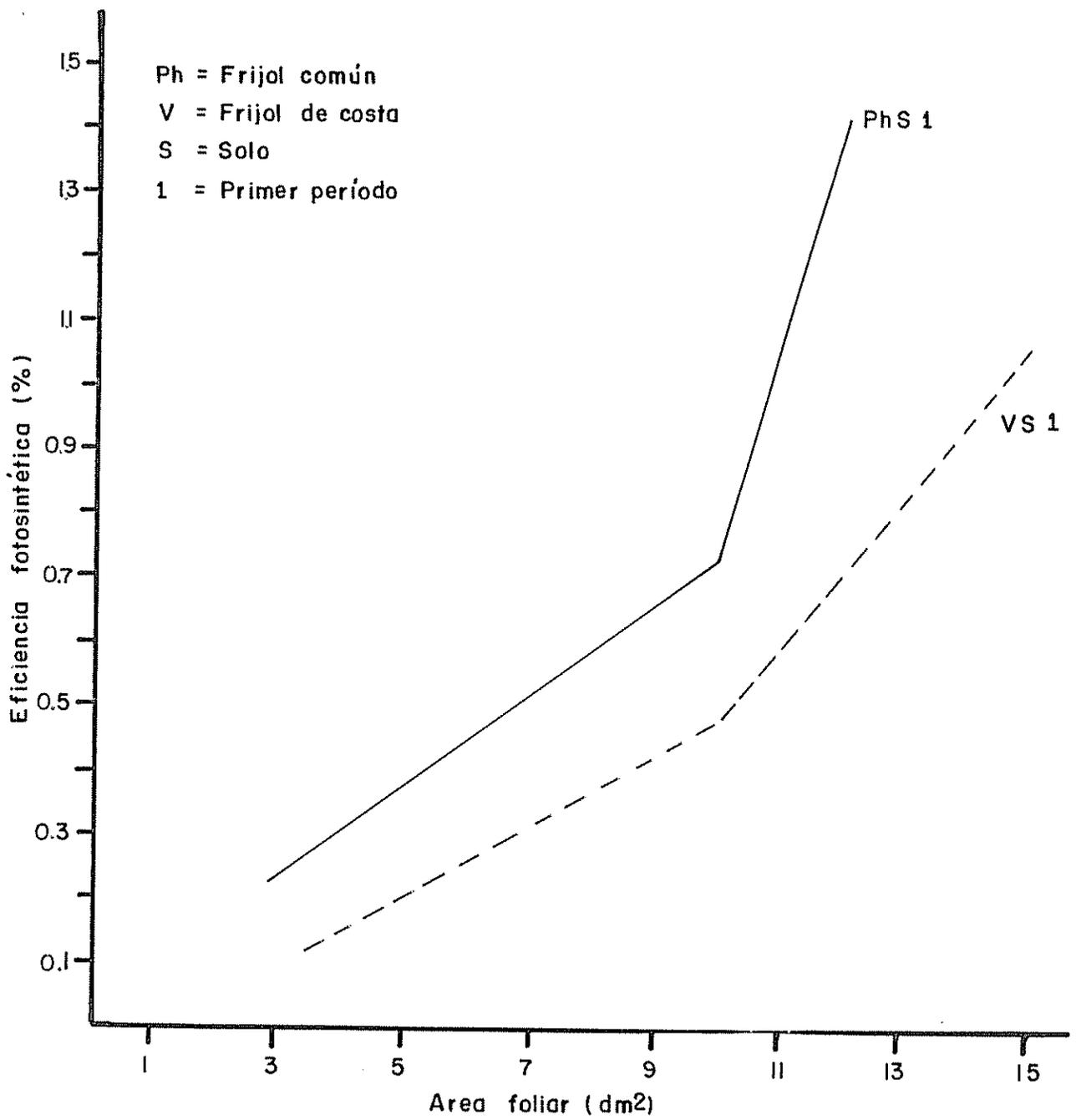


Fig.15 Relación entre área foliar y eficiencia fotosintética de plantas de dos tipos de frijol

en iguales condiciones de radiación la producción de semilla por hectárea de los dos tipos de frijol en el sistema FS no difirió estadísticamente.

c. Intensidad de crecimiento absoluto

La ICA estuvo correlacionada con eficiencia fotosintética e IAN sobre las cuales los efectos de los sistemas de cultivo de manera general no tuvieron efecto significativo. Esto podría relacionarse con el hecho de que únicamente en el intervalo 18 - 36 días de edad de las plantas de frijol el efecto de los sistemas sobre ICA fue significativo.

Algunos autores (19, 61) han relacionado la intensidad de crecimiento de varias especies con la energía incidente. Esto concuerda con los resultados obtenidos con el frijol común para el que se puede estimar la ICA mediante la función  $Y = 4.54 X_4^{0.088} X_6^{0.062}$  con un  $R^2 = 0.94$ . Evidentemente la mayor variabilidad es atribuible a la radiación ( $X_4$ ) disponible.

Para el frijol de costa se puede estimar la ICA mediante el modelo  $Y = -0.86 X_6^{0.20} X_7^{0.07} X_8^{0.07}$  con  $R^2 = 0.79$ . Claramente se ve que los aportes de la intensidad de asimilación neta ( $X_7$ ) y del área foliar ( $X_8$ ) son muy importantes. Al respecto Watson (82) ha propuesto que el proceso de acumulación de materia seca sea completamente descrito en términos de los cambios de la intensidad de asimilación y del área foliar. Trabajos de Blackman y Wilson (12), Broughan (19) y Wallace y

Munger (78) también confirman que la intensidad de crecimiento está relacionada con el área foliar.

### 5.5 Rendimiento de grano

En los sistemas de cultivos asociados se obtuvieron rendimientos significativamente inferiores a los correspondientes al frijol solo, excepto el caso del frijol de costa asociado con plátano en el período 1. Esto es explicable por el hecho de que en cultivos múltiples las plantas compiten por luz y nutrimentos y en este trabajo se pudo comprobar que al menos la radiación disponible para el frijol fue menor en los sistemas asociados que cuando se sembró en monocultivo.

A pesar de que se reconoce que el rendimiento (Y) es una integración de los efectos de numerosos factores sobre los procesos fisiológicos y componentes morfológicos, en éste trabajo fue posible estimar la producción por planta en función de la radiación visible ( $X_4$ ) que se disponga durante el ciclo vegetativo.

Para el frijol común se obtuvo el modelo

$$Y = 1.73 X_4^{0.93} \quad \text{con } R^2 = 0.73$$

y para el frijol de costa el modelo

$$Y = 1.89 X_4^{1.19} \quad R^2 = 0.66$$

Aceptando un período de actividad fotosintética del frijol común, de 70 días y con un promedio de radiación total

de  $441 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$  se obtiene un rendimiento estimado de 16.65 g/planta y 1650 kg/ha teniendo una población de 100.000 plantas/ha. Los valores obtenidos en el campo fueron 18.0 g/planta y 2026/ha, en el sistema FS.

En el caso del frijol de costa, aceptando un período de 80 días de actividad fotosintética, con el mismo promedio de radiación total diaria, se obtiene un rendimiento estimado de 18,13 g/planta y 1813 kg/ha con 100.000 plantas/ha. Los valores obtenidos en el campo fueron 26,3 g/planta y 2045 kg/ha, en el sistema FS y período 1.

Estos modelos evidencian que de acuerdo a la intensidad con que se reduzca la radiación disponible en el interior de los sistemas asociados será disminuido el rendimiento de los dos tipos de frijol. La figura 16 donde observamos que el rendimiento tiende a aumentar con el logaritmo natural de la radiación visible corrobora los resultados obtenidos y concuerdan con el concepto de Blackman y Black (14, 15) de que la luz es el factor que en última instancia determina la producción de una comunidad vegetal, cuando hay un adecuado suministro de agua, nutrimentos y otros elementos necesarios para la planta.

Por otro lado el mayor rendimiento obtenido con el frijol de costa en el sistema F + P, en el primer período, probablemente se debió a que este frijol tolera un sombreado moderado, como lo manifiesta El Baradi (33) y Johnson (44),

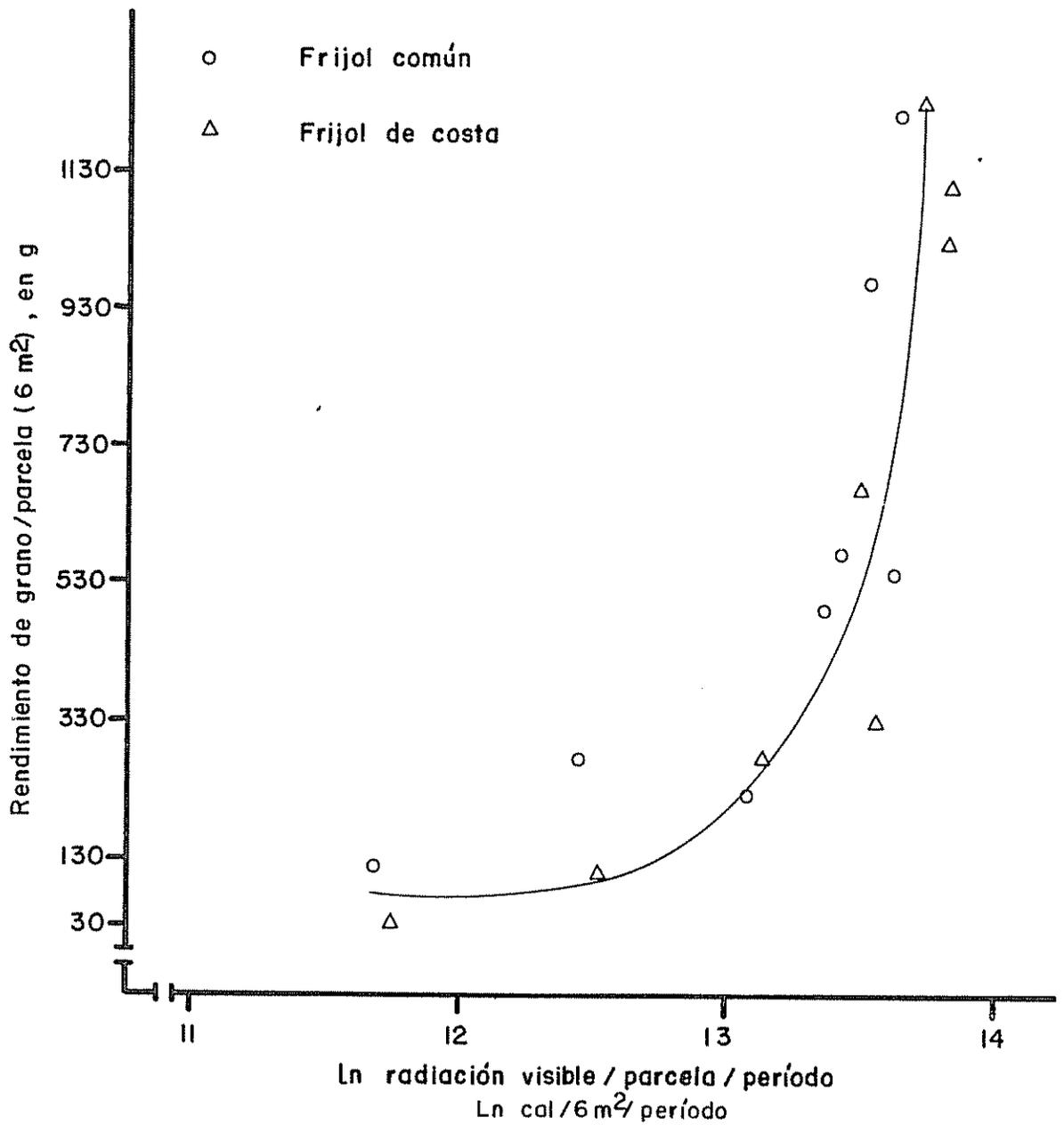


Fig. 16 Relación entre el rendimiento de grano (12% humedad) por parcela (6m<sup>2</sup>) y el logaritmo natural de la radiación visible acumulada por parcela durante el ciclo de producción

puesto que en ese sistema el frijol recibió 10% menos de radiación comparado con el frijol sin asociar.

## 6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en las condiciones en que se realizó el presente trabajo permitieron establecer las siguientes conclusiones.

1. En sistemas de cultivos asociados la luz es uno de los factores principales del microclima por el que compiten las plantas. De acuerdo a la naturaleza y altura del cultivo dominante se disminuye la disponibilidad de luz entre las hileras.

2. La competencia de las plantas con que se asoció el frijol afectó algunos procesos del crecimiento tanto del frijol común como del de costa, principalmente acumulación de materia seca, crecimiento del área foliar y eficiencia fotosintética.

La intensidad de asimilación neta es un proceso fisiológico respecto al cual no fue posible distinguir los factores reponsables de su variación.

3. El crecimiento del área foliar y la producción por planta es posible estimarlas en función de la radiación solar visible.

4. En los sistemas asociados la disminución de la radiación afectó los rendimientos. Por los resultados observados en el sistema F + M se puede suponer que la época de

floración y formación de vainas en los dos tipos de frijol es crítica respecto las necesidades de iluminación.

5. El sistema frijol + plátano al disminuirse la radiación en un 10% se aumentó el rendimiento del frijol de costa 10% mientras que el del frijol común disminuyó en 20%, comparados en ambos casos con el frijol en monocultivo. Este hecho puede hacer más deseable al frijol de costa que al frijol común para sistemas de cultivos asociados en los cuales se provoque un sombreamiento moderado.

6. Como el crecimiento y producción de semillas de las plantas de los dos tipos de frijol fueron muy bajos en el segundo período experimental (Junio-Agosto) se considera que es una época inapropiada para el cultivo del frijol

## 7. RESUMEN

El trabajo fue parte del programa de investigación para el estudio y mejoramiento de los sistemas de cultivos múltiples utilizados en Centro América que realiza el Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del CATIE.

Se lo realizó en vista de que es insuficiente el conocimiento que se tiene en regiones tropicales sobre el comportamiento fisiológico y agronómico del frijol común y de costa cuando son cultivados en las condiciones microclimáticas impuestas por el maíz, la yuca y el plátano.

El diseño experimental fue de parcelas subdivididas en el que los tratamientos fueron cuatro sistemas de cultivo: Frijol en monocultivo, frijol + maíz, frijol + yuca y frijol + plátano. Los subtratamientos correspondieron a los dos tipos de frijol: Phaseolus vulgaris var. '27 - R' y Vigna sinensis var. 'V - 44'. Los sub-subtratamientos fueron los períodos experimentales en que se sembraron los dos tipos de frijol, Diciembre - Marzo de 1976 (estación seca) y Junio - Agosto de 1976 (estación lluviosa).

Los factores microclimáticos que se evaluaron en cada sistema de cultivo fueron: Temperatura, radiación solar y humedad del suelo. Además se evaluó precipitación y evaporación externa.

Se realizaron cinco muestreos en cada período experi-

mental para determinar el peso seco total y área foliar de las plantas como datos básicos para realizar el análisis del crecimiento. Los componentes morfológicos del crecimiento que se determinaron fueron índice de área foliar y razón de área foliar. Los componentes fisiológicos determinados fueron intensidad de asimilación neta, eficiencia fotosintética, intensidad de crecimiento absoluto, intensidad de crecimiento relativo del área foliar. Al final del ciclo vegetativo se evaluó también número de vainas por planta, peso seco de semillas por planta, rendimiento por parcela y se calculó el índice de cosecha K.

En forma general, los resultados obtenidos, permitieron concluir que en las condiciones climáticas y de suelo en que se realizó el experimento la luz fue el principal factor microclimático que limitó el crecimiento de las plantas de frijol común y de costa cuando se asociaron con maíz, yuca y plátano.

La mayoría de los componentes morfológicos y fisiológicos durante el crecimiento de las plantas en los dos tipos de frijol fueron afectados por la competencia que impone el cultivo asociado. Únicamente la intensidad de asimilación neta fue el proceso fisiológico respecto al cual no fue posible distinguir los factores responsables de su variación.

Mediante análisis de regresión múltiple se determinaron funciones que permiten estimar el área foliar y la

producción por planta de los dos tipos de frijol. Para ambas características la radiación visible fue el factor que más afectó sus variaciones.

Los resultados observados en el sistema frijol + maíz, donde la radiación disponible entre las hileras disminuye severamente a partir de los 36 días, cuando se inicia la floración del frijol, permitieron suponer que este estado de desarrollo en los dos tipos de frijol es crítico respecto a las necesidades de iluminación.

El rendimiento obtenido en el sistema frijol + plátano, en el primer período, parece indicar que el frijol de costa tolera mejor un sombreamiento moderado que el frijol común.

Comparados los resultados generales obtenidos con el frijol común y de costa en cada período experimental se concluyó que el período correspondiente a la estación lluviosa (Junio - Agosto) es inapropiado para el cultivo del frijol.

## 7. SUMMARY

The influence of the microclimate on physiological responses and yield of common beans and cowpea when intercropped with corn, cassava, and banana was studied. This work was carried out as a part of the Research Program for studying and Improving Multiple Cropping Systems in Central America, which is being conducted by the Tropical Agricultural Center for Research and Teaching, Turrialba, Costa Rica.

The justification of the present work lies in the fact that very little is known in tropical regions about the physiological and agronomic responses of beans and cowpea when subjected to the microclimate conditions which intercropping imposes upon them.

A split - split plot design was employed with main plots consisting of four cropping systems: monocrop beans, beans + corn, beans + cassava, and beans + bananas. The varieties Phaseolus vulgaris var. '27-R' and Vigna sinensis var. 'V-44', formed the subplots. Sub-subplots consisted of the two different growing seasons: December 1975 - March 1976 (dry season), and June - August 1976 (rainy season).

The microclimate factors which were evaluated in each cropping were: solar radiation, temperature, and soil moisture. Total precipitation and external evaporation were also

registred.

Plants were sampled five different times during each growing season to determine dry weight, and leaf area of the plants wich were used as measures of growth. Morphological components of growth wich were measured were leaf area index and leaf area ratio. Physiological components measured were rate of net assimilation, photosynthetic efficiency, absolute growth rate, relative growth rate, and relative growth rate of the leaf area. At the end of the vegetative cyde the number of pods per plant, dry weight of seeds per plant, yield per plot and harvest index K was also measured.

Under the conditions of this experiment light was the principal factor limiting the growth, and yield of both beans and cowpeas when intercropped with corn, cassava, and bananas. During the vegetative growth period of both beans and cowpeas a majority of the morphological and physiological components were affected by the competition wich intercropping imposes upon them. Net assimilation rate was the only physiological process for wich it was not possible to determine the factors causing its variation.

Multiple regression analyses were used to establish the function for estimating foliar area and yield per plant for both legumes. These two factors were most affected by visible radiation.

In the cropping system of beans + corn available

radiation between rows was greatly reduced after 36 days, which is the period of flower initiation for both types of beans. It is commonly thought that during this stage of development illumination is a critical factor.

Grain yields under the system of beans + bananas during the first growing season indicate that Vigna tolerate moderate shading better than Phaseolus.

Based on the results obtained in this experiment, neither Phaseolus nor Vigna can be successfully grown during the rainy season (June - August).

8. LITERATURA CITADA

1. ACEVEDO S., FRANCISCO, J. Influencia de la radiación solar y otros componentes del microclima sobre el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) asociado con maíz (Zea mays). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1975. 91 p.
2. ALBERDA, T. Actual and potential production of agricultural crops. Netherlands Journal of Agricultural Science 10(5):323-333. 1962.
3. ALVIM, R. y ALVIM, P. DE T. Efeito da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (Zea mays) e pelo feijoaço (Phaseolus vulgaris), en culturas exclusivas a consorciadas. Turrialba 19(3): 389-393. 1969.
4. ANDERSON, MARGARET, C. Light relations of terrestrial plant communities and their measurement. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society 39 (4):425-486. 1964.
5. ARZE, B., JOSE A. Condiciones de radiación solar y otros factores microclimáticos dentro de un cultivo de maíz (Zea mays), Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1975. 111 p.
6. ASCENCIO, J. y FARGAS, J. E. Análisis de crecimiento del frijol (Phaseolus vulgaris L. var. "Turrialba-4") cultivado en solución nutritiva. Turrialba 23(4): 420-428. 1973.
7. BARKER, D. N. y MUSCRAVE, R. B. Photosynthesis under field conditions. V. Further plant chamber studies of the effects of light on corn (Zea mays L). Crop Science 4:127-131. 1964.
8. BEST, R. Production factors in the tropics. Netherlands Journal of Agricultural Science 10(5):347-353. 1962.

9. BLACK, J. N. Competition between plants of different initial seed sizes in swards on subterranean clover (Trifolium subterraneum L.) with particular referen-  
cia to leaf area and the light microclimate. Austra-  
lian Journal of Agricultural Research 9(3):299-318.  
1958.
10. BLACKMAN, G. E. y RUTTER, A. J. Physiological and ecolo-  
gical studies in the analysis of plant environment. III. The interaction between light intensity and  
mineral nutrient supply in leaf development and the  
net assimilation rate of the blue bell (Scillanon -  
scripta). Annals of Botany 11(45):1-26. 1948.
11. \_\_\_\_\_ y WILSON, G. L. Physiological and ecological  
studies in the analysis of plant environment. VI.  
The constancy for different species of a logarithmic  
relationship between net assimilation rate and light  
intensity and its ecological significance. Annals  
of Botany 15(57):63-94. 1951.
12. \_\_\_\_\_ y WILSON, G. L. Physiological and ecological  
studies in the analysis of plant environment. VII.  
An analysis of differential effects of light inten-  
sity on the net assimilation rate, leaf - area ratio,  
and relative growth rate of different species.  
Annals of Botany 15(59):373-408. 1951.
13. \_\_\_\_\_ y WILSON, G. Physiological and ecological studies  
in the analysis of plant environment. IX. Adapta-  
tive changes in the vegetative growth and development  
of Helianthus annuus induced by an alternation in  
light level. Annals of Botany 18(69):71-94. 1958.
14. \_\_\_\_\_ y BLACK, J. N. Physiological and ecological  
studies in the analysis of plant environment. XI.  
A further assessment of the influence of shading on  
the growth of different species in the vegetative  
phase. Annals of Botany 23(89):51-63. 1959.
15. \_\_\_\_\_ y BLACK, J. Physiological and ecological stu-  
dies in the analysis of plant environment. XII.  
The role of the light factor in limiting growth.  
Annals of Botany 23(89):131-145. 1959.
16. BOKDE, S. Luz solar en la producción de maíz. Argentina,  
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Est.  
Exp. Agropec. Pergamino. Informe Técnico N° 69.  
1967. 12 p.

17. BRAVO, C., MANUEL. Notas sobre el crecimiento y fotosíntesis del cultivo en relación con su productividad. En Seminario de Fisiología Vegetal. Junio 26 a Julio 21, 1967. Lima, Perú. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Zona Andina, 1967. 19 p.
18. BRENCHLEY, WINIFRED E. On the relations between growth and the environmental conditions of temperature and bright sunshine. *Annals of Applied Biology* 6(4):211-244. 1929.
19. BROUGHAM, R. W. Interception of light by the foliage of pure and mixed stands of pasture plants. *Australian Journal of Agricultural Research* 9(1):39-52. 1958.
20. BUTT, A. M. Vegetative growth, morphogenesis and carbohydrate content of the onion plant as a function of light and temperature under field, and controlled conditions. *Mededelingen. Landbouwhogeschool Wageningen Nederland* 68(10):1-211. 1968.
21. CABRERA F., G. J. Análisis de crecimiento de las plantas. Maracay, Venezuela. Universidad Central, Facultad de Agronomía, 1971. (Mimeografiado). 18 p.
22. CALVO C., MANUEL FELIPE. Regresión múltiple. Universidad de Costa Rica, Centro de Informática. Boletín s.n. 1973. 31 p.
23. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Annual report 1973. Cali, Colombia, CIAT, 1973. 161 p.
24. DABRAL, B. M. y CHINEY, S. S. Micro-climatology of an irrigated cotton field in Sind. *Indian Journal of Agricultural Science* 8(2):161-184. 1938.
25. DALE, J. E. Leaf growth in Phaseolus vulgaris. II. Temperature effects and the light factor. *Annals of Botany* 29(138):293-308. 1965.
26. \_\_\_\_\_, FELIPPE, G. M. y FLETCHER, G. M. Effects of shading the first leaf on growth of barley plants. I. Long term experiments. *Annals of Botany* 36(145):385-395. 1972.
27. DAVIDSON, J. I. y DONALD, C. M. The growth of swards of subterranean clover with particular reference to leaf area. *Australian Journal of Agricultural Research* 9(1):53-72. 1958.

28. DAVIS, J. F. The relationship between leaf area and yield of the field bean with a statistical study of methods for determining leaf area. *Journal of the American Society of Agronomy* 32(5):323-327. 1940.
29. \_\_\_\_\_. The effect of some environmental factors on the set of pods and yield of white pea beans. *Journal of Agricultural Research* 70(7):237-249. 1945.
30. DENNEAD, O. T. Comparative micrometeorology of a wheat field and a forest of *Pinus radiata*. *Agricultural Meteorology* 6(5):357-371. 1969.
31. \_\_\_\_\_, FRITSCHEN, L. J. y SHAW, R. H. Spatial distribution of net radiation in a corn field. *Agronomy Journal* 54(6):505-510. 1962.
32. EARLEY, E. B., et al. Effects of shade on maize production under field conditions. *Crop Science* 6(1): 1-7. 1966.
33. EL BARADI, T. A. Pulses. I. Cowpeas. *Abstracts on Tropical Agriculture* 1(2):9-19. 1975.
34. EL-SHARKAWY, M. A. y HESKETH, J. D. Effects of temperature and water deficit on leaf photosynthetic rates of different species. *Crop Science* 4(5):514-518. 1964.
35. EVANS, G. C. y HUGHES, A. P. Plant growth and the aerial environment. I. Effect of artificial shading on *Impatiens parviflora*. *New Phytologist* 60(2):150-180. 1961.
36. EVANS, R. A., KAY, B. L. y YOUNG, J. A. Microenvironment of a dynamic annual community in relation to range improvement. *Hilgardia* 43(3):79-102. 1975.
37. FELIPPE, G. M., DALE, J. E. y HARRIOTT, CAROL. The effects of irradiance on uptake and assimilation of nitrate by young barley seedlings. *Annals of Botany* 39(159):43-55. 1975.
38. FRIEND, D. J. C., HELSON, V. A. y FISHER, J. E. The rate of dry weight accumulation in Marquis wheat as affected by temperature and light intensity. *Canadian Journal Botany* 40(7):939-955. 1962.

39. GAASTRA, P. Photosynthesis of leaves and field crop. Netherlands Journal of Agricultural Science 10(5): 311-324. 1962.
40. HEATH, O. V. S. y GREGORY, F. G. The constancy of the mean net assimilation rate and its ecological importance. Annals of Botany 2(8):811-818. 1938.
41. HODGSON, G. L. Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. XII. A comparison of the effects of seasonal variations in light energy and temperature on the growth of Helianthus annuus and Vicia faba in the vegetative phase. Annals of Botany 31(122):291-308. 1967.
42. HOLMES, R. W. y NELSON-DINGLE, A. The relationship between the macro and microclimate. Agricultural Meteorology 2(2):127-133. 1965.
43. HUGHES, A. P. A comparison of the effects of light intensity and duration on Chrysanthemum morifolium cv. Bright Golden Ane in controlled environments. I. Growth analysis. Annals of Botany 37(150):267-274. 1973.
44. JOHNSON, D. T. The cowpea in the African areas of Rhodesia. Rhodesia Agricultural Journal 67(3):61-64. 1970.
45. LAMBETH, VICTOR N. Some factors influencing pod set and yield of the lima bean. University of Missouri, Agricultural Experiment Station. Research Bulletin No 466, 1950. 60 p.
46. LOACH, K. Shade tolerance in tree seedlings. II. Growth analysis of plants raised under artificial shade. New Phytologist 69(2):273-286. 1970.
47. LUDWIG, L. J., SAEKY, T. y EVANS, L. T. Photosynthesis in artificial communities of cotton plants in relation to leaf area. I. Experiments with progressive defoliation of mature plants. Australian Journal of Biological Science 18:1103-1118. 1965.
48. MAGALHAES, A. C. y MONTOJOS, J. C. Effect of solar radiation on the growth parameters and yield of two varieties of common beans (Phaseolus vulgaris L.). Turrialba 21(2):165-168. 1971.

49. MILTHORPE, F. L. Fibre development of flax in relation to water supply and light intensity. *Annals of Botany* 9(1):31-53. 1945.
50. MOHR, HANS. The control of plant growth and development by light. *Biological Reviews of the Cambridge* 39(1):87-112. 1964.
51. MONTOJOS, J. C. y MAGALHAES, A. C. Grow analysis of dry beans (Phaseolus vulgaris L. var. "Pintado") under varying conditions of solar radiation and nitrogen application. *Plant and Soil* 35(1):217-223. 1971.
52. MOSS, DALE y MUSGRAVE, ROBERT B. Photosynthesis and crop production. *Advances in Agronomy* 23:317-336. 1971.
53. NUTMAN, F. J. Studies of the physiology of *Coffea arabica*. I. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. *Annals of Botany* 1(3):353-367. 1937.
54. OSMAN, A. M. Dry matter production of a wheat crop in relation to light interception and photosynthetic capacity of leaves. *Annals of Botany* 35(143):1017-1035. 1971.
55. PORTER, ALTON M. Effect of light intensity on the photosynthetic efficiency of tomato plants. *Plant Physiology* 12(2):225-252. 1937.
56. RADFORD, P. J. Growth analysis formulae. Their use and abuse. *Crop Science* 7(3):171-175. 1967.
57. RAJAN, A. K., BETTERIDGE, BRENDA y BLACKMAN, G. E. Interrelationships between the nature of the light source, ambient air temperature, and the vegetative growth of different species within growth cabinets. *Annals of Botany* 33(140):323-343. 1971.
58. \_\_\_\_\_ y BLACKMAN, G. E. Interacting effects of light and day and night temperatures on the growth of four species in the vegetative phase. *Annals of Botany* 39(162):733-743. 1975.
59. RAMDAS, L. A., KALAMKAR, R. J. y GADRE, K. M. Agricultural meteorology: studies in microclimatology. *Indian Journal of Agricultural Science* (5(1):1-11. 1935.

60. SCOCH, F. y CANDELARIO, L. S. Influencia de la sombra en el crecimiento y productividad de las hojas de Vigna sinensis L. Turrialba 24(1):84-89. 1974.
61. STANHILL, G. The effect of enviromental factors on the growth of alfalfa in the field. Netherlands Journal of Agricultural Science 10(4):247-253. 1962.
62. \_\_\_\_\_ y PUCHS, M. The climate of the cotton crop: physical characteristics and microclimate relationships. Agricultural Meteorology 5(3):183-202. 1968.
63. STEEMAN-NIELSEN, E. On detrimental effects of high light intensities on the photosynthetic mechanism. Physiology Plantarum 5:334-344. 1952.
64. STINSON Jr., HARRY T. y MOSS, DALE N. Some effects of shade upon corn hybrids tolerant and intolerant of dense planting. Agronomy Journal 52(8):482-484. 1960.
65. STOBBE, E. H., ORMROD, D. P. y WOOLEY, C. J. Blossoming and fruit set patterns in Phaseolus vulgaris L. as influenced by temperature. Canadian Journal of Botany 44(6):813-818. 1966.
66. TANAKA, A., KAWANO, K. y YAMAGUCHI, J. Photosynthesis, respiration, and plant type of the tropical rice plant. International Rice Research Institute. Philippines, Los Baños, Technical Bulletin 7. 1966. 46.
67. TANNER, C. B. y LEMON, E. R. Radiant energy utilized in evapotranspiration. Agronomy Journal 54(3):207-212. 1962.
68. THOMAS, MOYER, D. y HILL, GEO R. The continuons measurement of photosynthesis, respiration, and transpiration of alfalfa and wheat growing under field conditions. Plant Physiology 12(2):285-307. 1937
69. \_\_\_\_\_. Effect of ecological factors on phosynthesis. Annual Review of Plant Physiology 6:135-156. 1955.
70. THOMSON, BETTY F. y MILLER, PAULINE M. Grow patterns of pea seedlings in darkness and in red end whit light. American Journal of Botany 48(3):256-261. 1961.
71. THUT, H. F. y LOOMIS, W. E. Relation of light to growth of plants. Plant Physiology 19(1):117-130. 1944.

72. TRENBATH, B. R. Biomass productivity of mixtures. *Advances in Agronomy* 26:177-210. 1974.
73. TULLER, S. E. Effects of vertical vegetation surfaces on the adjacent microclimate: the role of aspect. *Agricultural Meteorology* 12(3):407-424. 1973.
74. VEGLIERCHIO, D. R. y WENT, F. W. Plant growth under controlled conditions. IX. Growth and fruiting of the Kentucky wonder bean (Phaseolus vulgaris). *American Journal of Botany* 44:449-453. 1957.
75. VINCE, DAPHNE. Photomorphogenesis in plant stems. *Biological Reviews of the Cambridge* 39(4):506-536. 1964.
76. VOLDENG, H. D. y BLACKMAN, G. E. The influences of seasonal changes in solar radiation and air temperature on the growth in the early vegetative phase of Zea mays. *Annals of Botany* 37(151):553-563. 1973.
77. \_\_\_\_\_ y BLACKMAN, G. The interrelated effects of stage of development and seasonal changes in light and temperature on the components of growth in Zea mays. *Annals of Botany* 37(152):895-904. 1973.
78. WALLACE, D. H. y MUNGER, H. M. Studies of the physiological basis for yield differences. I. Growth analysis of six dry bean varieties. *Crop Science* 5(4):343-348. 1965.
79. WALLEN, C. C. Environmental aspects of agricultural meteorology. *Agricultural Meteorology* 11(3):341-343. 1973.
80. WARD, H. S. y FERRY, J. F. Fundamentals of plant physiology. New York, MacMillan Co., 1959. 228 p
81. WATSON, D. J. y BAPTISTE, E. C. D. A comparative physiological study of sugar-beet and mangold with respect to growth and sugar accumulation. I. Growth analysis of the crop in the field. *Annals of Botany* 2(6):438-480. 1938.
82. \_\_\_\_\_. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany* 11(41):41-76. 1947.

83. WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. *Advances in Agronomy* 4:101-145. 1952.
84. \_\_\_\_\_. The dependence of net assimilation rate on leaf area index. *Annals of Botany* 22(85):37-54. 1958.
85. WENT, F. W. The response of plant to climate. *Science* 112(40):489-494. 1950.
86. WILLEY, R. W. The use of shade in coffee, cocoa and tea. *Horticultural Abstracts* 45(12):791-798. 1975.
87. WILLIAMS, R. F. Drift of net assimilation rate in plants. *Nature* 140(3556):1099-1100. 1937
88. \_\_\_\_\_. The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilation rate. *Annals of Botany* 10(37):41-72. 1946.
89. WILLIAMS, W. A., et al. Canopy architecture at various population densities and the growth and grain yield of corn. *Crop Science* 8(3):305-308. 1968.
90. WILSON, D. y COOPER, J. P. Effects of light intensity and CO<sub>2</sub> on apparent photosynthesis and its relationship with leaf anatomy in genotypes of Lolium perenne L. *New Phytologist* 68(5):627-644. 1969.
91. \_\_\_\_\_ y COOPER, J. Effect of temperature during growth on leaf anatomy and subsequent light-saturated photosynthesis among contrasting Lolium genotypes. *New Phytologist* 68(4):1115-1123. 1969.
92. \_\_\_\_\_ y COOPER, J. Effect of light intensity during growth on leaf anatomy and subsequent light saturated photosynthesis among contrasting Lolium genotypes. *New Phytologist* (68(4):1125-1135. 1969.
93. WIT. C. T. De. Photosynthesis of leaf canopies. Wageningen, Institute for Biological and Chemical Research on Field Crop and Forage. Agricultural Research Report N<sup>o</sup> 663, 1965. 57 p.

A P E N D I C E

Cuadro 1A. Matriz de correlación entre variables físicas y biológicas para el frijol común.

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>
X <sub>1</sub>										
X <sub>2</sub>	-0.013									
X <sub>3</sub>	0.000	0.000								
X <sub>4</sub>	-0.631	-0.196	-0.387							
X <sub>5</sub>	0.949	0.009	-0.000	-0.533						
X <sub>6</sub>	-0.084	0.387	0.056	-0.091	-0.025					
X <sub>7</sub>	-0.019	0.046	0.039	-0.030	0.005	0.231				
X <sub>8</sub>	-0.255	0.110	-0.211	0.326	-0.306	0.559	0.305			
X <sub>9</sub>	-0.464	0.390	-0.199	0.464	-0.386	0.735	0.174	0.714		
X <sub>10</sub>	-0.788	0.010	-0.427	0.749	-0.748	0.124	0.080	0.445	0.614	

Coefficiente de correlación  $r_{0.05} = 0.3494$

X <sub>1</sub> = Período experimental	X <sub>6</sub> = Eficiencia fotosintética
X <sub>2</sub> = Edad de la planta	X <sub>7</sub> = Intensidad de asimilación neta
X <sub>3</sub> = Sistema de cultivo	X <sub>8</sub> = Area foliar
X <sub>4</sub> = Radiación visible	X <sub>9</sub> = Intensidad de crecimiento absoluto
X <sub>5</sub> = Temperatura	X <sub>10</sub> = Producción de grano por planta

Cuadro 2A. Matriz de correlación entre variables físicas y biológicas para el frijol de costa.

---

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>
X <sub>1</sub>										
X <sub>2</sub>	-0.045									
X <sub>3</sub>	0.000	0.044								
X <sub>4</sub>	-0.623	-0.238	-0.355							
X <sub>5</sub>	0.481	0.146	0.061	-0.324						
X <sub>6</sub>	0.104	0.612	-0.074	-0.260	0.214					
X <sub>7</sub>	0.045	0.053	-0.122	0.222	-0.025	0.100				
X <sub>8</sub>	-0.344	0.512	-0.113	0.380	0.011	0.345	0.230			
X <sub>9</sub>	-0.243	0.522	-0.039	0.212	0.065	0.538	0.330	0.627		
X <sub>10</sub>	-0.764	0.012	-0.095	0.713	-0.190	-0.020	0.003	0.441	0.376	

---

Coefficiente de correlación  $r_{0.05} = 0.304$

X<sub>i</sub> idénticas al frijol común

Cuadro 3A. Humedad gravimétrica (%) del suelo, agrupada por sistema de cultivo, tipo de frijol, profundidad y fecha de muestreo. Valores promedio de 6 muestras. Se incluyen valores del cuadrado medio y significancia.

Período	Fecha de muestreo	F S						F + M						F + Y								
		Ph		V		Ph		Ph		V		Ph		Ph		V		Ph		V		
		0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	
1	I - 22	38	40	37	40	40	41	40	41	40	41	41	39	42	40	41	40	42	40	41	43	
	II - 29	38	40	42	44	36	41	37	41	37	42	38	39	39	42	42	42	39	42	42	45	
	II - 5	37	42	36	39	33	35	38	35	38	43	35	35	39	40	40	40	39	40	40	44	
	II - 12	52	54	46	45	45	45	42	45	42	43	41	41	42	42	42	42	42	42	42	43	
	II - 19	36	39	34	38	39	39	37	39	37	39	38	36	36	36	36	36	36	36	36	36	
	II - 26	35	38	35	38	35	35	37	37	37	39	38	38	39	37	37	37	39	37	37	43	
	III - 4	39	41	39	39	41	42	42	42	42	43	41	41	44	40	40	40	44	40	40	43	
	III - 11	33	38	33	38	37	40	37	40	37	40	36	36	38	36	36	36	38	36	36	38	
	2	VI - 18	42	43	40	45	34	40	37	40	37	38	39	39	40	38	38	40	40	38	40	40
		VI - 25	43	36	45	40	44	45	40	45	40	42	42	42	39	45	45	45	39	45	45	45
		VII - 2	36	40	40	44	39	41	41	41	41	47	39	39	40	38	38	45	40	38	45	45
		VII - 10	38	41	41	43	43	46	42	46	44	38	38	44	44	40	40	40	44	40	40	42
VII - 19		45	45	42	43	48	49	45	49	45	46	43	43	45	43	43	44	45	43	43	44	
VII - 24		46	46	48	47	46	47	45	47	45	42	44	44	44	45	45	44	41	45	45	44	
VIII - 3		38	39	38	39	37	37	37	37	37	37	39	39	39	41	39	39	41	39	39	41	

Cuadro 3A. Continuación.

Período	Fecha de muestreo	F + P					Cuadrado medio para Sistema x Tipo de frijol		
		Ph		V			0-10	0-10	10-20
		0-10	10-20	0-10	0-10	10-20	0-10	0-10	10-20
1	I - 22	37	40	39	42	3.486 ns	2.152 ns		
	I - 29	36	37	44	46	11.222 ns	17.819 ns		
	II - 5	35	37	34	38	14.222 ns	32.944 ns		
	II - 12	50	51	54	54	28.111 ns	41.819 *		
	II - 19	36	41	36	41	1.444 ns	0.597 ns		
	II - 26	34	37	37	39	4.486 ns	2.819 ns		
	III - 4	39	40	39	41	1.500 ns	2.597 ns		
	III - 11	33	41	34	38	0.263 ns	3.166 ns		
	2	VI - 18	38	41	39	36	4.500 ns	4.819 ns	
		VI - 25	48	48	40	42	9.152 ns	35.666 *	
		VII - 2	37	40	37	38	8.500 ns	21.930 ns	
VII - 10		38	40	37	41	5.819 ns	5.708 ns		
VII - 12		41	40	41	43	3.000 ns	9.930 ns		
VII - 24		53	50	50	49	7.152 ns	17.222 ns		
VIII - 3		39	38	39	38	0.000 ns	0.000 ns		

Cuadro 4A. Pesos secos (g/planta) a diferentes edades de plantas de dos tipos de frijol, en cuatro sistemas de cultivo y dos períodos experimentales. Valores promedios de 15 plantas. Se incluyen cuadrados medios y significancia.

		18 días						36 días						52 días					
		Tipo de Frijol			Tipo de Frijol			Tipo de Frijol			Tipo de Frijol			Tipo de Frijol			Tipo de Frijol		
		Común de Costa			Común de Costa			Común de Costa			Común de Costa			Común de Costa			Común de Costa		
		Períodos			Períodos			Períodos			Períodos			Períodos			Períodos		
		1	2	$\bar{X}$	1	2	$\bar{X}$	1	2	$\bar{X}$	1	2	$\bar{X}$	1	2	$\bar{X}$	1	2	$\bar{X}$
Sistemas		1	2	$\bar{X}$	1	2	$\bar{X}$	1	2	$\bar{X}$	1	2	$\bar{X}$	1	2	$\bar{X}$	1	2	$\bar{X}$
F S		1.9	1.4	1.3	1.2	1.2	1.4	9.0	6.3	2.3	7.1	6.2	21.8	12.5	7.0	12.5	15.2	15.2	15.2
F + M		1.9	1.0	1.3	1.1	1.1	1.3	5.8	3.3	1.8	4.6	3.8	10.5	11.4	10.5	11.4	9.7	9.7	9.7
F + Y		1.9	1.0	1.3	0.5	0.5	1.1	5.2	2.6	1.5	1.0	2.5	10.8	4.0	10.8	4.0	5.8	5.8	5.8
F + P		1.9	1.2	1.3	0.7	0.7	1.3	7.0	4.0	2.8	3.5	4.3	19.7	7.0	19.7	7.0	11.1	11.1	11.1
$\bar{X}$		1.9	1.1	1.3	0.9	0.9	1.3	6.7	4.0	2.1	4.0	15.7	8.7	11.1	9.8	9.8			
F de V		Valor del cuadrado medio en cada edad de muestreo																	
Sistema (S)		0.195	ns							26.892	*						180.574	ns	
Tipo de Frijol (T)		2.210	**							64.635	**						145.603	**	
Período (P)		4.260	ns							1.576	ns						20.803	ns	
S x T		0.050	ns							1.430	ns						2.160	ns	
S x P		0.116	ns							4.313	ns						84.268	*	
T x P		0.316	ns							63.250	**						378.562	**	
S x T x P		0.057	ns							3.856	ns						46.923	ns	

Cuadro 4A. Continuación

		67 - días			82 días				
		Tipo de Frijol			Frijol				
		Común de Costa			de Costa				
		Período			Período				
Sistema		1	2	1	2	1	2	$\bar{X}$	
F S		32.8	14.6	17.1	27.2	22.9	46.0	29.2	37.6
F + M		13.7	8.9	9.1	14.4	11.5	14.3	11.4	12.9
F + Y		17.1	4.1	12.6	3.2	9.2	34.7	4.5	19.6
F + P		25.5	7.4	17.9	9.6	15.1	50.4	7.4	28.9
$\bar{X}$		22.3	8.7	18.2	11.1		36.4	13.1	
F de V		Valor del cuadrado medio en cada edad de muestreo							
Sistema (S)		429.040 **			699.81 **				
Tipo de Frijol (T)		32.340 ns			3245.69 **				
Período (P)		597.840 **			448.84 **				
S x T		6.376 ns							
S x P		117.721 ns							
T x P		505.700 **							
S x T x P		85.479 ns							

Cuadro 5A. Areas foliares ( $dm^2/planta$ ) a diferentes edades de plantas de dos tipos de frijol, en cuatro sistemas de cultivo y dos periodos experimentales. Valores promedios de 15 plantas. Se incluyen cuadrados medios y significancia.

	18 días				36 días				52 días							
	Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol					
	Común	de Costa	Común	de Costa	Común	de Costa	Común	de Costa	Común	de Costa	Común	de Costa				
Sistemas	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	$\bar{X}$			
F S	2.9	2.3	1.7	1.9	2.2	2.2	9.9	7.5	3.5	7.8	7.2	11.9	9.4	9.9	15.3	11.6
F + M	3.2	1.9	2.2	2.2	2.4	2.4	6.8	5.0	3.3	6.7	5.5	6.3	9.0	7.7	12.7	8.9
F + Y	2.4	1.4	1.7	0.8	1.6	1.6	5.2	2.5	2.4	1.3	2.8	5.7	3.1	9.6	2.5	5.2
F + P	2.8	2.2	1.9	1.3	2.1	2.1	8.4	4.7	4.8	4.4	5.6	11.1	5.3	14.2	9.2	9.9
$\bar{X}$	2.9	2.0	1.9	1.5			7.6	4.9	3.5	5.1		8.9	8.8	6.7	10.3	
F de V	Valor del cuadrado medio en cada edad de muestreo															
Sistema (S)	1.419 **		39.373 **		87.873 ns											
Tipo de Frijol (T)	6.199 **		46.807 **		70.446 **											
Periodo (P)	4.832 **		3.466 ns		18.142 ns											
S x T	0.183 ns		2.474 ns		2.147 ns											
S x P	0.285 ns		8.118 *		63.109 **											
T x P	0.888 ns		52.500 **		8.442 ns											
S x T x P	0.276		3.789 ns		19.515 ns											

Cuadro 5A. Continuación.

		67 días				82 días				
		Tipo de Frijol				Frijol				
		Común de Costa				de Costa				
		Período		Período		Período		Período		
Sistemas		1	2	1	2	1	2	1	2	$\bar{X}$
F S		3.0	3.1	15.6	11.4	8.3	8.3	10.7	5.1	7.9
F + M		1.9	3.5	12.3	6.2	5.9	5.9	8.4	2.8	5.6
F + Y		2.7	0.9	13.8	2.4	4.9	4.9	14.3	1.7	8.0
F + P		4.4	1.1	15.6	2.9	6.0	6.0	14.3	1.3	7.8
$\bar{X}$		3.0	2.1	14.3	5.7			11.9	2.8	
F de V	Valor del cuadrado medio en cada edad de muestreo									
Sistema (S)		23.607 ns				8.00 ns				
Tipo de Frijol (T)		665.880 **				504.25 **				
Período (P)		268.474 **				25.74 ns				
S x T		12.066 ns								
S x P		27.414 *								
T x P		179.800 **								
S x T x P		4.425 ns								

Cuadro 6A. Índice de Area Foliar ( $\text{dm}^2/\text{dm}^2$ ) a diferentes edades de plantas de dos tipos de frijol, en cuatro sistema de cultivo y dos períodos experimentales. Valores promedios de 15 plantas. Se incluyen cuadrados medios y significancia.

Sistema	18 días						36 días						52 días							
	Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol			
	Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa			
	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período		
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
			$\bar{X}$		$\bar{X}$															
F S	0.29	0.23	0.17	0.18	0.22	0.99	0.75	0.34	0.78	0.72	1.20	0.93	0.99	1.53	1.16					
F + M	0.32	0.19	0.21	0.22	0.23	0.68	0.50	0.33	0.67	0.55	0.62	0.90	0.76	1.27	0.89					
F + Y	0.24	0.14	0.18	0.08	0.16	0.51	0.24	0.23	0.13	0.28	0.57	0.31	0.95	0.25	0.52					
F + P	0.30	0.22	0.18	0.12	0.21	0.83	0.47	0.48	0.44	0.55	1.10	0.53	1.42	0.92	0.99					
$\bar{X}$	0.29	0.19	0.19	0.17	0.75	0.49	0.35	0.50	0.50	0.87	0.67	1.03	1.00							
T de V	Valor del cuadrado medio en cada edad de muestreo																			
Sistemas (S)	0.013 **		0.394 **		0.881 ns															
Tipo de Frijol (T)	0.060 **		0.462 **		0.710 **															
Períodos (P)	0.048 **		0.033 ns		0.175 ns															
S x T	0.002 ns		0.025 ns		0.021 ns															
S x P	0.002 ns		0.081 *		0.631 **															
T x P	0.009 ns		0.527 **		0.085 ns															
S x T x P	0.002 ns		0.037 ns		0.196 ns															

Cuadro 6A. Continuación.

		67 días				82 días				
		Tipo de Frijol				Frijol				
		Común		de Costa		de Costa				
		Período		Período		Período		Período		
Sistemas		1	2	1	2	1	2	1	2	
								$\bar{X}$		
F S		0.30	0.31	1.56	1.13	0.83	0.83	1.07	0.51	0.79
F + M		0.19	0.34	1.22	0.62	0.60	0.60	0.83	0.28	0.56
F + Y		0.27	0.09	1.37	0.24	0.49	0.49	1.43	0.17	0.80
F + P		0.44	0.11	1.56	0.29	0.60	0.60	1.43	0.13	0.78
$\bar{X}$		0.30	0.21	1.43	0.57			1.19	0.27	
F de V		Valor del cuadrado medio en cada edad de muestreo								
Sistema (S)		0.236 ns				0.081 ns				
Tipo de Frijol (T)		6.637 **				5.041 **				
Período (P)		2.674 **				0.257 ns				
S x T		0.120 ns								
S x P		0.270 *								
T x P		1.782 **								
S x T x P		0.044 ns								

Cuadro 7A. Razón de Area Foliar ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ), a diferentes intervalos, de plantas de dos tipos de frijol, en cuatro sistemas de cultivo y dos períodos experimentales. Valores promedios de 15 plantas. Se incluyen cuadrados medios y significancia.

		18 - 36 días		36 - 52 días		52 - 67 días		67 - 82 días										
Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Frijol										
Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa		de Costa										
Período		Período		Período		Período		Período										
Sistemas	1	2	$\bar{X}$	1	2	1	2	$\bar{X}$	1	2	$\bar{X}$							
F S	1.25	1.38	1.40	1.27	1.33	0.75	0.94	1.45	0.91	1.01	0.24	0.43	1.11	0.57	0.59	0.45	0.28	0.36
F + M	1.35	1.68	1.75	1.67	1.61	0.82	1.11	1.81	1.19	1.23	0.30	0.61	1.52	0.68	0.78	0.87	0.31	0.59
F + Y	1.10	0.83	1.50	0.93	1.09	0.72	0.87	1.62	1.13	1.08	0.30	0.44	1.31	0.84	0.72	0.64	0.38	0.51
F + P	1.34	1.42	1.54	1.43	1.43	0.52	0.93	1.62	1.12	1.05	0.32	0.10	1.15	0.59	0.54	0.47	0.14	0.31
$\bar{X}$	1.26	1.33	1.55	1.33	0.70	0.96	1.63	1.09	0.29	0.40	1.27	0.67	0.61	0.28				
F de V	Valor del cuadrado medio en cada intervalo de muestreo																	
Sistema (S)	0.571	ns			0.113	ns			0.148	ns			0.104	ns				
Tipo de Frijol (T)	0.243	ns			3.297	**			4.718	**			0.656	**				
Períodos (P)	0.069	ns			0.232	*			0.732	**			0.023	ns				
S x T	0.030	ns			0.056	ns			0.023	ns			0.033	ns				
S x P	0.172	ns			0.012	ns			0.033	ns			1.508	**				
T x P	0.252	ns			1.919	**			0.081	**			0.040	ns				
S x T x P	0.006	ns			0.015	ns												

Cuadro 8A. Intensidad de asimilación Neta (mg/dm<sup>2</sup>/día), a diferentes intervalos, de plantas de dos tipos de frijol, en cuatro sistemas de cultivo y dos períodos experimentales. Valores promedios de 15 plantas. Se incluyen cuadrados medios y significancia.

	1 - 18 días				18 - 36				36 - 52 días							
	Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol					
	Común	de Costa	Común	de Costa	Común	de Costa	Común	de Costa	Común	de Costa	Común	de Costa				
	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período	Período				
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2				
	$\bar{X}$		$\bar{X}$		$\bar{X}$		$\bar{X}$		$\bar{X}$		$\bar{X}$					
T S	38	28	23	22	27	27	67	62	20	76	56	70	45	49	70	58
F + M	38	19	26	22	26	26	45	40	8	48	36	45	65	30	54	48
F + Y	38	14	23	0	18	18	51	42	5	24	30	61	40	53	48	51
F + P	38	24	24	7	23	23	53	45	27	61	46	63	37	44	50	58
$\bar{X}$	38	21	24	12			54	47	15	52		60	47	44	55	
F de V	Valor del cuadrado medio en cada intervalo de muestreo															
Sistema (S)	178.79 ns		1573.25 *		252.388 ns											
Tipo de Frijol (T)	1397.52 **		3468.000 ns		161.333 ns											
Período (P)	2596.01 **		2821.333 *		6.750 ns											
S x T	58.13 ns		375.388 ns		128.055 ns											
S x P	124.18 ns		212.611 ns		761.250 ns											
T x P	123.52 ns		5852.083 **		1752.083 ns											
S x T x P	47.35 ns		140.472 ns		249.916 ns											

Cuadro 8A. Continuación.

		52 - 67 días		67 - 82 días			
		Tipo de Frijol		Frijol			
		Común de Costa		de Costa			
		Período		Período			
Sistemas	1	2	1	2	1	2	$\bar{X}$
F S	111	29	52	47	145	29	87
F + M	57	-21	31	15	35	-177	-71
F + Y	106	2	37	24	105	17	61
F + P	52	9	39	12	144	-142	1
$\bar{X}$	81	5	40	24	107	-68	
F de V	Valor del cuadrado medio en cada intervalo de muestreo						
Sistemas (S)	3647.521 ns		29949.25 ns				
Tipo de Frijol (T)	1419.187 ns		186032.06 ns				
Período (P)	25458.023 **						
S x T	535.576 ns						
S x P	275.076 ns						
T x P	11132.521 ns						
S x T x P	800.465 ns						

Cuadro 9A. Eficiencia Fotosintética (%), a diferentes intervalos, de plantas de dos tipos de frijol, en cuatro sistemas de cultivo y dos períodos experimentales. Valores promedios de 15 plantas. Se incluyen cuadrados medios y significancia.

		1 - 18 días				18 - 36 días				36 - 52 días							
		Tipo de Frijol				Tipo de Frijol				Tipo de Frijol							
		Común		de Costa		Común		de Costa		Común		de Costa					
		Período		Período		Período		Período		Período		Período					
Sistemas		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	$\bar{X}$			
F S		0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.7	0.5	0.1	0.6	0.4	1.4	1.0	0.5	2.0	1.2
F + M		0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	0.2	0.0	0.3	0.2	0.6	1.7	0.3	1.7	1.1
F + Y		0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.3	1.1	0.0	0.3	0.3	0.4	0.6	1.5	0.5	1.3	1.0
F + P		0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.5	0.7	0.1	0.8	0.5	1.6	1.6	1.2	0.7	2.1	1.4
$\bar{X}$		0.2	0.2	0.1	0.1	0.5	0.6	0.1	0.5	1.0	1.4	0.5	1.8				
F de V		Valor del cuadrado medio en cada intervalo de muestreo															
Sistema (S)		3.427 **				19.525 ns				32.567 ns							
Tipo de Frijol (T)		6.526 **				102.375 ns				6.020 ns							
Período (P)		0.005 ns				113.160 ns				184.083 *							
S x T		0.763 **				12.946 ns				4.212 ns							
S x T		3.826 **				16.804 ns				42.220 ns							
T x P		0.025 ns				23.101 ns				285.187 ns							
S x T x P		0.767 *				23.379 ns				75.271 ns							

Cuadro 9A. Continuación.

	52 - 67 días				67 - 82 días			
	Tipo de Frijol				Frijol			
	Común		de Costa		de Costa			
	Período		Período		Período		Período	
	1	2	1	2	1	2	1	2
	$\bar{X}$				$\bar{X}$			
F S	1.2	0.4	1.1	1.7	1.1	3.5	0.3	1.9
F + M	0.5	0.0	0.8	0.7	0.5	1.5	0.0	0.7
F + Y	0.7	0.0	0.7	0.8	0.6	2.8	2.2	2.5
F + P	0.8	0.2	1.1	0.6	0.7	4.7	0.0	2.3
$\bar{X}$	0.8	0.0	0.9	1.0		3.1	0.0	
F de V	Valor del cuadrado medio en cada intervalo de muestreo							
Sistema (S)	164.036 ns				2701.34 ns			
Tipo de Frijol (T)	444.083 ns				12723.60 *			
Período (P)	238.520 ns				1669.27 ns			
S x T	34.812 ns							
S x P	38.538 ns							
T x P	277.440 ns							
S x T x P	38.240 ns							

Cuadro 10A. Intensidad de Crecimiento Absoluto (g/día), a diferentes intervalos, de plantas de dos tipos de frijol, en cuatro sistemas de cultivo y dos períodos experimentales. Valores promedios de 15 plantas. Se incluyen cuadrados medios y significancia.

		1 - 18 días				18 - 36 días				36 - 52 días							
		Tipo de Frijol				Tipo de Frijol				Tipo de Frijol							
		Común		de Costa		Común		de Costa		Común		de Costa					
		Período		Período		Período		Período		Período		Período					
Sistemas		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2				
F S		0.11	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.39	0.28	0.06	0.33	0.26	0.80	0.39	0.29	0.78	0.56
F + M		0.11	0.05	0.07	0.06	0.07	0.06	0.22	0.13	0.03	0.19	0.14	0.29	0.51	0.16	0.51	0.36
F + Y		0.10	0.05	0.07	0.05	0.06	0.06	0.18	0.09	0.01	0.03	0.08	0.35	0.09	0.28	0.10	0.20
F + P		0.10	0.07	0.07	0.04	0.07	0.07	0.28	0.15	0.08	0.16	0.17	0.79	0.19	0.39	0.33	0.42
$\bar{X}$		0.10	0.06	0.07	0.05	0.07	0.07	0.27	0.16	0.04	0.18	0.17	0.56	0.29	0.28	0.43	
F de V		Valor del cuadrado medio en cada intervalo de muestreo															
Sistema (S)		610.361 ns				69470.640 *				26954.438 ns							
Tipo de Frijol (T)		6912.000 **				134514.219 **				61705.023 ns							
Período (P)		13200.334 **				1668.520 ns				40891.695 ns							
S x T		153.388 ns				3221.243 ns				5868.854 ns							
S x P		360.388 ns				9657.242 ns				225389.437 ns							
T x P		990.083 ns				170527.531 **				511500.438 ns							
S x T x P		183.250 ns				10444.570 ns				109749.203 ns							

Cuadro IOA. Continuación.

		52 - 67 días		67 - 82 días				
		Tipo de Frijol		Frijol				
		Común de Costa		de Costa				
		Período		Período				
Sistemas	1	2	1	2	$\bar{X}$			
F S	0.74	0.16	0.67	0.58	0.53	1.93	0.73	1.08
F + M	0.21	-0.19	0.31	0.13	0.11	0.35	-0.32	0.01
F + Y	0.42	0.01	0.44	-0.05	0.23	1.48	0.14	0.81
F + P	0.39	0.03	0.59	0.06	0.26	2.17	-0.24	0.96
$\bar{X}$	0.43	0.00	0.50	0.21		1.48	-0.05	
F de V	Valor del cuadrado medio en cada intervalo de muestreo							
Sistema (S)	379562.875 ns		1394568.2 ns					
Tipo de Frijol (T)	223996.687 ns		14080612.0 **					
Período (P)	1632825.253 **		18152.410 ns					
S x T	14317.908 ns		62424.179 ns					
S x P	60551.679 ns		785408.2 ns					
T x P								
S x T x P								

Cuadro 11A. Intensidad de Crecimiento Relativo (mg/g/día), a diferentes intervalos, de plantas de dos tipos de frijol, en cuatro sistemas de cultivo y dos períodos experimentales. Valores promedios de 15 plantas. Se incluyen cuadrados medios y significancia.

		18 - 36 días				36 - 52 días				52 - 67 días				67 - 82 días					
		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol					
		Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa		Frijol de Costa					
		Período		Período		Período		Período		Período		Período		Período					
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2				
		$\bar{X}$		$\bar{X}$		$\bar{X}$		$\bar{X}$		$\bar{X}$		$\bar{X}$		$\bar{X}$					
F S		84	85	28	96	73	52	40	71	64	57	27	13	58	25	31	64	7	36
F + M		60	68	15	80	56	37	67	55	63	55	17	-7	47	9	16	30	-24	3
F + Y		56	47	7	37	37	42	35	86	55	54	31	1	50	20	25	67	44	55
T + P		72	64	42	86	66	65	35	72	56	57	16	3	44	7	17	69	-29	20
$\bar{X}$		68	66	23	75		49	44	71	59		23	2	50	15		58	0	
F de V		Valor del cuadrado medio en cada intervalo de muestreo																	
Sistema (S)		2990.916 **		17.472 ns		551.166 ns		3050.48 ns											
Tipos de Frijol (T)		3960.333 *		4218.750 ns		4800.000 *		20475.04 *											
Períodos (P)		7550.083 *		833.333 ns		9075.001 **		20475.04 *											
S x T		348.055 ns		333.361 ns		34.944 ns		1408.48 ns											
S x P		498.361 ns		1107.722 ns		39.500 ns		1408.48 ns											
T x P		8748.001 **		147.000 ns		616.333 ns		83.611 ns											
S x T x P		106.005 ns		277.722 ns		83.611 ns		83.611 ns											

Cuadro 12A. Intensidad de Crecimiento Relativo del Area Foliar ( $\text{cm}^2/\text{dm}^2/\text{día}$ ), a diferentes intervalos, de plantas de dos tipos de frijol, en cuatro sistemas de cultivo y dos periodos experimentales. Valores promedios de 15 plantas. Se incluyen cuadrados medios y significancia.

		18 - 36 días				36 - 52 días				52 - 67 días				67 - 82 días				
Tipo de Frijol		Tipo de Frijol				Tipo de Frijol				Tipo de Frijol				Frijol				
Común de Costa		Común de Costa				Común de Costa				Común de Costa				de Costa				
Período		Período				Período				Período				Período				
Sistemas	1	2	1	2	$\bar{X}$	1	2	1	2	$\bar{X}$	1	2	1	2	$\bar{X}$			
F S	6.63	6.63	3.56	7.73	6.14	0.89	1.33	6.83	4.19	3.31	-8.80	-8.86	2.93	-2.20	-4.23	-2.43	-9.03	-5.73
F + M	3.93	5.39	2.26	6.30	4.47	-0.36	3.29	5.23	3.99	3.04	-7.83	-7.23	2.76	-6.03	-4.58	-2.46	-12.06	-7.26
F + Y	4.19	2.63	1.59	2.93	2.84	0.66	1.86	8.66	3.26	3.61	-5.06	-9.20	2.33	-0.06	-2.99	0.26	-3.49	-1.61
F + P	5.63	2.79	5.65	6.76	5.22	1.76	0.63	6.63	4.39	3.35	-6.03	-12.60	0.60	-8.66	-6.67	-0.53	-10.19	-5.36
$\bar{X}$	5.09	4.36	3.28	5.93		0.74	1.78	6.84	3.96		-6.93	-9.47	2.15	-4.24		-1.29	-8.69	
F de V	Valor del cuadrado medio en cada intervalo de muestreo																	
Sistema (S)	23.418	*	0.665 ns				27.992 ns				34.513 ns							
Tipos de Frijol (T)	0.187	ns	205.840 **				615.616 **											
Período (P)	11.020	ns	10.083 ns				239.860 **				329.300 ns							
S x T	6.440	ns	1.392 ns				10.495 ns											
S x P	9.023	ns	6.572 ns				16.961 ns				11.909 ns							
T x P	34.340	ns	46.020 ns				44.660 ns											
S x T x P	0.445	ns	4.205 ns				16.194 ns											

Cuadro 13A. Algunos componentes agronómicos y del rendimiento de plantas de dos tipos de frijol, en cuatro sistemas de cultivo y dos períodos experimentales. Valores promedios de 15 plantas. Se incluyen cuadrados medios y significancia.

Altura de planta (cm)		Número de vainas/planta		Peso seco semillas/planta (g)		Índice de cosecha K																	
Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol		Tipo de Frijol																	
Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa		Común de Costa																	
Período		Período		Período		Período																	
Sistemas	1	2	$\bar{X}$	1	2	$\bar{X}$	1	2	$\bar{X}$														
F S	32	27	22	39	30	10.4	9.1	14.6	12.3	11.6	17.5	9.5	26.2	11.9	16.3	0.57	0.70	0.56	0.40	0.56			
F + M	29	27	24	43	31	7.1	4.3	4.0	5.1	9.9	4.5	7.2	3.7	6.3	0.71	0.54	0.50	0.32	0.52				
F + Y	28	36	20	38	30	6.2	1.7	10.3	2.7	5.2	10.0	1.8	19.2	1.6	8.1	0.60	0.46	0.55	0.34	0.49			
F + P	33	32	27	47	34	8.1	4.1	14.5	3.5	7.5	11.7	2.7	27.4	1.8	11.2	0.50	0.36	0.54	0.26	0.41			
$\bar{X}$	30	30	23	42		7.9	4.8	10.8	5.9	12.5	4.6	20.0	4.7		0.59	0.52	0.54	0.33					
F de V	. Valor del cuadrado medio en cada intervalo de muestreo																						
Sistema (S)	56.743	**	110.801 **																	228.009	0.043	ns	
Tipo de Frijol (T)	46.020	**	47.203 *																	172.824	**	0.180	*
Período (P)	1036.020	**	195.213 **																	1607.534	**	0.247	*
S x T	47.187	**	13.707 ns																	44.198	ns	0.018	ns
S x P	25.743	ns	31.842 **																	91.286	**	0.022	ns
T x P	1017.520	**	9.719 ns																	162.803	**	0.049	ns
S x T x P	12.506	ns	15.219 **																	39.380	*	0.011	ns